

UNIVERSIDAD  
MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



**"ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN  
EDIFICIO TERCIARIO, ASÍ COMO DE SUS  
INSTALACIONES EN CAMPO CRIPTANA,  
MEDIANTE EL SOFTWARE CYPETHERM  
HEPLUS"**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Febrero - 2025

AUTOR: Rubén De Haro Peñafiel

DIRECTOR: Javier Molina González



## Índice

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.MEMORIA .....</b>                                                               | <b>5</b>  |
| <b>1.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL TFG PRESENTADO .....</b>                          | <b>5</b>  |
| <b>1.2-DATOS DEL ALUMNO .....</b>                                                    | <b>6</b>  |
| <b>1.3-NORMATIVA APLICADA .....</b>                                                  | <b>6</b>  |
| <b>1.4-CRITERIOS Y CONSIDERACIONES SEGUIDAS .....</b>                                | <b>7</b>  |
| 1.4.1Definición del edificio y sus instalaciones .....                               | 7         |
| 1.4.2. Justificación del cumplimiento del DB-HE0 del CTE DB-HE 2019 .....            | 19        |
| 1.4.3. Justificación del cumplimiento del DB-HE1 del CTE DB-HE 2019 .....            | 27        |
| 1.4.4 Justificación del cumplimiento del DB-HE4 .....                                | 37        |
| 1.4.5 Justificación de las características de las instalaciones de iluminación. .... | 39        |
| <b>1.5 PROPUESTA DE MEJORAS .....</b>                                                | <b>40</b> |
| 1.5.1 MEJORAS CON LA INTRODUCCIÓN DE RECUPERADOR DE CALOR.....                       | 41        |
| 1.5.2 MEJORAS EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA.....                                          | 43        |
| 1.5.3 MEJORA EN LA GENERACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN MEDIANTE UNA AEROTERMIA .....     | 44        |
| <b>1.6 CONCLUSIÓN .....</b>                                                          | <b>44</b> |
| <b>1.7 CERTIFICADO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO .....</b>                                 | <b>46</b> |
| <b>2. ANEJOS .....</b>                                                               | <b>60</b> |
| <b>2.1 FICHAS TÉCNICAS: .....</b>                                                    | <b>60</b> |
| 2.1.1 Vidrio empleado, “Guardian Glass “ .....                                       | 60        |
| 2.1.2 Caldera ACS, “VITODENSS “ .....                                                | 60        |
| 2.1.3 Inter acumulador ACS, “ Corflow de Ygnis “ .....                               | 60        |
| 2.1.4 Enfriadora, “DAIKIN” .....                                                     | 60        |
| 2.1.5 Fancoils, “DAIKIN “ .....                                                      | 60        |
| 2.1.6 Recuperador de calor, “GREE BRV “ .....                                        | 60        |
| 2.1.7 VRV- unidades exteriores “GREE UMATCH “ .....                                  | 60        |
| 2.1.8 MATERIALES PARA CONDUCCIÓN DE AIRE “CONDUCTOS” .....                           | 60        |
| 2.1.1 VIDRIO TEMPLADO GUARDIAN GLASS .....                                           | 61        |
| 2.1.2 CALDERA ACS VITODENS .....                                                     | 62        |
| 2.1.3 INTERACUMULADOR CORFLOW.....                                                   | 66        |
| 2.1.4 ENFRIADORA DAIKIN .....                                                        | 68        |
| 2.1.5 FANCOILS “DAIKIN” .....                                                        | 70        |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1.6 RECUPERADOR DE CALOR “GREE” .....                           | 72  |
| 2.1.7 UNIDADES INTERIORES “GREE U-MATCH” .....                    | 73  |
| 2.1.8 MATERIALES PARA CONDUCCIÓN DE AIRE “CONDUCTOS” .....        | 75  |
| 3. RESULTADOS DE CYPE:.....                                       | 415 |
| 3.1 Demanda energética edificio BASE, “ Cypetherm HEPLUS “. ..... | 415 |





## 1.MEMORIA

### 1.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL TFG PRESENTADO

Este documento se crea como Trabajo Fin de Grado, dentro de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica, del curso 2023/2024, perteneciente a la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Tras haber cursado durante años pasados el resto de asignaturas relativas al grado de Ingeniería mecánica, (Termodinámica, Calor y frío, Electrotecnia, .... ), todos los conocimientos y resultados que se han ido obteniendo a lo largo de cada una de ellas, se han plasmado en el trabajo final que se va a relatar a continuación. El edificio a usar para el siguiente proyecto, será un edificio de uso terciario, concretamente un Centro Médico, en el presente trabajo se va a proceder a definir las características a analizar en la redacción.

El fin último de este TFG presentado, es la realización de un modelo arquitectónico definiendo tanto su geometría y materiales constructivos, como las instalaciones necesarias para el cumplimiento con el Código Técnico de la Edificación vigente a la realización de dicho trabajo. Analizaremos el apartado de Ahorro de Energía, realizando el análisis de dicho modelo y de sus instalaciones utilizando la herramienta de simulación que el software de CYPETHERM HEPLUS nos proporciona.

Partimos de un modelo geométrico creado con el software IFC Builder de CYPE, y de un proyecto lumínico que se ha creado en otro TFG con el que se ha trabajado en paralelo.

El software de simulación energética que vamos a emplear es “CypeTherm HE Plus 2024, con el CTE 2019”, Certificación de la eficiencia energética de los edificios y justificación normativa de CTE DB HE0, HE1 y HE4.

## 1.2-DATOS DEL ALUMNO

Nombre y apellidos: RUBÉN DE HARO PEÑAFIEL

Teléfono:

Email:

## 1.3-NORMATIVA APLICADA

El presente trabajo, se ha desarrollado atendiendo a la normativa vigente aplicable, y justificamos los cálculos y decisiones adoptadas, según las siguientes disposiciones:

- Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio, en el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, mediante el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los edificios.
- Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción para el autoconsumo.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

## 1.4-CRITERIOS Y CONSIDERACIONES SEGUIDAS

### 1.4.1 Definición del edificio y sus instalaciones

#### *1.4.1.1 Situación geométrica y características de los recintos*

El edificio que vamos a estudiar es un colegio, el cual se clasifica dentro de: “Edificio terciario Pequeño o Mediano”.

Su situación geográfica es en Campo de Criptana, provincia de Ciudad Real, cuya altitud asciende a 707 m. En relación con dicha localización y altitud le corresponde, en conformidad al Anejo B del CTE BD HE 1, la zona climática D3.

La pertenencia a dicha zona climática, junto al tipo y uso de edificio, define los valores límite aplicables en la cuantificación de la exigencia que se describe en la sección HE1. Control de la demanda energética del edificio, del Documento Básico HE Ahorro de energía del CTE.

Localidad: CAMPO DE CRIPTANA

Provincia: CIUDAD REAL

Altitud: 707 m

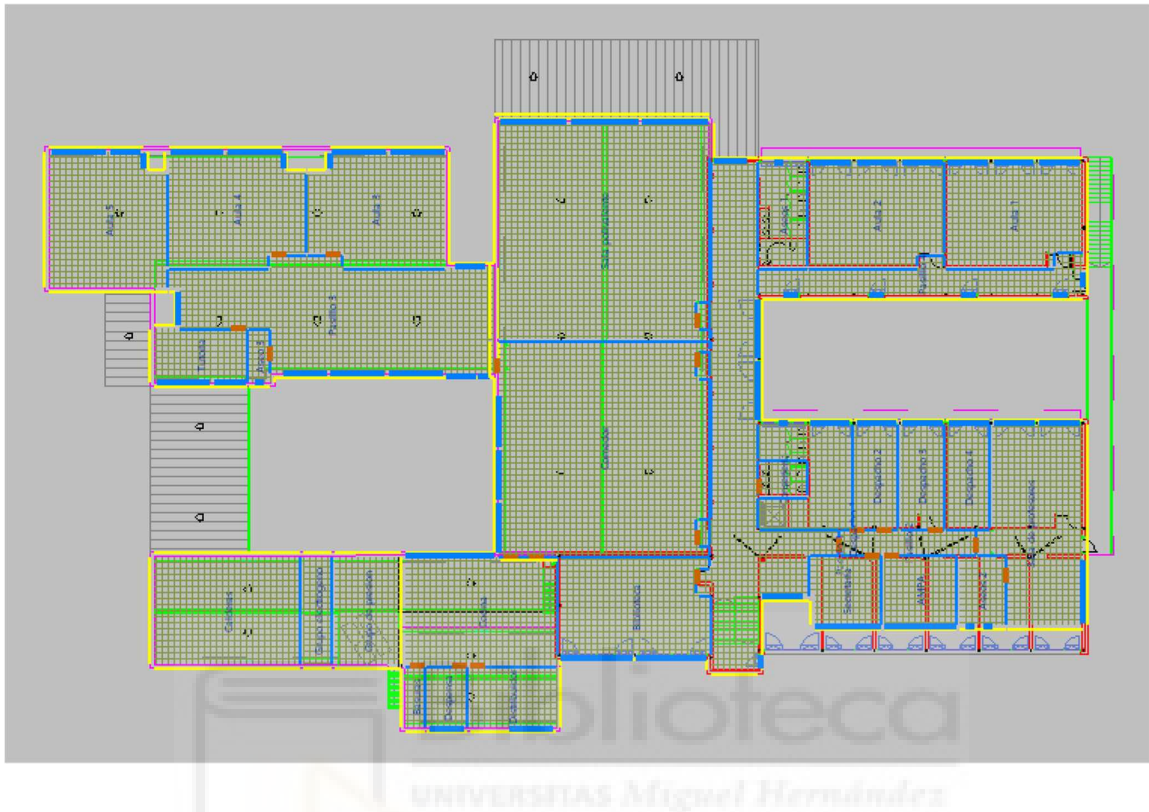
Latitud: 39.4 grados

Longitud: -3.1 grados.

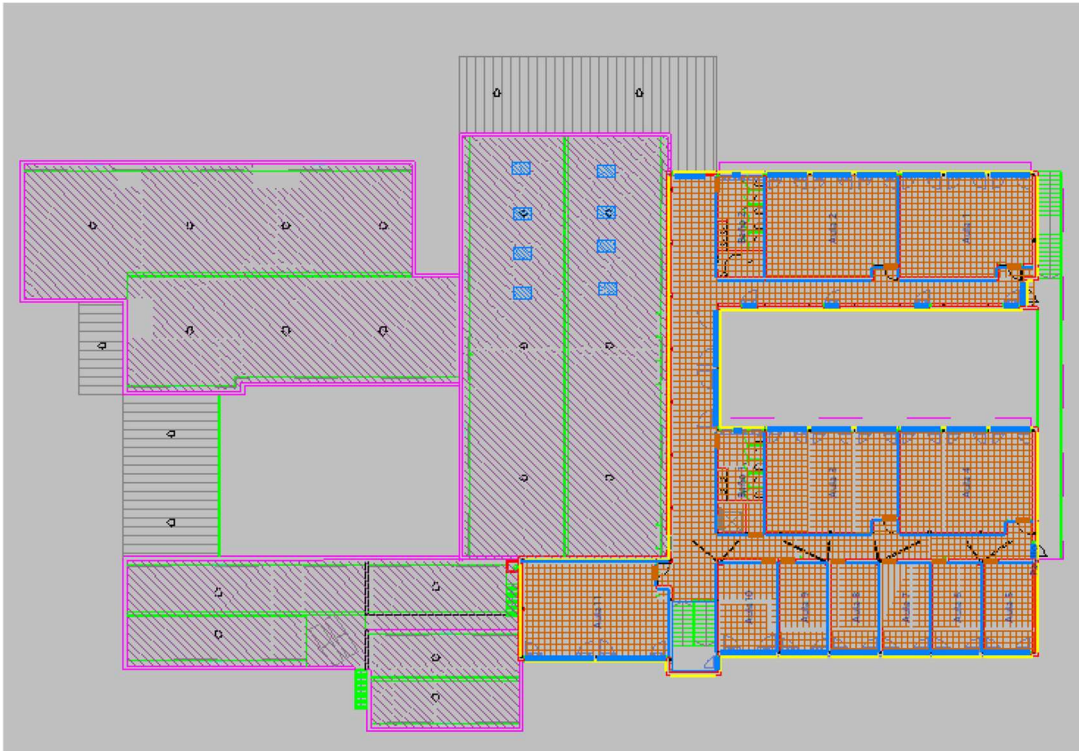
Condiciones Climáticas SCOP: Clima Cálido

Estamos ante un edificio de planta rectangular, cuya fachada principal está orientada al Sur. Consta de 2 plantas sobre la rasante.

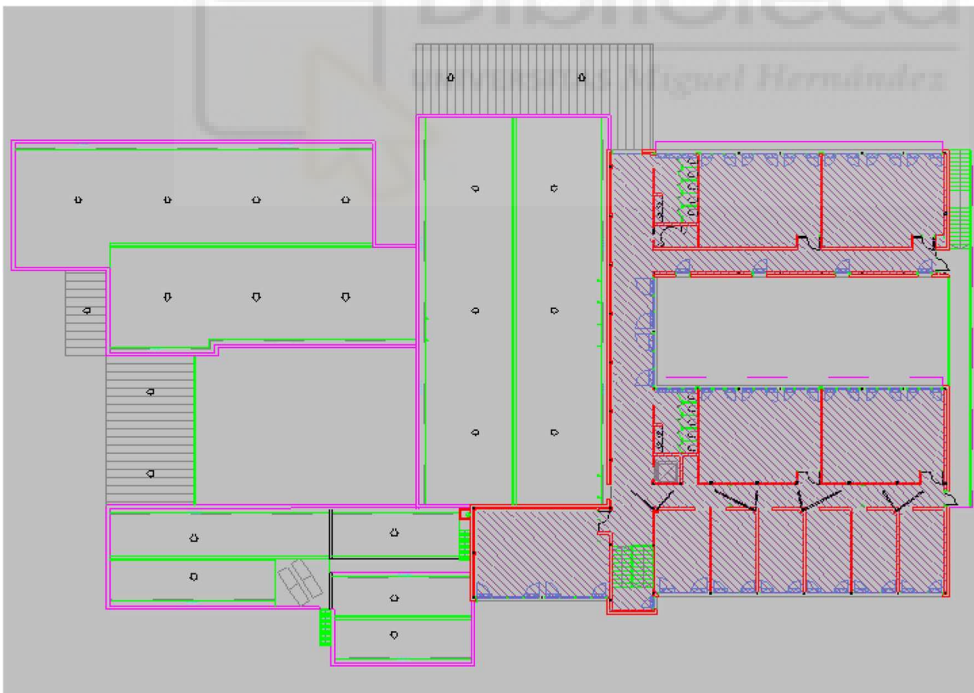
A continuación, se muestran las plantas con la distribución interior de los espacios:



La planta baja, estará formada por cinco aulas y 3 baños, así como de pasillos para conectar todo, cuatro despachos, sala de AMPA, secretaría, conserjería, la cocina del colegio, comedor, una sala polivalente y una sala de profesores.



La primera planta del edificio, se ubicarán once aulas para estudio, y un pasillo.



Para el apartado de ventilación de cada espacio, como se trata de un edificio de tipo no residencial, estaría de aplicación el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE.

En este reglamento anteriormente nombrado, en la parte II, que corresponde a instrucciones Técnicas, se detalla cuáles son las instrucciones de diseño y que dimensionado deben tener los conductos de ventilación.

IT 1.1.4.2.2 – Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios. Se considera que la calidad del aire en el interior, (IDA) que se deberá de alcanzar en el edificio objeto de análisis en este proyecto es de tipo IDA 2 (que corresponde a aire de buena calidad).

Para realizar el cálculo del caudal mínimo de aire exterior de ventilación, nos basamos en el apartado del RITE que hace referencia a él en el IT 1.1.4.2.3, y dentro del mismo, trabajaremos con los dos métodos indirectos que se proponen:

- El método A, en el cual se realiza el cálculo del caudal dependiendo de las personas que suponemos que van a estar ocupando dicho espacio, (para los espacios habitables).
- El método D, que hace referencia al cálculo de caudales por unidad de superficie en locales no dedicados a ocupación humana permanente, (espacios no habitables).

De esta manera, teniendo en cuenta a todas las personas que pueden estar ocupando cada espacio, y realizando una multiplicación de dicho valor de personas por el coeficiente que obtenemos de la tabla 1.4.2.1 para la categoría IDA 2, obtenemos el caudal de cálculo de cada estancia, que será el valor que introduciremos en la edición de cada recinto.

Todos los datos obtenidos para cada uno de los recintos se resumen en la siguiente tabla.

Planta baja:

| RECINTO       | TIPO            | IDA 2<br>(DM3/S) | P  | Qcal<br>(DM3/S) | m2     | m3      | Q (m3/h) | Ren/h  |
|---------------|-----------------|------------------|----|-----------------|--------|---------|----------|--------|
| AULAS         | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 15 | 187,5           | 317,54 | 793,85  | 675      | 1,1761 |
| BAÑOS         | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 2  | 25              | 40,41  | 101,2   | 90       | 0,8893 |
| CIRCULACIONES | HAB.<br>ACONDI. | EQUILIBRIO<br>Q. |    | 0               | 309,38 | 795,19  | 0        | 0,0000 |
| OFICINAS      | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 6  | 75              | 242,21 | 605,525 | 270      | 0,4459 |
| COCINA        | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 4  | 50              | 71,51  | 181,87  | 180      | 0,9897 |
| SALAS         | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 12 | 150             | 458,16 | 2015,76 | 540      | 0,2678 |
| INSTALACIONES | NO HAB.         | 0,83             |    | 0,83            | 113,36 | 283,37  | 2,988    | 0,0105 |

Primera planta:

| RECINTO       | TIPO            | IDA 2<br>(DM3/S) | P  | Qcal<br>(DM3/S) | m2     | m3       | Q (m3/h) | Ren/h  |
|---------------|-----------------|------------------|----|-----------------|--------|----------|----------|--------|
| AULAS         | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 15 | 187,5           | 426,83 | 1067,075 | 675      | 1,5809 |
| BAÑOS         | HAB.<br>ACONDI. | 12,5             | 2  | 25              | 42,96  | 107,42   | 90       | 0,8893 |
| CIRCULACIONES | HAB.<br>ACONDI. | EQUILIBRIO<br>Q. |    | 0               | 163,31 | 444,37   | 0        | 0,0000 |

Podemos definir como Condiciones Operacionales, como el conjunto de todas las temperaturas de consigna definidas para un espacio habitable acondicionado. El cual está compuesto por un conjunto de temperaturas de consigna, que establecen o definen la temperatura de activación de los equipos de calefacción, (sería consigna baja) y para refrigeración (consigna alta). Las condiciones operacionales para espacios de uso no residencial se obtienen del documento Condiciones Técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios. En este documento se muestra una serie de tablas que relacionan las horas de uso y el nivel de carga de los espacios junto con las temperaturas de consigna.

Para cada espacio calculamos el nivel de carga interna, según la tabla del anejo A, del CTE DB HE, estableciéndose como uso las 8 horas diarias de uso lectivo.

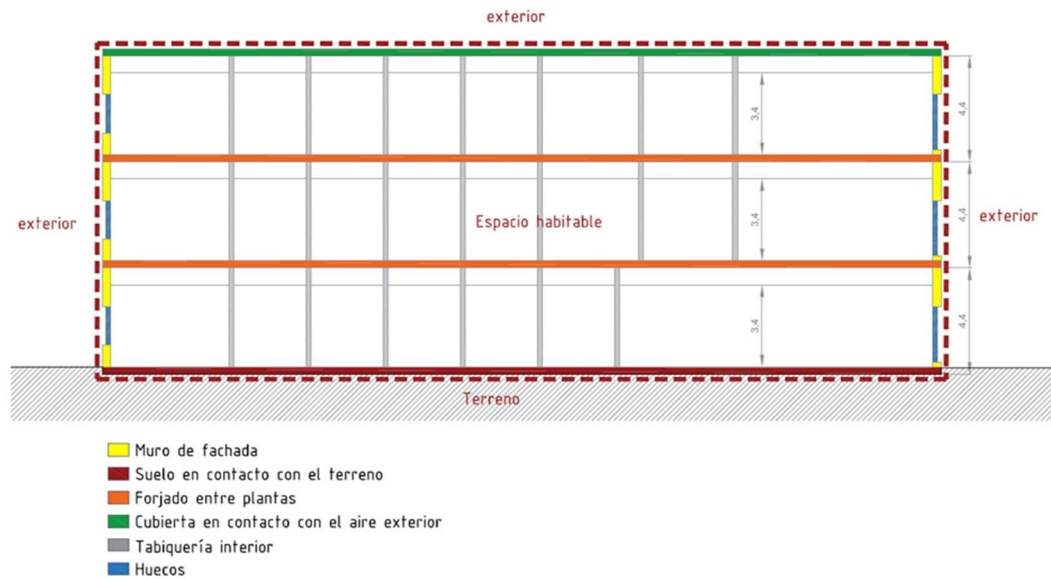
El cálculo de nivel de carga interna, al ser un colegio, se va a tener en cuenta que es un nivel de carga alta durante las 8 horas de la apertura de este.

#### *1.4.1.2 Definición de la envolvente térmica y sus componentes.*

En el esquema geométrico se muestra la envolvente térmica del edificio compuesto por (fachada, cubierta, ventanas y puertas, y los suelos que estén en contacto con el terreno).

Esquema geométrico del edificio.





Se consideran habitables todos aquellos recintos del edificio, exceptuando aquellos que están destinados a usos como almacén, instalaciones de todo tipo y ascensor que se engloban en la clasificación de recintos no habitables (espacio interior a la envolvente térmica).

Dentro de estos espacios habitables se puede distinguir entre los que están acondicionados y los que no. Se considera como espacios habitables acondicionados, como aquellos en los que es necesario mantener unas determinadas condiciones operacionales para el bienestar térmico de sus ocupantes, aulas, salas de personal. Y como espacios habitables no acondicionados algunas zonas de tránsito, cocina y zonas de aseo.

El tipo de uso introducido se basa en las condiciones operacionales que se han desarrollado en el anterior punto para cada espacio del modelo geométrico.

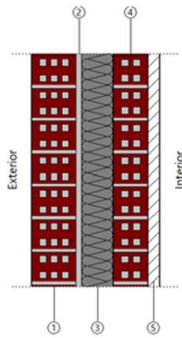
A continuación, se puede observar el listado de elementos constructivos del edificio:



## MURO DE FACHADA

Superficie total 890.95 m<sup>2</sup>

C1



Listado de capas:

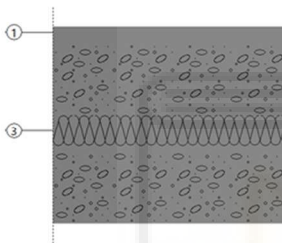
|                                                                                      |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 - 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 11.50 cm |
| 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 | 1.50 cm  |
| 3 - EPS-Grafipol TR-29 [0,029 [W/mK]] Valero                                         | 8.00 cm  |
| 4 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]                                          | 9.00 cm  |
| 5 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300                                                 | 3.00 cm  |

Características Transmitancia térmica, U: 0.30 W/(m<sup>2</sup>·K)  
Espesor total 33.00 cm

## SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO

Superficie total 890.95 m<sup>2</sup>

S1



Listado de capas:

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| 1 - Baldosa cerámica                               | 3.00 cm  |
| 2 - Losa de hormigón                               | 20.00 cm |
| 3 - EPS-Grafipol Termoimpact [0,030 [W/mK]] Valero | 8.00 cm  |
| 4 - Hormigón armado 2300 < d < 2500                | 20.00 cm |

Características Transmitancia térmica, U: 0.19 W/(m<sup>2</sup>·K)  
Espesor total 51.00 cm  
Longitud característica, B': 8.064 m  
Resistencia térmica del forjado, Rf: 3.12 (m<sup>2</sup>·K)/W

Superficie del forjado, A: 399.03 m<sup>2</sup>  
 Perímetro del forjado, P: 98.964 m  
 Conductividad térmica, l: 2.000 W/(m·K)

## FORJADO ENTRE PLANTAS

Superficie total 675.83 m<sup>2</sup>

F1

|                                                                                      |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Listado de capas:                                                                    |          |
| 1 - Baldosa cerámica                                                                 | 2.00 cm  |
| 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1250 < d < 1450 | 3.00 cm  |
| 3 - FU Entrevigado cerámico                                                          | 25.00 cm |
| 4 - Cámara de aire                                                                   | 5.00 cm  |
| 5 - URSA TERRA Base                                                                  | 4.00 cm  |
| 6 - Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900                                       | 2.00 cm  |

Características

Transmitancia térmica, U: 0.52 W/(m<sup>2</sup>·K)  
 Espesor total 41.00 cm

## CUBIERTA EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR

Superficie total 337.39 m<sup>2</sup>

Cub1

|                                                                                      |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Listado de capas:                                                                    |          |
| 1 - Baldosa de gres                                                                  | 1.50 cm  |
| 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 | 3.00 cm  |
| 3 - EPS-Donpol Verde Hidrófobo [0,032 [W/mK]] Valero                                 | 8.00 cm  |
| 4 - Subcapa fieltro                                                                  | 3.00 cm  |
| 5 - Betún fieltro o lámina                                                           | 0.40 cm  |
| 6 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 | 3.00 cm  |
| 7 - FU Entrevigado cerámico                                                          | 30.00 cm |
| 8 - Cámara de aire                                                                   | 5.00 cm  |
| 9 - Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900                                       | 2.00 cm  |

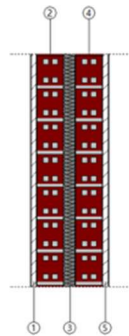
Características

Transmitancia térmica, U: 0.25 W/(m<sup>2</sup>·K)  
 Espesor total 55.90 cm

## TABIQUERÍA INTERIOR

Superficie total 1222.16 m<sup>2</sup>

T2



Estado de capas:

|                                                               |         |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| 1 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$                        | 1.50 c1 |
| 2 - Tabicón de LH doble $[60 \text{ mm} < E < 90 \text{ mm}]$ | 7.00 c1 |
| 3 - EPS-Grafipol TR-0 $[0,033 \text{ [W/mK]}]$ Valero         | 3.00 c1 |
| 4 - Tabicón de LH doble $[60 \text{ mm} < E < 90 \text{ mm}]$ | 7.00 c1 |
| 5 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$                        | 1.50 c1 |

Característica Transmitancia térmica, U: 0.65 W/(m<sup>2</sup>·K)

s Espesor total 20.00 cm

## HUECOS

Entendemos por hueco como cualquier elemento transparente o semitransparente de la envolvente térmica del edificio. Engloba las ventanas, las puertas acristaladas con una superficie semitransparente superior al 50%.

Para la elección del vidrio a utilizar, he usado la herramienta Guardian Glass Online.

El vidrio seleccionado es el Double Glazing 4-16-4 Climaguard on Surface#3 premium2 que tiene las siguientes características:

- Solar Factor (g) EN 410 (%):64
- U-value (EN 673) Argón 90% (W/m<sup>2</sup>.K) : 1.1

La carpintería de aluminio, o PVC usada en los cerramientos está colocada al mismo nivel que el aislamiento térmico, de esta manera se consigue que exista continuidad entre ellos.

El valor de la permeabilidad al aire de la carpintería necesario para este proyecto lo estableceremos en la tabla 3.1.3.a del HE1.

**Tabla 3.1.3.a-HE1 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica,  $Q_{100,lim}$  [ $m^3/h \cdot m^2$ ]**

|                                                                | Zona climática de invierno |           |           |          |          |          |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
|                                                                | $\alpha$                   | A         | B         | C        | D        | E        |
| Permeabilidad al aire de huecos ( $Q_{100,lim}$ ) <sup>*</sup> | $\leq 27$                  | $\leq 27$ | $\leq 27$ | $\leq 9$ | $\leq 9$ | $\leq 9$ |

<sup>\*</sup> La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa,  $Q_{100}$ .

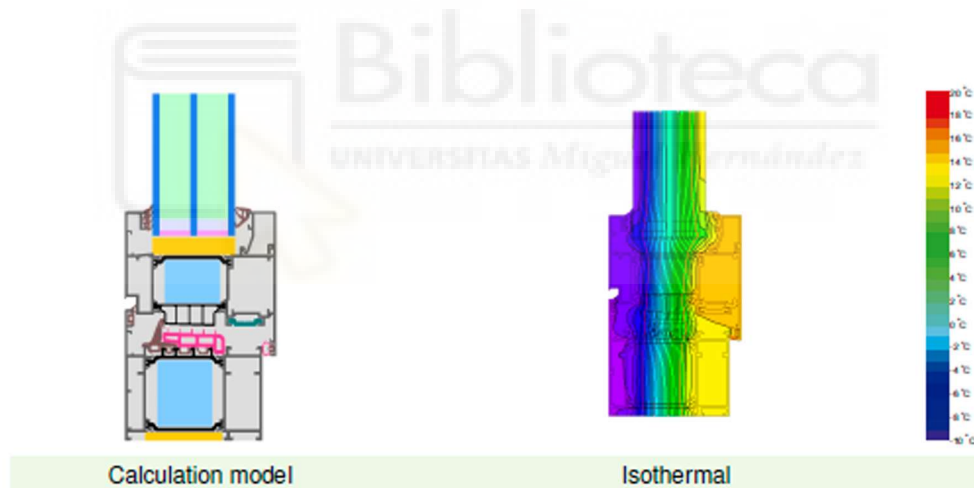
Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ( $\leq 27 m^3/h \cdot m^2$ ) y clase 3 ( $\leq 9 m^3/h \cdot m^2$ ) de la UNE-EN 12207:2017.

La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

De esta tabla se obtiene que para la zona climática de nuestro proyecto (zona D), necesitamos un hueco de clase 3 ( $\leq 9 m^3/h \cdot m^2$ ).

Para las carpinterías elegidas, vemos que son de clase 4 ( $3 m^3/h \cdot m^2$ ).

Para escoger los marcos, se ha buscado en la base de datos de Passive House Institute, escogiendo un marco de aluminio con RPT. El modelo que escogemos es el COR-80, cuyo valor de transmitancia térmica del arco es de  $0,94 W/(m^2 \cdot K)$ . El color de la carpintería es de un tono medio en color gris, de acabado mate y cuya absorptividad es de 0,65.



El valor de la transmitancia total de la energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil, se obtienen de la tabla 12 del documento de apoyo al DB HE-1.

En este punto diferenciaremos entre dos tipos de huecos:

- Los situados en fachada norte, donde se considera como protección interior una cortina de tela, en color blanca características ( $w_i=0,51$ ).
- El resto de los huecos se consideran con una protección exterior mediante una persiana de aluminio blanca ( $w_i=0,05$ ).

También se tiene en consideración el empleo y colocación de toldos como accesorio en todos los huecos situados al exterior, durante los periodos comprendidos entre abril y octubre, con ello conseguimos un coeficiente de corrección de factor solar de 0,2.

#### *1.4.1.3. Sistemas de Climatización*

En el RITE, concretamente en la IT 1.2.4.5.2 en el apartado donde se hace referencia a Recuperación de calor de aire de extracción, se especifica lo siguiente:

Referente a los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos sea superior a  $Q=0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ , de acuerdo con lo que se establece en el reglamento de diseño ecológico para las unidades de ventilación se recuperará la energía del aire expulsado.

En el caso que nos compete, tenemos un edificio con un caudal de extracción calculado de  $1693 \text{ l/s}$  (aproximadamente  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), por lo que vamos a emplear un sistema de recuperación de calor que nos producirá una mejora de las condiciones energéticas del edificio en cuestión.

Se opta por la introducción del recuperador de calor, ubicando uno por cada planta del edificio. La ubicación de este será en el falso techo de las salas destinadas para instalaciones de cada una de las plantas y de ahí se extraerán 2 conducciones que corresponderán a la impulsión y extracción del mismo aparato y que estarán conectadas, la extracción hacia la cubierta del edificio y la impulsión a las rejillas de cada uno de los conductos de ventilación.

Otros conductos serán los encargados de hacer la recirculación del aire desde cada uno de los recintos con los caudales que se han calculado.

La elección que hemos hecho es decantarnos por un recuperador de tipo entálpico, el cual permite la transferencia de la humedad del aire, además de transferir toda aquella energía que es sensible al cambio y que es capaz de mover un caudal superior a  $Q=600 \text{ l/s}$ . El modelo elegido es el GREE ERV 145HP, cuya eficiencia sensible y latente es del 77% y cuya ficha técnica se ha adjuntado en los anejos.

Relativo a las instalaciones de climatización, existen dos tipos de equipos que están destinados para dos zonas distintas, unos de refrigeración por agua y otros por aire:

- Se disponen de sistema de climatización por aire que usará máquina central con conductos de fibra de vidrio marca URSA.

Todas las características de los equipos generadores mencionados se han especificado en el enunciado y son los siguientes para el sistema de climatización por agua:

- Planta enfriadora: DAIKIN (este equipo puede usarse tanto en modo calor como enfriadora), consiste en 3 unidades independientes modelo para unidad exterior EMRQ16AB, y cuyos modelos interiores son EKHB RD016ADY17 de estas se disponen tres unidades.
  1. Potencia nominal: 54000W
  2. EER nominal: 3.69

Tipo de condensador: Enfriado por aire

- Caldera de condensación: Viessmann Vitodenss 200-W- 120KW Gas Natural
  - Potencia nominal: 120000W
  - Eficiencia nominal: 0.98
  - Circuitos agua fría: impulsión 7°C, retorno 12°C
  - Circuitos agua caliente: impulsión 70°C, retorno 60°C

El modelo que usaremos es un sistema con caudal de refrigerante variable (VRF) de la marca GREE modelo UMATCH, cuyas características técnicas se adjuntan en los anejos y se resumen a continuación:

- Potencia nominal de refrigeración 28300W
- EER nominal 3.64
- Potencia nominal de calefacción 31500W
- COP nominal 4.25

Se han seleccionado unidades interiores para climatización de tipo conductos en aquellos recintos especificados de tres potencias distintas, según las cargas que tenemos que vencer en cada uno de los recintos:

- GREE UMATCH CTD 12 (3.5 KW): Salas, oficinas
- GREE UMATCH CTD 18 (5.3 KW): Baños, circulaciones y cocina.
- GREE UMATCH CTD 24 (7.1 KW): Aulas

#### 1.4.1.4. Sistemas de ACS

Para el cálculo de la demanda de referencia de ACS para edificios de uso distinto al residencial privado, se considerarán los valores de la tabla 4.1. Demanda de referencia a 60º C, del documento básico HE4.

El consumo unitario para el criterio de la demanda “Escuela sin ducha” se establece en unos 4 l/día y el número de ocupantes se establece teniéndose en cuenta los siguientes criterios:

- Se considera un consumo constante e igual al 100% a lo largo de todo el año.
- Se ha considerado como usuarios habituales para el consumo de agua caliente a las personas trabajadoras del centro, y para ello se ha hecho una estimación del número de personas en un total de 300 personas.

La demanda de ACS calculada es igual a 300 personas X 4 l/persona y día = 1200 l/día.

La instalación de Agua Caliente Sanitaria en el edificio descrito está cubierta por una caldera de gas natural de baja temperatura, el modelo es el GT225 de “VIESSMANN VITODENS” con una potencia útil de 50 KW y un rendimiento nominal del 94,7% PCI. Esta caldera está conectada al Inter acumulador “Vitocell” de “VIESSMANN”, con un volumen de acumulación de 2000 litros.

Las características técnicas se adjuntan en los anejos.



#### 1.4.2. Justificación del cumplimiento del DB-HE0 del CTE DB-HE 2019

El edificio objeto del presente documento es un edificio de nueva construcción, por lo que según el punto 1 “Ámbito de aplicación del DB-HE0”: Limitación del consumo energético, es de aplicación esta sección.

##### *a) Consumo de energía primaria*

El consumo energético de los edificios se limitará en función de la zona climática para invierno, de la localidad del emplazamiento, de la ubicación y por último del uso del edificio.

El “Consumo de energía primaria no renovable” (CEP, NREN) de los espacios contenidos en el interior de la envolvente térmica del edificio, o en su defecto, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite (CEP, NREN,LIM) obtenido en la tabla 3.1.b-HE0:

**Tabla 3.1.b - HE0**

**Valor límite  $C_{ep,nren,lim}$  [kW·h/m<sup>2</sup>·año] para uso distinto del residencial privado**

**Zona climática de invierno**

| $\alpha$              | A                     | B                     | C                     | D                     | E                     |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $70 + 8 \cdot C_{FI}$ | $55 + 8 \cdot C_{FI}$ | $50 + 8 \cdot C_{FI}$ | $35 + 8 \cdot C_{FI}$ | $20 + 8 \cdot C_{FI}$ | $10 + 8 \cdot C_{FI}$ |

$C_{FI}$ : Carga interna media[W/m<sup>2</sup>]

Como nos encontramos en una zona climática de tipo D, y cuyo uso es distinto al residencial privado, tendremos un valor límite de  $20 + 8 \cdot C_{FI}$ .

La carga interna media del edificio, según los cálculos realizados con el software CYPETHERM HE-PLUS a partir de la definición de los recintos, es de 7,14 W/m<sup>2</sup>, con lo que el valor del consumo energético anual por superficie útil de energía primaria no renovable deberá ser menor o igual a:

$$C_{ep,nren} \leq 20 + 8 \cdot 7.14 = 77.10 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$

$$C_{ep,nren} = 6.83 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} \leq C_{ep,nren,lim} = 20 + 8 \cdot C_{FI} = 47.14 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde:

$C_{ep,nren}$ : Valor calculado del consumo de energía primaria no renovable, kWh/m<sup>2</sup>·año.

$C_{ep,nren,lim}$ : Valor límite del consumo de energía primaria no renovable (tabla 3.1.b, CTE DB HE 0), kWh/m<sup>2</sup>·año.

$C_{FI}$ : Carga interna media del edificio (Anejo A, CTE DB HE), 3.39 W/m<sup>2</sup>.

## 1.2. Consumo energético anual por superficie útil de energía primaria total.

$$C_{ep,tot} = 58.73 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} \leq C_{ep,tot,lim} = 130 + 9 \cdot C_{FI} = 160.53 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde:

$C_{ep,tot}$ : Valor calculado del consumo de energía primaria total, kWh/m<sup>2</sup>·año.

$C_{ep,tot,lim}$ : Valor límite del consumo de energía primaria total (tabla 3.2.b, CTE DB HE 0), kWh/m<sup>2</sup>·año.

$C_{FI}$ : Carga interna media del edificio (Anejo A, CTE DB HE), 3.39 W/m<sup>2</sup>.

## 1.3. Horas fuera de consigna

$$h_{fc} = 5.25 \text{ h/año} \leq 0.04 \cdot t_{ocu} = 74.16 \text{ h/año}$$

donde:

$h_{fc}$ : Horas fuera de consigna del edificio al año, h/año.

$t_{ocu}$ : Tiempo total de ocupación del edificio al año, h/año.

El consumo de energía primaria total (CEP, TOT) de los espacios contenidos en el interior de la envolvente térmica del edificio o, en su caso, de la parte del edificio considerada, no superará el valor límite (CEP, TOT, LIM) obtenido de la tabla 3.2.b-HE0:



**Tabla 3.2.b - HE0**  
**Valor límite  $C_{ep,tot,lim}$  [kW·h/m<sup>2</sup>·año] para uso distinto del residencial privado**

| Zona climática de invierno                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha$                                          | A                      | B                      | C                      | D                      | E                      |
| $165 + 9 \cdot C_{FI}$                            | $155 + 9 \cdot C_{FI}$ | $150 + 9 \cdot C_{FI}$ | $140 + 9 \cdot C_{FI}$ | $130 + 9 \cdot C_{FI}$ | $120 + 9 \cdot C_{FI}$ |
| $C_{FI}$ : Carga interna media[W/m <sup>2</sup> ] |                        |                        |                        |                        |                        |

Como estamos en una zona climática D, y en un uso distinto al residencial privado, tenemos un valor límite de  **$130 + 9 \cdot C_{FI}$** .

$$C_{ep,tot} \leq 130 + 9 \cdot 7.14 = 194.24 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$$

Los resultados de cálculo muestran el siguiente consumo energético anual por superficie útil de energía primaria total:

$$C_{ep,tot} = 58.73 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año} \leq C_{ep,tot,lim} = 130 + 9 \cdot C_{FI} = 160.53 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$$



#### *b) Procedimiento de cálculo empleado*

El procedimiento de cálculo debe permitir determinar la eficiencia energética, expresada como consumo de energía primaria no renovable (CEP, NREN), y el consumo de energía primaria total (CEP,TOT), necesario para mantener el edificio, o parte del edificio, por periodo de un año en las condiciones operacionales, cuando se somete a las solicitudes interiores y solicitudes exteriores definidas reglamentariamente.

En nuestro caso, la simulación se ha realizado mediante el software CYPETHERM HE-PLUS, introduciendo de forma detallada los aspectos necesarios según el punto 4.1.3 del CTE-DB-HE0.

El procedimiento de cálculo empleado tiene como objetivo determinar el consumo de energía primaria del edificio procedente de fuentes de energía renovables y no renovables. Para ellos, se ha empleado el documento reconocido CYPETHERM HE PLUS. Mediante el uso del este programa, se realiza una simulación anual por intervalos horarios de un modelo térmico zonal del edificio con el motor de cálculo de referencia EnergyPlus en su versión 9.1, en la cual, hora por hora, se ha realizado el cálculo de la distribución de las demandas energéticas a satisfacer en cada zona del modelo térmico para mantener las condiciones operacionales definidas, determinando, para cada equipo técnico, su punto de trabajo, la energía útil aportada y la energía final consumida, desglosando el consumo energético por equipo, servicio técnico y vector energético utilizado

El cálculo de la energía primaria que corresponde a la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio, teniendo en cuenta la contribución de la energía producida in situ, se

realiza mediante el programa CTE-EPBD que es un software integrado en CYPETHERM HE PLUS, desarrollado por IETcc-CSIC en el marco del convenio junto al Ministerio de Fomento, que implementa la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios que se describe en la norma EN ISO 52000-1:2017.

La metodología descrita, considera los aspectos recogidos en el apartado 4.1 del CTE DB HE0.

#### *c) Factores empleados para la conversión de energía final a energía primaria*

Los factores de conversión de energía final a energía primaria procedente de aquellas fuentes de tipo renovables y no renovables corresponden a los publicados en el Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) “Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España”, conforme al apartado 4.1.5 del CTE DB HE0. Los valores empleados se han obtenido a través del programa CTE EPBD.

Para las fuentes de energía utilizadas en el edificio que no se encuentran definidas en dicho documento, se han considerado los factores de conversión correspondientes a los vectores energéticos “Red 1 y Red 2”.

| Vector energético               | f <sub>cep,nren</sub> f <sub>cep,ren</sub> |                      |
|---------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
|                                 | f <sub>cep,nren</sub>                      | f <sub>cep,ren</sub> |
| Medioambiente                   | 0                                          | 1.000                |
| Gas natural                     | 1.190                                      | 0.005                |
| Electricidad producida in situ  | 0                                          | 1.000                |
| Electricidad obtenida de la red | 1.954                                      | 0.414                |

donde:

*f<sub>cep,nren</sub>*: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.

*f<sub>cep,ren</sub>*: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes renovables.

#### *d) Consumo energético de los distintos servicios técnicos*

A continuación, se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

| Servicios técnicos | EF        |                           | EP <sub>tot</sub> |                           | EP <sub>nren</sub> |                           |
|--------------------|-----------|---------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
|                    | (kWh/año) | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) | (kWh/año)         | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) | (kWh/año)          | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |
| Calefacción        | 44009.47  | 20.85                     | 48357.30          | 22.91                     | 3782.96            | 1.79                      |
| Refrigeración      | 6339.37   | 3.00                      | 7361.15           | 3.49                      | 1460.83            | 0.69                      |
| ACS                | 30311.25  | 14.36                     | 31652.74          | 14.99                     | 1914.70            | 0.91                      |
| Ventilación        | 12426.86  | 5.89                      | 14433.09          | 6.84                      | 2864.66            | 1.36                      |
| Iluminación        | 19094.11  | 9.04                      | 22176.34          | 10.51                     | 4401.49            | 2.09                      |
|                    | 112181.07 | 53.14                     | 123978.51         | 58.73                     | 14424.65           | 6.83                      |

donde:

$S_u$ : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.

EP<sub>tot</sub>: Consumo de energía primaria total.

EP<sub>nren</sub>: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

ñ

#### e) Demanda energética de calefacción, refrigeración y ACS

La demanda energética del edificio que debe satisfacerse en el cálculo realizado del consumo de energía primaria, aquella magnitud de control conforme a la exigencia de limitación del consumo energético HE0, es la correspondiente a la suma de la energía demandada de calefacción, la energía demandada de refrigeración y la demanda de ACS para el edificio en cuestión teniendo en cuenta las condiciones operacionales definidas.

La demanda energética correspondiente a los servicios de agua caliente sanitaria de las zonas habitables del edificio se determina conforme a las indicaciones del apartado 4.1.8 del CTE DB HE0.

El salto térmico que se ha utilizado en el cálculo de la energía térmica necesaria se realiza entre una temperatura de referencia definida en la zona, y la temperatura del agua de red en el emplazamiento del edificio proyectado, de valores:

|                             | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                             | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) |
| Temperatura del agua de red | 7.0  | 8.0  | 9.0  | 11.0 | 14.0 | 17.0 | 19.0 | 19.0 | 16.0 | 13.0 | 9.0  | 7.0  |

A continuación, se muestran los resultados del cálculo de la demanda energética de ACS para cada zona habitable del edificio, junto con las demandas diarias.

| Zonas habitables   | Q <sub>ACS</sub><br>(l/día) | T <sub>ref</sub><br>(°C) | S <sub>u</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | D <sub>ACS</sub> |                           |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------------|
|                    |                             |                          |                                     | (kWh/año)        | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |
| Climatización agua | 666.7                       | 60.0                     | 662.61                              | 14313.65         | 21.60                     |

| Zonas habitables           | $Q_{ACS}$<br>(l/día) | $T_{ref}$<br>(°C) | $S_u$<br>(m <sup>2</sup> ) | $D_{ACS}$<br>(kWh/año) (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |              |
|----------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|--------------|
| Climatización autónomos    | 666.7                | 60.0              | 138.47                     | 14313.65                                         | 103.37       |
| Habitable no acondicionado | 666.7                | 60.0              | 123.70                     | 14313.65                                         | 115.72       |
|                            | <b>2000.0</b>        |                   | <b>924.78</b>              | 42940.94                                         | <b>46.43</b> |

donde:

$Q_{ACS}$ : Caudal diario demandado de agua caliente sanitaria, l/día.

$T_{ref}$ : Temperatura de referencia, °C.

$S_u$ : Superficie útil de la zona habitable, m<sup>2</sup>.

$D_{ACS}$ : Demanda energética correspondiente al servicio de agua caliente sanitaria incluyendo pérdidas por acumulación, distribución y recirculación, kWh/m<sup>2</sup>·año.

La demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio se obtiene mediante el procedimiento de cálculo descrito anteriormente, determinando para cada hora del día y para todos los días el consumo energético de un sistema ideal con potencia instantánea e infinita con rendimiento unitario.

Se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

| Zonas habitables           | $S_u$<br>(m <sup>2</sup> ) | $D_{cal}$<br>(kWh/año) | $D_{ref}$<br>(kWh/año) | $D_{ref}$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ·año) |              |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------------|--------------|
| Climatización agua         | 662.61                     | 8866.02                | 13.38                  | 12831.02                               | 19.36        |
| Climatización autónomos    | 138.47                     | 3469.19                | 25.05                  | 2668.38                                | 19.27        |
| Habitable no acondicionado | 123.70                     | --                     | --                     | --                                     | --           |
|                            | <b>924.78</b>              | 12335.21               | <b>13.34</b>           | 15499.41                               | <b>16.76</b> |

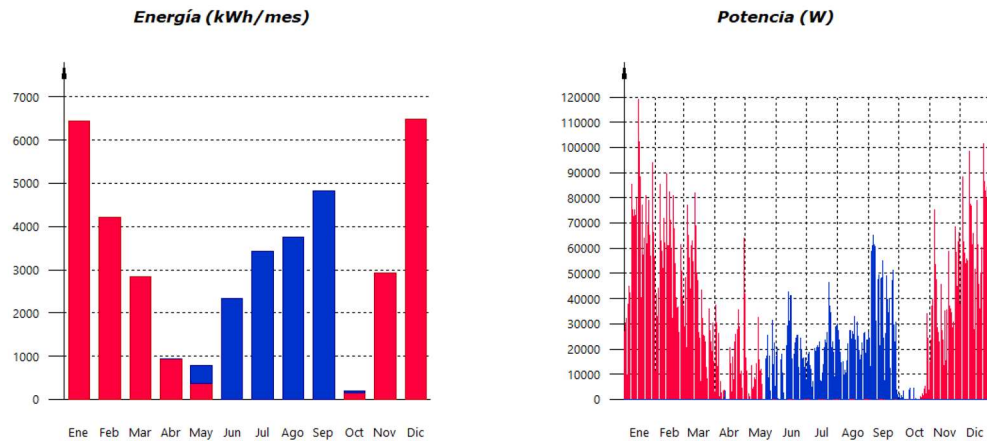
donde:

$S_u$ : Superficie útil de la zona habitable, m<sup>2</sup>.

$D_{cal}$ : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/año.

$D_{ref}$ : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>·año.

Atendiendo únicamente a la demanda energética a cubrir por los sistemas de calefacción y refrigeración, las necesidades energéticas y necesidades de potencia útil instantánea a lo largo de la simulación anual se muestran a continuación:



*f) Número de horas fuera de consigna y valor límite aplicable*

En este apartado se muestran con detalle el número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios habitables acondicionados del edificio se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1°C para calefacción y 1°C para refrigeración. Se considera que el edificio se encuentra fuera de consigna cuando cualquiera de dichos espacios lo está.

$$h_{fc} = 5.25 \text{ h/año} \leq 0.04 \cdot t_{ocu} = 74.16 \text{ h/año}$$

donde:

$h_{fc}$ : Horas fuera de consigna del edificio al año, h/año.

$t_{ocu}$ : Tiempo total de ocupación del edificio al año, h/año.

*g) Energía producida y aportación de energía procedente de fuentes renovables*

Se realiza una aportación de energía procedente de fuentes renovables:

- Energía eléctrica producida in situ.
- Energía térmica producida in situ.

A continuación, se describe brevemente los sistemas productores de energía:

- Energía eléctrica: Se considera un campo solar fotovoltaico de 23 KWp instalados, con una producción anual aproximada de unos 39275 KWh. Dicho campo solar se ubicará dentro del terreno que está anexo al Colegio objeto de estudio, y una posible disposición de los captadores podría ser 46 paneles de 500 Wp. Para conocer los detalles de la instalación es necesario realizar un estudio más detallado.

| Sistema de producción                | Origen    | Ene<br>(kWh)  | Feb<br>(kWh)  | Mar<br>(kWh)  | Abr<br>(kWh)  | May<br>(kWh)  | Jun<br>(kWh)  |
|--------------------------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Solar fotovoltaica 23 kWp instalados | Renovable | 2543.1        | 2697.6        | 3430.8        | 3526.6        | 3662.0        | 3689.0        |
| <b>TOTAL</b>                         |           | <b>2543.1</b> | <b>2697.6</b> | <b>3430.8</b> | <b>3526.6</b> | <b>3662.0</b> | <b>3689.0</b> |

| Sistema de producción                | Origen    | Jul<br>(kWh)  | Ago<br>(kWh)  | Sep<br>(kWh)  | Oct<br>(kWh)  | Nov<br>(kWh)  | Dic<br>(kWh)  | Año<br>(kWh)   |
|--------------------------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Solar fotovoltaica 23 kWp instalados | Renovable | 4003.5        | 3964.0        | 3540.2        | 3170.5        | 2524.3        | 2523.3        | 39274.9        |
| <b>TOTAL</b>                         |           | <b>4003.5</b> | <b>3964.0</b> | <b>3540.2</b> | <b>3170.5</b> | <b>2524.3</b> | <b>2523.3</b> | <b>39274.9</b> |

- Energía térmica: Se considera que se disponen en la cubierta del edificio 16 captadores solares cuya capacidad total anual de producción sea unos 30058 KWh, que se corresponde al 70% del porcentaje de demanda de ACS total del edificio.

| Sistema de producción     | Servicio | Ene<br>(kWh)  | Feb<br>(kWh)  | Mar<br>(kWh)  | Abr<br>(kWh)  | May<br>(kWh)  | Jun<br>(kWh)  |
|---------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Energía térmica renovable | ACS      | 2869.5        | 2544.0        | 2710.7        | 2559.9        | 2486.5        | 2252.7        |
| <b>TOTAL</b>              |          | <b>2869.5</b> | <b>2544.0</b> | <b>2710.7</b> | <b>2559.9</b> | <b>2486.5</b> | <b>2252.7</b> |

| Sistema de producción     | Servicio | Jul<br>(kWh)  | Ago<br>(kWh)  | Sep<br>(kWh)  | Oct<br>(kWh)  | Nov<br>(kWh)  | Dic<br>(kWh)  | Año<br>(kWh)   |
|---------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Energía térmica renovable | ACS      | 2169.0        | 2169.0        | 2252.7        | 2552.0        | 2623.3        | 2869.5        | 30058.7        |
| <b>TOTAL</b>              |          | <b>2169.0</b> | <b>2169.0</b> | <b>2252.7</b> | <b>2552.0</b> | <b>2623.3</b> | <b>2869.5</b> | <b>30058.7</b> |

#### *h) Sistemas empleados y rendimientos considerados*

En el punto 4.1 se han detallado los sistemas empleados, así como los rendimientos considerados. Se realiza un resumen de dicho punto:

| SISTEMA              | EQUIPO                          | RENDIMIENTO |
|----------------------|---------------------------------|-------------|
| ACS                  | Daikin ERWQ02AV3 + EKHHP300A2V3 | 2.5         |
| PLANTA ENFRIADORA    | Trane modelo CGCM 025           | 2.46        |
| CALDERA CONDENSACIÓN | VITODENNS 120KW-200W            | 0.98        |
| SISTEMA VRV          | GREE, MODELO U-MATCH            | 4.0/ 6.1    |

|                       |          |      |
|-----------------------|----------|------|
| RECUPERADOR ENTÁLPICO | GREE ERV | 0.77 |
|-----------------------|----------|------|

#### 1.4.3. Justificación del cumplimiento del DB-HE1 del CTE DB-HE 2019

El edificio objeto del presente documento es un edificio de nueva construcción, por lo que según el punto 1 “Ámbito de aplicación del DB-HE1: condiciones para el control de la demanda energética, es de aplicación esta sección.

##### 1.4.3.1 Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica

Se define como compacidad ( $V/A$ ) como la relación entre el volumen encerrado por la envolvente térmica ( $V$ ) del edificio (o parte del edificio) y la suma de las superficies de intercambio térmico con el aire exterior o el terreno de dicha envolvente térmica. En el caso estudiado el valor de la compacidad es de 2.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

|                            | S<br>(m <sup>2</sup> ) | V<br>(m <sup>3</sup> ) | V <sub>inf</sub><br>(m <sup>3</sup> ) | Q <sub>sol,jul</sub><br>(kWh/mes) | n <sub>50</sub><br>(h <sup>-1</sup> ) | q <sub>sol,jul</sub><br>(kWh/m <sup>2</sup> /mes) | V/A<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Climatización agua         | 662.61                 | 3026.61                | 2716.72                               | 1843.70                           | 2.652                                 | -                                                 | -                                        |
| Climatización autónomos    | 138.47                 | 670.07                 | 567.72                                | 319.50                            | 3.112                                 | -                                                 | -                                        |
| Habitable no acondicionado | 123.70                 | 575.22                 | 502.46                                | 62.57                             | 4.191                                 | -                                                 | -                                        |
| No habitable               | --                     | 468.92                 | 417.49                                | 97.64                             | 4.648                                 | -                                                 | -                                        |
| <b>Envolvente térmica</b>  | <b>924.78</b>          | <b>4740.82</b>         | <b>4204.39</b>                        | <b>2323.42</b>                    | <b>3.1</b>                            | <b>2.51</b>                                       | <b>2.6</b>                               |

donde:

$S$ : Superficie útil interior, m<sup>2</sup>.

$V$ : Volumen interior, m<sup>3</sup>.

$V_{mf}$ : Volumen interior para el cálculo de las infiltraciones, m<sup>3</sup>.

$Q_{sol,jul}$ : Ganancias solares para el mes de julio de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

$n_{50}$ : Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h<sup>-1</sup>.

$q_{sol,jul}$ : Control solar, kWh/m<sup>2</sup>/mes.

$V/A$ : Compacidad (relación entre el volumen encerrado y la superficie de intercambio con el exterior), m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Con este valor de compacidad, y realizando una interpolación, se obtiene el valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, Klim (W/m<sup>2</sup>K) de la tabla 3.1.1.c-HE1, que es de 0,62 W/m<sup>2</sup>K.

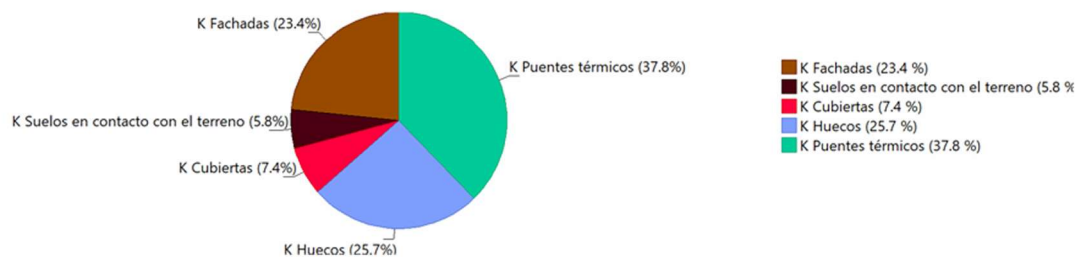


Los resultados que muestra el software CYPETHERM HE Plus, muestran que nuestro edificio tiene un coeficiente de transmitancia térmica global de 0,62 W/(m<sup>2</sup>·K),

$$K = 0.62 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \leq K_{lim} = 0.62 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Con este valor vemos que el edificio de estudio cumple con el valor de la transmitancia térmica.

En el siguiente gráfico se muestra el porcentaje que supone cada elemento en el coeficiente global:



- Los cerramientos opacos suponen el 36,52% del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).
- Los huecos suponen el 25,69% del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).
- Los puentes térmicos suponen el 37,79% del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

#### 1.4.3.2 Control solar de la envolvente térmica

Definimos como control solar (QSOL, JUL) como la relación entre las ganancias solares para el mes de Julio, (QSOL, JUL) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas, y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica (A<sub>útil</sub>). El parámetro de control solar no superará el valor límite de la siguiente tabla 3.1.2-HE1, que para usos distintos al residencial privado es de 4 kWh/m<sup>2</sup>.mes.

$$q_{sol,jul} = 2.51 \text{ kWh/m}^2 \leq q_{sol,jul\_lim} = 4.00 \text{ kWh/m}^2$$

donde:

$q_{sol,jul}$ : Valor calculado del parámetro de control solar, kWh/m<sup>2</sup>.

$q_{sol,jul\_lim}$ : Valor límite del parámetro de control solar, kWh/m<sup>2</sup>.



a) Valores límite de los parámetros de la envolvente térmica

El valor de la transmitancia térmica (U) de cada elemento perteneciente a la envolvente térmica no superará el valor límite (U<sub>lim</sub>) de la tabla 3.1.1.a-HE1:

**Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U<sub>lim</sub> [W/m²K]**

| Elemento                                                                                                                                                                                              | Zona climática de invierno |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                       | α                          | A    | B    | C    | D    | E    |
| Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U <sub>s</sub> , U <sub>M</sub> )                                                                                                                    | 0,80                       | 0,70 | 0,56 | 0,49 | 0,41 | 0,37 |
| Cubiertas en contacto con el aire exterior (U <sub>c</sub> )                                                                                                                                          | 0,55                       | 0,50 | 0,44 | 0,40 | 0,35 | 0,33 |
| Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U <sub>T</sub> )<br>Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U <sub>MD</sub> ) | 0,90                       | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,59 |
| Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U <sub>H</sub> )*                                                                                                                | 3,2                        | 2,7  | 2,3  | 2,1  | 1,8  | 1,80 |
| Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%                                                                                                                                       |                            |      |      | 5,7  |      |      |

Los elementos que forman la envolvente térmica se han descrito en el punto 4.1 del presente documento. A continuación, se muestran los valores resumidos:

- SOLERA Transmitancia térmica, U: 0,19 W/(m².K)
- FACHADA Transmitancia térmica, U: 0,30 W/(m².K)
- HUECOS Transmitancia térmica, U: 1,08 W/(m².K)
- CUBIERTA Transmitancia térmica, U: 0,25 W/(m².K)

Para concluir:

Transmitancia de la envolvente térmica: Ninguno de los elementos de la envolvente térmica (elementos opacos) supera el valor límite de transmitancia térmica descrito en la tabla 3.1.1.a del DB HE1.

*1.4.3.3 Caracterización geométrica, constructiva e higratérmica de los elementos afectados por la comprobación de la limitación de descompensaciones, así como sus valores límite.*

La transmitancia térmica de las particiones interiores no superará el valor de la tabla 3.2-HE1, en función del uso asignado a las distintas unidades de uso que delimiten:

**Tabla 3.2 - HE1 Transmisión térmica límite de particiones interiores,  $U_{lim}$  [W/m²K]**

|                                                                         |                                       | Zona climática de invierno |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                                                         |                                       | $\alpha$                   | A    | B    | C    | D    | E    |
| Entre unidades del mismo uso                                            | Particiones horizontales              | 1,90                       | 1,80 | 1,55 | 1,35 | 1,20 | 1,00 |
|                                                                         | Particiones verticales                | 1,40                       | 1,40 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,00 |
| Entre unidades de distinto uso<br>Entre unidades de uso y zonas comunes | Particiones horizontales y verticales | 1,35                       | 1,25 | 1,10 | 0,95 | 0,85 | 0,70 |

El edificio tiene una única unidad de uso, por lo cual tendremos dos elementos que formarán las particiones interiores, estas deben cumplir con el valor de transmisión térmica límite:

- Forjado entre plantas

$$U_f = 1.15 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{lim} = 1.20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- tabiquería interior

$$U_t = 1.06 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{lim} = 1.20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Este valor será inferior al valor límite de transmisión, con lo cual cumpliríamos la normativa.

#### 1.4.3.4 Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

En el apartado 4.1, hemos definido constructivamente los elementos de la envolvente térmica y a continuación se exponen el resto de los parámetros para la justificación de la exigencia:

- Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos supondrán el 36,52% del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica ( $K$ ).

|                           | Tipo                                                                              | S<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | a    | O.<br>(°)  | S·U<br>(W/K)  |   |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------|------------|---------------|---|
| <b>Climatización agua</b> |                                                                                   |                        |                              |                                             |      |            |               |   |
| Fachada                   |  | 148.22                 | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 44.47         | ✓ |
| Fachada                   |  | 219.26                 | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Norte(0)   | 65.79         | ✓ |
| Fachada                   |  | 71.43                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Este(90)   | 21.43         | ✓ |
| Fachada                   |  | 25.69                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 7.71          | ✓ |
| Cubierta                  |  | 216.77                 | 0.25                         | 0.35                                        | 0.60 | -          | 53.95         | ✓ |
| Solera                    |  | 229.08                 | 0.19                         | 0.65                                        | -    | -          | 43.74         | ✓ |
|                           |                                                                                   |                        |                              |                                             |      |            | <b>237.10</b> |   |

|                                | Tipo                                                                              | S<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | a    | O.<br>(°)  | S·U<br>(W/K) |   |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------|------------|--------------|---|
| <b>Climatización autónomos</b> |                                                                                   |                        |                              |                                             |      |            |              |   |
| Fachada                        |  | 75.30                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Norte(0)   | 22.59        | ✓ |
| Fachada                        |  | 31.52                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 9.46         | ✓ |
| Cubierta                       |  | 60.89                  | 0.25                         | 0.35                                        | 0.60 | -          | 15.16        | ✓ |
| Solera                         |  | 16.68                  | 0.19                         | 0.65                                        | -    | -          | 3.19         | ✓ |
|                                |                                                                                   |                        |                              |                                             |      |            | <b>50.39</b> |   |

|                                   | Tipo                                                                                | S<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | a    | O.<br>(°)  | S·U<br>(W/K) |   |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------|------------|--------------|---|
| <b>Habitable no acondicionado</b> |                                                                                     |                        |                              |                                             |      |            |              |   |
| Fachada                           |  | 29.41                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 8.82         | ✓ |
| Fachada                           |  | 50.48                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Sur(181)   | 15.15        | ✓ |
| Fachada                           |  | 24.03                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Este(91)   | 7.21         | ✓ |
| Fachada                           |  | 48.37                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 14.51        | ✓ |
| Fachada                           |  | 5.94                   | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Este(90)   | 1.78         | ✓ |
| Fachada                           |  | 4.96                   | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(269) | 1.49         | ✓ |
| Fachada                           |  | 11.36                  | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Norte(0)   | 3.41         | ✓ |
| Cubierta                          |  | 25.80                  | 0.25                         | 0.35                                        | 0.60 | -          | 6.42         | ✓ |
| Solera                            |  | 67.48                  | 0.19                         | 0.65                                        | -    | -          | 12.89        | ✓ |
|                                   |                                                                                     |                        |                              |                                             |      |            | <b>71.68</b> |   |

|                     | Tipo                                                                                | S<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | a    | O.<br>(°)  | S·U<br>(W/K) |   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------|------------|--------------|---|
| <b>No habitable</b> |                                                                                     |                        |                              |                                             |      |            |              |   |
| Fachada             |    | 12.66                  | 0.21 (b = 0.71)              | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 3.80         | ✓ |
| Fachada             |    | 24.03                  | 0.21 (b = 0.71)              | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 7.21         | ✓ |
| Fachada             |    | 11.03                  | 0.17 (b = 0.56)              | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 3.31         | ✓ |
| Fachada             |    | 5.23                   | 0.11 (b = 0.35)              | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 1.57         | ✓ |
| Fachada             |    | 12.66                  | 0.23 (b = 0.76)              | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 3.80         | ✓ |
| Fachada             |    | 15.07                  | 0.23 (b = 0.76)              | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 4.52         | ✓ |
| Fachada             |    | 12.66                  | 0.22 (b = 0.75)              | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 3.80         | ✓ |
| Fachada             |    | 15.07                  | 0.22 (b = 0.75)              | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 4.52         | ✓ |
| Fachada             |    | 11.03                  | 0.18 (b = 0.60)              | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 3.31         | ✓ |
| Fachada             |    | 3.76                   | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Oeste(270) | 1.13         | ✓ |
| Fachada             |    | 8.08                   | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Sur(180)   | 2.43         | ✓ |
| Fachada             |    | 9.91                   | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Norte(0)   | 2.97         | ✓ |
| Fachada             |    | 3.76                   | 0.30                         | 0.41                                        | 0.40 | Este(90)   | 1.13         | ✓ |
| Cubierta            |    | 17.45                  | 0.19 (b = 0.75)              | 0.35                                        | 0.60 | -          | 4.34         | ✓ |
| Cubierta            |    | 12.83                  | 0.15 (b = 0.60)              | 0.35                                        | 0.60 | -          | 3.19         | ✓ |
| Cubierta            |   | 3.64                   | 0.25                         | 0.35                                        | 0.60 | -          | 0.91         | ✓ |
| Solera              |  | 25.31                  | 0.14 (b = 0.71)              | 0.65                                        | -    | -          | 4.83         | ✓ |
| Solera              |  | 2.74                   | 0.07 (b = 0.35)              | 0.65                                        | -    | -          | 0.52         | ✓ |
| Solera              |  | 3.37                   | 0.03 (b = 0.16)              | 0.65                                        | -    | -          | 0.64         | ✓ |
|                     |                                                                                     |                        |                              |                                             |      |            | <b>57.95</b> |   |

donde:

S: Superficie, m<sup>2</sup>.

U: Transmitancia térmica, W/(m<sup>2</sup>·K).

U<sub>lim</sub>: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m<sup>2</sup>·K).

b: Coeficiente de reducción de temperatura.

a: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

## • Huecos

Los huecos suponen el 25,69% del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica ( K ).

|                           | S<br>(m <sup>2</sup> ) | O.<br>(°) | F <sub>f</sub><br>(%) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | S·U<br>(W/K) | g <sub>gl,n</sub> | g <sub>gl,sh,wi</sub> | Q <sub>sol,jul</sub><br>(kWh/mes) | %Q <sub>sol,jul</sub> |   |
|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| <b>Climatización agua</b> |                        |           |                       |                              |                                             |              |                   |                       |                                   |                       |   |
| V2 (395-400)              | 9.13                   | Norte(0)  | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.88         | 0.57              | 0.51                  | 203.41                            | 8.75                  | ✓ |
| V2 (245-250)              | 5.73                   | Norte(0)  | 0.13                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.18         | 0.56              | 0.51                  | 117.36                            | 5.05                  | ✓ |
| V1 (200-205)              | 3.60                   | Norte(0)  | 0.14                  | 1.08                         | 1.80                                        | 3.88         | 0.55              | 0.05                  | 6.77                              | 0.29                  | ✓ |
| V1 (200-205)              | 3.60                   | Sur(180)  | 0.14                  | 1.08                         | 1.80                                        | 3.88         | 0.55              | 0.05                  | 7.80                              | 0.34                  | ✓ |
| V2 (400-405)              | 9.20                   | Este(90)  | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.96         | 0.57              | 0.05                  | 47.54                             | 2.05                  | ✓ |
| V2 (400-405)              | 9.20                   | Este(90)  | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.96         | 0.57              | 0.05                  | 47.54                             | 2.05                  | ✓ |
| V1 (150-155)              | 2.70                   | Norte(0)  | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)              | 2.70                   | Norte(0)  | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.07                             | 1.98                  | ✓ |

|               | S<br>(m <sup>2</sup> ) | O.<br>(°)  | F <sub>F</sub><br>(%) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | S·U<br>(W/K) | g <sub>gl,a</sub> | g <sub>gl,sh,wi</sub> | Q <sub>est,jul</sub><br>(kWh/mes) | %Q <sub>est,jul</sub> |   |
|---------------|------------------------|------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.06                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (400-405)  | 7.20                   | Oeste(270) | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 7.79         | 0.57              | 0.05                  | 29.87                             | 1.29                  | ✓ |
| V1 (350-355)  | 6.30                   | Sur(180)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.82         | 0.57              | 0.05                  | 17.74                             | 0.76                  | ✓ |
| V2 (395-400)  | 9.13                   | Norte(0)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.88         | 0.57              | 0.51                  | 203.44                            | 8.76                  | ✓ |
| V1 (200-205)  | 3.60                   | Norte(0)   | 0.14                  | 1.08                         | 1.80                                        | 3.88         | 0.55              | 0.05                  | 6.77                              | 0.29                  | ✓ |
| V1 (200-205)  | 3.60                   | Sur(180)   | 0.14                  | 1.08                         | 1.80                                        | 3.88         | 0.55              | 0.05                  | 7.90                              | 0.34                  | ✓ |
| V2 (400-405)  | 9.20                   | Este(90)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.96         | 0.57              | 0.05                  | 47.54                             | 2.05                  | ✓ |
| V2 (400-405)  | 9.20                   | Este(90)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.96         | 0.57              | 0.05                  | 47.54                             | 2.05                  | ✓ |
| V2 (230-235)  | 5.29                   | Sur(180)   | 0.13                  | 1.08                         | 1.80                                        | 5.71         | 0.56              | 0.05                  | 13.06                             | 0.56                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.08                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.06                             | 1.98                  | ✓ |
| V2 (245-250)  | 5.73                   | Norte(0)   | 0.13                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.18         | 0.56              | 0.51                  | 117.39                            | 5.05                  | ✓ |
| V1 (350-355)  | 6.30                   | Sur(180)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.82         | 0.57              | 0.05                  | 17.64                             | 0.76                  | ✓ |
| V2 (395-400)  | 9.13                   | Norte(0)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.88         | 0.57              | 0.51                  | 203.44                            | 8.76                  | ✓ |
| V1 (200-205)  | 3.60                   | Norte(0)   | 0.14                  | 1.08                         | 1.80                                        | 3.88         | 0.55              | 0.05                  | 6.77                              | 0.29                  | ✓ |
| V1 (200-205)  | 3.60                   | Sur(180)   | 0.14                  | 1.08                         | 1.80                                        | 3.88         | 0.55              | 0.05                  | 7.90                              | 0.34                  | ✓ |
| V2 (400-405)  | 9.20                   | Este(90)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.96         | 0.57              | 0.05                  | 47.54                             | 2.05                  | ✓ |
| V2 (400-405)  | 9.20                   | Este(90)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 9.96         | 0.57              | 0.05                  | 47.54                             | 2.05                  | ✓ |
| V2 (230-235)  | 5.29                   | Sur(180)   | 0.13                  | 1.08                         | 1.80                                        | 5.71         | 0.56              | 0.05                  | 13.06                             | 0.56                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.08                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)  | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.06                             | 1.98                  | ✓ |
| V2 (245-250)  | 5.73                   | Norte(0)   | 0.13                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.18         | 0.56              | 0.51                  | 117.39                            | 5.05                  | ✓ |
| <b>193.00</b> |                        |            |                       |                              |                                             |              |                   |                       | <b>1843.70</b>                    | <b>79.35</b>          |   |

|                                   | S<br>(m <sup>2</sup> ) | O.<br>(°)  | F <sub>F</sub><br>(%) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | S·U<br>(W/K) | g <sub>gl,a</sub> | g <sub>gl,sh,wi</sub> | Q <sub>est,jul</sub><br>(kWh/mes) | %Q <sub>est,jul</sub> |   |
|-----------------------------------|------------------------|------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| <b>Climatización autónomos</b>    |                        |            |                       |                              |                                             |              |                   |                       |                                   |                       |   |
| V1 (150-155)                      | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)                      | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)                      | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.11                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (400-405)                      | 7.20                   | Oeste(270) | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 7.79         | 0.57              | 0.05                  | 29.87                             | 1.29                  | ✓ |
| V1 (350-355)                      | 6.30                   | Norte(0)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.82         | 0.57              | 0.05                  | 14.62                             | 0.63                  | ✓ |
| V1 (150-155)                      | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.09                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (150-155)                      | 2.70                   | Norte(0)   | 0.18                  | 1.07                         | 1.80                                        | 2.89         | 0.53              | 0.51                  | 46.11                             | 1.98                  | ✓ |
| V1 (400-405)                      | 7.20                   | Oeste(270) | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 7.79         | 0.57              | 0.05                  | 29.87                             | 1.29                  | ✓ |
| V1 (350-355)                      | 6.30                   | Norte(0)   | 0.11                  | 1.08                         | 1.80                                        | 6.82         | 0.57              | 0.05                  | 14.62                             | 0.63                  | ✓ |
| <b>43.69</b>                      |                        |            |                       |                              |                                             |              |                   |                       | <b>319.50</b>                     | <b>13.75</b>          |   |
| <b>Habitable no acondicionado</b> |                        |            |                       |                              |                                             |              |                   |                       |                                   |                       |   |
| V2 (175-180)                      | 4.02                   | Sur(180)   | 0.60                  | 1.00                         | 1.80                                        | 4.04         | 0.27              | 0.51                  | 49.51                             | 2.13                  | ✓ |

|              | S<br>(m <sup>2</sup> ) | O.<br>(°) | F <sub>f</sub><br>(%) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | S·U<br>(W/K) | g <sub>gla</sub> | g <sub>gla,sh,wi</sub> | Q <sub>sol,jul</sub><br>(kWh/mes) | %Q <sub>sol,jul</sub> |   |
|--------------|------------------------|-----------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------------|------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| P2           | 1.83                   | Norte(0)  | 1.00                  | 2.20                         | 5.70                                        | 4.02         | 0                | 0                      | 0                                 | 0                     | ✓ |
| V2 (230-235) | 5.29                   | Sur(180)  | 0.13                  | 1.08                         | 1.80                                        | 5.71         | 0.56             | 0.05                   | 13.06                             | 0.56                  | ✓ |
|              |                        |           |                       |                              |                                             | 13.77        |                  |                        | 62.57                             | 2.69                  |   |

|                     | S<br>(m <sup>2</sup> ) | O.<br>(°) | F <sub>f</sub><br>(%) | U<br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | U <sub>lim</sub><br>(W/(m <sup>2</sup> ·K)) | S·U<br>(W/K) | g <sub>gla</sub> | g <sub>gla,sh,wi</sub> | Q <sub>sol,jul</sub><br>(kWh/mes) | %Q <sub>sol,jul</sub> |   |
|---------------------|------------------------|-----------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------------|--------------|------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| <b>No habitable</b> |                        |           |                       |                              |                                             |              |                  |                        |                                   |                       |   |
| V2 (350-355)        | 8.05                   | Sur(180)  | 0.11                  | 0.77 (b = 0.71)              | 1.80                                        | 8.71         | 0.57             | 0.05                   | 21.14                             | 0.91                  | ✓ |
| V1 (330-335)        | 5.94                   | Sur(180)  | 0.14                  | 0.6 (b = 0.56)               | 1.80                                        | 6.40         | 0.55             | 0.05                   | 17.11                             | 0.74                  | ✓ |
| V2 (350-355)        | 8.05                   | Sur(180)  | 0.11                  | 0.82 (b = 0.76)              | 1.80                                        | 8.71         | 0.57             | 0.05                   | 21.14                             | 0.91                  | ✓ |
| V2 (350-355)        | 8.05                   | Sur(180)  | 0.11                  | 0.81 (b = 0.75)              | 1.80                                        | 8.71         | 0.57             | 0.05                   | 21.14                             | 0.91                  | ✓ |
| V1 (330-335)        | 5.94                   | Sur(180)  | 0.14                  | 0.64 (b = 0.60)              | 1.80                                        | 6.40         | 0.55             | 0.05                   | 17.11                             | 0.74                  | ✓ |
| P2                  | 1.83                   | Sur(180)  | 1.00                  | 2.20                         | 5.70                                        | 4.02         | 0                | 0                      | 0                                 | 0                     | ✓ |
|                     |                        |           |                       |                              |                                             | 42.96        |                  |                        | 97.64                             | 4.20                  |   |

donde:

S: Superficie, m<sup>2</sup>.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

F<sub>f</sub>: Fracción de parte opaca, %.

U: Transmitancia térmica, W/(m<sup>2</sup>·K).

U<sub>lim</sub>: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m<sup>2</sup>·K).

b: Coeficiente de reducción de temperatura.

g<sub>gla</sub>: Factor solar.

g<sub>gla,sh,wi</sub>: Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados.

Q<sub>sol,jul</sub>: Ganancia solar para el mes de julio con las protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

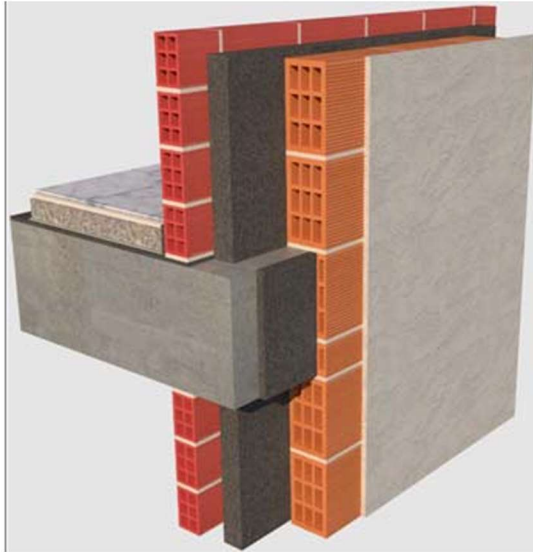
%Q<sub>sol,jul</sub>: Repercusión en el parámetro de control solar de la envolvente térmica, %.

#### 1.4.3.5 Puentes térmicos

En el documento de apoyo al DB-HE de ahorro de energía (DA DB-HE/3) recoge unos valores aproximados de la transmitancia térmica lineal, para las soluciones constructivas más comunes. Se han considerado lo siguiente en la configuración de los puentes térmicos:

- La alineación del marco con respecto del hueco del cerramiento se produce a la cara interior.
- El aislamiento del cerramiento llegará hasta el marco del hueco.
- El frente de forjado se considera que tiene aislamiento, se propone uno del tipo grupo Valero "Grafipol Frente de forjado".





- Se consideran los puentes térmicos de pilares integrados en fachada, sin continuidad de aislamiento.
- Se toman los valores por defecto de la transmitancia del puente térmico, según el Atlas de puentes térmicos DA DB-HE-3.

Los puentes térmicos suponen el 37,79% del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

|                                   | Tipo | L<br>(m) | Y<br>(W/(m·K)) | L·Y<br>(W/K) |
|-----------------------------------|------|----------|----------------|--------------|
| <b>Climatización agua</b>         |      |          |                |              |
| Hueco de ventana                  |      | 85.985   | 0.080          | 6.9          |
| Hueco de ventana                  |      | 132.800  | 0.009          | 1.1          |
| Hueco de ventana                  |      | 85.985   | 0.119          | 10.2         |
| Encuentro de fachada con solera   |      | 55.166   | 0.346          | 19.1         |
| Esquina entrante de fachadas      |      | 16.400   | -0.080         | -1.3         |
| Esquina saliente de fachadas      |      | 28.700   | 0.060          | 1.7          |
| Encuentro de fachada con forjado  |      | 204.071  | 0.064          | 13.0         |
| Pilar                             |      | 151.700  | 1.193          | 180.9        |
| Encuentro de fachada con cubierta |      | 51.051   | 0.241          | 12.3         |
|                                   |      |          |                | <b>243.9</b> |

|                                   | Tipo                                                                              | L<br>(m) | Y<br>(W/(m·K)) | L·Y<br>(W/K) |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|--------------|
| <b>Climatización autónomos</b>    |                                                                                   |          |                |              |
| Hueco de ventana                  |  | 22.500   | 0.080          | 1.8          |
| Hueco de ventana                  |  | 32.400   | 0.009          | 0.3          |
| Hueco de ventana                  |  | 22.500   | 0.119          | 2.7          |
| Encuentro de fachada con solera   |  | 2.980    | 0.346          | 1.0          |
| Encuentro de fachada con forjado  |  | 52.405   | 0.064          | 3.3          |
| Pilar                             |  | 36.900   | 1.193          | 44.0         |
| Esquina saliente de fachadas      |  | 8.200    | 0.060          | 0.5          |
| Encuentro de fachada con cubierta |  | 16.475   | 0.241          | 4.0          |
|                                   |                                                                                   |          |                | <b>57.6</b>  |

|                                   | Tipo                                                                                | L<br>(m) | Y<br>(W/(m·K)) | L·Y<br>(W/K) |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|--------------|
| <b>Habitable no acondicionado</b> |                                                                                     |          |                |              |
| Encuentro de fachada con solera   |    | 20.699   | 0.346          | 7.2          |
| Esquina entrante de fachadas      |    | 45.100   | -0.080         | -3.6         |
| Esquina saliente de fachadas      |    | 45.600   | 0.060          | 2.7          |
| Encuentro de fachada con forjado  |   | 52.214   | 0.064          | 3.3          |
| Pilar                             |  | 42.400   | 1.193          | 50.6         |
| Encuentro de fachada con cubierta |  | 19.396   | 0.241          | 4.7          |
| Hueco de ventana                  |  | 4.050    | 0.080          | 0.3          |
| Hueco de ventana                  |  | 9.200    | 0.009          | 0.1          |
| Hueco de ventana                  |  | 4.050    | 0.119          | 0.5          |
|                                   |                                                                                     |          |                | <b>65.7</b>  |

|                                   | Tipo                                                                                | L<br>(m) | Y<br>(W/(m·K)) | L·Y<br>(W/K) |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|--------------|
| <b>No habitable</b>               |                                                                                     |          |                |              |
| Hueco de ventana                  |  | 17.100   | 0.080          | 1.4          |
| Hueco de ventana                  |  | 21.000   | 0.009          | 0.2          |
| Hueco de ventana                  |  | 17.100   | 0.119          | 2.0          |
| Encuentro de fachada con solera   |  | 12.189   | 0.346          | 4.2          |
| Esquina saliente de fachadas      |  | 25.100   | 0.060          | 1.5          |
| Encuentro de fachada con forjado  |  | 50.197   | 0.064          | 3.2          |
| Pilar                             |  | 39.200   | 1.193          | 46.7         |
| Encuentro de fachada con cubierta |  | 21.417   | 0.241          | 5.2          |
|                                   |                                                                                     |          |                | <b>64.4</b>  |

donde:

L: Longitud, m.

Y: Transmitancia térmica lineal, W/(m·K).



#### 1.4.3.6 Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50Pa (N50)

Puesto que nuestro edificio objeto de análisis tiene un uso distinto al residencial privado, no es necesario que determinemos el valor de la relación del cambio de aire a 50 Pa, n50.

#### 1.4.3.7 Verificación del cumplimiento de la exigencia de limitación de condensaciones

Para comprobar si se producen condensaciones intersticiales en la envolvente térmica del edificio, fijamos las condiciones para el cálculo a partir de la localidad de ubicación del edificio. Sirviéndonos de guía el documento de apoyo DB-HE2 y con la ayuda de una hoja Excel creada, se analiza si se producen condensaciones intersticiales en la fachada y en la cubierta.

El programa de cálculo empleado ( CypeTherm HEPlus ) realiza un análisis más detallado de las condensaciones según la norma UNE-EN-ISO 13788 y se adjunta en los anejos de este proyecto.

### 1.4.4 Justificación del cumplimiento del DB-HE4

#### 1.4.4.1 Contribución de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.

$$RER_{ACS,nrb} = 97.1\% \geq RER_{ACS,nrb,lim} = 60\%$$



donde:

$RER_{ACS,nrb}$ : Valor calculado de la contribución de energía renovable para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria, %.

$RER_{ACS,nrb,lim}$ : Valor límite de la contribución de energía renovable para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria (sección 3.1.1, CTE DB HE 4), %.

#### 1.4.4.2 Demanda de ACS

El edificio objeto del proyecto se sitúa en la localidad de Campo de Criptana, una provincia de Ciudad Real, cuya elevación sobre el nivel de mar es de 707 m. Conforme al anejo B del CTE DB HE, le corresponde una zona climática D3, y zona climática cálida de acuerdo a lo que establece la Decisión de la Comisión 2013/114/EU.

La demanda ACS (agua caliente sanitaria), del edificio se calcula de acuerdo al anejo F del CTE DB HE, en el cual se incluyen las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación.

EDIFICIO (Su = 924,7 m<sup>2</sup>)

|                        | Ene<br>(kWh) | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh) | Jun<br>(kWh) | Jul<br>(kWh) | Ago<br>(kWh) | Sep<br>(kWh) | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh) | Año<br>(kWh/año) (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |      |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------------|------|
| D <sub>ACS</sub>       | 3849.6       | 3412.0       | 3633.6       | 3430.2       | 3328.6       | 3012.2       | 2896.6       | 2896.6       | 3012.2       | 3417.7       | 3516.4       | 3849.6       | 40255.4                                    | 43.5 |
| Q <sub>acum</sub> *    | 57.1         | 51.6         | 57.1         | 55.3         | 57.1         | 55.3         | 57.1         | 57.1         | 55.3         | 57.1         | 55.3         | 57.1         | 672.8                                      | 0.7  |
| Q <sub>dist</sub>      | 192.5        | 170.6        | 181.7        | 171.5        | 166.4        | 150.6        | 144.8        | 144.8        | 150.6        | 170.9        | 175.8        | 192.5        | 2012.8                                     | 2.2  |
| D <sub>ACS,total</sub> | 4099.2       | 3634.2       | 3872.5       | 3657.0       | 3552.1       | 3218.1       | 3098.6       | 3098.6       | 3218.1       | 3645.7       | 3747.5       | 4099.2       | 42940.9                                    | 46.4 |

Donde:

- Su: Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m<sup>2</sup>.
- DACS: Demanda energética correspondiente al servicio de agua caliente sanitaria, kWh.
- Qacum: Pérdidas por acumulación, kWh.
- \*: En caso de que el rendimiento medio estacional de los equipos de ACS considere las pérdidas por acumulación, estas no se incluyen en la demanda de ACS.
- Qdist: Pérdidas por distribución y recirculación, kWh.
- DACS,total: Demanda energética correspondiente al servicio de agua caliente sanitaria incluyendo pérdidas por acumulación, distribución y recirculación, kWh.

Para el cálculo de la energía térmica hemos utilizado el salto térmico entre una temperatura referencia definida en la zona, y la temperatura del agua de red en el emplazamiento del edificio proyectado conforme al anejo G del CTE DB HE, cuyos valores son los siguientes:

|                             | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                             | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) |
| Temperatura del agua de red | 6.5  | 7.5  | 9.5  | 10.8 | 13.8 | 16.8 | 19.8 | 19.8 | 16.8 | 12.5 | 9.5  | 6.5  |

A continuación, se muestran los resultados de cálculo de la demanda energética de ACS para cada zona habitable del edificio, junto con las demandas diarias.

| <b>Zonas habitables</b>    | <b>Q<sub>ACS</sub></b><br>(l/día) | <b>T<sub>ref</sub></b><br>(°C) | <b>S<sub>u</sub></b><br>(m²) | <b>D<sub>ACS</sub></b><br>(kWh/año) | <b>D<sub>ACS</sub></b><br>(kWh/m²·año) |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| Climatización agua         | 666.7                             | 60.0                           | 662.61                       | 14313.65                            | 21.60                                  |
| Climatización autónomos    | 666.7                             | 60.0                           | 138.47                       | 14313.65                            | 103.37                                 |
| Habitable no acondicionado | 666.7                             | 60.0                           | 123.70                       | 14313.65                            | 115.72                                 |
|                            | <b>2000.0</b>                     |                                | <b>924.78</b>                | <b>42940.94</b>                     | <b>46.43</b>                           |

donde:

Q<sub>ACS</sub>: Caudal diario demandado de agua caliente sanitaria, l/día.

T<sub>ref</sub>: Temperatura de referencia, °C.

S<sub>u</sub>: Superficie útil de la zona habitable, m².

D<sub>ACS</sub>: Demanda energética correspondiente al servicio de agua caliente sanitaria incluyendo pérdidas por acumulación, distribución y recirculación, kWh/m²·año.

#### 1.4.4.3 Contribución renovable aportada para ACS

El cálculo de la contribución de la energía renovable para cubrir la demanda de ACS de nuestro edificio se realiza mediante el programa CTEEPBD, herramienta integrada en el documento reconocido CYPETHERM HE Plus, el cual ha sido desarrollado por IETcc-CSIC en el marco del convenio con el Ministerio de Fomento, que implementa la metodología del cálculo de la eficiencia energética de los edificios descrita en la norma EN ISO 52000-1:2017.

Los equipos de producción de ACS el edificio utiliza energía procedente de fuentes renovables cuyo origen es in situ o en las proximidades del edificio, junto al porcentaje de la demanda total de ACS el edificio cubierto por cada uno.

| <b>Equipos</b>                              | <b>Vector energético</b> | <b>f<sub>ACS</sub></b><br>(%) |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Energía térmica renovable producida in situ | Medioambiente            | 70.0                          |

donde:

f<sub>ACS</sub>: Porcentaje de la demanda de ACS del edificio cubierto por el equipo, %.

#### 1.4.5 Justificación de las características de las instalaciones de iluminación.

La parte HE3 encargada de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación del Documento Básico del Código Técnico de Edificación se aplica en el edificio en estudio ya que se trata de un edificio de nueva construcción. Además de la norma UNE-EN 12646-1 iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: lugares de trabajo en interiores.

Para seleccionar la luminaria correctamente se ha utilizado los parámetros iluminación media horizontal mantenida ( $E_m$ ) de la norma UNE-EN 12646-1, es decir, tomando como mínimo 100 lux para uso en pasillos, 200 lux para salas de espera, cuartos de baño, servicios para pacientes, áreas de almacenamiento y salas de instalaciones, 300 lux para salas de personal y 500 lux para consultas, despachos, almacén de farmacia y sala de curas.

Partiendo de unas lámparas de tipo fluorescente en las zonas con mayor requerimiento de iluminación, dado que con este tipo obtenemos mayor flujo luminoso superior.

Este apartado consta en otro TFG de otro compañero que está realizando las instalaciones del edificio.

## 1.5 PROPUESTA DE MEJORAS

En primer lugar, para realizar esta propuesta de mejoras, necesitaremos analizar los resultados energéticos del edificio objeto de estudio.

En la siguiente tabla resumimos los resultados que hemos obtenido en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

| Zonas habitables        | $S_u$<br>(m <sup>2</sup> ) | $D_{cal}$ |                           | $D_{ref}$ |                           |
|-------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
|                         |                            | (kWh/año) | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) | (kWh/año) | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |
| Aulas P Baja            | 317.54                     | 6574.77   | 20.71                     | 2196.34   | 6.92                      |
| Baños P Baja            | 40.41                      | 1036.99   | 25.66                     | 61.33     | 1.52                      |
| Circulaciones P Baja    | 309.38                     | 7434.86   | 24.03                     | 1374.25   | 4.44                      |
| Oficinas P Baja         | 242.21                     | 3854.41   | 15.91                     | 1886.66   | 7.79                      |
| Cocina                  | 110.24                     | --        | --                        | --        | --                        |
| Salas                   | 458.16                     | 10631.71  | 23.21                     | 2993.99   | 6.53                      |
| Baños P Primera         | 42.97                      | 1070.01   | 24.90                     | 182.85    | 4.26                      |
| Aulas P Primera         | 426.83                     | 8137.68   | 19.07                     | 5068.53   | 11.87                     |
| Circulaciones P Primera | 163.31                     | 4467.97   | 27.36                     | 1292.60   | 7.92                      |
|                         | <b>2111.03</b>             | 43208.40  | <b>20.47</b>              | 15056.55  | <b>7.13</b>               |

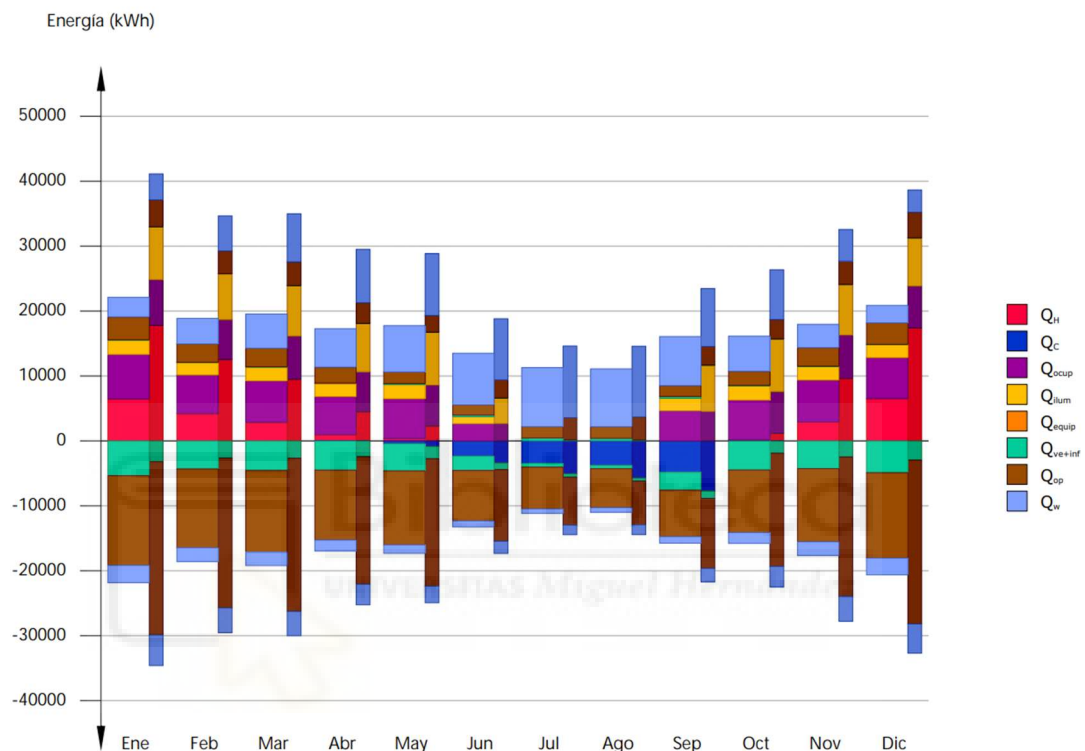
donde:

$S_u$ : Superficie útil de la zona habitable, m<sup>2</sup>.

$D_{cal}$ : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/año.

$D_{ref}$ : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>·año.

El siguiente gráfico de barra muestra el balance energético del edificio mes a mes, contabilizando la energía perdida o ganada por transmisión térmica a través de elementos pesados y ligeros ( $Q_{op}$  y  $Q_w$ , respectivamente), la energía intercambiada por ventilación e infiltraciones ( $Q_{ve+inf}$ ), la ganancia de calor interna debida a la ocupación ( $Q_{ocup}$ ), a la iluminación ( $Q_{ilum}$ ) y al equipamiento interno ( $Q_{equip}$ ), así como el aporte necesario de calefacción ( $Q_H$ ) y refrigeración ( $Q_C$ ).



Observamos que un punto importante y constante cada mes son las ganancias de calor internas debidas a la iluminación, y lo consideramos un punto a tratar para reducir el aporte necesario de refrigeración en los meses de verano.

#### 1.5.1 MEJORAS CON LA INTRODUCCIÓN DE RECUPERADOR DE CALOR

La primera mejora que aplicaremos al edificio de estudio podría ser la sustitución de el recuperador de calor por uno de mayor eficiencia, ronda el 77%, con ello conseguimos una reducción de la demanda energética y consumo.

- Modelo ERV de GREE: Estos recuperadores de calor ofrecen soluciones de ventilación eficientes. Sus intercambiadores de calor de alta eficiencia hasta un 94%, proporcionan grandes ahorros energéticos, gracias a estar concebidos para trabajar con ventiladores de bajo consumo y a permitir el aprovechamiento del aire de expulsión para calentar el aire entrante al edificio.

Volvemos a analizar los resultados de las mejoras empleadas con el software de “ CYPETHERM IMPROVEMENTS PLUS v2023.g “.

Los resultados que se han obtenido tras el ensayo se muestran en las siguientes tablas comparativas de balance energético:

Balance energético inicial:

2.2.1. Consumo de energía final del edificio.

|                                        |                       | Ene<br>(kWh) | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh) | Jun<br>(kWh) | Jul<br>(kWh) | Ago<br>(kWh) | Sep<br>(kWh) | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh) | Año<br>(kWh/año) (kWh/m²-año) |      |
|----------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|------|
| EDIFICIO (S <sub>e</sub> = 2111.03 m²) |                       |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |      |
| Demanda energética                     | Calefacción           | 10705.8      | 7301.6       | 5333.8       | 2352.2       | 1021.4       | --           | --           | --           | --           | 483.8        | 5509.7       | 10500.1      | 43208.4                       | 20.5 |
|                                        | Refrigeración         | --           | --           | --           | 2.3          | 417.6        | 2351.1       | 3435.0       | 3748.9       | 5080.7       | 21.0         | --           | --           | 15056.5                       | 7.1  |
|                                        | ACS                   | 2869.1       | 2542.6       | 2760.7       | 2566.8       | 2489.9       | 2252.5       | 2219.5       | 2219.7       | 2305.3       | 2544.3       | 2671.8       | 2869.1       | 30311.3                       | 14.4 |
|                                        | TOTAL                 | 13574.9      | 9844.2       | 8094.5       | 4921.3       | 3928.9       | 4603.7       | 5654.5       | 5968.6       | 7386.0       | 3049.1       | 8181.5       | 13369.2      | 88576.3                       | 42.0 |
| Electricidad                           | Calefacción           | 1124.2       | 786.1        | 602.0        | 283.7        | 137.3        | --           | --           | --           | --           | 71.2         | 614.8        | 1078.2       | 4697.6                        | 2.2  |
|                                        | Refrigeración         | 68.2         | 60.6         | 66.5         | 52.1         | 186.5        | 912.8        | 1363.0       | 1487.6       | 1985.1       | 25.9         | 65.5         | 65.7         | 6339.4                        | 3.0  |
|                                        | ACS                   | 786.1        | 696.6        | 756.4        | 703.2        | 682.2        | 617.1        | 608.1        | 608.1        | 631.6        | 697.1        | 732.0        | 786.1        | 8304.5                        | 3.9  |
|                                        | Ventilación           | 1387.5       | 1206.5       | 1327.1       | 1266.8       | 1387.5       | 663.6        | --           | --           | 1206.5       | 1387.5       | 1327.1       | 1266.8       | 12426.9                       | 5.9  |
|                                        | Control de la humedad | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
| Biomasa densificada (pellets)          | Iluminación           | 2131.9       | 1853.8       | 2039.2       | 1946.5       | 2131.9       | 1019.6       | --           | --           | 1853.8       | 2131.9       | 2039.2       | 1946.5       | 19094.2                       | 9.0  |
|                                        | Calefacción           | 7894.3       | 5396.8       | 3889.6       | 1770.0       | 747.0        | --           | --           | --           | 350.9        | 3968.9       | 7749.1       | --           | 31766.6                       | 15.0 |
|                                        | Refrigeración         | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
|                                        | ACS                   | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
| Medioambiente                          | Calefacción           | 1784.8       | 1266.2       | 963.6        | 425.0        | 203.0        | --           | --           | --           | --           | 110.4        | 1043.0       | 1749.4       | 7545.3                        | 3.6  |
|                                        | Refrigeración         | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
|                                        | ACS                   | 2083.0       | 1846.0       | 2004.3       | 1863.6       | 1807.8       | 1635.4       | 1611.4       | 1611.6       | 1673.7       | 1847.2       | 1939.8       | 2083.0       | 22006.8                       | 10.4 |
|                                        | C <sub>global</sub>   | 17259.9      | 13112.5      | 11648.7      | 8310.8       | 7283.2       | 4848.5       | 3582.5       | 3707.3       | 7350.7       | 6622.1       | 11730.3      | 16724.8      | 112181.3                      | 53.1 |

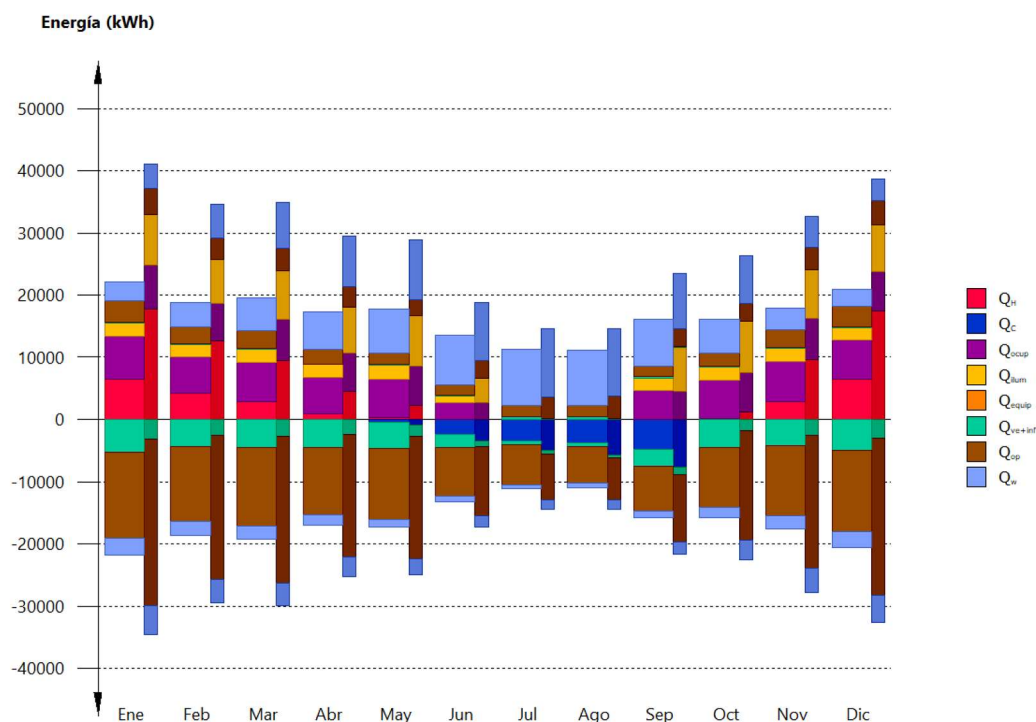
Balance energético final con recuperador de calor

2.2.1. Consumo de energía final del edificio.

|                                        |                       | Ene<br>(kWh) | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh) | Jun<br>(kWh) | Jul<br>(kWh) | Ago<br>(kWh) | Sep<br>(kWh) | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh) | Año<br>(kWh/año) (kWh/m²-año) |      |
|----------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|------|
| EDIFICIO (S <sub>e</sub> = 2111.03 m²) |                       |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |      |
| Demanda energética                     | Calefacción           | 6451.5       | 4202.0       | 2850.6       | 941.0        | 378.1        | --           | --           | --           | --           | 165.5        | 2925.5       | 6496.1       | 24410.2                       | 11.6 |
|                                        | Refrigeración         | --           | --           | --           | 5.4          | 412.1        | 2330.1       | 3435.0       | 3748.9       | 4833.5       | 29.6         | --           | --           | 14794.7                       | 7.0  |
|                                        | ACS                   | 2869.1       | 2542.6       | 2760.7       | 2566.8       | 2489.9       | 2252.5       | 2219.5       | 2219.7       | 2305.3       | 2544.3       | 2671.8       | 2869.1       | 30311.3                       | 14.4 |
|                                        | TOTAL                 | 9320.6       | 6744.5       | 5611.3       | 3513.2       | 3280.1       | 4582.6       | 5654.5       | 5968.6       | 7138.8       | 2739.4       | 5597.3       | 9365.2       | 69516.2                       | 32.9 |
| Electricidad                           | Calefacción           | 920.6        | 624.7        | 445.1        | 167.3        | 68.4         | --           | --           | --           | --           | 31.5         | 456.0        | 890.3        | 3603.9                        | 1.7  |
|                                        | Refrigeración         | 43.2         | 38.2         | 40.2         | 30.8         | 203.6        | 956.0        | 1363.0       | 1487.6       | 1994.4       | 26.9         | 40.4         | 41.5         | 6265.8                        | 3.0  |
|                                        | ACS                   | 786.1        | 696.6        | 756.4        | 703.2        | 682.2        | 617.1        | 608.1        | 608.1        | 631.6        | 697.1        | 732.0        | 786.1        | 8304.5                        | 3.9  |
|                                        | Ventilación           | 754.9        | 656.5        | 722.1        | 689.3        | 754.9        | 361.1        | --           | --           | 656.5        | 754.9        | 722.1        | 689.3        | 6761.5                        | 3.2  |
|                                        | Control de la humedad | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
| Biomasa densificada (pellets)          | Iluminación           | 2131.9       | 1853.8       | 2039.2       | 1946.5       | 2131.9       | 1019.6       | --           | --           | 1853.8       | 2131.9       | 2039.2       | 1946.5       | 19094.2                       | 9.0  |
|                                        | Calefacción           | 3519.6       | 2245.7       | 1470.5       | 440.6        | 171.5        | --           | --           | --           | --           | 64.9         | 1461.8       | 3591.5       | 12966.1                       | 6.1  |
|                                        | Refrigeración         | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
|                                        | ACS                   | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
| Medioambiente                          | Calefacción           | 1464.5       | 1007.6       | 708.6        | 244.5        | 97.6         | --           | --           | --           | --           | 51.1         | 775.1        | 1459.3       | 5808.2                        | 2.8  |
|                                        | Refrigeración         | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --                            | --   |
|                                        | ACS                   | 2083.0       | 1846.0       | 2004.3       | 1863.6       | 1807.8       | 1635.4       | 1611.4       | 1611.6       | 1673.7       | 1847.2       | 1939.8       | 2083.0       | 22006.8                       | 10.4 |
|                                        | C <sub>global</sub>   | 11703.8      | 8968.9       | 8186.4       | 6085.8       | 5917.8       | 4589.2       | 3582.5       | 3707.3       | 6809.9       | 5605.5       | 8166.3       | 11487.5      | 84810.9                       | 40.2 |

Podemos observar una notable reducción del consumo anual de energía al introducir el recuperador de calor.





### 1.5.2 MEJORAS EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Otra mejora que hemos planteado aun sabiendo que el destino final del edificio no es uso residencial, es la introducción de sombras artificiales mediante la colocación de toldos en todos los huecos acristalados para controlar las sombras en los meses desde mayo a septiembre con ello conseguimos una notable reducción de la demanda a climatización.

Antes de la mejora demanda energética

| Zonas habitables        | $S_u$             | $D_{cal}$       |                           | $D_{ref}$       |                           |
|-------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
|                         | (m <sup>2</sup> ) | (kWh/año)       | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) | (kWh/año)       | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |
| Aulas P Baja            | 317.54            | 3138.48         | 9.88                      | 2176.05         | 6.85                      |
| Baños P Baja            | 40.41             | 573.81          | 14.20                     | 58.85           | 1.46                      |
| Circulaciones P Baja    | 309.38            | 5531.23         | 17.88                     | 1358.61         | 4.39                      |
| Oficinas P Baja         | 242.21            | 3711.20         | 15.32                     | 1889.26         | 7.80                      |
| Cocina                  | 110.24            | -               | -                         | -               | -                         |
| Salas                   | 458.16            | 2632.30         | 5.75                      | 2962.70         | 6.47                      |
| Baños P Primera         | 42.97             | 1045.57         | 24.33                     | 182.97          | 4.26                      |
| Aulas P Primera         | 426.83            | 4156.29         | 9.74                      | 4888.17         | 11.45                     |
| Circulaciones P Primera | 163.31            | 3621.34         | 22.17                     | 1278.06         | 7.83                      |
|                         | <b>2111.03</b>    | <b>24410.23</b> | <b>11.56</b>              | <b>14794.65</b> | <b>7.01</b>               |

Después de la mejora demanda energética

| Zonas habitables        | $S_u$             | $D_{cal}$       |                           | $D_{ref}$      |                           |
|-------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
|                         | (m <sup>2</sup> ) | (kWh/año)       | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) | (kWh/año)      | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |
| Aulas P Baja            | 317.54            | 6230.90         | 19.62                     | 1102.68        | 3.47                      |
| Baños P Baja            | 40.41             | 1032.38         | 25.55                     | 18.09          | 0.45                      |
| Circulaciones P Baja    | 309.38            | 7447.05         | 24.07                     | 451.73         | 1.46                      |
| Oficinas P Baja         | 242.21            | 3680.66         | 15.20                     | 809.71         | 3.34                      |
| Cocina                  | 110.24            | -               | -                         | -              | -                         |
| Salas                   | 458.16            | 10547.67        | 23.02                     | 2012.54        | 4.39                      |
| Baños P Primera         | 42.97             | 1064.50         | 24.78                     | 86.73          | 2.02                      |
| Aulas P Primera         | 426.83            | 7887.43         | 18.48                     | 2976.57        | 6.97                      |
| Circulaciones P Primera | 163.31            | 4453.80         | 27.27                     | 610.20         | 3.74                      |
|                         | <b>2111.03</b>    | <b>42344.39</b> | <b>20.06</b>              | <b>8068.25</b> | <b>3.82</b>               |

Vemos que se produce una reducción notable de la demanda en el apartado de climatización.

### 1.5.3 MEJORA EN LA GENERACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN MEDIANTE UNA AEROTERMIA

Sustituiremos el anterior sistema de generación de ACS por una aerotermia, marca DAIKIN modelo EMRQ16AB, cuya potencia nominal es de 44,8 kW, consta con una capacidad de acumulación de 584l, con esta mejora conseguimos una reducción de la demanda energética inferior al 10% lo que nos indica que habíamos escogido bien a la hora de diseñar inicialmente.

|                                 |                       | Ene<br>(kwh)   | Feb<br>(kwh)   | Mar<br>(kwh)   | Abr<br>(kwh)  | May<br>(kwh)  | Jun<br>(kwh)  | Jul<br>(kwh)  | Ago<br>(kwh)  | Sep<br>(kwh)  | Oct<br>(kwh)  | Nov<br>(kwh)   | Dic<br>(kwh)   | Año<br>(kwh/año) (kwh/m²-año) |             |
|---------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------|
| <b>EDIFICIO(S, =2111.03 m²)</b> |                       |                |                |                |               |               |               |               |               |               |               |                |                |                               |             |
| Demanda energética              | Calefacción           | 10705.8        | 7301.6         | 5333.8         | 2352.2        | 1021.4        | --            | --            | --            | --            | 483.8         | 5509.7         | 10500.1        | 43208.4                       | 20.5        |
|                                 | Refrigeración         | --             | --             | --             | 2.3           | 417.6         | 2351.1        | 3435.0        | 3748.9        | 5080.7        | 21.0          | --             | --             | 15056.5                       | 7.1         |
|                                 | ACS                   | 2947.7         | 2613.6         | 2839.3         | 2642.9        | 2568.6        | 2328.6        | 2298.1        | 2298.4        | 2381.4        | 2622.9        | 2747.9         | 2947.7         | 31237.2                       | 14.8        |
|                                 | <b>TOTAL</b>          | <b>13653.5</b> | <b>9915.2</b>  | <b>8173.2</b>  | <b>4997.4</b> | <b>4007.5</b> | <b>4679.8</b> | <b>5733.1</b> | <b>6047.3</b> | <b>7462.1</b> | <b>3127.7</b> | <b>8257.6</b>  | <b>13447.9</b> | <b>89502.2</b>                | <b>42.4</b> |
| Electricidad                    | Calefacción           | 1196.0         | 848.5          | 669.0          | 335.5         | 174.7         | --            | --            | --            | --            | 90.9          | 681.4          | 1147.9         | 5143.9                        | 2.4         |
|                                 | Refrigeración         | --             | --             | --             | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --             | --             | --                            | --          |
|                                 | ACS                   | 1936.6         | 1717.1         | 1865.4         | 1736.3        | 1687.5        | 1529.9        | 1509.8        | 1510.0        | 1564.5        | 1723.2        | 1805.3         | 1936.6         | 20522.1                       | 9.7         |
|                                 | Ventilación           | 1387.5         | 1206.5         | 1327.1         | 1266.8        | 1387.5        | 663.6         | --            | --            | 1206.5        | 1387.5        | 1327.1         | 1266.8         | 12426.9                       | 5.9         |
| Biomasa densificada (pellets)   | Control de la humedad | --             | --             | --             | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --             | --             | --                            | --          |
|                                 | Iluminación           | 2131.9         | 1853.8         | 2039.2         | 1946.5        | 2131.9        | 1019.6        | --            | --            | 1853.8        | 2131.9        | 2039.2         | 1946.5         | 19094.2                       | 9.0         |
|                                 | Calefacción           | 7890.9         | 5395.9         | 3885.0         | 1770.3        | 747.2         | --            | --            | --            | --            | 343.6         | 3969.5         | 7748.2         | 31750.6                       | 15.0        |
|                                 | Refrigeración         | --             | --             | --             | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --             | --             | --                            | --          |
| Medioambiente                   | ACS                   | --             | --             | --             | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --             | --             | --                            | --          |
|                                 | Calefacción           | 1789.2         | 1267.6         | 962.7          | 424.6         | 202.7         | --            | --            | --            | --            | 109.6         | 1043.0         | 1754.6         | 7554.0                        | 3.6         |
|                                 | Refrigeración         | --             | --             | --             | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --            | --             | --             | --                            | --          |
|                                 | ACS                   | 1011.1         | 896.5          | 974.0          | 906.6         | 881.1         | 798.8         | 788.3         | 788.4         | 816.9         | 899.7         | 942.6          | 1011.1         | 10715.1                       | 5.1         |
| <b>Cumulado</b>                 |                       | <b>17343.2</b> | <b>13185.8</b> | <b>11722.4</b> | <b>8386.5</b> | <b>7212.5</b> | <b>4011.8</b> | <b>2298.1</b> | <b>2298.4</b> | <b>5441.7</b> | <b>6686.4</b> | <b>11808.1</b> | <b>16811.7</b> | <b>107206.7</b>               | <b>50.8</b> |

## 1.6 CONCLUSIÓN

Tras enfrentarnos a dicho proyecto, nos hemos encontrado con algún problemilla a la hora de hacer el cumplir el HE0, debido a que el edificio no es de nueva construcción, si no lo que acometemos aquí es una reforma de este. Con ello, no es lógico acometer reformas en el tipo de aislamiento y demás ya que supondría un coste muy elevado, de manera inicial la demanda a climatización del edificio debido a su emplazamiento y localización, hemos necesitado montar un sistema de climatización potente mediante el uso de varios equipos para hacer cumplir el apartado HE0.

Otra mejora o reforma que hemos realizado en el edificio es la sustitución del sistema de calefacción y ACS ya que el edificio constaba con una caldera de gasoil y la hemos sustituido por una caldera de condensación de gas natural con un rendimiento mucho mayor.

Por último, hay que mencionar que se podrían tener en cuenta otras mejoras alternativas en el edificio enfocadas a reducir la demanda del mismo, como por ejemplo la reducción de los puentes térmicos existentes, que suponen un 37,79% del coeficiente global de transmisión de



calor a través de la envolvente térmica. Se podría actuar fácilmente en los pilares del edificio introduciendo el mismo sistema que el descrito en los frentes de forjado, mediante un aislamiento térmico de 2 a 3 cm que redujera los puentes térmicos que se producen en dicho punto.

Tendríamos que considerar dicha reducción justificando que la mejora en la demanda de calefacción no supone un empeoramiento en la demanda de refrigeración y valorar el equilibrio entre estas.

Lo mismo ocurre con los cerramientos del edificio, donde se ha considerado un aislamiento térmico de 8 cm, buscando el equilibrio entre las demandas a calefacción y refrigeración, y teniendo en cuenta que, por encima de este aislamiento, el resultado de la demanda a refrigeración no compensa con respecto a la mejora de calefacción.



1.7 CERTIFICADO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO

**CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS**

**IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:**

|                                                   |                                            |                      |                    |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| Nombre del Edificio                               | C.E.I.P. NUEVO Nº18 6+12                   |                      |                    |
| Dirección                                         | Calle Francesillo del Barrio" Aguas vivas" |                      |                    |
| Municipio                                         | Guadalajara                                | Código Postal        | 19005              |
| Provincia                                         | Guadalajara                                | Comunidad Autónoma   | Castilla-La Mancha |
| Zona climática                                    | D3                                         | Año construcción     | 2001               |
| Plantas sobre rasante                             | 2                                          | Plantas bajo rasante | 0                  |
| Normativa vigente (construcción / rehabilitación) | CTE2019                                    |                      |                    |
| Referencia/s catastral/es                         | 6598401VK8969N0001TS                       |                      |                    |

| Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:                     |                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Edificio de nueva construcción                                              | <input checked="" type="checkbox"/> Edificio existente                                                          |
| Vivienda<br>Unifamiliar<br>Bloque<br>Bloque Completo<br>Vivienda individual | <input checked="" type="checkbox"/> Terciario<br><input checked="" type="checkbox"/> Edificio completo<br>Local |

**DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:**

|                                                                          |                                         |                    |                    |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Nombre y Apellidos                                                       | JOSE MANUEL SANCHEZ-LUIS FERNANDEZ      | NIF/NIE            | 21418486N          |
| Razón Social                                                             | GOMEZ-HUEDO SANCHEZ-LUIS ARQUITECTOS SL | NIF                | B02224897          |
| Domicilio                                                                | OCTAVIO CUARTERO 19                     |                    |                    |
| Municipio                                                                | Villarrobledo                           | Código Postal      | 02600              |
| Provincia                                                                | Albacete                                | Comunidad Autónoma | Castilla-La Mancha |
| e-mail                                                                   | sanchez-luis@ghslarquitectos.com        | Teléfono           | 967138004          |
| Titulación habilitante según normativa vigente                           | Arquitecto                              |                    |                    |
| Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión: | CYPETHERM HE Plus. 2024.c               |                    |                    |

**CALIFICACION ENERGETICA OBTENIDA:**

| CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                                                                                                                                            | EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO<br>[kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ·año]                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>&lt; 61.47 A</div><div>61.47 - 99.88 B</div><div>99.89 - 153.6 C</div><div>153.67 - 199.7 D</div><div>199.78 - 245.88 E</div><div>245.88 - 307.35 F</div><div>≥ 307.35 G</div></div> <div>2,67 A</div> | <div><div>&lt; 12.67 A</div><div>12.67 - 20.58 B</div><div>20.58 - 31.66 C</div><div>31.66 - 41.16 D</div><div>41.16 - 50.66 E</div><div>50.66 - 63.33 F</div><div>≥ 63.33 G</div></div> <div>0,47 A</div> |

El técnico certificador abajo firmante certifica que ha realizado la calificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 07/08/2023

Firma del técnico certificador: JOSE MANUEL SANCHEZ-LUIS FERNANDEZ - 21418486N

**Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.

**Anexo II.** Calificación energética del edificio.

**Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

**Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:



## ANEXO I DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

|                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Superficie habitable [m<sup>2</sup>]</b>                                       | 2111,03                                                                             |
| <b>Imagen del Edificio</b>                                                        | <b>Plano de situación</b>                                                           |
|  |  |

### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

#### Cerramientos opacos

| Nombre                      | Tipo                        | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Modo de obtención |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Cerramiento exterior        | Fachada                     | 194,06                       | 0,18                                | Usuario           |
| Cerramiento exterior        | Fachada                     | 228,12                       | 0,18                                | Usuario           |
| Forjado sanitario           | Suelo                       | 1477,93                      | 0,25                                | Usuario           |
| Cerramiento exterior        | Fachada                     | 188,01                       | 0,18                                | Usuario           |
| Cubierta 3 - Inclinas aulas | Cubierta                    | 690,91                       | 0,19                                | Usuario           |
| Cerramiento exterior        | Fachada                     | 263,90                       | 0,18                                | Usuario           |
| Cubierta 1-Polivalente      | Cubierta                    | 391,11                       | 0,19                                | Usuario           |
| Forjado aislado             | ParticionInteriorHorizontal | 24,38                        | 0,28                                | Usuario           |
| Cubierta 2-Transitable      | Cubierta                    | 418,47                       | 0,15                                | Usuario           |

#### Huecos y lucernarios

| Nombre         | Tipo       | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K] | Factor solar | Modo de obtención. Transmitancia | Modo de obtención. Factor solar |
|----------------|------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| V-1            | Hueco      | 83,62                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-24SE         | Hueco      | 23,21                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PXT-3NE        | Hueco      | 2,20                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PXT-3SO        | Hueco      | 4,40                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-25           | Hueco      | 2,72                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-2            | Hueco      | 1,44                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-2            | Hueco      | 0,72                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-28b          | Hueco      | 0,36                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-4            | Hueco      | 10,14                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-5            | Hueco      | 10,04                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PP-2           | Hueco      | 4,62                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-20           | Hueco      | 2,18                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PP-1           | Hueco      | 5,83                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-29           | Hueco      | 2,60                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PP-3           | Hueco      | 4,82                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-26           | Hueco      | 8,80                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-26b          | Hueco      | 2,89                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-27           | Hueco      | 9,36                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| Puerta de paso | Hueco      | 2,10                         | 3,00                                | 0,00         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-3            | Hueco      | 16,40                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PXT-1          | Hueco      | 4,40                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-9            | Hueco      | 5,67                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-8            | Hueco      | 6,19                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-6            | Hueco      | 5,46                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-24NO         | Hueco      | 4,64                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-28           | Hueco      | 2,76                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-21           | Hueco      | 5,86                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-23           | Hueco      | 1,40                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-22           | Hueco      | 1,72                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-10           | Hueco      | 4,70                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-11           | Hueco      | 4,80                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-12           | Hueco      | 13,07                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-13a          | Hueco      | 11,36                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-13b          | Hueco      | 4,62                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-14           | Hueco      | 7,57                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| Lucernario1    | Lucernario | 7,68                         | 0,23                                | 0,38         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-16           | Hueco      | 20,80                        | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-17           | Hueco      | 4,94                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-18           | Hueco      | 6,11                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-19           | Hueco      | 6,13                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| V-15           | Hueco      | 2,73                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |
| PXT-2          | Hueco      | 3,52                         | 1,52                                | 0,55         | Usuario                          | Usuario                         |

### 3. INSTALACIONES TÉRMICAS

#### Generadores de calefacción

| Nombre         | Tipo                     | Potencia nominal [kW] | Rendimiento estacional [%] | Tipo de energía        | Modo de obtención |
|----------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| 1              | Bomba de calor aire-agua | 44,80                 | 274,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Vitodenss      | Caldera                  | 120,00                | 110,00                     | BiomasaPellet          | Usuario           |
| <b>TOTALES</b> |                          | <b>164,80</b>         |                            |                        |                   |

#### Generadores de refrigeración

| Nombre         | Tipo                            | Potencia nominal [kW] | Rendimiento estacional [%] | Tipo de energía        | Modo de obtención |
|----------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| Mitsubishi 1   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 2   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 3   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 4   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 5   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 6   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 7   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| Mitsubishi 8   | Equipo de rendimiento constante | 120,00                | 252,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |
| <b>TOTALES</b> |                                 | <b>960,00</b>         |                            |                        |                   |

#### Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

|                                                  |         |
|--------------------------------------------------|---------|
| <b>Demanda diaria de ACS a 60°C (litros/día)</b> | 1432,00 |
|--------------------------------------------------|---------|

| Nombre        | Tipo                    | Potencia nominal [kW] | Rendimiento estacional [%] | Tipo de energía        | Modo de obtención |
|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|
| Equipo de ACS | Bomba de calor para ACS | 2,20                  | 365,00                     | ElectricidadPeninsular | Usuario           |



**Sistemas secundarios de calefacción y/o refrigeración (sólo edificios terciarios)**

|                              |                                 |                                         |                                        |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre</b>                | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Tipo</b>                  | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Zona asociada</b>         | Aulas P Baja                    |                                         |                                        |
| <b>Potencia calor [kW]</b>   | <b>Potencia frío [kW]</b>       | <b>Rendimiento estacional calor [%]</b> | <b>Rendimiento estacional frío [%]</b> |
| 0,00                         | 0,00                            | 0,00                                    | 0,00                                   |
| <b>Enfriamiento gratuito</b> | <b>Enfriamiento evaporativo</b> | <b>Recuperación de energía</b>          | <b>Control</b>                         |
| -                            | No                              | Si                                      | -                                      |

|                              |                                 |                                         |                                        |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre</b>                | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Tipo</b>                  | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Zona asociada</b>         | Baños P Baja                    |                                         |                                        |
| <b>Potencia calor [kW]</b>   | <b>Potencia frío [kW]</b>       | <b>Rendimiento estacional calor [%]</b> | <b>Rendimiento estacional frío [%]</b> |
| 0,00                         | 0,00                            | 0,00                                    | 0,00                                   |
| <b>Enfriamiento gratuito</b> | <b>Enfriamiento evaporativo</b> | <b>Recuperación de energía</b>          | <b>Control</b>                         |
| -                            | No                              | Si                                      | -                                      |

|                              |                                 |                                         |                                        |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre</b>                | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Tipo</b>                  | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Zona asociada</b>         | Circulaciones P Baja            |                                         |                                        |
| <b>Potencia calor [kW]</b>   | <b>Potencia frío [kW]</b>       | <b>Rendimiento estacional calor [%]</b> | <b>Rendimiento estacional frío [%]</b> |
| 0,00                         | 0,00                            | 0,00                                    | 0,00                                   |
| <b>Enfriamiento gratuito</b> | <b>Enfriamiento evaporativo</b> | <b>Recuperación de energía</b>          | <b>Control</b>                         |
| -                            | No                              | Si                                      | -                                      |

|                              |                                 |                                         |                                        |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre</b>                | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Tipo</b>                  | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Zona asociada</b>         | Salas                           |                                         |                                        |
| <b>Potencia calor [kW]</b>   | <b>Potencia frío [kW]</b>       | <b>Rendimiento estacional calor [%]</b> | <b>Rendimiento estacional frío [%]</b> |
| 0,00                         | 0,00                            | 0,00                                    | 0,00                                   |
| <b>Enfriamiento gratuito</b> | <b>Enfriamiento evaporativo</b> | <b>Recuperación de energía</b>          | <b>Control</b>                         |
| -                            | No                              | Si                                      | -                                      |

|                              |                                 |                                         |                                        |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre</b>                | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Tipo</b>                  | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Zona asociada</b>         | Aulas P Primera                 |                                         |                                        |
| <b>Potencia calor [kW]</b>   | <b>Potencia frío [kW]</b>       | <b>Rendimiento estacional calor [%]</b> | <b>Rendimiento estacional frío [%]</b> |
| 0,00                         | 0,00                            | 0,00                                    | 0,00                                   |
| <b>Enfriamiento gratuito</b> | <b>Enfriamiento evaporativo</b> | <b>Recuperación de energía</b>          | <b>Control</b>                         |
| -                            | No                              | Si                                      | -                                      |

|                              |                                 |                                         |                                        |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre</b>                | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Tipo</b>                  | Recuperador de calor            |                                         |                                        |
| <b>Zona asociada</b>         | Circulaciones P Primera         |                                         |                                        |
| <b>Potencia calor [kW]</b>   | <b>Potencia frío [kW]</b>       | <b>Rendimiento estacional calor [%]</b> | <b>Rendimiento estacional frío [%]</b> |
| 0,00                         | 0,00                            | 0,00                                    | 0,00                                   |
| <b>Enfriamiento gratuito</b> | <b>Enfriamiento evaporativo</b> | <b>Recuperación de energía</b>          | <b>Control</b>                         |
| -                            | No                              | Si                                      | -                                      |

**Torres de refrigeración (sólo edificios terciarios)**

|                |             |                          |                                     |
|----------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>Nombre</b>  | <b>Tipo</b> | <b>Servicio asociado</b> | <b>Consumo de energía [kWh/año]</b> |
| -              |             |                          | -                                   |
| <b>TOTALES</b> |             |                          | <b>0,00</b>                         |



**Ventilación y bombeo (sólo edificios terciarios)**

| Nombre         | Tipo       | Servicio asociado          | Consumo de energía [kWh/año] |
|----------------|------------|----------------------------|------------------------------|
| Ventiladores   | Ventilador | Climatización, Ventilación | 6761,52                      |
| Bombas         | Bomba      | Climatización              | 512,83                       |
| <b>TOTALES</b> |            |                            | <b>7274,35</b>               |

**4. INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN (sólo edificios terciarios)**

| Espacio                    | Potencia instalada [W/m <sup>2</sup> ] | VEEI [W/m <sup>2</sup> ·100lux] | Iluminancia media [lux] | Modo de obtención |
|----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Z01 S01 Aula 1             | 5,37                                   | 0,90                            | 596,67                  | Usuario           |
| Z01 S02 Aula 2             | 5,37                                   | 0,90                            | 596,67                  | Usuario           |
| Z01 S03 Aula 3             | 5,37                                   | 0,90                            | 596,67                  | Usuario           |
| Z01 S04 Aula 4             | 5,37                                   | 0,90                            | 596,67                  | Usuario           |
| Z01 S05 Aula 5             | 5,37                                   | 0,90                            | 596,67                  | Usuario           |
| Z02 S01 Aseos 1            | 4,72                                   | 1,52                            | 310,53                  | Usuario           |
| Z02 S02 Aseos 2            | 4,72                                   | 1,52                            | 310,53                  | Usuario           |
| Z02 S03 Aseo 3             | 4,72                                   | 1,52                            | 310,53                  | Usuario           |
| Z03 S01 Pasillo 1          | 4,72                                   | 1,50                            | 314,67                  | Usuario           |
| Z03 S02 Pasillo 2          | 4,72                                   | 1,50                            | 314,67                  | Usuario           |
| Z03 S03 Pasillo 3          | 4,72                                   | 1,50                            | 314,67                  | Usuario           |
| Z03 S04 Pasillo 4          | 4,72                                   | 1,50                            | 314,67                  | Usuario           |
| Z04 S01 Secretaría         | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S02 AMPA               | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S03 Conserjería        | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S04 Despacho 1         | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S05 Despacho 2         | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S06 Despacho 3         | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S07 Sala de profesores | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S08 Tutoría            | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z04 S09 Despacho 4         | 13,58                                  | 0,94                            | 1444,68                 | Usuario           |
| Z06 S01 Cocina             | 5,57                                   | 0,75                            | 742,67                  | Usuario           |
| Z06 S02 Basuras            | 5,57                                   | 0,75                            | 742,67                  | Usuario           |
| Z06 S03 Despensa           | 5,57                                   | 0,75                            | 742,67                  | Usuario           |
| Z06 S04 Distribuidor       | 5,57                                   | 0,75                            | 742,67                  | Usuario           |
| Z07 S01 Biblioteca         | 4,22                                   | 1,08                            | 390,74                  | Usuario           |
| Z07 S02 Comedor            | 4,22                                   | 1,08                            | 390,74                  | Usuario           |
| Z07 S03 Sala polivalente   | 4,22                                   | 1,08                            | 390,74                  | Usuario           |
| Z08 S01 Baño 1             | 6,34                                   | 1,14                            | 556,14                  | Usuario           |
| Z08 S02 Baño 2             | 6,34                                   | 1,14                            | 556,14                  | Usuario           |
| Z09 S01 Aula 1             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S02 Aula 2             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S03 Aula 3             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S04 Aula 4             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S05 Aula 5             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S06 Aula 6             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S07 Aula 7             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S08 Aula 8             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S09 Aula 9             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S10 Aula10             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z09 S11 Aula11             | 5,33                                   | 1,00                            | 533,00                  | Usuario           |
| Z10 S01 Pasillo            | 4,81                                   | 1,60                            | 300,63                  | Usuario           |
| <b>TOTALES</b>             | <b>5,93</b>                            |                                 |                         |                   |

## 5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACION (sólo edificios terciarios)

| Espacio                    | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Perfil de uso  |
|----------------------------|------------------------------|----------------|
| Z01_S01 Aula 1             | 60,49                        | perfileusuario |
| Z01_S02 Aula 2             | 60,48                        | perfileusuario |
| Z01_S03 Aula 3             | 64,52                        | perfileusuario |
| Z01_S04 Aula 4             | 64,41                        | perfileusuario |
| Z01_S05 Aula 5             | 67,64                        | perfileusuario |
| Z02_S01 Aseos 1            | 21,48                        | perfileusuario |
| Z02_S02 Aseos 2            | 14,20                        | perfileusuario |
| Z02_S03 Aseo 3             | 4,73                         | perfileusuario |
| Z03_S01 Pasillo 1          | 124,59                       | perfileusuario |
| Z03_S02 Pasillo 2          | 13,87                        | perfileusuario |
| Z03_S03 Pasillo 3          | 131,68                       | perfileusuario |
| Z03_S04 Pasillo 4          | 39,24                        | perfileusuario |
| Z04_S01 Secretaria         | 20,95                        | perfileusuario |
| Z04_S02 AMPA               | 22,21                        | perfileusuario |
| Z04_S03 Conserjería        | 7,24                         | perfileusuario |
| Z04_S04 Despacho 1         | 33,97                        | perfileusuario |
| Z04_S05 Despacho 2         | 20,02                        | perfileusuario |
| Z04_S06 Despacho 3         | 20,02                        | perfileusuario |
| Z04_S07 Sala de profesores | 76,38                        | perfileusuario |
| Z04_S08 Tutoría            | 21,43                        | perfileusuario |
| Z04_S09 Despacho 4         | 19,99                        | perfileusuario |
| Z06_S01 Cocina             | 71,51                        | perfileusuario |
| Z06_S02 Basuras            | 4,96                         | perfileusuario |
| Z06_S03 Despensa           | 10,88                        | perfileusuario |
| Z06_S04 Distribuidor       | 22,89                        | perfileusuario |
| Z07_S01 Biblioteca         | 62,88                        | perfileusuario |
| Z07_S02 Comedor            | 196,04                       | perfileusuario |
| Z07_S03 Sala polivalente   | 199,24                       | perfileusuario |
| Z08_S01 Baño 1             | 21,48                        | perfileusuario |
| Z08_S02 Baño 2             | 21,48                        | perfileusuario |
| Z09_S01 Aula 1             | 60,14                        | perfileusuario |
| Z09_S02 Aula 2             | 60,48                        | perfileusuario |
| Z09_S03 Aula 3             | 60,21                        | perfileusuario |
| Z09_S04 Aula 4             | 60,72                        | perfileusuario |
| Z09_S05 Aula 5             | 20,27                        | perfileusuario |
| Z09_S06 Aula 6             | 20,27                        | perfileusuario |
| Z09_S07 Aula 7             | 20,14                        | perfileusuario |
| Z09_S08 Aula 8             | 20,14                        | perfileusuario |
| Z09_S09 Aula 9             | 20,14                        | perfileusuario |
| Z09_S10 Aula10             | 24,27                        | perfileusuario |
| Z09_S11 Aula11             | 60,05                        | perfileusuario |
| Z10_S01 Pasillo            | 163,31                       | perfileusuario |

## 6. ENERGÍAS RENOVABLES

### Térmica

| Nombre                        | Consumo de Energía Final cubierto, en función del servicio asociado [%] |               |              | Demanda de ACS cubierta [%] |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|
|                               | Calefacción                                                             | Refrigeración | ACS          |                             |
| Biomasa densificada (pellets) | 57,94                                                                   | 0,00          | 0,00         | 0,00                        |
| Medioambiente                 | 25,95                                                                   | 0,00          | 72,60        | 72,60                       |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>83,89</b>                                                            | <b>0,00</b>   | <b>72,60</b> | <b>72,60</b>                |

### Eléctrica

| Nombre             | Energía eléctrica generada y autoconsumida [kWh/año] |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| Panel fotovoltaico | 41713,60                                             |
| <b>TOTAL</b>       | <b>41713,60</b>                                      |

## ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

|                       |    |            |                      |
|-----------------------|----|------------|----------------------|
| <b>Zona Climática</b> | D3 | <b>Uso</b> | EdificioUsoTerciario |
|-----------------------|----|------------|----------------------|

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

| INDICADOR GLOBAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | INDICADORES PARCIALES                                                |  |                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">&lt; 12.67 A</div> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">12.67 - 20.58 B</div> <div style="background-color: yellow; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">20.58 - 31.66 C</div> <div style="background-color: orange; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">31.66 - 41.16 D</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">41.16 - 50.66 E</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">50.66 - 63.33 F</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px;">≥ 63.33 G</div> </div> <div style="margin-top: 10px; text-align: center;"> <b>0,47 A</b> </div> | <b>CALEFACCIÓN</b>                                                   |  | <b>ACS</b>                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Emisiones calefacción<br>[kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año]   |  | Emisiones ACS<br>[kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año]         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,14                                                                 |  | 0,07                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>REFRIGERACIÓN</b>                                                 |  | <b>ILUMINACIÓN</b>                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Emisiones refrigeración<br>[kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año] |  | Emisiones iluminación<br>[kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año] |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,05                                                                 |  | 0,16                                                               |

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

|                                                  | kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año | kgCO <sub>2e</sub> /año |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|
| Emisiones CO <sub>2</sub> por consumo eléctrico  | 0,36                                    | 766                     |
| Emisiones CO <sub>2</sub> por otros combustibles | 0,11                                    | 233                     |

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

| INDICADOR GLOBAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | INDICADORES PARCIALES                                       |  |                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">&lt; 61.47 A</div> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">61.47 - 99.89 B</div> <div style="background-color: yellow; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">99.89 - 153.67 C</div> <div style="background-color: orange; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">153.67 - 199.88 D</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">199.88 - 245.8 E</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">245.88 - 307.35 F</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px;">≥ 307.35 G</div> </div> <div style="margin-top: 10px; text-align: center;"> <b>2,67 A</b> </div> | <b>CALEFACCIÓN</b>                                          |  | <b>ACS</b>                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Energía primaria calefacción<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]   |  | Energía primaria ACS<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0,70                                                        |  | 0,40                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>REFRIGERACIÓN</b>                                        |  | <b>ILUMINACIÓN</b>                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Energía primaria refrigeración<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año] |  | Energía primaria iluminación<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año] |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0,31                                                        |  | 0,93                                                      |

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

| DEMANDA DE CALEFACCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | DEMANDA DE REFRIGERACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">&lt; 14.17 A</div> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">14.17 - 23.82 B</div> <div style="background-color: yellow; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">23.82 - 35.4 C</div> <div style="background-color: orange; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">35.42 - 46.05 D</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">46.05 - 56.68 E</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">56.68 - 70.84 F</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px;">≥ 70.84 G</div> </div> <div style="margin-top: 10px; text-align: center;"> <b>11,56 A</b> </div> | <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">&lt; 4.31 A</div> <div style="background-color: green; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">4.31 - 7.01 B</div> <div style="background-color: yellow; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">7.01 - 10.78 C</div> <div style="background-color: orange; color: black; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">10.78 - 14.01 D</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">14.01 - 17.24 E</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px; margin-bottom: 2px;">17.24 - 21.55 F</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px 5px;">≥ 21.55 G</div> </div> <div style="margin-top: 10px; text-align: center;"> <b>7,01 C</b> </div> |
| Demanda de calefacción<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Demanda de refrigeración<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

<sup>1</sup> - El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.



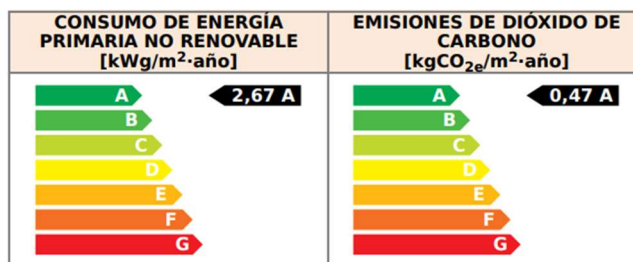
### ANEXO III

## RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

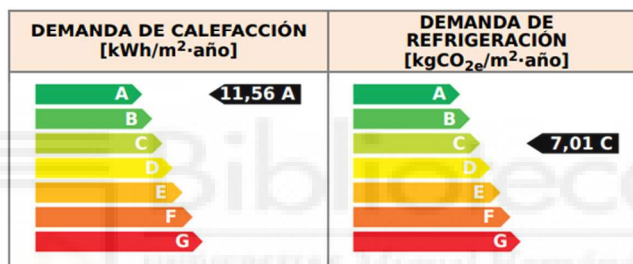
### MEDIDA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

|               |        |
|---------------|--------|
| Denominación: | NOMBRE |
|---------------|--------|

#### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL



#### CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES



#### ANÁLISIS TÉCNICO

| Indicador                                                                 | Calefacción |                                         | Refrigeración |                                         | ACS       |                                         | Iluminación |                                         | Total     |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|
|                                                                           | Valor       | Ahorro respecto a la situación original | Valor         | Ahorro respecto a la situación original | Valor     | Ahorro respecto a la situación original | Valor       | Ahorro respecto a la situación original | Valor     | Ahorro respecto a la situación original |
| Consumo Energía final<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                        | 7,85        | 0,00<br>(+0,00%)                        | 2,97          | 0,00<br>(+0,00%)                        | 3,93      | 0,00<br>(+0,00%)                        | 9,049,04    | 0,00<br>(+0,00%)                        | 23,79     | 0,00<br>(+0,00%)                        |
| Consumo Energía primaria no renovable<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]        | 0,70<br>A   | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,31<br>A     | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,40<br>A | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,93<br>A   | 0,00<br>(+0,00%)                        | 2,67<br>A | 0,00<br>(+0,00%)                        |
| Emisiones de CO <sub>2</sub><br>[kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año] | 0,14<br>A   | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,05<br>A     | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,07<br>A | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,16<br>A   | 0,00<br>(+0,00%)                        | 0,47<br>A | 0,00<br>(+0,00%)                        |
| Demanda<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                                      | 11,56<br>A  | 0,00<br>(+0,00%)                        | 7,01<br>C     | 0,00<br>(+0,00%)                        |           |                                         |             |                                         |           |                                         |

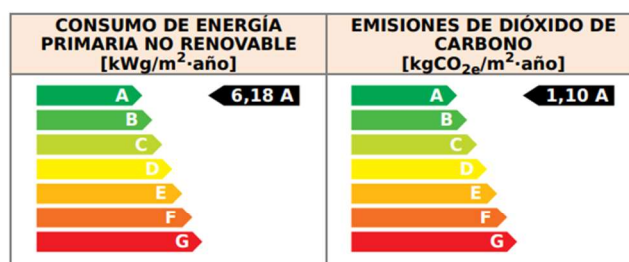
Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

| DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Características técnicas de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos) |
| DESCRIPCION                                                                                       |
| Coste estimado de la medida                                                                       |
| COSTE ESTIMADO                                                                                    |
| Otros datos de interés                                                                            |
| OTROS DATOS                                                                                       |

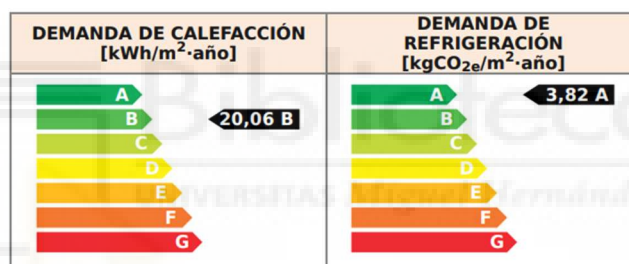
#### MEDIDA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

|               |        |
|---------------|--------|
| Denominación: | NOMBRE |
|---------------|--------|

#### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL



#### CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES



#### ANÁLISIS TÉCNICO

| Indicador                                                                 | Calefacción |                                         | Refrigeración |                                         | ACS       |                                         | Iluminación |                                         | Total     |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|
|                                                                           | Valor       | Ahorro respecto a la situación original | Valor         | Ahorro respecto a la situación original | Valor     | Ahorro respecto a la situación original | Valor       | Ahorro respecto a la situación original | Valor     | Ahorro respecto a la situación original |
| Consumo Energía final<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                        | 16,94       | -9,09<br>(-115,80%)                     | 1,71          | 1,26<br>(+42,42%)                       | 3,93      | 0,00<br>(+0,00%)                        | 9,049,04    | 0,00<br>(+0,00%)                        | 31,63     | -7,84<br>(-32,96%)                      |
| Consumo Energía primaria no renovable<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]        | 1,73<br>A   | -1,03<br>(-147,14%)                     | 0,37<br>A     | -0,06<br>(-19,35%)                      | 0,85<br>A | -0,45<br>(-112,50%)                     | 1,96<br>A   | -1,03<br>(-110,75%)                     | 6,18<br>A | -3,51<br>(-131,46%)                     |
| Emisiones de CO <sub>2</sub><br>[kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> ·año] | 0,35<br>A   | -0,21<br>(-150,00%)                     | 0,06<br>A     | -0,01<br>(-20,00%)                      | 0,14<br>A | -0,07<br>(-100,00%)                     | 0,33<br>A   | -0,17<br>(-106,25%)                     | 1,10<br>A | -0,63<br>(-134,04%)                     |
| Demanda<br>[kWh/m <sup>2</sup> ·año]                                      | 20,06<br>B  | -8,50<br>(-73,53%)                      | 3,82<br>A     | 3,19<br>(+45,51%)                       |           |                                         |             |                                         |           |                                         |

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las

Fecha (de generación del documento): 07/08/2023

Ref. Catastral: 6598401VK8969N0001TS

Página 11 de 13

condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

| DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Características técnicas de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos)</b> |
| DESCRIPCION                                                                                              |
| <b>Coste estimado de la medida</b>                                                                       |
| COSTE ESTIMADO                                                                                           |
| <b>Otros datos de interés</b>                                                                            |
| OTROS DATOS                                                                                              |



**ANEXO IV**  
**PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL**  
**TÉCNICO CERTIFICADOR**

Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

|                                                                   |   |
|-------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Fecha de realización de la visita del técnico certificador</b> | - |
|                                                                   |   |





# CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO TERMINADO ETIQUETA



## DATOS DEL EDIFICIO

Normativa vigente construcción / rehabilitación

Año: 2021

CTE: 2019

Referencia/s catastral/es

1361710XH9316S0048OH

Tipo de edificio

EDIFICIO COMPLETO TERCIARIO

Dirección

C/ MIGUEL HERNÁNDEZ

Municipio

CAMPO DE CRIPTANA

C.P.

13610

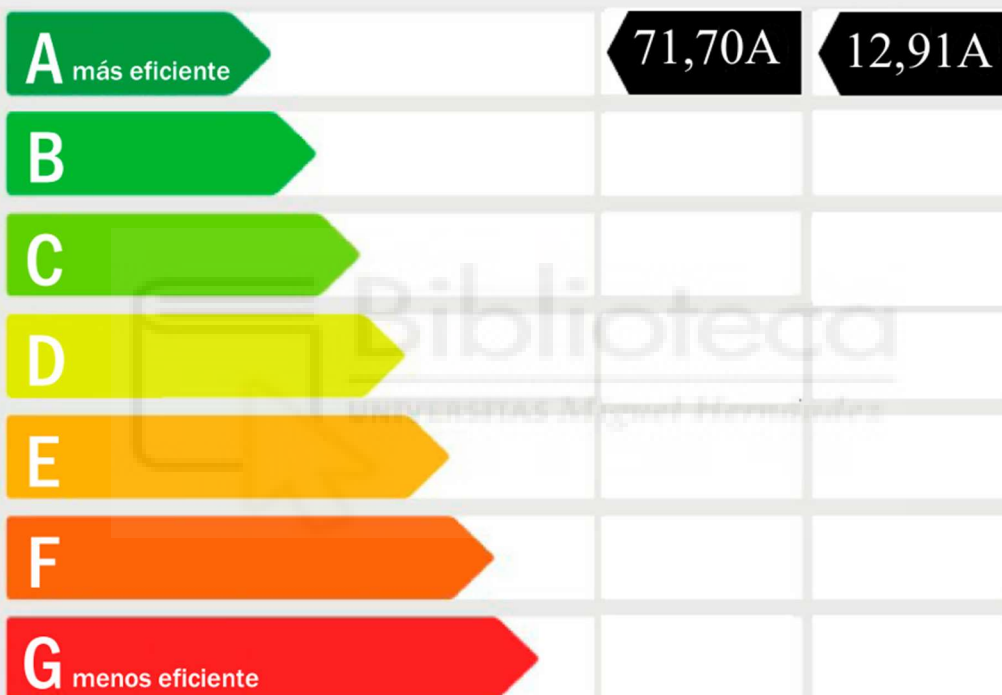
C. Autónoma

CIUDAD REAL

## ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

Consumo de energía  
kW h / m<sup>2</sup> año

Emisiones  
Kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> año



## REGISTRO

E2021VM047220

14/07/2031

Válido hasta dd/mm/aaaa



ESPAÑA  
Directiva 2010 / 31 / UE



## 2. ANEJOS

### 2.1 FICHAS TÉCNICAS:

- 2.1.1 Vidrio empleado, "Guardian Glass "
- 2.1.2 Caldera ACS, "VITODENSS "
- 2.1.3 Inter acumulador ACS, " Corflow de Ygnis "
- 2.1.4 Enfriadora, "DAIKIN"
- 2.1.5 Fancoils, "DAIKIN "
- 2.1.6 Recuperador de calor, "GREE BRV "
- 2.1.7 VRV- unidades exteriores "GREE UMATCH "
- 2.1.8 MATERIALES PARA CONDUCCIÓN DE AIRE "CONDUCTOS"





## GUARDIAN GLASS PRODUCT SELECTOR

### VISUAL LIGHT

| Product                                                     | Colour  | Transmission [%] | Reflection outside [%] | Reflection inside [%] | Colour rendering index | Solar factor (g) EN 410 [%] | Shad. coeff. g EN / 0.87 | U-value (EN 673) | Argon 90% (W/m2K) |
|-------------------------------------------------------------|---------|------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| <b>ClimaGuard®</b>                                          |         |                  |                        |                       |                        |                             |                          |                  |                   |
| <b>Double Glazing 4 - 16 - 4, ClimaGuard® on surface #3</b> |         |                  |                        |                       |                        |                             |                          |                  |                   |
| Premium2                                                    | neutral | 82               | 12                     | 13                    | 98                     | 64                          | 0.74                     | 1.1              |                   |

Last update : 7/1/2020

### LEGAL NOTE

The products in this publication are sold subject to Guardian's standard terms and conditions of sale and any applicable written warranties. It is the responsibility of the purchaser to confirm that the products are suitable for their intended application in compliance with the applicable laws and regulations. Please contact your local Guardian representative to obtain any applicable handling and fabrication guides and for the most current product information.

SunGuard®, ClimaGuard®, Guardian ExtraClear® and Guardian UltraClear® are registered trademarks of Guardian Glass, LLC.  
©2018 Guardian Glass, LLC.

Ultra products use Guardian UltraClear® low iron float as base glass. Other SunGuard® products use Guardian ExtraClear® float and might be available on Guardian UltraClear® base glass upon request.

The performance values shown are nominal and subject to variations due to manufacturing tolerances. Spectra-photometric values according to EN 410; U-values according to EN 673.

- \* Consult Guardian processing directives or contact Guardian.
- \*\* Values are for annealed glass except where \*\* (after heat treatment).
- \*\*\* All products in the glazing use Guardian UltraClear® base glass.

In insulating glass spandrels, based on our experience, black or dark grey are the enamel colours that better match with the vision areas. For more information you can contact your local Technical Advisory Center.

The information provided above is a general recommendation only based on visual mock-ups and compatibility tests performed with the indicated Ferro ceramic frit system. Other ceramic frit systems/paints can consist of different components; this can lead to compatibility issues with the Guardian SunGuard coatings and/or can modify the final esthetic appearance of the relevant paint-coating combination. It is the responsibility of the users of this information to assure that appropriate compatibility tests in a real size mock-up are performed to verify the colour matching between vision and spandrel.

Configuración de colores

### 2.1.2 CALDERA ACS VITODENS

Calderas de  
condensación a gas

Vitodens 200-W  
49 a 99 kW  
Funcionamiento en cascada hasta 594 kW



## VITODENS 200-W 49-99 kW

La caldera de condensación a gas de alta potencia Vitodens 200-W es una de las calderas más eficientes y fiables para uso comercial. Las bombas de alta eficiencia ya están incorporadas de serie. Disponible en soluciones de cascada de hasta 594 kW con 6 unidades.

El rango de 45 a 99 kW de las calderas de condensación a gas Vitodens 200-W es fácil de instalar, puede montarse opcionalmente en cascada, cuenta con regulación en función de las condiciones meteorológicas y bomba de alta eficiencia de serie.

### Ventajas

- Rendimiento hasta 98% (PCS) / 109% (PCI)
- Clase 5 NOx (<39mg/kWh)
- Emisión de ruido inferior a 32dB (A)
- Funcionamiento en cascada de hasta 594 kW con 6 unidades (excepto 69 kW)
- Presión de servicio de hasta 4 bar
- Bombas de alta eficiencia de serie
- Disponibilidad de una caldera con potencia de 69 kW para realizar instalaciones sin proyectos de ingeniería (según RITE)

### Bomba de alta eficiencia (como accesorio)

- Cumple con la directiva ErP para bombas energéticas con calificación A
- Ahorra hasta un 50% del consumo eléctrico

### Quemador cilíndrico MatriX

- Rango de modulación de hasta 1:5
- Tecnología patentada fabricada por Viessmann
- Bajas emisiones de NOx y CO
- La malla de acero inoxidable MatriX garantiza una fiabilidad a largo plazo

### Intercambiador térmico Inox-Radial

- Excelente resistencia a la corrosión gracias al acero inoxidable de alta calidad (tipo DIN 1.4571)
- Superficie lisa de acero inoxidable autolimpiante
- 10 años de garantía contra la corrosión

### Rango de potencia

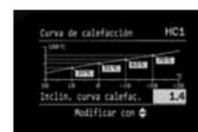
- 49, 60, 69, 80, 99 kW

### Controlador de la combustión Lambda Pro

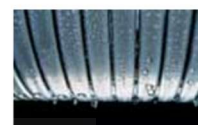
- No es necesario cambiar la boquilla para transformarlo a GLP
- Alta eficiencia estable incluso con composición de gas y presión de aire fluctuantes
- Combustión limpia constante
- Bajo ruido de combustión gracias a la baja velocidad del ventilador
- Eficiencia optimizada durante toda su vida útil
- Puesta en marcha sencilla y a prueba de fallos de la caldera

### Regulación

- Vitotronic 100 ó 200 (bajo pedido)
- Comunicación y supervisión de datos remotas
- Interfaz bomba de calor / solar
- Sensores de control de seguridad
- Funciones de puesta en marcha automática
- Compensación por condiciones meteorológicas (opcional)
- Control remoto a través de Internet con Vitocom 100 y Vitocom 300

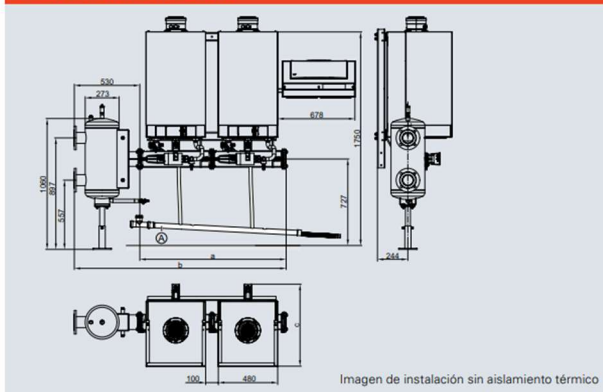


Vitotronic 200 HO1B - curva de calor



**10 años de garantía**  
en todos los intercambiadores de calor de calderas de condensación hasta 150 kW

Montaje en pared con aguja hidráulica



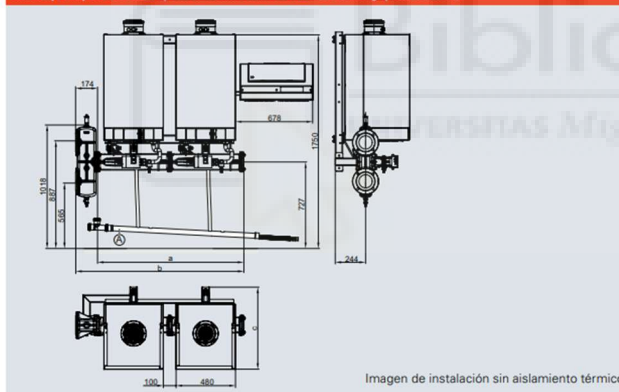
Ⓐ Distribuidor de condensado (accesorio)

| Número de calderas                    |    | 2        |          | 3        |          | 4        |          | 5        |          | 6        |          |
|---------------------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Rango de pot. nominal (individual) kW |    | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  |
| Rango de pot. nominal (cascada) kW    |    | 12 - 98  | 20 - 160 | 12 - 147 | 20 - 240 | 12 - 196 | 20 - 320 | 12 - 245 | 20 - 400 | 12 - 294 | 20 - 480 |
| Rango de pot. nominal (cascada) Kw    |    | 12 - 120 | 20 - 198 | 12 - 180 | 20 - 297 | 12 - 240 | 20 - 396 | 12 - 300 | 20 - 495 | 12 - 360 | 20 - 594 |
| a                                     | mm | 1190     | 1190     | 1770     | 1770     | 2350     | 2350     | 2930     | 2930     | 3510     | 3510     |
| b                                     | mm | 1720     | 1720     | 2300     | 2300     | 2880     | 2880     | 3460     | 3460     | 4040     | 4040     |
| c                                     | mm | 511      | 661      | 511      | 661      | 511      | 661      | 511      | 611      | 511      | 661      |

**¡Importante!**

La altura puede reducirse en un máximo de 150 mm. En tal caso, los perfiles de fijación deben instalarse de manera acorde

Montaje en pared con adaptador del módulo de cascada (sin aguja hidráulica)



Ⓐ Distribuidor de condensado (accesorio)

| Número de calderas                    | 2        |          | 3        |          | 4        |          | 5        |          | 6        |          |      |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| Rango de pot. nominal (individual) kW | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  | 49 - 60  | 80 - 99  |      |
| Rango de pot. nominal (cascada) kW    | 12 - 98  | 20 - 160 | 12 - 147 | 20 - 240 | 12 - 196 | 20 - 320 | 12 - 245 | 20 - 400 | 12 - 294 | 20 - 480 |      |
| Rango de pot. nominal (cascada) kW    | 12 - 120 | 20 - 198 | 12 - 180 | 20 - 297 | 12 - 240 | 20 - 396 | 12 - 300 | 20 - 495 | 12 - 360 | 20 - 594 |      |
| a                                     | mm       | 1190     | 1190     | 1770     | 1770     | 2350     | 2350     | 2930     | 2930     | 3510     | 3510 |
| b                                     | mm       | 1364     | 1364     | 1944     | 1944     | 2524     | 2524     | 3104     | 3104     | 3684     | 3684 |
| c                                     | mm       | 511      | 661      | 511      | 661      | 511      | 661      | 511      | 611      | 511      | 661  |

**¡Importante!**

La altura puede reducirse en un máximo de 300 mm. En tal caso, los perfiles de fijación deben instalarse de manera acorde





| Caldera a gas, sistema de construcción B y C, category II <sub>2H2P</sub>                                  |       | Vitodens 200-W B2HA          |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Margen de potencia térmica útil<br>49 y 60 kW: datos según EN 15502-1<br>80 a 150 kW: datos según EN 15417 |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| $T_r/T_n = 50/30\text{ °C}$ con gas natural                                                                | kW    | 12,0-49,0                    | 12,0-60,0       | 20,0-69,0       | 20,0-80,0       | 20,0-99,0       | 32,0-120,0      | 32,0-150,0      |  |
| $T_r/T_n = 80/60\text{ °C}$ con gas natural                                                                | kW    | 10,9-45,0                    | 10,9-55,2       | 18,2-65,8       | 18,2-74,1       | 18,2-90,9       | 29,1-110,9      | 29,0-136,0      |  |
| $T_r/T_n = 50/30\text{ °C}$ con GLP                                                                        | kW    | 17,0-49,0                    | 17,0-60,0       | 30,0-69,0       | 30,0-80,0       | 30,0-99,0       | 32,0-120,0      | 32,0-150,0      |  |
| $T_r/T_n = 80/60\text{ °C}$ con GLP                                                                        | kW    | 15,5-45,0                    | 15,5-55,2       | 27,0-65,8       | 27,3-74,1       | 27,3-90,9       | 29,1-110,9      | 29,0-136,0      |  |
| Carga térmica nominal con gas natural                                                                      | kW    | 11,2-45,7                    | 11,2-56,2       | 18,8-66,5       | 18,8-75,0       | 18,8-92,9       | 30,0-113,3      | 30,0-142,0      |  |
| arga térmica nominal con GLP                                                                               | kW    | 16,1-45,7                    | 16,1-56,2       | 28,1-66,5       | 28,1-75,0       | 28,1-92,9       | 30,0-113,3      | 30,0-142,0      |  |
| Modelo                                                                                                     |       | B2HA                         | B2HA            | B2HA            | B2HA            | B2HA            | B2HA            | B2HA            |  |
| Nº distintivo de homologación                                                                              |       | CE-0085CN0050                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Tipo de protección                                                                                         |       | IP X4 según EN 60529         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Presión de alimentación de gas                                                                             |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Gas natural                                                                                                | mbar  | 20                           | 20              | 20              | 20              | 20              | 20              | 20              |  |
|                                                                                                            |       | 2                            | 2               | 2               | 2               | 2               | 2               | 2               |  |
| GLP                                                                                                        | mbar  | 50                           | 50              | 50              | 50              | 50              | 50              | 50              |  |
|                                                                                                            | kPa   | 5                            | 5               | 5               | 5               | 5               | 5               | 5               |  |
| Presión máx. admisible de alimentación de gas *                                                            |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Gas Natural                                                                                                | mbar  | 25,0                         | 25,0            | 25,0            | 25,0            | 25,0            | 25,0            | 25,0            |  |
|                                                                                                            | kPa   | 2,5                          | 2,5             | 2,5             | 2,5             | 2,5             | 2,5             | 2,5             |  |
| GLP                                                                                                        | mbar  | 57,5                         | 57,5            | 57,5            | 57,5            | 57,5            | 57,5            | 57,5            |  |
|                                                                                                            | kPa   | 5,75                         | 5,75            | 5,75            | 5,75            | 5,75            | 5,75            | 5,75            |  |
| Nivel sonoro<br>(según EN ISO 15036-1)                                                                     |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| A carga parcial                                                                                            | dB(A) | 39                           | 39              | 38              | 38              | 38              | 40              | 40              |  |
| A carga total                                                                                              | dB(A) | 58                           | 67              | 51              | 56              | 59              | 54              | 60              |  |
| Consumo eléctrico (condición de entrega)                                                                   | W     | 56                           | 82              | 107             | 126             | 175             | 146             | 222             |  |
| Peso                                                                                                       | kg    | 65                           | 65              | 83              | 83              | 83              | 130             | 130             |  |
| Capacidad del intercambiador de calor                                                                      | l     | 70                           | 70              | 12,8            | 12,8            | 12,8            | 15,0            | 15,0            |  |
| Temperatura máxima de flujo                                                                                | °C    | 76                           | 76              | 76              | 76              | 76              | 82              | 82              |  |
| Caudal máximo<br>(valor límite para el uso de un desacoplador hidráulico)                                  | l/h   | 3500                         | 3500            | 5700            | 5700            | 5700            | 7165            | 8600            |  |
| Caudal nominal en el circuito con $T_r$<br>$T_n = 80/60\text{ °C}$                                         | l/h   | 1748                         | 2336            | 2784            | 3118            | 3909            | 4900            | 5850            |  |
| Presión de servicio admisible                                                                              | bar   | 4                            | 4               | 4               | 4               | 4               | 6               | 6               |  |
|                                                                                                            | MPa   | 0,4                          | 0,4             | 0,4             | 0,4             | 0,4             | 0,6             | 0,6             |  |
| Dimensiones                                                                                                |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Longitud                                                                                                   | mm    | 380                          | 380             | 530             | 530             | 530             | 690             | 690             |  |
| Anchura                                                                                                    | mm    | 480                          | 480             | 480             | 480             | 480             | 600             | 600             |  |
| Altura                                                                                                     | mm    | 850                          | 850             | 850             | 850             | 850             | 900             | 900             |  |
| Conexión de gas                                                                                            | R     | 3/4                          | 3/4             | 1               | 1               | 1               | 1               | 1               |  |
| Valores de conexión<br>referidos a la carga máxima con gas                                                 |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| con gas natural                                                                                            | m³/h  | 4,84                         | 5,95            | 7,04            | 9,83            | 11,99           | 12,49           | 15,03           |  |
| GLP                                                                                                        | kg/h  | 3,57                         | 4,39            | 5,20            | 7,26            | 8,86            | 9,23            | 11,10           |  |
| Índices de humos **                                                                                        |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Grupo de valores de combustión según G635/G636<br>$G_{52}/G_{51}$                                          |       | $G_{52}/G_{51}$              | $G_{52}/G_{51}$ | $G_{52}/G_{51}$ | $G_{52}/G_{51}$ | $G_{52}/G_{51}$ | $G_{52}/G_{51}$ | $G_{52}/G_{51}$ |  |
| Temperatura (con una temperatura de retomo de 30 °C)                                                       |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| - con potencia térmica nominal                                                                             | °C    | 62                           | 66              | 42              | 46              | 57              | 51              | 60              |  |
| - a carga parcial                                                                                          | °C    | 39                           | 39              | 37              | 37              | 37              | 39              | 39              |  |
| Temperatura (con una temperatura de retomo de 60 °C)                                                       | °C    | 75                           | 80              | 65              | 68              | 72              | 70              | 74              |  |
| Caudal másico                                                                                              |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Gas natural                                                                                                |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| - con potencia térmica nominal                                                                             | kg/h  | 78                           | 104             | 122             | 139             | 174             | 210             | 253             |  |
| - a carga parcial                                                                                          | kg/h  | 30                           | 30              | 52              | 52              | 52              | 53              | 53              |  |
| GLP                                                                                                        |       |                              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| - con potencia térmica nominal                                                                             | kg/h  | 74                           | 99              | 116             | 132             | 165             | 231             | 278             |  |
| - a carga parcial                                                                                          | kg/h  | 28                           | 28              | 49              | 49              | 49              | 59              | 59              |  |
| Presión de impulsión disponible                                                                            | Pa    | 250                          | 250             | 250             | 250             | 250             | 250             | 250             |  |
|                                                                                                            | mbar  | 2,52                         | 2,5             | 2,5             | 2,52            | 2,5             | 2,52            | 2,5             |  |
| Cantidad media de condensados<br>según DWA-A 251                                                           | l/h   | 6,3                          | 8,41            | 9,8             | 11,2            | 14,0            | 17,5            | 21,0            |  |
| Conexión de condensados (boquilla)                                                                         | Ø mm  | 20-24                        | 20-24           | 20-24           | 20-24           | 20-24           | 20-24           | 20-24           |  |
| Conexión de humos                                                                                          | Ø mm  | 80                           | 80              | 100             | 100             | 100             | 100             | 100             |  |
| Conexión de entrada de aire                                                                                | Ø mm  | 125                          | 125             | 150             | 150             | 150             | 150             | 150             |  |
| Rendimiento estacional a<br>$T_r/T_n = 40/30\text{ °C}$                                                    |       | hasta 98% (PCS) / 109% (PCI) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |  |
| Clase de eficiencia energética                                                                             |       | A                            | A               | -               | -               | -               | -               | -               |  |

\*1 Si la presión de suministro de gas es superior al valor máximo admisible, instale un regulador de presión de gas separado del sistema.

\*2 Valores de cálculo para dimensionar el sistema de salida de gases según la norma EN 13384. Temperaturas de los gases de combustión como valores brutos reales a una temperatura del aire de combustión de 20 °C. La temperatura de los gases de combustión a una temperatura de retomo de 30 °C es significativa para el dimensionado del sistema de salida de gases.

### 2.1.3 INTERACUMULADOR CORFLOW

DESCRIPCIÓN GENERAL | CORFLOW



#### CORFLOW: De 500 a 1.500 litros

#### Gran capacidad de interacumulación

Dotado de un serpentín con una gran superficie de intercambio, **Corflow** es un interacumulador capaz de suministrar ACS en instalaciones donde la demanda es muy exigente, garantizando de esta manera la continuidad en el servicio.



- Gracias a su **amplia gama**, desde **500 L a 1500 L**, se minimiza el número de depósitos en una instalación, obteniendo así una **mejora** importante del **rendimiento** global.
- El **revestimiento vitrificado** monocapa y su **protección catódica** de magnesio lo convierten en un depósito **fiable**.
- Gracias a sus condiciones de servicio de **95°C y 8 bar**, se puede instalar en condiciones exigentes de temperatura y de presión.
- Altas potencias de intercambio que garantizan una **rápida recuperación de ACS** y una producción semi-instantánea.

#### Suministro

- Aislamiento flexible de poliuretano de 100 mm en toda la cuba (incluido inferior) y funda flexible de pvc
- Revestimiento vitrificado SECUR'émal
- Serpentín de gran potencia
- Termómetro
- Ánodo de magnesio
- Boca de hombre a partir de 751 l
- Presión de servicio de 8 bar



\*Garantía de 5 años.

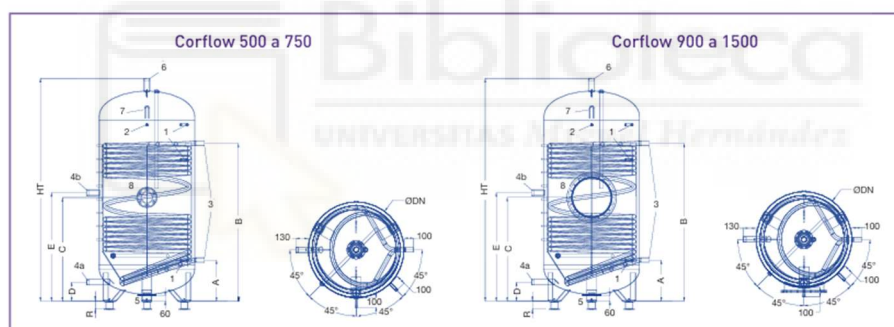
## Interacumuladores

## Potencias de intercambio

|                                   |                   | MODELOS CORFLOW |      |      |       |      |      |       |      |      |        |      |      |        |      |      |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
|                                   |                   | 500 L           |      |      | 750 L |      |      | 900 L |      |      | 1000 L |      |      | 1500 L |      |      |
| Pérdida de carga(*)               | mbar              | 202             |      |      | 212   |      |      | 163   |      |      | 163    |      |      | 214    |      |      |
| Caudal primario                   | m <sup>3</sup> /h | 4               |      |      | 5     |      |      | 5     |      |      | 5      |      |      | 5      |      |      |
| Temperatura primario              | °C                | 70              | 80   | 90   | 70    | 80   | 90   | 70    | 80   | 90   | 70     | 80   | 90   | 70     | 80   | 90   |
| Potencia a 60°C (**)              | kW                | 57              | 82   | 106  | 67    | 98   | 127  | 79    | 115  | 147  | 79     | 115  | 147  | 98     | 141  | 180  |
| Producción continua a 60°C (**)   | L/h               | 972             | 1416 | 1824 | 1155  | 1688 | 2181 | 1358  | 1971 | 2532 | 1358   | 1971 | 2532 | 1689   | 2424 | 3100 |
| Potencia a 45°C (**)              | kW                | 79              | 101  | 123v | 94    | 121  | 147  | 109   | 139  | 169  | 109    | 139  | 169  | 134    | 170  | 205  |
| Producción continua a 45°C (**)   | L/h               | 1941            | 2478 | 3012 | 2315  | 2962 | 3600 | 2688  | 3426 | 4158 | 2688   | 3426 | 4158 | 3294   | 4176 | 5046 |
| Producción en 10 min a 45°C (***) | L                 | 630             | 650  | 671  | 914   | 919  | 921  | 1110  | 1121 | 1136 | 1229   | 1243 | 1260 | 1736   | 1747 | 1766 |

\*Fluido: agua \*\*Agua Fría a 10°C \*\*\*Agua Fría a 10°C - Almacenamiento a 60°C

## Dimensiones (medidas y datos técnicos)



|                              |                | MODELOS CORFLOW |                 |                 |        |              |
|------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------------|
|                              |                | 500             | 750             | 900             | 1000   | 1500         |
| <b>Medidas</b>               |                |                 |                 |                 |        |              |
| Volumen                      | L              | 500             | 750             | 900             | 1000   | 1500         |
| Ø DN                         | mm             | 650             | 790             | 790             | 1000   | 1000         |
| Conexión retorno inter (A)   | mm             | 347             | 381             | 354             |        | 429          |
| Conexión impulsión inter (B) | mm             | 1333            | 1271            | 1570            |        | 1644         |
| C                            | Brida          | 720             | 740             | 1008            |        | 1083         |
|                              | Boca de hombre | -               | -               | -               | -      | -            |
| Conexión agua fría (D)       | mm             |                 |                 | 200             |        | 320          |
| Conexión recirculación (E)   | mm             | 920             | 937             | 1058            | 1200   | 1132         |
| Sondas y term. (1 y 2)       |                |                 |                 | H 1/2" (15/21)  |        |              |
| Conexiones serpentín (3)     |                | H 1 1/4 (33/42) |                 | H 1 1/2 (40/49) |        |              |
| AF/ACS/recirculación (4 y 6) |                |                 | M 1 1/2 (40/49) |                 |        | M 2" (50/60) |
| Vaciado (5)                  |                |                 |                 | H 2" (50/60)    |        |              |
| Altura                       | Sin patas      | mm              | 1900            | 1935            | 2215   | 2460         |
|                              | Con patas      | mm              | 1985            | 2020            | 2300   | 2545         |
| Ancho de paso                | Brida          | mm              | 680             | 800             | -      | -            |
|                              | Boca de hombre | mm              | -               | -               | 880    | 1045         |
| Peso                         | Brida          | kg              | 135             | 210             | -      | -            |
|                              | Boca de hombre | kg              | -               | -               | 252    | 359          |
| <b>Datos técnicos</b>        |                |                 |                 |                 |        |              |
| Longitud serpentín           | m              | 29              | 31              | 35              |        | 46           |
| Superficie serpentín         | m <sup>2</sup> | 3,08            | 3,72            | 4,7             |        | 6,15         |
| Volumen serpentín int        | L              | 20              | 28              | 41              |        | 53           |
| Código                       |                | 650029          | 650030          | 650031          | 650032 | 650033       |
| PVP                          | €              | 2.165           | 2.455           | 3.215           | 3.245  | 5.085        |

#### 2.1.4 ENFRIADORA DAIKIN



### Daikin Altherma 3 Catálogo profesional



**Bombas de calor Daikin Altherma 3:**  
máximo rendimiento y eficiencia superior





Tabla de especificaciones técnicas EKHBRD-ADY17 / ERSQ-AY1

| EKHBRD016ADY17 / ERSQ016AAV1 |                                            |         |                                                 | EKHBRD011ADY17 / ERSQ011AAV1 |                                                                    |  | EKHBRD014ADY17 / ERSQ014AAV1 |  |                              |
|------------------------------|--------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--|------------------------------|--|------------------------------|
| Capacidad de calefacción     | Nom.                                       |         |                                                 | kW                           | 16.0 (1), 16.0 (2), 16.0 (3)                                       |  | 11.3 (1), 11.0 (2), 11.2 (3) |  | 14.5 (1), 14.0 (2), 14.4 (3) |
| Consumo                      | Calefacción                                | Nom.    |                                                 | kW                           | 5.86 (1), 6.65 (2), 4.31 (3)                                       |  | 3.87 (1), 4.40 (2), 2.67 (3) |  | 5.09 (1), 5.65 (2), 3.87 (3) |
| COP                          |                                            |         |                                                 |                              | 2.73 (1), 2.41 (2), 3.72 (3)                                       |  | 2.92 (1), 2.50 (2), 4.20 (3) |  | 2.85 (1), 2.48 (2), 3.72 (3) |
| Calef. de habitaciones       | Temp. del agua de salida, clima medio 55°C | General | SCOP                                            |                              | 3.01                                                               |  | 2.96                         |  | 2.98                         |
|                              |                                            |         | Seasonal space heating eff. class               |                              | A+                                                                 |  | A+                           |  | A+                           |
|                              | Temp. agua salida, clima medio 35°C        | General | SCOP                                            |                              | 2.88                                                               |  | 2.70                         |  | 2.81                         |
|                              |                                            |         | Clase de efíc. estac. de calef. de habitaciones |                              | B                                                                  |  | C                            |  | B                            |
| Notas                        |                                            |         |                                                 |                              |                                                                    |  |                              |  |                              |
|                              |                                            |         |                                                 |                              | (1) - EW 55°C; LW 65°C; Dt 10°C; condiciones ambiente: 7°CBS/6°CBH |  |                              |  |                              |
|                              |                                            |         |                                                 |                              | (2) - EW 70°C; LW 80°C; Dt 10°C; condiciones ambiente: 7°CBS/6°CBH |  |                              |  |                              |
|                              |                                            |         |                                                 |                              | (3) - EW 30°C; LW 35°C; Dt 5°C; condiciones ambiente: 7°CBS/6°CBH  |  |                              |  |                              |

### 2.1.5 FANCOILS “DAIKIN”



## Fan Coil Units Technical Data





## 2 Specifications

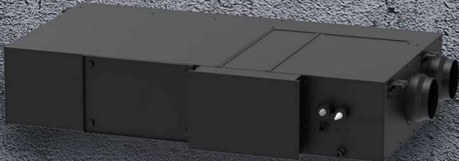
| 2-1 Technical Specifications - (2 pipe) |                     |                                                               |                                                                                         | FWV01DATN<br>6V3/TV6V3 | FWV02DATN<br>6V3/TV6V3 | FWV03DATN<br>6V3/TV6V3 | FWV04DATN<br>6V3/TV6V3 | FWV06DATN<br>6V3/TV6V3 | FWV08DATN<br>6V3/TV6V3 | FWV10DATN<br>6V3/TV6V3 |  |
|-----------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| Cooling capacity                        | Total capacity      | High                                                          | kW                                                                                      | 1.54 (1)               | 2.09 (1)               | 2.93 (1)               | 4.33 (1)               | 4.77 (1)               | 6.71 (1)               | 8.02 (1)               |  |
|                                         |                     | Nom.                                                          | kW                                                                                      | 1.24 (1)               | 1.81 (1)               | 2.38 (1)               | 3.27 (1)               | 3.87 (1)               | 5.27 (1)               | 6.24 (1)               |  |
|                                         |                     | Low                                                           | kW                                                                                      | 1.04 (1)               | 1.45 (1)               | 1.76 (1)               | 2.51 (1)               | 3.17 (1)               | 3.97 (1)               | 4.11 (1)               |  |
|                                         | Sensible capacity   | High                                                          | kW                                                                                      | 1.20 (1)               | 1.51 (1)               | 2.11 (1)               | 3.15 (1)               | 3.65 (1)               | 4.91 (1)               | 5.96 (1)               |  |
|                                         |                     | Nom.                                                          | kW                                                                                      | 0.97 (1)               | 1.31 (1)               | 1.70 (1)               | 2.45 (1)               | 2.92 (1)               | 3.83 (1)               | 4.63 (1)               |  |
|                                         |                     | Low                                                           | kW                                                                                      | 0.79 (1)               | 1.05 (1)               | 1.26 (1)               | 1.80 (1)               | 2.32 (1)               | 2.84 (1)               | 3.05 (1)               |  |
| Heating capacity                        | 2 pipe              | High                                                          | kW                                                                                      | 2.14 (2)               | 2.57 (2)               | 3.81 (2)               | 5.63 (2)               | 6.36 (2)               | 7.83 (2)               | 10.03 (2)              |  |
|                                         |                     | Medium                                                        | kW                                                                                      | 1.73 (2)               | 2.18 (2)               | 3.08 (2)               | 4.30 (2)               | 5.21 (2)               | 6.23 (2)               | 7.80 (2)               |  |
|                                         |                     | Low                                                           | kW                                                                                      | 1.43 (2)               | 1.79 (2)               | 2.28 (2)               | 3.29 (2)               | 4.24 (2)               | 4.77 (2)               | 5.24 (2)               |  |
| Power input                             | High                | W                                                             | 37                                                                                      | 53                     | 56                     | 98                     |                        | 137                    | 175                    |                        |  |
|                                         | Nom.                | W                                                             | 28                                                                                      | 36                     | 43                     | 61                     | 68                     | 104                    | 130                    |                        |  |
|                                         | Low                 | W                                                             | 21                                                                                      | 24                     | 29                     | 38                     | 47                     | 76                     | 90                     |                        |  |
| Dimensions                              | Unit                | Height                                                        | mm                                                                                      | 564                    |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         |                     | Width                                                         | mm                                                                                      | 774                    |                        | 984                    | 1,194                  |                        | 1,404                  |                        |  |
|                                         |                     | Depth                                                         | mm                                                                                      | 226                    |                        |                        |                        |                        | 251                    |                        |  |
| Weight                                  | Unit                | kg                                                            | 19                                                                                      | 20                     | 25                     | 30                     | 31                     | 41                     |                        |                        |  |
|                                         | Operation weight    | kg                                                            |                                                                                         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Casing                                  | Colour              | Plastic and metal RAL9010                                     |                                                                                         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         | Material            | Plastic + sheet metal                                         |                                                                                         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Heat exchanger                          | Rows                | Quantity                                                      | 2                                                                                       | 3                      |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         | Stages              | Quantity                                                      | 10                                                                                      |                        |                        |                        |                        |                        |                        | 12                     |  |
|                                         | Fin pitch           | mm                                                            | 1.8                                                                                     | 1.6                    |                        | 1.8                    | 1.6                    | 2.1                    |                        |                        |  |
|                                         | Face area           | m²                                                            | 0.086                                                                                   |                        | 0.138                  | 0.191                  |                        | 0.292                  |                        |                        |  |
|                                         | Water volume        | l                                                             | 0.5                                                                                     | 0.7                    | 1                      | 1.4                    |                        | 2.1                    |                        |                        |  |
| Fan                                     | Type                | Centrifugal multi-blade, double suction                       |                                                                                         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         | Quantity            | 1                                                             |                                                                                         |                        |                        | 2                      |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         | Air flow rate       | High                                                          | m³/h                                                                                    | 319                    | 344                    | 442                    | 706                    | 785                    | 1,011                  | 1,393                  |  |
|                                         |                     | Medium                                                        | m³/h                                                                                    | 233                    | 271                    | 341                    | 497                    | 605                    | 771                    | 1,022                  |  |
|                                         |                     | Low                                                           | m³/h                                                                                    | 178                    | 211                    | 241                    | 361                    | 470                    | 570                    | 642                    |  |
| Available pressure                      | High                | Pa                                                            | -                                                                                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Fan motor                               | Speed               | Steps                                                         | 3 (high, medium, low)                                                                   |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         | Model               | Closed induction, B class insulation, winding thermal cut-out |                                                                                         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Sound power level                       | High                | dBA                                                           | 45                                                                                      | 50                     | 47                     | 52                     | 56                     | 58                     | 64                     |                        |  |
|                                         | Nom.                | dBA                                                           | 39                                                                                      | 44                     | 41                     | 43                     | 49                     | 51                     | 57                     |                        |  |
|                                         | Low                 | dBA                                                           | 33                                                                                      | 38                     | 33                     | 35                     | 43                     | 44                     | 48                     |                        |  |
| Water flow                              | Cooling             | l/h                                                           | 265                                                                                     | 359                    | 504                    | 745                    | 820                    | 1,154                  | 1,343                  |                        |  |
|                                         | Heating             | l/h                                                           | 265                                                                                     | 359                    | 504                    | 745                    | 820                    | 1,154                  | 1,343                  |                        |  |
| Water pressure drop                     | Cooling             | kPa                                                           | 13                                                                                      |                        | 11                     | 12                     | 14                     | 12                     | 19                     |                        |  |
|                                         | Heating             | kPa                                                           | 9                                                                                       | 11                     | 9                      |                        | 10                     | 9                      | 16                     |                        |  |
| Air filter                              |                     |                                                               | Plastic                                                                                 |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Insulation material                     |                     |                                                               | Class 1 self-extinguishing                                                              |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Vibration insulation                    |                     |                                                               | Rubber ring for fan motor                                                               |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Water connections                       | Std. heat exchanger | inch                                                          | 1/2                                                                                     |                        |                        |                        |                        |                        | 3/4                    |                        |  |
| Piping connections                      | Drain               | OD                                                            | mm                                                                                      | 16                     |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
| Notes                                   |                     |                                                               | (1) Cooling: 2 pipe: air 27°CDB, 19°CWB; entering water 7°C; leaving water 12°C         |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         |                     |                                                               | (2) Heating: 2 pipe: air 20°CDB; entering water 50°C; water flow rate as during cooling |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |
|                                         |                     |                                                               | (3) Air flow at 0Pa ESP                                                                 |                        |                        |                        |                        |                        |                        |                        |  |

2.1.6 RECUPERADOR DE CALOR “GREE”

# ERV

## UNIDADES INTERIORES GMV

Recuperador de calor utilizado en sistemas de ventilación mecánica para recuperar la energía térmica y de humedad del aire de la sala y transferirla al aire fresco entrante. De esta manera, se mejora la eficiencia energética del sistema de ventilación y se reduce la carga térmica en el sistema.





Filtro HEPA



Función X-Fan



Renovación de aire



Motor inverter



Refrigerante R-410A



WiFi



Modbus



BACnet



Control de pared



Control centralizado



Función turbo



Modo silencio



Garantía 4 años



**3IGR9020**  
Control por cable  
XE70-33/H  
De serie



**3IGR9156**  
Control centralizado  
CE58-00/EF(CM)  
Opcional

| MODELO                                  |                | ERV 85HP                | ERV 120HP               | ERV 145HP               |
|-----------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Código                                  |                | 3IGR7420                | 3IGR7421                | 3IGR7422                |
| Referencia de fabricante                |                | GMV-VDR5PH/SA-S         | GMV-VDR8PH/SA-S         | GMV-VDR10PH/SA-S        |
| Potencia                                | Frio (kW)      | 8.5                     | 12.0                    | 14.5                    |
|                                         | Calor (kW)     | 4.0                     | 10.6                    | 12.0                    |
| Corriente                               | Frio (A)       | 1.12                    | 1.12                    | 1.12                    |
|                                         | Calor (A)      | 1.12                    | 1.12                    | 1.12                    |
| Alimentación                            | (V / f / Hz)   | 220 - 240 / 1 / 50 / 60 | 220 - 240 / 1 / 50 / 60 | 220 - 240 / 1 / 50 / 60 |
| Conexiones                              | Líquido (Pul.) | 1/4                     | 3/8                     | 3/8                     |
|                                         | Gas (Pul.)     | 1/2                     | 5/8                     | 5/8                     |
| Diámetro exterior de tubería de drenaje | (mm)           | 26                      | 26                      | 26                      |
| Grosor de la tubería de drenaje         | (mm)           | 3                       | 3                       | 3                       |
| Cable de alimentación                   | (n° x s)       | 2 x 1.5 + T             | 2 x 1.5 + T             | 2 x 1.5 + T             |
| Caudal de aire                          | (m³/h)         | 300 - 500               | 400 - 800               | 600 - 1000              |
| Presión disponible                      | (Pa)           | 150                     | 150                     | 150                     |
| Presión sonora                          | (dB(A))        | 32 - 41                 | 33 - 46                 | 37 - 49                 |
| Producto Ancho / Alto / Fondo           | (mm)           | 1700 / 340 / 880        | 1800 / 390 / 1185       | 1800 / 390 / 1185       |
| Embalaje Ancho / Alto / Fondo           | (mm)           | 1988 / 535 / 1138       | 2110 / 567 / 1440       | 2110 / 567 / 1440       |
| Peso neto / bruto                       | (kg)           | 120 / 175               | 158 / 225               | 158 / 225               |

72

## 2.1.7 UNIDADES INTERIORES “GREE U-MATCH”

**NUEVO**

# CONDUCTOS

## UNIDADES U-MATCH

Ofrecen una amplia gama de opciones en cuanto a capacidad, con opciones monofásicas y trifásicas, adaptándose a las necesidades de cada espacio. Además, su diseño compacto y de fácil instalación los convierte en una opción perfecta tanto para instalaciones residenciales como comerciales.

VER EN LA WEB







MONOSPLITS U-MATCH



Ionizador\*

Función X-Fan

Cambio de filtro

Autolimpieza batería

Desescarche inteligente

Modo ahorro energético

Calefacción a 8°C

WiFi

Control centralizado

Bomba de drenaje

Twin/Triple/Quadru

Función turbo

Modbus

\*Solo para los modelos de 24 a 60.

**Clase energética A++/A+**

**Presión estática disponible de 0 a 200 Pa según modelo**

**Desagüe para condensados en ambos lados**

**Diseño optimizado**

- Permite mejorar el rendimiento y reducir nivel sonoro

**Varias opciones de filtros purificadores**

- Diferentes filtros esterilizadores que pueden ser instalados en la unidad interior (catequina, carbón activo, etc.).

**Bomba de drenaje incluida**

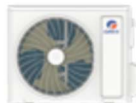
- Se puede elevar hasta 1 metro.

**Entrada de renovación de aire**

**Modbus integrado**

**Sistemas de control**

- Control WiFi integrado
- Control remoto y centralizado opcionales
- Es posible instalar dos mandos de pared en una misma unidad interior, poniéndolas por ejemplo en distintos sitios de la habitación.

**LO QUE INCLUYE**

greeproducts.es



73



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - TRIFÁSICO

| MODELO                         |                | UM CDT 36 3F            | UM CDT 42 3F            | UM CDT 48 3F            | UM CDT 60 3F            |
|--------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Código                         |                | 3NGR0595                | 3NGR0600                | 3NGR0605                | 3NGR0610                |
| Referencia de fabricante UI    |                | GUD100PHS1/A-S          | GUD125PHS1/A-S          | GUD140PHS1/A-S          | GUD160PHS1/A-S          |
| Referencia de fabricante UE    |                | GUD100W1/NhA-X          | GUD125W1/NhA-X          | GUD140W1/NhA-X          | GUD160W1/NhA-X          |
| Potencia                       | Frio (W)       | 10500<br>(3200 - 11000) | 12100<br>(3600 - 13100) | 13400<br>(6000 - 14200) | 16000<br>(4800 - 17000) |
|                                | Calor (W)      | 11500<br>(3000 - 12500) | 13500<br>(3600 - 14500) | 15500<br>(3900 - 16000) | 17000<br>(4500 - 18000) |
| Potencia -10°C                 | (W)            | 9910                    | 11630                   | 13360                   | 11140                   |
| Eficiencia energética          | SEER           | 6.4                     | 6.1                     | 6.1                     | 6.1                     |
|                                | SCOP           | 4.2                     | 4.1                     | 4                       | 4                       |
| Clase energética               | Frio / Calor   | A++ / A+                | A++ / A+                | A++ / A+                | A++ / A+                |
| Consumo eléctrico              | Frio (W)       | 3000                    | 3580                    | 4500                    | 5400                    |
|                                | Calor (W)      | 2800                    | 3700                    | 4500                    | 4700                    |
| Corriente                      | Frio (A)       | 4.8                     | 5.7                     | 6.8                     | 9.2                     |
|                                | Calor (A)      | 4.45                    | 5.9                     | 6.8                     | 8                       |
| Alimentación                   | (V / f / Hz)   | 380 - 415 / 3 / 50      | 380 - 415 / 3 / 50      | 380 - 415 / 3 / 50      | 380 - 415 / 3 / 50      |
| Rango de temperatura interior  | Frio (°C)      | +16 - +30               | +16 - +30               | +16 - +30               | +16 - +30               |
|                                | Calor (°C)     | +16 - +30               | +16 - +30               | +16 - +30               | +16 - +30               |
| Rango de temperatura exterior  | Frio (°C)      | -20 - +52               | -20 - +52               | -20 - +52               | -20 - +52               |
|                                | Calor (°C)     | -20 - +24               | -20 - +24               | -20 - +24               | -20 - +24               |
| Conexiones                     | Líquido (Pul.) | 3/8                     | 3/8                     | 3/8                     | 3/8                     |
|                                | Gas (Pul.)     | 5/8                     | 5/8                     | 5/8                     | 5/8                     |
| Longitud precargada            | (m)            | 7                       | 7                       | 9.5                     | 9.5                     |
| Longitud máxima (UI/UE)        | (m)            | 75                      | 75                      | 75                      | 75                      |
| Longitud vertical máxima UI/UE | (m)            | 30                      | 30                      | 30                      | 30                      |
| Cable de comunicación (LIVCY)  | (mm)           | 4 × 1                   | 4 × 1                   | 4 × 1                   | 4 × 1                   |
| UNIDAD INTERIOR                |                |                         |                         |                         |                         |
| Cable de alimentación          | (n° × s)       | 4 × 1                   | 4 × 1                   | 4 × 1                   | 4 × 1                   |
| Caudal de aire                 | (m³/h)         | 1200 - 1700             | 1400 - 2000             | 1500 - 2300             | 1700 - 2600             |
| Presión sonora                 | (dB(A))        | 36 - 39                 | 40 - 43                 | 38 - 43                 | 40 - 46                 |
| Potencia sonora                | (dB(A))        | 62                      | 66                      | 67                      | 70                      |
| Unidad Ancho / Alto / Fondo    | (mm)           | 1340 / 260 / 655        | 1340 / 260 / 655        | 1400 / 300 / 700        | 1400 / 300 / 700        |
| Embalaje Ancho / Alto / Fondo  | (mm)           | 1568 / 323 / 770        | 1568 / 323 / 770        | 1601 / 365 / 813        | 1601 / 365 / 813        |
| Peso neto / bruto              | (kg)           | 43 / 49                 | 43 / 49                 | 52 / 58                 | 55 / 62                 |
| Presión estática               | (Pa)           | 37                      | 50                      | 50                      | 50                      |
|                                | (min - máx)    | 0 - 160                 | 0 - 160                 | 0 - 200                 | 0 - 200                 |
| UNIDAD EXTERIOR                |                |                         |                         |                         |                         |
| Cable de alimentación          | (n° × s)       | 4 × 2.5 + T             | 4 × 2.5 + T             | 4 × 2.5 + T             | 4 × 2.5 + T             |
| Caudal de aire                 | (m³/h)         | 4800                    | 5200                    | 5200                    | 5500                    |
| Presión sonora                 | (dB(A))        | 57                      | 58                      | 59                      | 60                      |
| Potencia sonora                | (dB(A))        | 70                      | 73                      | 75                      | 75                      |
| Refrigerante                   |                | R32                     | R32                     | R32                     | R32                     |
| Carga de refrigerante          | (kg)           | 2.1                     | 2.25                    | 2.8                     | 3.5                     |
| Carga adicional                | (g/m)          | 20                      | 20                      | 35                      | 35                      |
| Unidad Ancho / Alto / Fondo    | (mm)           | 940 / 820 / 370         | 940 / 820 / 370         | 940 / 820 / 370         | 990 / 960 / 370         |
| Embalaje Ancho / Alto / Fondo  | (mm)           | 1093 / 885 / 497        | 1093 / 885 / 497        | 1093 / 885 / 497        | 1153 / 1110 / 478       |
| Peso neto / bruto              | (kg)           | 75 / 82                 | 76 / 83                 | 81 / 88                 | 94 / 103                |

2.1.8 MATERIALES PARA CONDUCCIÓN DE AIRE “CONDUCTOS”

# Gama



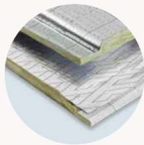
12 URSA AIR Sistemas de redes de conductos de climatización y ventilación

## URSA AIR

Paneles y mantas de lana mineral para el aislamiento térmico y acústico, y/o para la construcción de los conductos de climatización.

|                                                                                     |                                              |                                                                                       |                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|    | <b>URSA AIR</b><br>Panel Alu-Alu P5858       |    | <b>URSA AIR</b><br>Manta Zero IN M8703                     |
|    | <b>URSA AIR</b><br>Panel Alu-Tech2 P8058     |    | <b>URSA AIR</b><br>Manta aluminio reforzada M5102L         |
|    | <b>URSA AIR</b><br>Panel Zero P8858          |    | <b>URSA AIR</b><br>Manta aluminio puro incombustible M3603 |
|   | <b>URSA AIR</b><br>Panel Zero A2             |   | <b>URSA AIR</b><br>Manta aluminio M2021                    |
|  | <b>URSA AIR</b><br>Maletines de herramientas |  | <b>URSA AIR</b><br>Herramientas                            |

**URSA AIR**  
**Panel Alu-Alu P5858**



Panel de lana mineral con tecnología InCare para la construcción de conductos de climatización conforme a la norma UNE EN 14303.

DoP 34AIR32AK0B22021

**Acabado**

- **Interior:** complejo kraft-aluminio con sistema de marcado IN.
- **Exterior:** complejo kraft-aluminio reforzado.

|                                             |                           |                         |
|---------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Lambda (A90/90) 10°C                        |                           | 0,032 W/m-K             |
| Lambda (A90/90) 24°C                        | EN 12667                  | 0,034 W/m-K             |
| Lambda (A90/90) 40°C                        | EN 12939                  | 0,036 W/m-K             |
| Lambda (A90/90) 60°C                        |                           | 0,038 W/m-K             |
| Reacción al fuego (Euroclases)              | EN 13501-1                | B-s1,d0                 |
| Absorción acústica sin plenum (α)           |                           | 0,45                    |
| Resistencia a la presión                    | EN 13403                  | 800 Pa                  |
| Resistencia a la difusión del vapor de agua | EN 12086                  | MV1 - 148,15 m³/h Pa/mg |
| Estandaridad                                | RITE                      | ATC1                    |
| Estandaridad                                | EN 1507                   | 0                       |
| Densidad nominal aproximada                 |                           | 81 Kg/m³                |
| <b>Código designación</b>                   | <b>MW-EN 14303-T5-MV1</b> |                         |



0099/CPR/IA43/0294 020/003540 ETE 22/0024

Panel

| Código  | Formato          | Espesor mm | Ancho m | Largo m | Dis. | Ud/ Pq | m²/ Pq | Pq /palet | m²/palet | Rt m²-K/W |
|---------|------------------|------------|---------|---------|------|--------|--------|-----------|----------|-----------|
| 2075014 | Caja             | 25         | 1,20    | 3,00    | S    | 6      | 21,60  | 7         | 151,20   | 0,78      |
| 2133145 | Palé a granel XL | 25         | 1,20    | 3,00    | S    | 46     | 165,60 | -         | 165,60   | 0,78      |
| 2135083 | Palé a granel XS | 25         | 1,20    | 2,40    | S    | 46     | 132,48 | -         | 132,48   | 0,78      |

Dis: disponibilidad S: stock C: consultar Pq: paquete Rt: resistencia térmica (indicada a 10 °C)

Caja Caja con 6 paneles 3x1,2 m. XL Palés con 46 paneles a granel de 3x1,2 m. XS Palés con 46 paneles a granel de 2,4x1,2 m.

| Prestaciones acústicas                       |         |          |      |      |      |       |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------|----------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Frecuencia (Hz)                              |         |          |      | 125  | 250  | 500   | 1000 | 2000 | 4000 |
| Coeficiente de absorción acústica (α)        |         |          |      | 0,20 | 0,15 | 0,45  | 0,60 | 0,50 | 0,35 |
| Atenuación acústica en un tramo recto (dB/m) | Sección | 200x200  | 2,21 | 1,47 | 6,87 | 10,27 | 7,96 | 4,83 |      |
|                                              |         | 300x400  | 1,29 | 0,86 | 4,01 | 5,99  | 4,64 | 2,82 |      |
|                                              |         | 400x500  | 0,99 | 0,66 | 3,09 | 4,62  | 3,58 | 2,17 |      |
|                                              |         | 400x700  | 0,87 | 0,58 | 2,70 | 4,04  | 3,13 | 1,90 |      |
|                                              |         | 500x1000 | 0,66 | 0,44 | 2,06 | 3,08  | 2,39 | 1,45 |      |

Cálculos realizados con la absorción acústica con plenum de 37 cm.

Gama URSA AIR 13





## Condensaciones

UNE EN ISO 13788

### ÍNDICE

|                                                                                                                               |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. AULAS P BAJA.....                                                                                                          | 1 |
| 1.1. Cerramiento exterior.....                                                                                                | 1 |
| 1.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 1.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 1.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 1.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 1.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 1.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 1.2. Cubierta 3 - Inclınadas aulas.....                                                                                       | 1 |
| 1.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 1.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 1.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 1.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 1.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 1.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 2. BAÑOS P BAJA.....                                                                                                          | 1 |

|                                                                                                                               |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 2.1. Cerramiento exterior.....                                                                                                | 1 |
| 2.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 2.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 2.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 2.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 2.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 2.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 2.2. Cubierta 3 - Inclinas aulas.....                                                                                         | 1 |
| 2.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 2.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 2.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 2.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 2.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 2.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 3. CIRCULACIONES P BAJA.....                                                                                                  | 1 |
| 3.1. Cerramiento exterior.....                                                                                                | 1 |
| 3.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 3.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 3.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 3.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 3.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |

|                                                                                                                         |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 3.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....                                       | 1 |
| 3.2. Cubierta 1-Polivalente.....                                                                                        | 1 |
| 3.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                    | 1 |
| 3.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                        | 1 |
| 3.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                       | 1 |
| 3.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica..... | 1 |
| 3.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                    | 1 |
| 3.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....                                       | 1 |
| 3.3. Cubierta 3 - Inclinas aulas.....                                                                                   | 1 |
| 3.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                    | 1 |
| 3.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                        | 1 |
| 3.3.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                       | 1 |
| 3.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica..... | 1 |
| 3.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                    | 1 |
| 3.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....                                       | 1 |
| 4. OFICINAS P BAJA.....                                                                                                 | 1 |
| 4.1. Cerramiento exterior.....                                                                                          | 1 |
| 4.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                    | 1 |
| 4.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                        | 1 |
| 4.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                       | 1 |
| 4.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica..... | 1 |

|                                                                                                                               |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 4.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 4.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 4.2. Cubierta 3 - Inclinas aulas.....                                                                                         | 1 |
| 4.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 4.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 4.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 4.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 4.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 4.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 5. SALAS.....                                                                                                                 | 1 |
| 5.1. Cerramiento exterior.....                                                                                                | 1 |
| 5.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 5.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 5.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 5.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 5.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 5.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |
| 5.2. Cubierta 1-Polivalente.....                                                                                              | 1 |
| 5.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 5.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 5.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |

|                                                                                                                         |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 5.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica..... | 1 |
| 5.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                    | 1 |
| 5.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....                                       | 1 |
| 6. BAÑOS P PRIMERA.....                                                                                                 | 1 |
| 6.1. Cerramiento exterior.....                                                                                          | 1 |
| 6.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                    | 1 |
| 6.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                        | 1 |
| 6.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                       | 1 |
| 6.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica..... | 1 |
| 6.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                    | 1 |
| 6.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....                                       | 1 |
| 6.2. Cubierta 2-Transitable.....                                                                                        | 1 |
| 6.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                    | 1 |
| 6.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                        | 1 |
| 6.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                       | 1 |
| 6.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica..... | 1 |
| 6.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                    | 1 |
| 6.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....                                       | 1 |
| 6.3. Cubierta 3 - Inclinas aulas.....                                                                                   | 1 |
| 6.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                    | 1 |
| 6.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                        | 1 |

|                                                                                                                               |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 6.3.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1     |
| 6.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1     |
| 6.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1     |
| 6.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1     |
| <br>7. AULAS P PRIMERA.....                                                                                                   | <br>1 |
| 7.1. Cerramiento exterior.....                                                                                                | 1     |
| 7.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1     |
| 7.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1     |
| 7.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1     |
| 7.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1     |
| 7.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1     |
| 7.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1     |
| 7.2. Cubierta 3 - Inclinas aulas.....                                                                                         | 1     |
| 7.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1     |
| 7.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1     |
| 7.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1     |
| 7.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1     |
| 7.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1     |
| 7.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1     |
| 7.3. Cubierta 2-Transitable.....                                                                                              | 1     |



|                                                                                                                               |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 7.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1     |
| 7.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1     |
| 7.3.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1     |
| 7.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1     |
| 7.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1     |
| 7.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1     |
| <br>8. CIRCULACIONES P PRIMERA.....                                                                                           | <br>1 |
| 8.1. Cerramiento exterior.....                                                                                                | 1     |
| 8.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1     |
| 8.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1     |
| 8.1.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1     |
| 8.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1     |
| 8.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1     |
| 8.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1     |
| 8.2. Cubierta 2-Transitable.....                                                                                              | 1     |
| 8.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1     |
| 8.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1     |
| 8.2.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1     |
| 8.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1     |
| 8.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1     |
| 8.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1     |

|                                                                                                                               |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 8.3. Cubierta 3 - Inclínadas aulas.....                                                                                       | 1 |
| 8.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....                                                                          | 1 |
| 8.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....                                                                              | 1 |
| 8.3.3. Descripción del elemento constructivo.....                                                                             | 1 |
| 8.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la<br>humedad<br>superficial crítica..... | 1 |
| 8.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....                                                                          | 1 |
| 8.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales<br>previstas.....                                          | 1 |

## 1. AULAS P BAJA

### 1.1. Cerramiento exterior

#### 1.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 1.1.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.954 \geq f_{Rsi,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$   
 $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   
 $m^2 \cdot K/W$ .

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad  
superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 1.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre,  
enero, febrero. Sin

embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 1.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 1.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

|                      |         |           |   |       |     |
|----------------------|---------|-----------|---|-------|-----|
| Cerramiento exterior | e       | $\lambda$ | R | $\mu$ | Sd  |
| (cm)                 | (W/m·K) | (m²·K/W)  |   |       | (m) |

|      |                                                          |      |       |         |    |     |  |
|------|----------------------------------------------------------|------|-------|---------|----|-----|--|
| Rse  |                                                          | 0.04 |       |         |    |     |  |
| 1    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500 | 0.02400 | 80 | 4.8 |  |
| 2    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 8.0  | 0.032 | 2.50000 |    |     |  |
| 20   | 1.6                                                      |      |       |         |    |     |  |
| 3    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500 | 0.02400 | 80 | 4.8 |  |
| 4    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 8.0  | 0.031 | 2.58065 | 1  |     |  |
| 0.08 |                                                          |      |       |         |    |     |  |
| 5    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4  |     |  |
| 0.06 |                                                          |      |       |         |    |     |  |
| 6    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4  |     |  |
| 0.06 |                                                          |      |       |         |    |     |  |
| Rsi  |                                                          | 0.13 |       |         |    |     |  |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                | Uds.                | Valor  |
|-----------------------------------------|---------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT          | cm                  | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT           | m <sup>2</sup> ·K/W | 5.4186 |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T | m                   | 11.40  |

|                                                  |                       |       |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------|
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.185 |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.954 |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi, m<sup>2</sup>·K/W.

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$  W/m<sup>2</sup>·K y  $R_{si} = 0.25$  m<sup>2</sup>·K/W.

#### 1.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de fRsi,mín queda como sigue:

|         | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | fRsi,mín |
|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|----------|
| Enero   | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772    |
| Febrero | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749    |
| Marzo   | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704    |
| Abril   | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606    |
| Mayo    | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295    |
| Junio   | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000    |

|            |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Julio      |  | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto     |  | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre    |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre  |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre  |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |

-----|-----  
 \*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 1.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.



| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504           | 722.212      | 79.4                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 5.67             | 913.569           | 913.569      | 100.0                               | 18.301                       | 35.016                       |
| Interfase 2-3        | 12.36            | 1435.537          | 1032.018     | 71.9                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 12.43            | 1441.610          | 1387.365     | 96.2                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.33            | 2241.913          | 1393.287     | 62.1                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.49            | 2264.408          | 1397.729     | 61.7                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 19.65            | 2287.101          | 1402.171     | 61.3                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior                | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior                | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2                | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3                | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4                | 13.10            | 1507.216     | 1389.932  | 92.2                                | --    | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.39            | 2250.293     | 1394.828  | 62.0                                | --    | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.54            | 2270.831     | 1398.499  | 61.6                                | --    | --                        |
| Cara interior                | 19.68            | 2291.532     | 1402.171  | 61.2                                | --    | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |       |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 8.80             | 1132.044     | 781.110   | 69.0                                |    |                           |

|               |  |       |          |          |       |         |        |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|---------|--------|
| Cara exterior |  | 8.88  | 1138.392 | 781.110  | 68.6  | --      | --     |
| Interfase 1-2 |  | 8.93  | 1142.216 | 1142.216 | 100.0 | -19.201 | 20.456 |
| Interfase 2-3 |  | 14.10 | 1608.089 | 1205.236 | 74.9  | --      | --     |
| Interfase 3-4 |  | 14.15 | 1613.269 | 1394.293 | 86.4  | --      | --     |
| Interfase 4-5 |  | 19.48 | 2263.240 | 1397.444 | 61.7  | --      | --     |
| Interfase 5-6 |  | 19.61 | 2280.742 | 1399.807 | 61.4  | --      | --     |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.363 | 1402.171 | 61.0  | --      | --     |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |         |        |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------|
| Aire exterior        | 11.60            | 1365.261     | 928.378   | 68.0                                |         |                           |
| Cara exterior        | 11.66            | 1370.871     | 928.378   | 67.7                                | --      | --                        |
| Interfase 1-2        | 11.70            | 1374.247     | 1374.247  | 100.0                               | -20.456 | --                        |
| Interfase 2-3        | 15.57            | 1768.501     | 1381.016  | 78.1                                | --      | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 15.61 | 1772.722 | 1401.325 | 79.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.61 | 2281.474 | 1401.663 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.71 | 2294.683 | 1401.917 | 61.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.80 | 2307.958 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Aire exterior        | 15.30            | 1737.605          | 1164.195     | 67.0                                |                              |                             |
| Cara exterior        | 15.33            | 1741.480          | 1164.195     | 66.9                                | --                           | --                          |
| Interfase 1-2        | 15.36            | 1743.809          | 1264.395     | 72.5                                | --                           | --                          |
| Interfase 2-3        | 17.52            | 2001.891          | 1297.795     | 64.8                                | --                           | --                          |
| Interfase 3-4        | 17.54            | 2004.523          | 1397.996     | 69.7                                | --                           | --                          |
| Interfase 4-5        | 19.78            | 2305.767          | 1399.666     | 60.7                                | --                           | --                          |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 19.84 | 2313.218 | 1400.918 | 60.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.89 | 2320.690 | 1402.171 | 60.4 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

-----|-----  
donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

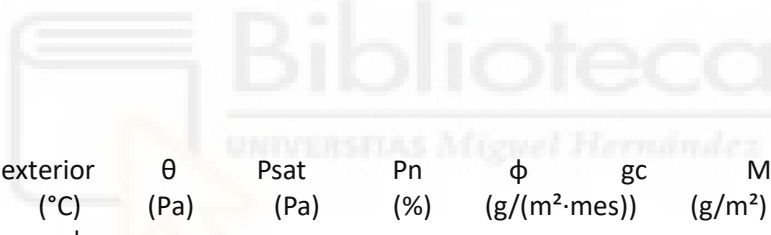
$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.



| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 23.47            | 2889.346     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 23.46            | 2886.648     | 1478.342  | 51.2                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 21.84            | 2617.367     | 1459.876  | 55.8                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 21.83            | 2614.893     | 1404.479  | 53.7                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 20.16            | 2360.412     | 1403.556  | 59.5                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 20.12            | 2354.763     | 1402.863  | 59.6                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.08            | 2349.125     | 1402.171  | 59.7                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025     | 1497.973  | 54.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554     | 1497.973  | 54.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473     | 1457.635  | 52.7                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 21.48            | 2559.044     | 1444.189  | 56.4                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 21.46            | 2557.103     | 1403.851  | 54.9                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 20.13            | 2355.704     | 1403.179  | 59.6                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 20.10            | 2351.191     | 1402.675  | 59.7                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.07            | 2346.686     | 1402.171  | 59.8                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.



$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $g_c$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $Ma$<br>( $g/m^2$ ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595          | 1382.013     | 61.0                                     |                                         |                     |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114          | 1382.013     | 61.0                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426          | 1390.500     | 61.4                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118          | 1393.329     | 60.6                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434          | 1401.817     | 61.0                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616          | 1401.958     | 60.1                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 5-6        | 19.98            | 2334.416          | 1402.065     | 60.1                                     | --                                      | --                  |
| Cara interior        | 19.99            | 2335.216          | 1402.171     | 60.0                                     | --                                      | --                  |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                     |                                         |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 16.92            | 1926.596     | 1397.884  | 72.6                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.73            | 2297.864     | 1399.599  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.79            | 2307.192     | 1400.885  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.86            | 2316.554     | 1402.171  | 60.5                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 9.08             | 1153.764     | 906.489   | 78.6                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 9.13             | 1157.564     | 1115.197  | 96.3                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 14.20            | 1619.108     | 1184.767  | 73.2                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 14.25            | 1624.226     | 1393.475  | 85.8                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.49            | 2264.538     | 1396.953  | 61.7                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2281.736     | 1399.562  | 61.3                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.74            | 2299.048     | 1402.171  | 61.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior        | 5.90             | 928.177      | 751.823   | 81.0                                |        |                           |
| Cara exterior        | 6.00             | 934.891      | 751.823   | 80.4                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.07             | 938.941      | 938.941   | 100.0                               | 16.715 | 16.715                    |
| Interfase 2-3        | 12.57            | 1455.547     | 1051.239  | 72.2                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4        | 12.63            | 1461.524     | 1388.133  | 95.0                                | --     | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.35            | 2244.489     | 1393.748  | 62.1                                | --     | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.51            | 2266.383     | 1397.960  | 61.7                                | --     | --                        |
| Cara interior        | 19.66            | 2288.463     | 1402.171  | 61.3                                | --     | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |        |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |        |        |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| gc                                           | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 18.301 | 4.640  | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| gev                                          | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --     | --     | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |
| Ma                                           | (g/m <sup>2</sup> )     | 35.016 | 39.657 | 20.456 | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 1.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
|                          |                       |                          |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Mayo

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Junio

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Julio

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Agosto

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Septiembre

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Octubre

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

-----

-----

-----

-----

Presión de saturación      Temperatura

Presión de saturación      Temperatura

Condensación ac



$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

#### 1.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

#### 1.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Condiciones exteriores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
| 60                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

#### 1.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 3 - Inclinas aulas |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$   | Sd      |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|---------|---------|
|                             |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         | (m)     |
| Rse                         |                                                          | 0.04 |           |                       |         |         |
| 1                           | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000   | 0.00000               | 1000000 | 1000    |
| 2                           | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] |      |           |                       | 10.0    | 0.032   |
| 20                          | 2                                                        |      |           |                       |         | 3.12500 |
| 3                           | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000   | 0.00000               | 1000000 | 1000    |
| 4                           | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           |      | 5.0       | 0.031                 | 1.61290 | 1       |
| 0.05                        |                                                          |      |           |                       |         |         |
| 5                           | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     |      | 30.0      | 1.579                 | 0.18999 | 80      |
| 24                          |                                                          |      |           |                       |         |         |
| 6                           | Cámara de aire                                           | 10.0 |           | 0.16000               |         | 0.01    |
| 7                           | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               |      | 1.5       | 0.250                 | 0.06000 | 4       |
| 0.06                        |                                                          |      |           |                       |         |         |
| Rsi                         |                                                          | 0.10 |           |                       |         |         |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor   |
|--------------------------------------------------|-----------------------|---------|
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 56.7    |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.2879  |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 2026.12 |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.189   |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.953   |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi, m<sup>2</sup>·K/W.

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189$  W/m<sup>2</sup>·K y  $R_{si} = 0.25$  m<sup>2</sup>·K/W.

#### 1.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de fRsi,mín queda como sigue:

| $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | fRsi,mín |
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|----------|
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|----------|

|            |      |      |      |      |         |         |      |       |
|------------|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Enero      | 5.5  | 80.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.772 |
| Febrero    | 6.8  | 76.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.749 |
| Marzo      | 8.8  | 69.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.704 |
| Abril      | 11.6 | 68.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.606 |
| Mayo       | 15.3 | 67.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.295 |
| Junio      | 19.8 | 62.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Julio      | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto     | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre    | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 1.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$  |
|-------------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior                 | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |                              |       |
| Cara exterior                 | 5.61             | 909.671           | 722.212      | 79.4                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2                 | 5.61             | 909.672           | 909.672      | 100.0                               | 0.157                        | 0.302 |
| Interfase 2-3                 | 14.18            | 1616.361          | 910.632      | 56.3                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4                 | 14.18            | 1616.362          | 1390.594     | 86.0                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5                 | 18.60            | 2142.151          | 1390.618     | 64.9                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6                 | 19.12            | 2212.994          | 1402.137     | 63.4                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7                 | 19.56            | 2274.234          | 1402.142     | 61.7                                | --                           | --    |
| Cara interior                 | 19.73            | 2297.578          | 1402.171     | 61.0                                | --                           | --    |
| Aire interior                 | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 6.90             | 994.473      | 750.629   | 75.5                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 6.90             | 994.474      | 994.474   | 100.0                               | 0.074                     | 0.377 |
| Interfase 2-3               | 14.70            | 1671.841     | 995.268   | 59.5                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 14.70            | 1671.842     | 1392.587  | 83.3                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 18.73            | 2159.016     | 1392.607  | 64.5                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.20            | 2223.868     | 1402.143  | 63.0                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.60            | 2279.796     | 1402.147  | 61.5                                | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.75            | 2301.084     | 1402.171  | 60.9                                | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 8.80     | 1132.044 | 781.110  | 69.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 8.88     | 1138.550 | 781.110  | 68.6                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 8.88     | 1138.550 | 1138.550 | 100.0                     | -0.054              | 0.323 |
| Interfase 2-3               | 15.50    | 1760.457 | 1139.064 | 64.7                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 15.50    | 1760.458 | 1395.974 | 79.3                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5               | 18.92    | 2185.189 | 1395.987 | 63.9                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6               | 19.32    | 2240.687 | 1402.153 | 62.6                      | --                  | --    |
| Interfase 6-7               | 19.66    | 2288.377 | 1402.155 | 61.3                      | --                  | --    |
| Cara interior               | 19.79    | 2306.488 | 1402.171 | 60.8                      | --                  | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)



Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 11.60    | 1365.261 | 928.378  | 68.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 11.66    | 1371.010 | 928.378  | 67.7                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 11.66    | 1371.011 | 1371.011 | 100.0                     | -0.214              | 0.109 |
| Interfase 2-3               | 16.63    | 1891.429 | 1371.072 | 72.5                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 16.63    | 1891.430 | 1401.438 | 74.1                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5               | 19.19    | 2222.298 | 1401.440 | 63.1                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6               | 19.49    | 2264.422 | 1402.169 | 61.9                      | --                  | --    |
| Interfase 6-7               | 19.75    | 2300.437 | 1402.169 | 61.0                      | --                  | --    |
| Cara interior               | 19.84    | 2314.071 | 1402.171 | 60.6                      | --                  | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 15.34            | 1741.576     | 1164.195  | 66.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 15.34            | 1741.577     | 1741.577  | 100.0                               | -0.109                    | -- |
| Interfase 2-3               | 18.11            | 2077.547     | 1740.915  | 83.8                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 18.11            | 2077.548     | 1410.149  | 67.9                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 19.55            | 2272.179     | 1410.132  | 62.1                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.72            | 2296.123     | 1402.194  | 61.1                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 19.86            | 2316.458     | 1402.191  | 60.5                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 19.91            | 2324.125     | 1402.171  | 60.3                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 19.80    | 2308.176 | 1431.069 | 62.0                      |                     |    |
| Cara exterior               | 19.80    | 2308.393 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 19.80    | 2308.393 | 1416.806 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 19.92    | 2325.362 | 1416.778 | 60.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 19.92    | 2325.362 | 1402.515 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 19.98    | 2334.162 | 1402.514 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.99    | 2335.201 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.99    | 2336.076 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 20.00    | 2336.404 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 23.47            | 2889.235     | 1533.739  | 53.1                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 23.47            | 2889.235     | 1468.803  | 50.8                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 21.41            | 2548.107     | 1468.673  | 57.6                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 21.41            | 2548.107     | 1403.737  | 55.1                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 20.34            | 2386.229     | 1403.734  | 58.8                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 20.21            | 2367.766     | 1402.175  | 59.2                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 20.11            | 2352.314     | 1402.175  | 59.6                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 20.07            | 2346.543     | 1402.171  | 59.8                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Aire exterior |  | 22.80 | 2774.025 | 1497.973 | 54.0 |    |    |
| Cara exterior |  | 22.78 | 2770.468 | 1497.973 | 54.1 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 22.78 | 2770.467 | 1450.690 | 52.4 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 21.12 | 2504.591 | 1450.595 | 57.9 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 21.12 | 2504.590 | 1403.311 | 56.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 20.27 | 2376.302 | 1403.309 | 59.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 20.17 | 2361.575 | 1402.174 | 59.4 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 20.08 | 2349.235 | 1402.174 | 59.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.05 | 2344.622 | 1402.171 | 59.8 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|-----------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               |          | 19.50     | 2265.595 | 1382.013                  | 61.0                |       |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara exterior |  | 19.50 | 2266.127 | 1382.013 | 61.0 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 19.50 | 2266.127 | 1391.962 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 19.80 | 2308.071 | 1391.982 | 60.3 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 19.80 | 2308.072 | 1401.931 | 60.7 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.95 | 2329.985 | 1401.931 | 60.2 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.97 | 2332.578 | 1402.170 | 60.1 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.98 | 2334.764 | 1402.170 | 60.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.584 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|-------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| ----- -----                 |          |       |          |                           |                     |    |
| Aire exterior               |          | 14.10 | 1608.128 | 1157.852                  | 72.0                |    |
| ----- -----                 |          |       |          |                           |                     |    |
| Cara exterior               |          | 14.14 | 1612.787 | 1157.852                  | 71.8                | -- |
| Interfase 1-2               |          | 14.14 | 1612.788 | 1278.437                  | 79.3                | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 17.63 | 2015.502 | 1278.678 | 63.4 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 17.63 | 2015.502 | 1399.262 | 69.4 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.43 | 2255.895 | 1399.268 | 62.0 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.64 | 2285.800 | 1402.162 | 61.3 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.82 | 2311.252 | 1402.163 | 60.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.89 | 2320.860 | 1402.171 | 60.4 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------|
| Aire exterior               | 9.00             | 1147.455          | 906.489      | 79.0                                |                              |      |
| Cara exterior               | 9.08             | 1153.920          | 906.489      | 78.6                                | --                           | --   |
| Interfase 1-2               | 9.08             | 1153.921          | 1151.135     | 99.8                                | --                           | --   |
| Interfase 2-3               | 15.58            | 1769.541          | 1151.624     | 65.1                                | --                           | --   |



|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 15.58 | 1769.542 | 1396.270 | 78.9 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 18.94 | 2187.822 | 1396.282 | 63.8 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.33 | 2242.376 | 1402.154 | 62.5 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.67 | 2289.236 | 1402.156 | 61.2 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.79 | 2307.029 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 5.90             | 928.177      | 751.823   | 81.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 6.01             | 935.058      | 751.823   | 80.4                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 6.01             | 935.059      | 935.059   | 100.0                               | 0.146                     | 0.146 |
| Interfase 2-3               | 14.34            | 1633.257     | 935.969   | 57.3                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 14.34            | 1633.258     | 1391.191  | 85.2                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 18.64            | 2147.328     | 1391.214  | 64.8                                | --                        | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 19.15 | 2216.335 | 1402.139 | 63.3 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.57 | 2275.944 | 1402.143 | 61.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.657 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot mes)$ .

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                 | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| ----- -----                                  |                     |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                     |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| ----- -----                                  |                     |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| $g_c$                                        | $g/(m^2 \cdot mes)$ | 0.157 | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
| ----- -----                                  |                     |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| $g_{ev}$                                     | $g/(m^2 \cdot mes)$ | --    | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --    |
| ----- -----                                  |                     |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| $M_a$                                        | $(g/m^2)$           | 0.302 | 0.377 | 0.323 | 0.109 | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |

-----|-----  
donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 1.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |

|                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                           |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <div>Mayo</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>       |  | <div>Junio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>   |  |
| <div>Julio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>      |  | <div>Agosto</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  |
| <div>Septiembre</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  | <div>Octubre</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  |
| <div>Noviembre</div> <hr/>                                                                                                                   |  | <div>Diciembre</div> <hr/>                                                                                                                |  |



Presión de vapor teórica    Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica    Presión de

Presión de saturación    Temperatura

Presión de saturación    Temperatura

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----

## 2. BAÑOS P BAJA

### 2.1. Cerramiento exterior

#### 2.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 2.1.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.954 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$   
 $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   
 $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 2.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 2.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 2.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$ | Sd  |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|-------|-----|
|                      |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |       | (m) |
| Rse                  |                                                          | 0.04 |           |                       |       |     |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 8.0  | 0.032     | 2.50000               |       |     |
| 20                   | 1.6                                                      |      |           |                       |       |     |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 8.0  | 0.031     | 2.58065               | 1     |     |
| 0.08                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| 5                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| 6                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| Rsi                  |                                                          | 0.13 |           |                       |       |     |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                       | Uds.                | Valor  |
|--------------------------------|---------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT | cm                  | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT  | m <sup>2</sup> ·K/W | 5.4186 |

|                                                       |                   |       |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Esesor de aire equivalente total, $S_{d,T}$           | m                 | 11.40 |
| Transmitancia térmica, $U$                            | $W/(m^2 \cdot K)$ | 0.185 |
| Factor de resistencia superficial interior, $fR_{si}$ | --                | 0.954 |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

$U$ : Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 2.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|         | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero   | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo   | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril   | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo    | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |



|             |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|-------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Junio       |  | 19.8 | 62.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Julio       |  | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto      |  | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre  |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre     |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre   |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre   |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |
| ----- ----- |  |      |      |      |      |         |         |      |       |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 2.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765      | 722.212   | 80.0                                |        |                           |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504      | 722.212   | 79.4                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2        | 5.67             | 913.569      | 913.569   | 100.0                               | 18.301 | 35.016                    |
| Interfase 2-3        | 12.36            | 1435.537     | 1032.018  | 71.9                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4        | 12.43            | 1441.610     | 1387.365  | 96.2                                | --     | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.33            | 2241.913     | 1393.287  | 62.1                                | --     | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.49            | 2264.408     | 1397.729  | 61.7                                | --     | --                        |
| Cara interior        | 19.65            | 2287.101     | 1402.171  | 61.3                                | --     | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |        |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior                | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior                | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2                | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3                | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4                | 13.10            | 1507.216     | 1389.932  | 92.2                                | --    | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.39            | 2250.293     | 1394.828  | 62.0                                | --    | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.54            | 2270.831     | 1398.499  | 61.6                                | --    | --                        |
| Cara interior                | 19.68            | 2291.532     | 1402.171  | 61.2                                | --    | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |       |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
|                              |                  |              |           |                                     |    |                           |

|               |  |       |          |          |       |         |        |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|---------|--------|
| Aire exterior |  | 8.80  | 1132.044 | 781.110  | 69.0  |         |        |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |
| Cara exterior |  | 8.88  | 1138.392 | 781.110  | 68.6  | --      | --     |
| Interfase 1-2 |  | 8.93  | 1142.216 | 1142.216 | 100.0 | -19.201 | 20.456 |
| Interfase 2-3 |  | 14.10 | 1608.089 | 1205.236 | 74.9  | --      | --     |
| Interfase 3-4 |  | 14.15 | 1613.269 | 1394.293 | 86.4  | --      | --     |
| Interfase 4-5 |  | 19.48 | 2263.240 | 1397.444 | 61.7  | --      | --     |
| Interfase 5-6 |  | 19.61 | 2280.742 | 1399.807 | 61.4  | --      | --     |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.363 | 1402.171 | 61.0  | --      | --     |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |         |        |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma      |
|----------------------|----------|-------|----------|---------------------------|---------------------|---------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |         |
| Aire exterior        |          | 11.60 | 1365.261 | 928.378                   | 68.0                |         |
| Cara exterior        |          | 11.66 | 1370.871 | 928.378                   | 67.7                | --      |
| Interfase 1-2        |          | 11.70 | 1374.247 | 1374.247                  | 100.0               | -20.456 |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 15.57 | 1768.501 | 1381.016 | 78.1 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 15.61 | 1772.722 | 1401.325 | 79.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.61 | 2281.474 | 1401.663 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.71 | 2294.683 | 1401.917 | 61.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.80 | 2307.958 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|----------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior        | 15.30    | 1737.605  | 1164.195 | 67.0                      |                     |       |
| Cara exterior        | 15.33    | 1741.480  | 1164.195 | 66.9                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2        | 15.36    | 1743.809  | 1264.395 | 72.5                      | --                  | --    |
| Interfase 2-3        | 17.52    | 2001.891  | 1297.795 | 64.8                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4        | 17.54    | 2004.523  | 1397.996 | 69.7                      | --                  | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 19.78 | 2305.767 | 1399.666 | 60.7 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.84 | 2313.218 | 1400.918 | 60.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.89 | 2320.690 | 1402.171 | 60.4 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |

|               |       |          |          |      |
|---------------|-------|----------|----------|------|
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
|---------------|-------|----------|----------|------|

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

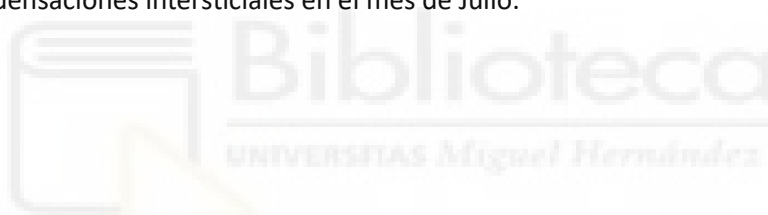
$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.



| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 23.47            | 2889.346     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 23.46            | 2886.648     | 1478.342  | 51.2                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 21.84            | 2617.367     | 1459.876  | 55.8                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 21.83            | 2614.893     | 1404.479  | 53.7                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 20.16            | 2360.412     | 1403.556  | 59.5                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 20.12            | 2354.763     | 1402.863  | 59.6                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.08            | 2349.125     | 1402.171  | 59.7                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|----|
|                      | (Pa)             |              |           | (g/m <sup>2</sup> )                 |    |    |
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025     | 1497.973  | 54.0                                |    |    |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554     | 1497.973  | 54.1                                | -- | -- |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473     | 1457.635  | 52.7                                | -- | -- |
| Interfase 2-3        | 21.48            | 2559.044     | 1444.189  | 56.4                                | -- | -- |
| Interfase 3-4        | 21.46            | 2557.103     | 1403.851  | 54.9                                | -- | -- |
| Interfase 4-5        | 20.13            | 2355.704     | 1403.179  | 59.6                                | -- | -- |
| Interfase 5-6        | 20.10            | 2351.191     | 1402.675  | 59.7                                | -- | -- |
| Cara interior        | 20.07            | 2346.686     | 1402.171  | 59.8                                | -- | -- |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.



Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595     | 1382.013  | 61.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114     | 1382.013  | 61.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426     | 1390.500  | 61.4                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118     | 1393.329  | 60.6                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434     | 1401.817  | 61.0                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616     | 1401.958  | 60.1                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.98            | 2334.416     | 1402.065  | 60.1                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.99            | 2335.216     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 16.92            | 1926.596     | 1397.884  | 72.6                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.73            | 2297.864     | 1399.599  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.79            | 2307.192     | 1400.885  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.86            | 2316.554     | 1402.171  | 60.5                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|----------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior        | 9.00     | 1147.455  | 906.489  | 79.0                      |                     |       |
| Cara exterior        | 9.08     | 1153.764  | 906.489  | 78.6                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2        | 9.13     | 1157.564  | 1115.197 | 96.3                      | --                  | --    |
| Interfase 2-3        | 14.20    | 1619.108  | 1184.767 | 73.2                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4        | 14.25    | 1624.226  | 1393.475 | 85.8                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5        | 19.49    | 2264.538  | 1396.953 | 61.7                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6        | 19.61    | 2281.736  | 1399.562 | 61.3                      | --                  | --    |
| Cara interior        | 19.74    | 2299.048  | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior        | 20.00    | 2336.951  | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma     |
|----------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|--------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |        |
| Aire exterior        | 5.90     | 928.177  | 751.823  | 81.0                      |                     |        |
| Cara exterior        | 6.00     | 934.891  | 751.823  | 80.4                      | --                  | --     |
| Interfase 1-2        | 6.07     | 938.941  | 938.941  | 100.0                     | 16.715              | 16.715 |
| Interfase 2-3        | 12.57    | 1455.547 | 1051.239 | 72.2                      | --                  | --     |
| Interfase 3-4        | 12.63    | 1461.524 | 1388.133 | 95.0                      | --                  | --     |
| Interfase 4-5        | 19.35    | 2244.489 | 1393.748 | 62.1                      | --                  | --     |
| Interfase 5-6        | 19.51    | 2266.383 | 1397.960 | 61.7                      | --                  | --     |
| Cara interior        | 19.66    | 2288.463 | 1402.171 | 61.3                      | --                  | --     |
| Aire interior        | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de

cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene        | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |            |        |        |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| gc                                           | g/(m²·mes) | 18.301 | 4.640  | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| gev                                          | g/(m²·mes) | --     | --     | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |
| Ma                                           | (g/m²)     | 35.016 | 39.657 | 20.456 | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m²·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 2.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

|                                                                                                                                         |  |                                                                                                                                          |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <div>Marzo</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  | <div>Abril</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  |
| <div>Mayo</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  | <div>Junio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  |
| <div>Julio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  | <div>Agosto</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  |
| <div>Septiembre</div> <hr/>                                                                                                             |  | <div>Octubre</div> <hr/>                                                                                                                 |  |



|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

-----

-----

|           |
|-----------|
| -----     |
| Noviembre |
| -----     |

|           |
|-----------|
| -----     |
| Diciembre |
| -----     |

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

-----

-----



|                        |
|------------------------|
| -----                  |
| Condensación acumulada |
| -----                  |
| -----                  |

## 2.2. Cubierta 3 - Inclínadas aulas

### 2.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 2.2.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.953 \geq f_{Rsi, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

#### 2.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

#### 2.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.



### 2.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 3 - Inclinas aulas |                                                          | e       | $\lambda$             | R       | $\mu$   | Sd      |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|---------|-----------------------|---------|---------|---------|
| (cm)                        |                                                          | (W/m·K) | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         |         | (m)     |
| Rse                         |                                                          | 0.04    |                       |         |         |         |
| 1                           | Aluminio                                                 | 0.1     | 230.000               | 0.00000 | 1000000 | 1000    |
| 2                           | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] |         |                       | 10.0    | 0.032   | 3.12500 |
| 20                          | 2                                                        |         |                       |         |         |         |
| 3                           | Aluminio                                                 | 0.1     | 230.000               | 0.00000 | 1000000 | 1000    |
| 4                           | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           |         | 5.0                   | 0.031   | 1.61290 | 1       |
| 0.05                        |                                                          |         |                       |         |         |         |
| 5                           | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     |         | 30.0                  | 1.579   | 0.18999 | 80      |
| 24                          |                                                          |         |                       |         |         |         |
| 6                           | Cámara de aire                                           | 10.0    |                       | 0.16000 |         | 0.01    |
| 7                           | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               |         | 1.5                   | 0.250   | 0.06000 | 4       |
| 0.06                        |                                                          |         |                       |         |         |         |
| Rsi                         |                                                          | 0.10    |                       |         |         |         |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                                 | Valor   |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|
| Esesor total del elemento, eT                    | cm                                   | 56.7    |
| Resistencia térmica total, RT                    | $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$   | 5.2879  |
| Esesor de aire equivalente total, Sd,T           | m                                    | 2026.12 |
| Transmitancia térmica, U                         | $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ | 0.189   |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                                   | 0.953   |

donde:

ET: Esesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

SdT: Esesor de aire equivalente total, sumatorio del esesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

#### 2.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de fRsi,mín queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |  |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|--|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |  |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |  |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |  |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |  |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |  |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |  |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |  |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |  |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi, \text{mín}} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 2.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfaces formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 5.50             | 902.765      | 722.212   | 80.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 5.61             | 909.671      | 722.212   | 79.4                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 5.61             | 909.672      | 909.672   | 100.0                               | 0.157                     | 0.302 |
| Interfase 2-3               | 14.18            | 1616.361     | 910.632   | 56.3                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 14.18            | 1616.362     | 1390.594  | 86.0                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 18.60            | 2142.151     | 1390.618  | 64.9                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.12            | 2212.994     | 1402.137  | 63.4                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.56            | 2274.234     | 1402.142  | 61.7                                | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.73            | 2297.578     | 1402.171  | 61.0                                | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot mes)$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot mes)$ ) | $g_c$<br>( $g/m^2$ ) | $Ma$  |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|----------------------|-------|
| Aire exterior               | 6.80             | 987.670           | 750.629      | 76.0                              |                      |       |
| Cara exterior               | 6.90             | 994.473           | 750.629      | 75.5                              | --                   | --    |
| Interfase 1-2               | 6.90             | 994.474           | 994.474      | 100.0                             | 0.074                | 0.377 |
| Interfase 2-3               | 14.70            | 1671.841          | 995.268      | 59.5                              | --                   | --    |
| Interfase 3-4               | 14.70            | 1671.842          | 1392.587     | 83.3                              | --                   | --    |
| Interfase 4-5               | 18.73            | 2159.016          | 1392.607     | 64.5                              | --                   | --    |
| Interfase 5-6               | 19.20            | 2223.868          | 1402.143     | 63.0                              | --                   | --    |
| Interfase 6-7               | 19.60            | 2279.796          | 1402.147     | 61.5                              | --                   | --    |
| Cara interior               | 19.75            | 2301.084          | 1402.171     | 60.9                              | --                   | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                              |                      |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación,  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ .

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $\text{g}/\text{m}^2$ .

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                                       | gc                        | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------------------------------------------|---------------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | ( $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ ) | ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) |       |
| Aire exterior               | 8.80     | 1132.044 | 781.110  | 69.0                                         |                           |       |
| Cara exterior               | 8.88     | 1138.550 | 781.110  | 68.6                                         | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 8.88     | 1138.550 | 1138.550 | 100.0                                        | -0.054                    | 0.323 |
| Interfase 2-3               | 15.50    | 1760.457 | 1139.064 | 64.7                                         | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 15.50    | 1760.458 | 1395.974 | 79.3                                         | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 18.92    | 2185.189 | 1395.987 | 63.9                                         | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.32    | 2240.687 | 1402.153 | 62.6                                         | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.66    | 2288.377 | 1402.155 | 61.3                                         | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.79    | 2306.488 | 1402.171 | 60.8                                         | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                                         |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación,  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ .

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $\text{g}/\text{m}^2$ .

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 11.60            | 1365.261     | 928.378   | 68.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 11.66            | 1371.010     | 928.378   | 67.7                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 11.66            | 1371.011     | 1371.011  | 100.0                               | -0.214                    | 0.109 |
| Interfase 2-3               | 16.63            | 1891.429     | 1371.072  | 72.5                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 16.63            | 1891.430     | 1401.438  | 74.1                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 19.19            | 2222.298     | 1401.440  | 63.1                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.49            | 2264.422     | 1402.169  | 61.9                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.75            | 2300.437     | 1402.169  | 61.0                                | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.84            | 2314.071     | 1402.171  | 60.6                                | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclınadas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior                 | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |                           |    |
| Cara exterior                 | 15.34            | 1741.576     | 1164.195  | 66.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2                 | 15.34            | 1741.577     | 1741.577  | 100.0                               | -0.109                    | -- |
| Interfase 2-3                 | 18.11            | 2077.547     | 1740.915  | 83.8                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4                 | 18.11            | 2077.548     | 1410.149  | 67.9                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5                 | 19.55            | 2272.179     | 1410.132  | 62.1                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6                 | 19.72            | 2296.123     | 1402.194  | 61.1                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7                 | 19.86            | 2316.458     | 1402.191  | 60.5                                | --                        | -- |
| Cara interior                 | 19.91            | 2324.125     | 1402.171  | 60.3                                | --                        | -- |
| Aire interior                 | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.



| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                          | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior                 | 19.80    | 2308.176 | 1431.069 | 62.0                      |                     |    |
| Cara exterior                 | 19.80    | 2308.393 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2                 | 19.80    | 2308.393 | 1416.806 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3                 | 19.92    | 2325.362 | 1416.778 | 60.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4                 | 19.92    | 2325.362 | 1402.515 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5                 | 19.98    | 2334.162 | 1402.514 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6                 | 19.99    | 2335.201 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7                 | 19.99    | 2336.076 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Cara interior                 | 20.00    | 2336.404 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |
| Aire interior                 | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-------------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior                 | 23.50            | 2893.848          | 1533.739     | 53.0                                |                              |       |
| Cara exterior                 | 23.47            | 2889.235          | 1533.739     | 53.1                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2                 | 23.47            | 2889.235          | 1468.803     | 50.8                                | --                           | --    |
| Interfase 2-3                 | 21.41            | 2548.107          | 1468.673     | 57.6                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4                 | 21.41            | 2548.107          | 1403.737     | 55.1                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5                 | 20.34            | 2386.229          | 1403.734     | 58.8                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6                 | 20.21            | 2367.766          | 1402.175     | 59.2                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7                 | 20.11            | 2352.314          | 1402.175     | 59.6                                | --                           | --    |
| Cara interior                 | 20.07            | 2346.543          | 1402.171     | 59.8                                | --                           | --    |
| Aire interior                 | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 22.80            | 2774.025     | 1497.973  | 54.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 22.78            | 2770.468     | 1497.973  | 54.1                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 22.78            | 2770.467     | 1450.690  | 52.4                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 21.12            | 2504.591     | 1450.595  | 57.9                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 21.12            | 2504.590     | 1403.311  | 56.0                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 20.27            | 2376.302     | 1403.309  | 59.1                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 20.17            | 2361.575     | 1402.174  | 59.4                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 20.08            | 2349.235     | 1402.174  | 59.7                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 20.05            | 2344.622     | 1402.171  | 59.8                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Aire exterior |  | 19.50 | 2265.595 | 1382.013 | 61.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Cara exterior |  | 19.50 | 2266.127 | 1382.013 | 61.0 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 19.50 | 2266.127 | 1391.962 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 19.80 | 2308.071 | 1391.982 | 60.3 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 19.80 | 2308.072 | 1401.931 | 60.7 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.95 | 2329.985 | 1401.931 | 60.2 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.97 | 2332.578 | 1402.170 | 60.1 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.98 | 2334.764 | 1402.170 | 60.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.584 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|-----------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               |          | 14.10     | 1608.128 | 1157.852                  | 72.0                |       |
| Cara exterior               |          | 14.14     | 1612.787 | 1157.852                  | 71.8                | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 1-2 |  | 14.14 | 1612.788 | 1278.437 | 79.3 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 17.63 | 2015.502 | 1278.678 | 63.4 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 17.63 | 2015.502 | 1399.262 | 69.4 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.43 | 2255.895 | 1399.268 | 62.0 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.64 | 2285.800 | 1402.162 | 61.3 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.82 | 2311.252 | 1402.163 | 60.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.89 | 2320.860 | 1402.171 | 60.4 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 9.08             | 1153.920     | 906.489   | 78.6                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 9.08             | 1153.921     | 1151.135  | 99.8                                | --                        | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 15.58 | 1769.541 | 1151.624 | 65.1 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 15.58 | 1769.542 | 1396.270 | 78.9 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 18.94 | 2187.822 | 1396.282 | 63.8 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.33 | 2242.376 | 1402.154 | 62.5 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.67 | 2289.236 | 1402.156 | 61.2 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.79 | 2307.029 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 5.90     | 928.177  | 751.823  | 81.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 6.01     | 935.058  | 751.823  | 80.4                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 6.01     | 935.059  | 935.059  | 100.0                     | 0.146               | 0.146 |
| Interfase 2-3               | 14.34    | 1633.257 | 935.969  | 57.3                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 14.34    | 1633.258 | 1391.191 | 85.2                      | --                  | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 18.64 | 2147.328 | 1391.214 | 64.8 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.15 | 2216.335 | 1402.139 | 63.3 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.57 | 2275.944 | 1402.143 | 61.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.657 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| ----- -----                                  |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| ----- -----                                  |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| $g_c$                                        | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 0.157 | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
|                                              |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| $g_{ev}$                                     | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --    | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --    |

|    |                     |       |       |       |       |    |    |    |    |    |    |       |
|----|---------------------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|-------|
| Ma | (g/m <sup>2</sup> ) | 0.302 | 0.377 | 0.323 | 0.109 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.146 |
|----|---------------------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|-------|

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 2.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
|                          |                       |                          |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |



-----  
Mayo  
-----

-----  
Junio  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

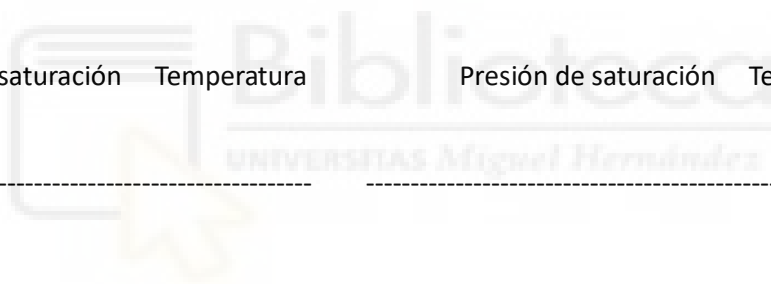
Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----



|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |                       |             |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura | Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|

-----

-----  
 Condensación acumulada  
 -----  
 -----

### 3. CIRCULACIONES P BAJA

#### 3.1. Cerramiento exterior

##### 3.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 3.1.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.954 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
 calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 3.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 3.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 3.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$ | Sd  |  |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|-------|-----|--|
|                      |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |       | (m) |  |
| Rse                  |                                                          | 0.04 |           |                       |       |     |  |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |  |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 8.0  | 0.032     | 2.50000               |       |     |  |
| 20                   | 1.6                                                      |      |           |                       |       |     |  |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |  |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 8.0  | 0.031     | 2.58065               | 1     |     |  |
| 0.08                 |                                                          |      |           |                       |       |     |  |
| 5                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |  |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |  |
| 6                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |  |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |  |
| Rsi                  |                                                          | 0.13 |           |                       |       |     |  |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                       | Uds.                | Valor  |
|--------------------------------|---------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT | cm                  | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT  | m <sup>2</sup> ·K/W | 5.4186 |

|                                                       |                   |       |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Esesor de aire equivalente total, $S_{d,T}$           | m                 | 11.40 |
| Transmitancia térmica, U                              | $W/(m^2 \cdot K)$ | 0.185 |
| Factor de resistencia superficial interior, $fR_{si}$ | --                | 0.954 |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 3.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|         | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero   | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo   | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril   | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo    | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |

|             |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|-------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Junio       |  | 19.8 | 62.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Julio       |  | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto      |  | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre  |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre     |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre   |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre   |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |
| ----- ----- |  |      |      |      |      |         |         |      |       |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

### 3.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765      | 722.212   | 80.0                                |        |                           |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504      | 722.212   | 79.4                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2        | 5.67             | 913.569      | 913.569   | 100.0                               | 18.301 | 35.016                    |
| Interfase 2-3        | 12.36            | 1435.537     | 1032.018  | 71.9                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4        | 12.43            | 1441.610     | 1387.365  | 96.2                                | --     | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.33            | 2241.913     | 1393.287  | 62.1                                | --     | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.49            | 2264.408     | 1397.729  | 61.7                                | --     | --                        |
| Cara interior        | 19.65            | 2287.101     | 1402.171  | 61.3                                | --     | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |        |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior                | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior                | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2                | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3                | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4                | 13.10            | 1507.216     | 1389.932  | 92.2                                | --    | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.39            | 2250.293     | 1394.828  | 62.0                                | --    | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.54            | 2270.831     | 1398.499  | 61.6                                | --    | --                        |
| Cara interior                | 19.68            | 2291.532     | 1402.171  | 61.2                                | --    | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |       |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
|                              |                  |              |           |                                     |    |                           |



|               |  |       |          |          |       |         |        |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|---------|--------|
| Aire exterior |  | 8.80  | 1132.044 | 781.110  | 69.0  |         |        |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |
| Cara exterior |  | 8.88  | 1138.392 | 781.110  | 68.6  | --      | --     |
| Interfase 1-2 |  | 8.93  | 1142.216 | 1142.216 | 100.0 | -19.201 | 20.456 |
| Interfase 2-3 |  | 14.10 | 1608.089 | 1205.236 | 74.9  | --      | --     |
| Interfase 3-4 |  | 14.15 | 1613.269 | 1394.293 | 86.4  | --      | --     |
| Interfase 4-5 |  | 19.48 | 2263.240 | 1397.444 | 61.7  | --      | --     |
| Interfase 5-6 |  | 19.61 | 2280.742 | 1399.807 | 61.4  | --      | --     |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.363 | 1402.171 | 61.0  | --      | --     |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |         |        |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |         |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma      |
|----------------------|----------|-------|----------|---------------------------|---------------------|---------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |         |
| Aire exterior        |          | 11.60 | 1365.261 | 928.378                   | 68.0                |         |
| Cara exterior        |          | 11.66 | 1370.871 | 928.378                   | 67.7                | --      |
| Interfase 1-2        |          | 11.70 | 1374.247 | 1374.247                  | 100.0               | -20.456 |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 15.57 | 1768.501 | 1381.016 | 78.1 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 15.61 | 1772.722 | 1401.325 | 79.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.61 | 2281.474 | 1401.663 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.71 | 2294.683 | 1401.917 | 61.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.80 | 2307.958 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $Ma$ |
|----------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |      |
| Aire exterior        | 15.30    | 1737.605  | 1164.195 | 67.0                      |                     |      |
| Cara exterior        | 15.33    | 1741.480  | 1164.195 | 66.9                      | --                  | --   |
| Interfase 1-2        | 15.36    | 1743.809  | 1264.395 | 72.5                      | --                  | --   |
| Interfase 2-3        | 17.52    | 2001.891  | 1297.795 | 64.8                      | --                  | --   |
| Interfase 3-4        | 17.54    | 2004.523  | 1397.996 | 69.7                      | --                  | --   |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 19.78 | 2305.767 | 1399.666 | 60.7 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.84 | 2313.218 | 1400.918 | 60.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.89 | 2320.690 | 1402.171 | 60.4 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |

|               |       |          |          |      |
|---------------|-------|----------|----------|------|
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
|---------------|-------|----------|----------|------|

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

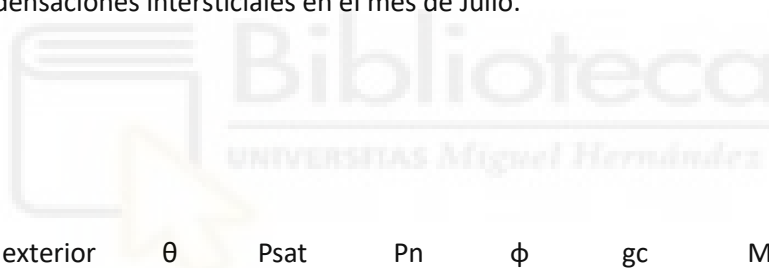
$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.



| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 23.47            | 2889.346     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 23.46            | 2886.648     | 1478.342  | 51.2                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 21.84            | 2617.367     | 1459.876  | 55.8                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 21.83            | 2614.893     | 1404.479  | 53.7                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 20.16            | 2360.412     | 1403.556  | 59.5                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 20.12            | 2354.763     | 1402.863  | 59.6                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.08            | 2349.125     | 1402.171  | 59.7                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc                  | Ma |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|----|
|                      | (Pa)             |              |           | (g/m <sup>2</sup> )                 | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025     | 1497.973  | 54.0                                |                     |    |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554     | 1497.973  | 54.1                                | --                  | -- |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473     | 1457.635  | 52.7                                | --                  | -- |
| Interfase 2-3        | 21.48            | 2559.044     | 1444.189  | 56.4                                | --                  | -- |
| Interfase 3-4        | 21.46            | 2557.103     | 1403.851  | 54.9                                | --                  | -- |
| Interfase 4-5        | 20.13            | 2355.704     | 1403.179  | 59.6                                | --                  | -- |
| Interfase 5-6        | 20.10            | 2351.191     | 1402.675  | 59.7                                | --                  | -- |
| Cara interior        | 20.07            | 2346.686     | 1402.171  | 59.8                                | --                  | -- |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595     | 1382.013  | 61.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114     | 1382.013  | 61.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426     | 1390.500  | 61.4                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118     | 1393.329  | 60.6                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434     | 1401.817  | 61.0                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616     | 1401.958  | 60.1                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.98            | 2334.416     | 1402.065  | 60.1                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.99            | 2335.216     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 16.92            | 1926.596     | 1397.884  | 72.6                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.73            | 2297.864     | 1399.599  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.79            | 2307.192     | 1400.885  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.86            | 2316.554     | 1402.171  | 60.5                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|----------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior        | 9.00     | 1147.455  | 906.489  | 79.0                      |                     |       |
| Cara exterior        | 9.08     | 1153.764  | 906.489  | 78.6                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2        | 9.13     | 1157.564  | 1115.197 | 96.3                      | --                  | --    |
| Interfase 2-3        | 14.20    | 1619.108  | 1184.767 | 73.2                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4        | 14.25    | 1624.226  | 1393.475 | 85.8                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5        | 19.49    | 2264.538  | 1396.953 | 61.7                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6        | 19.61    | 2281.736  | 1399.562 | 61.3                      | --                  | --    |
| Cara interior        | 19.74    | 2299.048  | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior        | 20.00    | 2336.951  | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.



| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma     |
|----------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|--------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |        |
| Aire exterior        | 5.90     | 928.177  | 751.823  | 81.0                      |                     |        |
| Cara exterior        | 6.00     | 934.891  | 751.823  | 80.4                      | --                  | --     |
| Interfase 1-2        | 6.07     | 938.941  | 938.941  | 100.0                     | 16.715              | 16.715 |
| Interfase 2-3        | 12.57    | 1455.547 | 1051.239 | 72.2                      | --                  | --     |
| Interfase 3-4        | 12.63    | 1461.524 | 1388.133 | 95.0                      | --                  | --     |
| Interfase 4-5        | 19.35    | 2244.489 | 1393.748 | 62.1                      | --                  | --     |
| Interfase 5-6        | 19.51    | 2266.383 | 1397.960 | 61.7                      | --                  | --     |
| Cara interior        | 19.66    | 2288.463 | 1402.171 | 61.3                      | --                  | --     |
| Aire interior        | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de

cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene        | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |            |        |        |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| gc                                           | g/(m²·mes) | 18.301 | 4.640  | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| gev                                          | g/(m²·mes) | --     | --     | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |
| Ma                                           | (g/m²)     | 35.016 | 39.657 | 20.456 | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m²·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 3.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

|                                                                                                                                         |  |                                                                                                                                          |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <div>Marzo</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  | <div>Abril</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  |
| <div>Mayo</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  | <div>Junio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  |
| <div>Julio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  | <div>Agosto</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  |
| <div>Septiembre</div> <hr/>                                                                                                             |  | <div>Octubre</div> <hr/>                                                                                                                 |  |



|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

-----

-----

-----

Noviembre

-----

Diciembre

-----

-----

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

-----

-----



-----

Condensación acumulada

-----

-----

### 3.2. Cubierta 1-Polivalente

#### 3.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 3.2.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.952 \geq f_{Rsi, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.192 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

### 3.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: noviembre, diciembre, enero, febrero.  
Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 3.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 3.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 1-Polivalente |                                            | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$   | Sd   |
|------------------------|--------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|---------|------|
|                        |                                            | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         | (m)  |
| Rse                    |                                            | 0.04 |           |                       |         |      |
| 1                      | Aluminio                                   | 0.0  | 230.000   | 0.00000               | 1000000 | 100  |
| 2                      | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]             | 15.0 | 0.031     | 4.83871               | 1       | 0.15 |
| 3                      | Aluminio                                   | 0.0  | 230.000   | 0.00000               | 1000000 | 100  |
| 4                      | Cámara de aire                             | 10.0 | 0.16000   | 0.01                  |         |      |
| 5                      | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4       | 0.06 |
| Rsi                    |                                            | 0.10 |           |                       |         |      |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas

homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                              | Uds.              | Valor  |
|-------------------------------------------------------|-------------------|--------|
| Esesor total del elemento, $eT$                       | cm                | 26.5   |
| Resistencia térmica total, $RT$                       | $m^2 \cdot K/W$   | 5.1987 |
| Esesor de aire equivalente total, $Sd,T$              | m                 | 200.22 |
| Transmitancia térmica, $U$                            | $W/(m^2 \cdot K)$ | 0.192  |
| Factor de resistencia superficial interior, $fR_{si}$ | --                | 0.952  |

donde:

$ET$ : Espesor total del elemento, cm.

$RT$ : Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$SdT$ : Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

$U$ : Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.192$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

### 3.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|       | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|-------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |

|            |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Febrero    |  | 6.8  | 76.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.749 |
| Marzo      |  | 8.8  | 69.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.704 |
| Abril      |  | 11.6 | 68.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.606 |
| Mayo       |  | 15.3 | 67.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.295 |
| Junio      |  | 19.8 | 62.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Julio      |  | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto     |  | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre    |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre  |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre  |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.952 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.



### 3.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior          | 5.50     | 902.765  | 722.212  | 80.0                      |                     |       |
| Cara exterior          | 5.61     | 909.790  | 722.212  | 79.4                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2          | 5.61     | 909.790  | 909.790  | 100.0                     | 1.627               | 3.141 |
| Interfase 2-3          | 19.11    | 2210.918 | 910.527  | 41.2                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4          | 19.11    | 2210.918 | 1401.827 | 63.4                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5          | 19.55    | 2273.171 | 1401.876 | 61.7                      | --                  | --    |
| Cara interior          | 19.72    | 2296.908 | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior          | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior          | 6.80     | 987.670  | 750.629  | 76.0                      |                     |       |
| Cara exterior          | 6.90     | 994.590  | 750.629  | 75.5                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2          | 6.90     | 994.590  | 994.590  | 100.0                     | 0.787               | 3.928 |
| Interfase 2-3          | 19.19    | 2221.970 | 995.200  | 44.8                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4          | 19.19    | 2221.970 | 1401.886 | 63.1                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5          | 19.59    | 2278.826 | 1401.927 | 61.5                      | --                  | --    |
| Cara interior          | 19.75    | 2300.473 | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior          | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior                  | 8.80             | 1132.044     | 781.110   | 69.0                                |        |                           |
| Cara exterior                  | 8.89             | 1138.662     | 781.110   | 68.6                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2                  | 8.89             | 1138.662     | 1138.662  | 100.0                               | -0.507 | 3.422                     |
| Interfase 2-3                  | 19.31            | 2239.066     | 1139.056  | 50.9                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4                  | 19.31            | 2239.067     | 1401.987  | 62.6                                | --     | --                        |
| Interfase 4-5                  | 19.66            | 2287.551     | 1402.013  | 61.3                                | --     | --                        |
| Cara interior                  | 19.78            | 2305.968     | 1402.171  | 60.8                                | --     | --                        |
| Aire interior                  | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |        |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                  | 11.60            | 1365.261     | 928.378   | 68.0                                |    |                           |
| Cara exterior                  | 11.66            | 1371.109     | 928.378   | 67.7                                | -- | --                        |

|               |  |       |          |          |       |        |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|-------|
| Interfase 1-2 |  | 11.66 | 1371.109 | 1371.109 | 100.0 | -2.134 | 1.287 |
| Interfase 2-3 |  | 19.48 | 2263.195 | 1371.156 | 60.6  | --     | --    |
| Interfase 3-4 |  | 19.48 | 2263.195 | 1402.149 | 62.0  | --     | --    |
| Interfase 4-5 |  | 19.74 | 2299.815 | 1402.152 | 61.0  | --     | --    |
| Cara interior |  | 19.84 | 2313.680 | 1402.171 | 60.6  | --     | --    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior          | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |        |                           |
| Cara exterior          | 15.34            | 1741.644     | 1164.195  | 66.8                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2          | 15.34            | 1741.645     | 1741.645  | 100.0                               | -1.287 | --                        |
| Interfase 2-3          | 19.71            | 2295.428     | 1741.136  | 75.9                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4          | 19.71            | 2295.428     | 1402.408  | 61.1                                | --     | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 19.86 | 2316.108 | 1402.374 | 60.5 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.91 | 2323.905 | 1402.171 | 60.3 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot mes)$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot mes)$ ) | $g_c$ | $Ma$<br>( $g/m^2$ ) |
|------------------------|------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|-------|---------------------|
| Aire exterior          | 19.80            | 2308.176          | 1431.069     | 62.0                              |       |                     |
| Cara exterior          | 19.80            | 2308.396          | 1431.069     | 62.0                              | --    | --                  |
| Interfase 1-2          | 19.80            | 2308.396          | 1416.636     | 61.4                              | --    | --                  |
| Interfase 2-3          | 19.99            | 2335.171          | 1416.614     | 60.7                              | --    | --                  |
| Interfase 3-4          | 19.99            | 2335.171          | 1402.181     | 60.0                              | --    | --                  |
| Interfase 4-5          | 19.99            | 2336.061          | 1402.179     | 60.0                              | --    | --                  |
| Cara interior          | 20.00            | 2336.395          | 1402.171     | 60.0                              | --    | --                  |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                              |       |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior          | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                           |
| Cara exterior          | 23.47            | 2889.156     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2          | 23.47            | 2889.156     | 1468.027  | 50.8                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3          | 20.22            | 2368.298     | 1467.929  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4          | 20.22            | 2368.298     | 1402.217  | 59.2                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5          | 20.11            | 2352.579     | 1402.210  | 59.6                                | -- | --                        |
| Cara interior          | 20.07            | 2346.708     | 1402.171  | 59.8                                | -- | --                        |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $g_c$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $Ma$<br>( $g/m^2$ ) |
|------------------------|------------------|-------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| Aire exterior          | 22.80            | 2774.025          | 1497.973     | 54.0                                     |                                         |                     |
| Cara exterior          | 22.78            | 2770.407          | 1497.973     | 54.1                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 1-2          | 22.78            | 2770.407          | 1450.125     | 52.3                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 2-3          | 20.17            | 2361.999          | 1450.053     | 61.4                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 3-4          | 20.17            | 2361.999          | 1402.204     | 59.4                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 4-5          | 20.09            | 2349.446          | 1402.199     | 59.7                                     | --                                      | --                  |
| Cara interior          | 20.05            | 2344.754          | 1402.171     | 59.8                                     | --                                      | --                  |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                     |                                         |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior          | 19.50            | 2265.595     | 1382.013  | 61.0                                |    |                           |
| Cara exterior          | 19.50            | 2266.136     | 1382.013  | 61.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2          | 19.50            | 2266.136     | 1392.081  | 61.4                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3          | 19.97            | 2332.503     | 1392.096  | 59.7                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4          | 19.97            | 2332.503     | 1402.164  | 60.1                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5          | 19.98            | 2334.726     | 1402.165  | 60.1                                | -- | --                        |
| Cara interior          | 19.99            | 2335.560     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.



| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                  | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior                  | 14.15            | 1612.867     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2                  | 14.15            | 1612.868     | 1279.877  | 79.4                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3                  | 19.64            | 2284.930     | 1280.060  | 56.0                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4                  | 19.64            | 2284.931     | 1402.085  | 61.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5                  | 19.82            | 2310.813     | 1402.097  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior                  | 19.89            | 2320.585     | 1402.171  | 60.4                                | -- | --                        |
| Aire interior                  | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|

|               |  |       |          |          |       |       |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Aire exterior |  | 9.00  | 1147.455 | 906.489  | 79.0  |       |       |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |       |       |
| Cara exterior |  | 9.08  | 1154.032 | 906.489  | 78.5  | --    | --    |
| Interfase 1-2 |  | 9.08  | 1154.032 | 1154.032 | 100.0 | 0.000 | 0.000 |
| Interfase 2-3 |  | 19.32 | 2240.782 | 1154.403 | 51.5  | --    | --    |
| Interfase 3-4 |  | 19.32 | 2240.783 | 1401.997 | 62.6  | --    | --    |
| Interfase 4-5 |  | 19.66 | 2288.425 | 1402.022 | 61.3  | --    | --    |
| Cara interior |  | 19.79 | 2306.518 | 1402.171 | 60.8  | --    | --    |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |       |       |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |       |       |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |       |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc    | Ma                  |
|------------------------|----------|-------|----------|---------------------------|-------|---------------------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) |       | (g/m <sup>2</sup> ) |
| <hr/>                  |          |       |          |                           |       |                     |
| Aire exterior          |          | 5.90  | 928.177  | 751.823                   | 81.0  |                     |
| <hr/>                  |          |       |          |                           |       |                     |
| Cara exterior          |          | 6.01  | 935.176  | 751.823                   | 80.4  | --                  |
| Interfase 1-2          |          | 6.01  | 935.177  | 935.177                   | 100.0 | 1.514               |
| Interfase 2-3          |          | 19.13 | 2214.314 | 935.875                   | 42.3  | --                  |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 19.13 | 2214.314 | 1401.845 | 63.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.57 | 2274.910 | 1401.891 | 61.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.004 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es noviembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov   | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| -----                                        |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |       |       |
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |       |       |
| ----- -----                                  |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |       |       |
| $g_c$                                        | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 1.627 | 0.787 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | 0.000 | 1.514 |
| $g_{ev}$                                     | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --    | --    | 0.507 | 2.134 | 1.287 | --  | --  | --  | --  | --    | --    |
| $M_a$                                        | (g/m <sup>2</sup> )     | 3.141 | 3.928 | 3.422 | 1.287 | --    | --  | --  | --  | --  | 0.000 | 1.514 |

-----|-----  
donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 3.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |

|                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                           |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <div>Mayo</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>       |  | <div>Junio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>   |  |
| <div>Julio</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>      |  | <div>Agosto</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/>  |  |
| <div>Septiembre</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  | <div>Octubre</div> <hr/> <div>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</div> <div>Presión de saturación   Temperatura</div> <hr/> |  |
| <div>Noviembre</div> <hr/>                                                                                                                   |  | <div>Diciembre</div> <hr/>                                                                                                                |  |



|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|

-----

-----

-----  
 Condensación acumulada  
 -----  
 -----

### 3.3. Cubierta 3 - Inclinas aulas

#### 3.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 3.3.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.953 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
 calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 3.3.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación

posible en el mismo periodo.

### 3.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene         | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ----- -----                |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)        | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)         | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)        | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)         | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 3.3.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | e       | $\lambda$ | R | $\mu$ | Sd |
|-----------------------------|---------|-----------|---|-------|----|
| (cm)                        | (W/m·K) | (m²·K/W)  |   | (m)   |    |
| ----- -----                 |         |           |   |       |    |
| Rse                         | 0.04    |           |   |       |    |

|      |                                                          |      |         |         |         |      |
|------|----------------------------------------------------------|------|---------|---------|---------|------|
| 1    | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000 | 0.00000 | 1000000 | 1000 |
| 2    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 10.0 | 0.032   | 3.12500 |         |      |
| 20   | 2                                                        |      |         |         |         |      |
| 3    | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000 | 0.00000 | 1000000 | 1000 |
| 4    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 5.0  | 0.031   | 1.61290 | 1       |      |
| 0.05 |                                                          |      |         |         |         |      |
| 5    | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     | 30.0 | 1.579   | 0.18999 | 80      |      |
| 24   |                                                          |      |         |         |         |      |
| 6    | Cámara de aire                                           | 10.0 | 0.16000 | 0.01    |         |      |
| 7    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250   | 0.06000 | 4       |      |
| 0.06 |                                                          |      |         |         |         |      |
| Rsi  |                                                          | 0.10 |         |         |         |      |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                | Uds.                | Valor   |
|-----------------------------------------|---------------------|---------|
| Espesor total del elemento, eT          | cm                  | 56.7    |
| Resistencia térmica total, RT           | m <sup>2</sup> ·K/W | 5.2879  |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T | m                   | 2026.12 |



|                                                  |                       |       |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------|
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.189 |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.953 |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi, m<sup>2</sup>·K/W.

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189$  W/m<sup>2</sup>·K y  $R_{si} = 0.25$  m<sup>2</sup>·K/W.

### 3.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de fRsi,mín queda como sigue:

|         | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | fRsi,mín |
|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|----------|
| Enero   | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772    |
| Febrero | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749    |
| Marzo   | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704    |
| Abril   | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606    |
| Mayo    | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295    |
| Junio   | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000    |

|            |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Julio      |  | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto     |  | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre    |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre  |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre  |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

### 3.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 5.50     | 902.765  | 722.212  | 80.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 5.61     | 909.671  | 722.212  | 79.4                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 5.61     | 909.672  | 909.672  | 100.0                     | 0.157               | 0.302 |
| Interfase 2-3               | 14.18    | 1616.361 | 910.632  | 56.3                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 14.18    | 1616.362 | 1390.594 | 86.0                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5               | 18.60    | 2142.151 | 1390.618 | 64.9                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6               | 19.12    | 2212.994 | 1402.137 | 63.4                      | --                  | --    |
| Interfase 6-7               | 19.56    | 2274.234 | 1402.142 | 61.7                      | --                  | --    |
| Cara interior               | 19.73    | 2297.578 | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior                 | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |                           |       |
| Cara exterior                 | 6.90             | 994.473      | 750.629   | 75.5                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2                 | 6.90             | 994.474      | 994.474   | 100.0                               | 0.074                     | 0.377 |
| Interfase 2-3                 | 14.70            | 1671.841     | 995.268   | 59.5                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4                 | 14.70            | 1671.842     | 1392.587  | 83.3                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5                 | 18.73            | 2159.016     | 1392.607  | 64.5                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6                 | 19.20            | 2223.868     | 1402.143  | 63.0                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7                 | 19.60            | 2279.796     | 1402.147  | 61.5                                | --                        | --    |
| Cara interior                 | 19.75            | 2301.084     | 1402.171  | 60.9                                | --                        | --    |
| Aire interior                 | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

|                               |          |      |    |        |    |    |
|-------------------------------|----------|------|----|--------|----|----|
| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$ | Psat | Pn | $\phi$ | gc | Ma |
|-------------------------------|----------|------|----|--------|----|----|

|               | (°C)  | (Pa)     | (Pa)     | (%)   | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |  |
|---------------|-------|----------|----------|-------|---------------------------|---------------------|--|
| Aire exterior | 8.80  | 1132.044 | 781.110  | 69.0  |                           |                     |  |
| Cara exterior | 8.88  | 1138.550 | 781.110  | 68.6  | --                        | --                  |  |
| Interfase 1-2 | 8.88  | 1138.550 | 1138.550 | 100.0 | -0.054                    | 0.323               |  |
| Interfase 2-3 | 15.50 | 1760.457 | 1139.064 | 64.7  | --                        | --                  |  |
| Interfase 3-4 | 15.50 | 1760.458 | 1395.974 | 79.3  | --                        | --                  |  |
| Interfase 4-5 | 18.92 | 2185.189 | 1395.987 | 63.9  | --                        | --                  |  |
| Interfase 5-6 | 19.32 | 2240.687 | 1402.153 | 62.6  | --                        | --                  |  |
| Interfase 6-7 | 19.66 | 2288.377 | 1402.155 | 61.3  | --                        | --                  |  |
| Cara interior | 19.79 | 2306.488 | 1402.171 | 60.8  | --                        | --                  |  |
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |                           |                     |  |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$   | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|-----------------------------|----------|-----------|---------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)     | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 11.60    | 1365.261  | 928.378 | 68.0                      |                     |       |

|               |  |       |          |          |       |        |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|-------|
| Cara exterior |  | 11.66 | 1371.010 | 928.378  | 67.7  | --     | --    |
| Interfase 1-2 |  | 11.66 | 1371.011 | 1371.011 | 100.0 | -0.214 | 0.109 |
| Interfase 2-3 |  | 16.63 | 1891.429 | 1371.072 | 72.5  | --     | --    |
| Interfase 3-4 |  | 16.63 | 1891.430 | 1401.438 | 74.1  | --     | --    |
| Interfase 4-5 |  | 19.19 | 2222.298 | 1401.440 | 63.1  | --     | --    |
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.422 | 1402.169 | 61.9  | --     | --    |
| Interfase 6-7 |  | 19.75 | 2300.437 | 1402.169 | 61.0  | --     | --    |
| Cara interior |  | 19.84 | 2314.071 | 1402.171 | 60.6  | --     | --    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 15.30            | 1737.605          | 1164.195     | 67.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 15.34            | 1741.576          | 1164.195     | 66.8                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |       |        |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|----|
| Interfase 1-2 |  | 15.34 | 1741.577 | 1741.577 | 100.0 | -0.109 | -- |
| Interfase 2-3 |  | 18.11 | 2077.547 | 1740.915 | 83.8  | --     | -- |
| Interfase 3-4 |  | 18.11 | 2077.548 | 1410.149 | 67.9  | --     | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.55 | 2272.179 | 1410.132 | 62.1  | --     | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.72 | 2296.123 | 1402.194 | 61.1  | --     | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.86 | 2316.458 | 1402.191 | 60.5  | --     | -- |
| Cara interior |  | 19.91 | 2324.125 | 1402.171 | 60.3  | --     | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |        |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |        |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 19.80            | 2308.393     | 1431.069  | 62.0                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 19.80            | 2308.393     | 1416.806  | 61.4                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 19.92            | 2325.362     | 1416.778  | 60.9                                | --                        | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 19.92 | 2325.362 | 1402.515 | 60.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.98 | 2334.162 | 1402.514 | 60.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.99 | 2335.201 | 1402.172 | 60.0 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.99 | 2336.076 | 1402.172 | 60.0 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.00 | 2336.404 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| ----- -----                 |          |          |          |                           |                     |    |
| Aire exterior               | 23.50    | 2893.848 | 1533.739 | 53.0                      |                     |    |
| ----- -----                 |          |          |          |                           |                     |    |
| Cara exterior               | 23.47    | 2889.235 | 1533.739 | 53.1                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 23.47    | 2889.235 | 1468.803 | 50.8                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 21.41    | 2548.107 | 1468.673 | 57.6                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 21.41    | 2548.107 | 1403.737 | 55.1                      | --                  | -- |



|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 20.34 | 2386.229 | 1403.734 | 58.8 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 20.21 | 2367.766 | 1402.175 | 59.2 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 20.11 | 2352.314 | 1402.175 | 59.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.07 | 2346.543 | 1402.171 | 59.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 22.80            | 2774.025          | 1497.973     | 54.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 22.78            | 2770.468          | 1497.973     | 54.1                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 22.78            | 2770.467          | 1450.690     | 52.4                                | --                           | --    |
| Interfase 2-3               | 21.12            | 2504.591          | 1450.595     | 57.9                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 21.12            | 2504.590          | 1403.311     | 56.0                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 20.27            | 2376.302          | 1403.309     | 59.1                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 20.17            | 2361.575          | 1402.174     | 59.4                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 6-7 |  | 20.08 | 2349.235 | 1402.174 | 59.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.05 | 2344.622 | 1402.171 | 59.8 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 19.50            | 2265.595     | 1382.013   | 61.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 19.50            | 2266.127     | 1382.013   | 61.0                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 19.50            | 2266.127     | 1391.962   | 61.4                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 19.80            | 2308.071     | 1391.982   | 60.3                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 19.80            | 2308.072     | 1401.931   | 60.7                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 19.95            | 2329.985     | 1401.931   | 60.2                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.97            | 2332.578     | 1402.170   | 60.1                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 19.98            | 2334.764     | 1402.170   | 60.1                                | --                        | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.584 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| <hr/>                       |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Aire exterior               | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |                           |    |
| <hr/>                       |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Cara exterior               | 14.14            | 1612.787     | 1157.852  | 71.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 14.14            | 1612.788     | 1278.437  | 79.3                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 17.63            | 2015.502     | 1278.678  | 63.4                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 17.63            | 2015.502     | 1399.262  | 69.4                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 19.43            | 2255.895     | 1399.268  | 62.0                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.64            | 2285.800     | 1402.162  | 61.3                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 19.82            | 2311.252     | 1402.163  | 60.7                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 19.89            | 2320.860     | 1402.171  | 60.4                                | --                        | -- |
| <hr/>                       |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

-----|-----  
donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.



| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 9.00     | 1147.455 | 906.489  | 79.0                      |                     |    |
| Cara exterior               | 9.08     | 1153.920 | 906.489  | 78.6                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 9.08     | 1153.921 | 1151.135 | 99.8                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 15.58    | 1769.541 | 1151.624 | 65.1                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 15.58    | 1769.542 | 1396.270 | 78.9                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 18.94    | 2187.822 | 1396.282 | 63.8                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.33    | 2242.376 | 1402.154 | 62.5                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.67    | 2289.236 | 1402.156 | 61.2                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 19.79    | 2307.029 | 1402.171 | 60.8                      | --                  | -- |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 5.90             | 928.177           | 751.823       | 81.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 6.01             | 935.058           | 751.823       | 80.4                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 6.01             | 935.059           | 935.059       | 100.0                               | 0.146                        | 0.146 |
| Interfase 2-3               | 14.34            | 1633.257          | 935.969       | 57.3                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 14.34            | 1633.258          | 1391.191      | 85.2                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 18.64            | 2147.328          | 1391.214      | 64.8                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 19.15            | 2216.335          | 1402.139      | 63.3                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 19.57            | 2275.944          | 1402.143      | 61.6                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 19.73            | 2298.657          | 1402.171      | 61.0                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171      | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| gc                                           | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 0.157 | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
| gev                                          | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --    | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --    |
| Ma                                           | (g/m <sup>2</sup> )     | 0.302 | 0.377 | 0.323 | 0.109 | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 3.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

| Mayo                     |                       | Junio                    |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Condensación acumulada  
-----



---

#### 4. OFICINAS P BAJA

##### 4.1. Cerramiento exterior

###### 4.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

###### 4.1.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.954 \geq fR_{si, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

###### 4.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

###### 4.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic

---

|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Condiciones exteriores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

#### 4.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$   | Sd      |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|---------|---------|
|                      |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         | (m)     |
| Rse                  |                                                          |      |           | 0.04                  |         |         |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 |      | 6.0       | 2.500                 | 0.02400 | 80      |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] |      |           |                       | 8.0     | 0.032   |
| 20                   | 1.6                                                      |      |           |                       |         | 2.50000 |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 |      | 6.0       | 2.500                 | 0.02400 | 80      |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           |      | 8.0       | 0.031                 | 2.58065 | 1       |
| 0.08                 |                                                          |      |           |                       |         |         |

|                   |                                            |      |       |         |   |
|-------------------|--------------------------------------------|------|-------|---------|---|
| 5                 | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4 |
| 0.06              |                                            |      |       |         |   |
| 6                 | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4 |
| 0.06              |                                            |      |       |         |   |
| ----- ----- ----- |                                            |      |       |         |   |
| Rsi               |                                            | 0.13 |       |         |   |
| -----             |                                            |      |       |         |   |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.4186 |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 11.40  |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.185  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.954  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las

resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$SdT$ : Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

$U$ : Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 4.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |  |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|--|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |  |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |  |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |  |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |  |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |  |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |  |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |  |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |  |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 4.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504           | 722.212      | 79.4                                | --                           | --                           |

|               |  |       |          |          |       |        |        |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|--------|
| Interfase 1-2 |  | 5.67  | 913.569  | 913.569  | 100.0 | 18.301 | 35.016 |
| Interfase 2-3 |  | 12.36 | 1435.537 | 1032.018 | 71.9  | --     | --     |
| Interfase 3-4 |  | 12.43 | 1441.610 | 1387.365 | 96.2  | --     | --     |
| Interfase 4-5 |  | 19.33 | 2241.913 | 1393.287 | 62.1  | --     | --     |
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.408 | 1397.729 | 61.7  | --     | --     |
| Cara interior |  | 19.65 | 2287.101 | 1402.171 | 61.3  | --     | --     |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior        | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior        | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3        | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4        | 13.10            | 1507.216     | 1389.932  | 92.2                                | --    | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 19.39 | 2250.293 | 1394.828 | 62.0 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.54 | 2270.831 | 1398.499 | 61.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.68 | 2291.532 | 1402.171 | 61.2 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------|
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |         |                           |
| Aire exterior        | 8.80             | 1132.044     | 781.110   | 69.0                                |         |                           |
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |         |                           |
| Cara exterior        | 8.88             | 1138.392     | 781.110   | 68.6                                | --      | --                        |
| Interfase 1-2        | 8.93             | 1142.216     | 1142.216  | 100.0                               | -19.201 | 20.456                    |
| Interfase 2-3        | 14.10            | 1608.089     | 1205.236  | 74.9                                | --      | --                        |
| Interfase 3-4        | 14.15            | 1613.269     | 1394.293  | 86.4                                | --      | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.48            | 2263.240     | 1397.444  | 61.7                                | --      | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2280.742     | 1399.807  | 61.4                                | --      | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.363 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma      |
|----------------------|----------|-------|----------|---------------------------|---------------------|---------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |         |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Aire exterior        |          | 11.60 | 1365.261 | 928.378                   | 68.0                |         |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Cara exterior        |          | 11.66 | 1370.871 | 928.378                   | 67.7                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 1-2        |          | 11.70 | 1374.247 | 1374.247                  | 100.0               | -20.456 |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 2-3        |          | 15.57 | 1768.501 | 1381.016                  | 78.1                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 3-4        |          | 15.61 | 1772.722 | 1401.325                  | 79.0                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 4-5        |          | 19.61 | 2281.474 | 1401.663                  | 61.4                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 5-6        |          | 19.71 | 2294.683 | 1401.917                  | 61.1                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Cara interior        |          | 19.80 | 2307.958 | 1402.171                  | 60.8                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Aire interior        |          | 20.00 | 2336.951 | 1402.171                  | 60.0                |         |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |

donde:



$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|----|
| Aire exterior        | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |    |    |
| Cara exterior        | 15.33            | 1741.480     | 1164.195  | 66.9                                | -- | -- |
| Interfase 1-2        | 15.36            | 1743.809     | 1264.395  | 72.5                                | -- | -- |
| Interfase 2-3        | 17.52            | 2001.891     | 1297.795  | 64.8                                | -- | -- |
| Interfase 3-4        | 17.54            | 2004.523     | 1397.996  | 69.7                                | -- | -- |
| Interfase 4-5        | 19.78            | 2305.767     | 1399.666  | 60.7                                | -- | -- |
| Interfase 5-6        | 19.84            | 2313.218     | 1400.918  | 60.6                                | -- | -- |
| Cara interior        | 19.89            | 2320.690     | 1402.171  | 60.4                                | -- | -- |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma                  |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------|
|                      |                  | (Pa)         | (%)       | (g/(m <sup>2</sup> ·mes))           |    | (g/m <sup>2</sup> ) |
| Aire exterior        | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                     |
| Cara exterior        | 23.47            | 2889.346     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                  |
| Interfase 1-2        | 23.46            | 2886.648     | 1478.342  | 51.2                                | -- | --                  |
| Interfase 2-3        | 21.84            | 2617.367     | 1459.876  | 55.8                                | -- | --                  |
| Interfase 3-4        | 21.83            | 2614.893     | 1404.479  | 53.7                                | -- | --                  |
| Interfase 4-5        | 20.16            | 2360.412     | 1403.556  | 59.5                                | -- | --                  |
| Interfase 5-6        | 20.12            | 2354.763     | 1402.863  | 59.6                                | -- | --                  |
| Cara interior        | 20.08            | 2349.125     | 1402.171  | 59.7                                | -- | --                  |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025          | 1497.973     | 54.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554          | 1497.973     | 54.1                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473          | 1457.635     | 52.7                                | --                           | --                           |
| Interfase 2-3        | 21.48            | 2559.044          | 1444.189     | 56.4                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 21.46            | 2557.103          | 1403.851     | 54.9                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 20.13            | 2355.704          | 1403.179     | 59.6                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 20.10            | 2351.191          | 1402.675     | 59.7                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 20.07            | 2346.686          | 1402.171     | 59.8                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595          | 1382.013     | 61.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114          | 1382.013     | 61.0                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426          | 1390.500     | 61.4                                | --                           | --                           |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118          | 1393.329     | 60.6                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434          | 1401.817     | 61.0                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616          | 1401.958     | 60.1                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.98            | 2334.416          | 1402.065     | 60.1                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 19.99            | 2335.216          | 1402.171     | 60.0                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior                | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2                | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3                | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4                | 16.92            | 1926.596     | 1397.884  | 72.6                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.73            | 2297.864     | 1399.599  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.79            | 2307.192     | 1400.885  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior                | 19.86            | 2316.554     | 1402.171  | 60.5                                | -- | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |    |                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara exterior |  | 9.08  | 1153.764 | 906.489  | 78.6 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 9.13  | 1157.564 | 1115.197 | 96.3 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 14.20 | 1619.108 | 1184.767 | 73.2 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 14.25 | 1624.226 | 1393.475 | 85.8 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.49 | 2264.538 | 1396.953 | 61.7 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.61 | 2281.736 | 1399.562 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.74 | 2299.048 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$  | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.90             | 928.177           | 751.823      | 81.0                                |        |                              |
| Cara exterior        | 6.00             | 934.891           | 751.823      | 80.4                                | --     | --                           |
| Interfase 1-2        | 6.07             | 938.941           | 938.941      | 100.0                               | 16.715 | 16.715                       |
| Interfase 2-3        | 12.57            | 1455.547          | 1051.239     | 72.2                                | --     | --                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 12.63 | 1461.524 | 1388.133 | 95.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.35 | 2244.489 | 1393.748 | 62.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.51 | 2266.383 | 1397.960 | 61.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.66 | 2288.463 | 1402.171 | 61.3 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene | Feb    | Mar   | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|-----|--------|-------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| <hr/>                                        |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| <hr/>                                        |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_c$ g/(m <sup>2</sup> ·mes)                |     | 18.301 | 4.640 | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| <hr/>                                        |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_{ev}$ g/(m <sup>2</sup> ·mes)             |     | --     | --    | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |



|             |                     |        |        |        |    |    |    |    |    |    |    |        |
|-------------|---------------------|--------|--------|--------|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| Ma          | (g/m <sup>2</sup> ) | 35.016 | 39.657 | 20.456 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 16.715 |
| ----- ----- |                     |        |        |        |    |    |    |    |    |    |    |        |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 4.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
|                          |                       |                          |                       |
|                          |                       |                          |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

-----  
Mayo  
-----

-----  
Junio  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |                       |             |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura | Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|

-----

-----  
 Condensación acumulada  
 -----  
 -----

## 4.2. Cubierta 3 - Inclinas aulas

### 4.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 4.2.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.953 \geq fR_{si, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$fR_{si, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

#### 4.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin

embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

#### 4.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 81   |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

#### 4.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

|                             |         |                       |   |       |     |
|-----------------------------|---------|-----------------------|---|-------|-----|
| Cubierta 3 - Inclinas aulas | e       | $\lambda$             | R | $\mu$ | Sd  |
| (cm)                        | (W/m·K) | (m <sup>2</sup> ·K/W) |   |       | (m) |

|      |                                                          |      |         |         |         |      |
|------|----------------------------------------------------------|------|---------|---------|---------|------|
| Rse  |                                                          | 0.04 |         |         |         |      |
| 1    | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000 | 0.00000 | 1000000 | 1000 |
| 2    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 10.0 | 0.032   | 3.12500 |         |      |
| 20   | 2                                                        |      |         |         |         |      |
| 3    | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000 | 0.00000 | 1000000 | 1000 |
| 4    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 5.0  | 0.031   | 1.61290 | 1       |      |
| 0.05 |                                                          |      |         |         |         |      |
| 5    | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     | 30.0 | 1.579   | 0.18999 | 80      |      |
| 24   |                                                          |      |         |         |         |      |
| 6    | Cámara de aire                                           | 10.0 | 0.16000 | 0.01    |         |      |
| 7    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250   | 0.06000 | 4       |      |
| 0.06 |                                                          |      |         |         |         |      |
| Rsi  |                                                          | 0.10 |         |         |         |      |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                       | Uds.                | Valor  |
|--------------------------------|---------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT | cm                  | 56.7   |
| Resistencia térmica total, RT  | m <sup>2</sup> ·K/W | 5.2879 |

|                                                       |                   |         |
|-------------------------------------------------------|-------------------|---------|
| Esesor de aire equivalente total, $S_{d,T}$           | m                 | 2026.12 |
| Transmitancia térmica, U                              | $W/(m^2 \cdot K)$ | 0.189   |
| Factor de resistencia superficial interior, $fR_{si}$ | --                | 0.953   |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 4.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|         | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero   | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo   | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril   | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo    | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |

|             |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|-------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Junio       |  | 19.8 | 62.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Julio       |  | 23.5 | 53.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Agosto      |  | 22.8 | 54.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | --*   |
| Septiembre  |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre     |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre   |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre   |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |
| ----- ----- |  |      |      |      |      |         |         |      |       |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 4.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 5.50             | 902.765      | 722.212   | 80.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 5.61             | 909.671      | 722.212   | 79.4                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 5.61             | 909.672      | 909.672   | 100.0                               | 0.157                     | 0.302 |
| Interfase 2-3               | 14.18            | 1616.361     | 910.632   | 56.3                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 14.18            | 1616.362     | 1390.594  | 86.0                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 18.60            | 2142.151     | 1390.618  | 64.9                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.12            | 2212.994     | 1402.137  | 63.4                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.56            | 2274.234     | 1402.142  | 61.7                                | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.73            | 2297.578     | 1402.171  | 61.0                                | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.



| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 6.80             | 987.670      | 750.629    | 76.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 6.90             | 994.473      | 750.629    | 75.5                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 6.90             | 994.474      | 994.474    | 100.0                               | 0.074                     | 0.377 |
| Interfase 2-3               | 14.70            | 1671.841     | 995.268    | 59.5                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 14.70            | 1671.842     | 1392.587   | 83.3                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 18.73            | 2159.016     | 1392.607   | 64.5                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.20            | 2223.868     | 1402.143   | 63.0                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.60            | 2279.796     | 1402.147   | 61.5                                | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.75            | 2301.084     | 1402.171   | 60.9                                | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171   | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | P <sub>sat</sub><br>(Pa) | P <sub>n</sub><br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | g <sub>c</sub><br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 8.80             | 1132.044                 | 781.110               | 69.0                                |                                       |       |
| Cara exterior               | 8.88             | 1138.550                 | 781.110               | 68.6                                | --                                    | --    |
| Interfase 1-2               | 8.88             | 1138.550                 | 1138.550              | 100.0                               | -0.054                                | 0.323 |
| Interfase 2-3               | 15.50            | 1760.457                 | 1139.064              | 64.7                                | --                                    | --    |
| Interfase 3-4               | 15.50            | 1760.458                 | 1395.974              | 79.3                                | --                                    | --    |
| Interfase 4-5               | 18.92            | 2185.189                 | 1395.987              | 63.9                                | --                                    | --    |
| Interfase 5-6               | 19.32            | 2240.687                 | 1402.153              | 62.6                                | --                                    | --    |
| Interfase 6-7               | 19.66            | 2288.377                 | 1402.155              | 61.3                                | --                                    | --    |
| Cara interior               | 19.79            | 2306.488                 | 1402.171              | 60.8                                | --                                    | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951                 | 1402.171              | 60.0                                |                                       |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P<sub>n</sub>: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | P <sub>sat</sub><br>(Pa) | P <sub>n</sub><br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | g <sub>c</sub><br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----|
|-----------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----|

|               |  |       |          |          |       |        |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|-------|
| Aire exterior |  | 11.60 | 1365.261 | 928.378  | 68.0  |        |       |
| Cara exterior |  | 11.66 | 1371.010 | 928.378  | 67.7  | --     | --    |
| Interfase 1-2 |  | 11.66 | 1371.011 | 1371.011 | 100.0 | -0.214 | 0.109 |
| Interfase 2-3 |  | 16.63 | 1891.429 | 1371.072 | 72.5  | --     | --    |
| Interfase 3-4 |  | 16.63 | 1891.430 | 1401.438 | 74.1  | --     | --    |
| Interfase 4-5 |  | 19.19 | 2222.298 | 1401.440 | 63.1  | --     | --    |
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.422 | 1402.169 | 61.9  | --     | --    |
| Interfase 6-7 |  | 19.75 | 2300.437 | 1402.169 | 61.0  | --     | --    |
| Cara interior |  | 19.84 | 2314.071 | 1402.171 | 60.6  | --     | --    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|-----------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               |          | 15.30     | 1737.605 | 1164.195                  | 67.0                |       |

|               |  |       |          |          |       |        |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|----|
| Cara exterior |  | 15.34 | 1741.576 | 1164.195 | 66.8  | --     | -- |
| Interfase 1-2 |  | 15.34 | 1741.577 | 1741.577 | 100.0 | -0.109 | -- |
| Interfase 2-3 |  | 18.11 | 2077.547 | 1740.915 | 83.8  | --     | -- |
| Interfase 3-4 |  | 18.11 | 2077.548 | 1410.149 | 67.9  | --     | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.55 | 2272.179 | 1410.132 | 62.1  | --     | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.72 | 2296.123 | 1402.194 | 61.1  | --     | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.86 | 2316.458 | 1402.191 | 60.5  | --     | -- |
| Cara interior |  | 19.91 | 2324.125 | 1402.171 | 60.3  | --     | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |       |        |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |       |        |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|-------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| ----- -----                 |          |       |          |                           |                     |    |
| Aire exterior               |          | 19.80 | 2308.176 | 1431.069                  | 62.0                |    |
| ----- -----                 |          |       |          |                           |                     |    |
| Cara exterior               |          | 19.80 | 2308.393 | 1431.069                  | 62.0                | -- |
| Interfase 1-2               |          | 19.80 | 2308.393 | 1416.806                  | 61.4                | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 19.92 | 2325.362 | 1416.778 | 60.9 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 19.92 | 2325.362 | 1402.515 | 60.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.98 | 2334.162 | 1402.514 | 60.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.99 | 2335.201 | 1402.172 | 60.0 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.99 | 2336.076 | 1402.172 | 60.0 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.00 | 2336.404 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------|
| Aire exterior               | 23.50            | 2893.848          | 1533.739     | 53.0                                |                              |      |
| ----- -----                 |                  |                   |              |                                     |                              |      |
| Cara exterior               | 23.47            | 2889.235          | 1533.739     | 53.1                                | --                           | --   |
| Interfase 1-2               | 23.47            | 2889.235          | 1468.803     | 50.8                                | --                           | --   |
| Interfase 2-3               | 21.41            | 2548.107          | 1468.673     | 57.6                                | --                           | --   |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 21.41 | 2548.107 | 1403.737 | 55.1 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 20.34 | 2386.229 | 1403.734 | 58.8 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 20.21 | 2367.766 | 1402.175 | 59.2 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 20.11 | 2352.314 | 1402.175 | 59.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.07 | 2346.543 | 1402.171 | 59.8 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| ----- -----                 |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Aire exterior               |                  | 22.80        | 2774.025  | 1497.973                            | 54.0                      |    |
| ----- -----                 |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Cara exterior               |                  | 22.78        | 2770.468  | 1497.973                            | 54.1                      | -- |
| Interfase 1-2               |                  | 22.78        | 2770.467  | 1450.690                            | 52.4                      | -- |
| Interfase 2-3               |                  | 21.12        | 2504.591  | 1450.595                            | 57.9                      | -- |
| Interfase 3-4               |                  | 21.12        | 2504.590  | 1403.311                            | 56.0                      | -- |
| Interfase 4-5               |                  | 20.27        | 2376.302  | 1403.309                            | 59.1                      | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 20.17 | 2361.575 | 1402.174 | 59.4 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 20.08 | 2349.235 | 1402.174 | 59.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.05 | 2344.622 | 1402.171 | 59.8 | -- | -- |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 19.50            | 2265.595          | 1382.013      | 61.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 19.50            | 2266.127          | 1382.013      | 61.0                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 19.50            | 2266.127          | 1391.962      | 61.4                                | --                           | --    |
| Interfase 2-3               | 19.80            | 2308.071          | 1391.982      | 60.3                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 19.80            | 2308.072          | 1401.931      | 60.7                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 19.95            | 2329.985          | 1401.931      | 60.2                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 19.97            | 2332.578          | 1402.170      | 60.1                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 6-7 |  | 19.98 | 2334.764 | 1402.170 | 60.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.584 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot mes)$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                  | $g_c$       | $Ma$ |
|-----------------------------|----------|-----------|----------|-------------------------|-------------|------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | ( $g/(m^2 \cdot mes)$ ) | ( $g/m^2$ ) |      |
| Aire exterior               | 14.10    | 1608.128  | 1157.852 | 72.0                    | --          | --   |
| Cara exterior               | 14.14    | 1612.787  | 1157.852 | 71.8                    | --          | --   |
| Interfase 1-2               | 14.14    | 1612.788  | 1278.437 | 79.3                    | --          | --   |
| Interfase 2-3               | 17.63    | 2015.502  | 1278.678 | 63.4                    | --          | --   |
| Interfase 3-4               | 17.63    | 2015.502  | 1399.262 | 69.4                    | --          | --   |
| Interfase 4-5               | 19.43    | 2255.895  | 1399.268 | 62.0                    | --          | --   |
| Interfase 5-6               | 19.64    | 2285.800  | 1402.162 | 61.3                    | --          | --   |
| Interfase 6-7               | 19.82    | 2311.252  | 1402.163 | 60.7                    | --          | --   |
| Cara interior               | 19.89    | 2320.860  | 1402.171 | 60.4                    | --          | --   |



|               |       |          |          |      |
|---------------|-------|----------|----------|------|
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
|---------------|-------|----------|----------|------|

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 9.08             | 1153.920     | 906.489   | 78.6                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 9.08             | 1153.921     | 1151.135  | 99.8                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 15.58            | 1769.541     | 1151.624  | 65.1                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 15.58            | 1769.542     | 1396.270  | 78.9                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 18.94            | 2187.822     | 1396.282  | 63.8                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.33            | 2242.376     | 1402.154  | 62.5                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 19.67            | 2289.236     | 1402.156  | 61.2                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 19.79            | 2307.029     | 1402.171  | 60.8                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 5.90             | 928.177           | 751.823       | 81.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 6.01             | 935.058           | 751.823       | 80.4                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 6.01             | 935.059           | 935.059       | 100.0                               | 0.146                        | 0.146 |
| Interfase 2-3               | 14.34            | 1633.257          | 935.969       | 57.3                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 14.34            | 1633.258          | 1391.191      | 85.2                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 18.64            | 2147.328          | 1391.214      | 64.8                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 19.15            | 2216.335          | 1402.139      | 63.3                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 19.57            | 2275.944          | 1402.143      | 61.6                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 19.73            | 2298.657          | 1402.171      | 61.0                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171      | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P<sub>n</sub>: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

g<sub>c</sub>: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |       |
| g <sub>c</sub>                               | g/(m <sup>2</sup> ·mes) |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |       |
|                                              | 0.157                   | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
| g <sub>ev</sub>                              | g/(m <sup>2</sup> ·mes) |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |       |
|                                              | --                      | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --    |
| Ma                                           | (g/m <sup>2</sup> )     |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |       |
|                                              | 0.302                   | 0.377 | 0.323 | 0.109 | --    | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |

donde:

g<sub>c</sub>: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

g<sub>ev</sub>: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 4.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enero                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Febrero                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> <div style="border-top: 1px dashed black; height: 100px; margin-top: 10px;"></div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> <div style="border-top: 1px dashed black; height: 100px; margin-top: 10px;"></div> |
| Marzo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Abril                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> <div style="border-top: 1px dashed black; height: 100px; margin-top: 10px;"></div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> <div style="border-top: 1px dashed black; height: 100px; margin-top: 10px;"></div> |
| Mayo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Junio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> <div style="border-top: 1px dashed black; height: 100px; margin-top: 10px;"></div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> <div style="border-top: 1px dashed black; height: 100px; margin-top: 10px;"></div> |

-----  
Julio  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Septiembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Noviembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Diciembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Condensación acumulada

-----  
-----

## 5. SALAS

### 5.1. Cerramiento exterior

#### 5.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 5.1.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.954 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 5.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

#### 5.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.



### 5.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e<br>(cm) | $\lambda$<br>(W/m·K) | R<br>(m²·K/W) | $\mu$ | Sd<br>(m) |
|----------------------|----------------------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------|-------|-----------|
| Rse                  |                                                          | 0.04      |                      |               |       |           |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0       | 2.500                | 0.02400       | 80    | 4.8       |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 8.0       | 0.032                | 2.50000       |       |           |
| 20                   | 1.6                                                      |           |                      |               |       |           |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0       | 2.500                | 0.02400       | 80    | 4.8       |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 8.0       | 0.031                | 2.58065       | 1     |           |
| 0.08                 |                                                          |           |                      |               |       |           |

|             |                                            |      |       |         |   |
|-------------|--------------------------------------------|------|-------|---------|---|
| 5           | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4 |
| 0.06        |                                            |      |       |         |   |
| 6           | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4 |
| 0.06        |                                            |      |       |         |   |
| ----- ----- |                                            |      |       |         |   |
| Rsi         |                                            | 0.13 |       |         |   |
| -----       |                                            |      |       |         |   |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| -----                                            | -----                 | -----  |
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.4186 |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 11.40  |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.185  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.954  |
| -----                                            | -----                 | -----  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.



RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 5.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |

-----|-----  
 \*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 5.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |       |                              |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504           | 722.212      | 79.4                                | --    | --                           |

|               |  |       |          |          |       |        |        |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|--------|
| Interfase 1-2 |  | 5.67  | 913.569  | 913.569  | 100.0 | 18.301 | 35.016 |
| Interfase 2-3 |  | 12.36 | 1435.537 | 1032.018 | 71.9  | --     | --     |
| Interfase 3-4 |  | 12.43 | 1441.610 | 1387.365 | 96.2  | --     | --     |
| Interfase 4-5 |  | 19.33 | 2241.913 | 1393.287 | 62.1  | --     | --     |
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.408 | 1397.729 | 61.7  | --     | --     |
| Cara interior |  | 19.65 | 2287.101 | 1402.171 | 61.3  | --     | --     |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior        | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior        | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3        | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 13.10 | 1507.216 | 1389.932 | 92.2 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.39 | 2250.293 | 1394.828 | 62.0 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.54 | 2270.831 | 1398.499 | 61.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.68 | 2291.532 | 1402.171 | 61.2 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$   | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|---------|------------------------------|
| Aire exterior        | 8.80             | 1132.044          | 781.110      | 69.0                                | --      | --                           |
| Cara exterior        | 8.88             | 1138.392          | 781.110      | 68.6                                | --      | --                           |
| Interfase 1-2        | 8.93             | 1142.216          | 1142.216     | 100.0                               | -19.201 | 20.456                       |
| Interfase 2-3        | 14.10            | 1608.089          | 1205.236     | 74.9                                | --      | --                           |
| Interfase 3-4        | 14.15            | 1613.269          | 1394.293     | 86.4                                | --      | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.48            | 2263.240          | 1397.444     | 61.7                                | --      | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2280.742          | 1399.807     | 61.4                                | --      | --                           |

|               |       |          |          |      |    |    |
|---------------|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara interior | 19.73 | 2298.363 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------|
| Aire exterior        | 11.60            | 1365.261     | 928.378   | 68.0                                |         |                           |
| Cara exterior        | 11.66            | 1370.871     | 928.378   | 67.7                                | --      | --                        |
| Interfase 1-2        | 11.70            | 1374.247     | 1374.247  | 100.0                               | -20.456 | --                        |
| Interfase 2-3        | 15.57            | 1768.501     | 1381.016  | 78.1                                | --      | --                        |
| Interfase 3-4        | 15.61            | 1772.722     | 1401.325  | 79.0                                | --      | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.61            | 2281.474     | 1401.663  | 61.4                                | --      | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.71            | 2294.683     | 1401.917  | 61.1                                | --      | --                        |
| Cara interior        | 19.80            | 2307.958     | 1402.171  | 60.8                                | --      | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |         |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 15.30            | 1737.605          | 1164.195     | 67.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 15.33            | 1741.480          | 1164.195     | 66.9                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 15.36            | 1743.809          | 1264.395     | 72.5                                | --                           | --                           |
| Interfase 2-3        | 17.52            | 2001.891          | 1297.795     | 64.8                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 17.54            | 2004.523          | 1397.996     | 69.7                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.78            | 2305.767          | 1399.666     | 60.7                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.84            | 2313.218          | 1400.918     | 60.6                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 19.89            | 2320.690          | 1402.171     | 60.4                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma                  |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------|
|                      |                  |              |           |                                     |    | (g/m <sup>2</sup> ) |
| Aire exterior        | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                     |
| Cara exterior        | 23.47            | 2889.346     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                  |
| Interfase 1-2        | 23.46            | 2886.648     | 1478.342  | 51.2                                | -- | --                  |
| Interfase 2-3        | 21.84            | 2617.367     | 1459.876  | 55.8                                | -- | --                  |
| Interfase 3-4        | 21.83            | 2614.893     | 1404.479  | 53.7                                | -- | --                  |
| Interfase 4-5        | 20.16            | 2360.412     | 1403.556  | 59.5                                | -- | --                  |
| Interfase 5-6        | 20.12            | 2354.763     | 1402.863  | 59.6                                | -- | --                  |
| Cara interior        | 20.08            | 2349.125     | 1402.171  | 59.7                                | -- | --                  |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.



>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025          | 1497.973     | 54.0                                |                              |                             |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554          | 1497.973     | 54.1                                | --                           | --                          |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473          | 1457.635     | 52.7                                | --                           | --                          |
| Interfase 2-3        | 21.48            | 2559.044          | 1444.189     | 56.4                                | --                           | --                          |
| Interfase 3-4        | 21.46            | 2557.103          | 1403.851     | 54.9                                | --                           | --                          |
| Interfase 4-5        | 20.13            | 2355.704          | 1403.179     | 59.6                                | --                           | --                          |
| Interfase 5-6        | 20.10            | 2351.191          | 1402.675     | 59.7                                | --                           | --                          |
| Cara interior        | 20.07            | 2346.686          | 1402.171     | 59.8                                | --                           | --                          |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                             |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595          | 1382.013     | 61.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114          | 1382.013     | 61.0                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426          | 1390.500     | 61.4                                | --                           | --                           |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118          | 1393.329     | 60.6                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434          | 1401.817     | 61.0                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616          | 1401.958     | 60.1                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.98            | 2334.416          | 1402.065     | 60.1                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 19.99            | 2335.216          | 1402.171     | 60.0                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior                | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2                | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3                | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4                | 16.92            | 1926.596     | 1397.884  | 72.6                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.73            | 2297.864     | 1399.599  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.79            | 2307.192     | 1400.885  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior                | 19.86            | 2316.554     | 1402.171  | 60.5                                | -- | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |    |                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara exterior |  | 9.08  | 1153.764 | 906.489  | 78.6 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 9.13  | 1157.564 | 1115.197 | 96.3 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 14.20 | 1619.108 | 1184.767 | 73.2 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 14.25 | 1624.226 | 1393.475 | 85.8 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.49 | 2264.538 | 1396.953 | 61.7 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.61 | 2281.736 | 1399.562 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.74 | 2299.048 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$  | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.90             | 928.177           | 751.823      | 81.0                                |        |                              |
| Cara exterior        | 6.00             | 934.891           | 751.823      | 80.4                                | --     | --                           |
| Interfase 1-2        | 6.07             | 938.941           | 938.941      | 100.0                               | 16.715 | 16.715                       |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 12.57 | 1455.547 | 1051.239 | 72.2 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 12.63 | 1461.524 | 1388.133 | 95.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.35 | 2244.489 | 1393.748 | 62.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.51 | 2266.383 | 1397.960 | 61.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.66 | 2288.463 | 1402.171 | 61.3 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene | Feb    | Mar   | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|-----|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| <hr/>                                        |     |        |       |     |     |     |     |     |     |     |     |        |
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |     |        |       |     |     |     |     |     |     |     |     |        |
| <hr/>                                        |     |        |       |     |     |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_c$ g/(m <sup>2</sup> ·mes)                |     | 18.301 | 4.640 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| <hr/>                                        |     |        |       |     |     |     |     |     |     |     |     |        |

|             |                         |        |        |        |        |    |    |    |    |    |    |    |        |
|-------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| gev         | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --     | --     | 19.201 | 20.456 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | --     |
| Ma          | (g/m <sup>2</sup> )     | 35.016 | 39.657 | 20.456 | --     | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 16.715 |
| ----- ----- |                         |        |        |        |        |    |    |    |    |    |    |    |        |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 5.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |  |  |  | Febrero               |  |  |  |
|--------------------------|--|--|--|-----------------------|--|--|--|
| Presión de vapor teórica |  |  |  | Presión de vapor real |  |  |  |
| Presión de saturación    |  |  |  | Temperatura           |  |  |  |
| -----                    |  |  |  | -----                 |  |  |  |
| -----                    |  |  |  | -----                 |  |  |  |
| Marzo                    |  |  |  | Abril                 |  |  |  |
| Presión de vapor teórica |  |  |  | Presión de vapor real |  |  |  |
| Presión de saturación    |  |  |  | Temperatura           |  |  |  |
| -----                    |  |  |  | -----                 |  |  |  |
| -----                    |  |  |  | -----                 |  |  |  |

-----  
Mayo  
-----

-----  
Junio  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

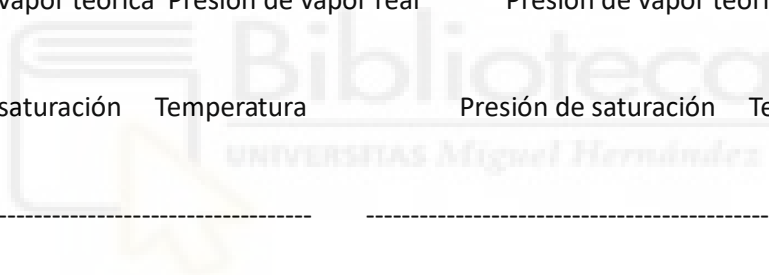
Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----



|                                                  |                                                  |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| -----                                            | -----                                            |
| Presión de vapor teórica   Presión de vapor real | Presión de vapor teórica   Presión de vapor real |

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Presión de saturación   Temperatura | Presión de saturación   Temperatura |
|-------------------------------------|-------------------------------------|

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----

## 5.2. Cubierta 1-Polivalente

### 5.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 5.2.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.952 \geq f_{Rsi,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.192$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

#### 5.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: noviembre, diciembre, enero, febrero.



Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 5.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 81   |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 5.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 1-Polivalente | e       | $\lambda$             | R | $\mu$ | Sd  |
|------------------------|---------|-----------------------|---|-------|-----|
| (cm)                   | (W/m·K) | (m <sup>2</sup> ·K/W) |   |       | (m) |

|      |                                            |      |         |         |         |     |
|------|--------------------------------------------|------|---------|---------|---------|-----|
| Rse  |                                            | 0.04 |         |         |         |     |
| 1    | Aluminio                                   | 0.0  | 230.000 | 0.00000 | 1000000 | 100 |
| 2    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]             | 15.0 | 0.031   | 4.83871 | 1       |     |
| 0.15 |                                            |      |         |         |         |     |
| 3    | Aluminio                                   | 0.0  | 230.000 | 0.00000 | 1000000 | 100 |
| 4    | Cámara de aire                             | 10.0 | 0.16000 | 0.01    |         |     |
| 5    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250   | 0.06000 | 4       |     |
| 0.06 |                                            |      |         |         |         |     |
| Rsi  |                                            | 0.10 |         |         |         |     |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 26.5   |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.1987 |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 200.22 |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.192  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.952  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.192 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 5.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|         | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero   | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo   | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril   | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo    | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio   | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio   | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto  | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |

|            |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Septiembre |  | 19.5 | 61.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.000 |
| Octubre    |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre  |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre  |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.952 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 5.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior                  | 5.50             | 902.765      | 722.212   | 80.0                                |       |                           |
| Cara exterior                  | 5.61             | 909.790      | 722.212   | 79.4                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2                  | 5.61             | 909.790      | 909.790   | 100.0                               | 1.627 | 3.141                     |
| Interfase 2-3                  | 19.11            | 2210.918     | 910.527   | 41.2                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4                  | 19.11            | 2210.918     | 1401.827  | 63.4                                | --    | --                        |
| Interfase 4-5                  | 19.55            | 2273.171     | 1401.876  | 61.7                                | --    | --                        |
| Cara interior                  | 19.72            | 2296.908     | 1402.171  | 61.0                                | --    | --                        |
| Aire interior                  | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |       |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                  | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |    |                           |
| Cara exterior                  | 6.90             | 994.590      | 750.629   | 75.5                                | -- | --                        |

|               |  |       |          |          |       |       |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Interfase 1-2 |  | 6.90  | 994.590  | 994.590  | 100.0 | 0.787 | 3.928 |
| Interfase 2-3 |  | 19.19 | 2221.970 | 995.200  | 44.8  | --    | --    |
| Interfase 3-4 |  | 19.19 | 2221.970 | 1401.886 | 63.1  | --    | --    |
| Interfase 4-5 |  | 19.59 | 2278.826 | 1401.927 | 61.5  | --    | --    |
| Cara interior |  | 19.75 | 2300.473 | 1402.171 | 61.0  | --    | --    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |       |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior          | 8.80     | 1132.044 | 781.110  | 69.0                      |                     |       |
| Cara exterior          | 8.89     | 1138.662 | 781.110  | 68.6                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2          | 8.89     | 1138.662 | 1138.662 | 100.0                     | -0.507              | 3.422 |
| Interfase 2-3          | 19.31    | 2239.066 | 1139.056 | 50.9                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4          | 19.31    | 2239.067 | 1401.987 | 62.6                      | --                  | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 19.66 | 2287.551 | 1402.013 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.78 | 2305.968 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $Ma$  |
|------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior          | 11.60    | 1365.261  | 928.378  | 68.0                      |                     |       |
| Cara exterior          | 11.66    | 1371.109  | 928.378  | 67.7                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2          | 11.66    | 1371.109  | 1371.109 | 100.0                     | -2.134              | 1.287 |
| Interfase 2-3          | 19.48    | 2263.195  | 1371.156 | 60.6                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4          | 19.48    | 2263.195  | 1402.149 | 62.0                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5          | 19.74    | 2299.815  | 1402.152 | 61.0                      | --                  | --    |
| Cara interior          | 19.84    | 2313.680  | 1402.171 | 60.6                      | --                  | --    |
| Aire interior          | 20.00    | 2336.951  | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Aire exterior          | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |                           |                           |
| Cara exterior          | 15.34            | 1741.644     | 1164.195  | 66.8                                | --                        | --                        |
| Interfase 1-2          | 15.34            | 1741.645     | 1741.645  | 100.0                               | -1.287                    | --                        |
| Interfase 2-3          | 19.71            | 2295.428     | 1741.136  | 75.9                                | --                        | --                        |
| Interfase 3-4          | 19.71            | 2295.428     | 1402.408  | 61.1                                | --                        | --                        |
| Interfase 4-5          | 19.86            | 2316.108     | 1402.374  | 60.5                                | --                        | --                        |
| Cara interior          | 19.91            | 2323.905     | 1402.171  | 60.3                                | --                        | --                        |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.



$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $g_c$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $Ma$<br>( $g/m^2$ ) |
|------------------------|------------------|-------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| Aire exterior          | 19.80            | 2308.176          | 1431.069     | 62.0                                     |                                         |                     |
| Cara exterior          | 19.80            | 2308.396          | 1431.069     | 62.0                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 1-2          | 19.80            | 2308.396          | 1416.636     | 61.4                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 2-3          | 19.99            | 2335.171          | 1416.614     | 60.7                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 3-4          | 19.99            | 2335.171          | 1402.181     | 60.0                                     | --                                      | --                  |
| Interfase 4-5          | 19.99            | 2336.061          | 1402.179     | 60.0                                     | --                                      | --                  |
| Cara interior          | 20.00            | 2336.395          | 1402.171     | 60.0                                     | --                                      | --                  |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                     |                                         |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior          | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                           |
| Cara exterior          | 23.47            | 2889.156     | 1533.739  | 53.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2          | 23.47            | 2889.156     | 1468.027  | 50.8                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3          | 20.22            | 2368.298     | 1467.929  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4          | 20.22            | 2368.298     | 1402.217  | 59.2                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5          | 20.11            | 2352.579     | 1402.210  | 59.6                                | -- | --                        |
| Cara interior          | 20.07            | 2346.708     | 1402.171  | 59.8                                | -- | --                        |
| Aire interior          | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                  | 22.80            | 2774.025     | 1497.973  | 54.0                                |    |                           |
| Cara exterior                  | 22.78            | 2770.407     | 1497.973  | 54.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2                  | 22.78            | 2770.407     | 1450.125  | 52.3                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3                  | 20.17            | 2361.999     | 1450.053  | 61.4                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4                  | 20.17            | 2361.999     | 1402.204  | 59.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5                  | 20.09            | 2349.446     | 1402.199  | 59.7                                | -- | --                        |
| Cara interior                  | 20.05            | 2344.754     | 1402.171  | 59.8                                | -- | --                        |
| Aire interior                  | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 1-Polivalente<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
|                                |                  |              |           |                                     |    |                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Aire exterior |  | 19.50 | 2265.595 | 1382.013 | 61.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Cara exterior |  | 19.50 | 2266.136 | 1382.013 | 61.0 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 19.50 | 2266.136 | 1392.081 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 19.97 | 2332.503 | 1392.096 | 59.7 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 19.97 | 2332.503 | 1402.164 | 60.1 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.98 | 2334.726 | 1402.165 | 60.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.560 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| <hr/>                  |                  |                   |              |                                     |       |                              |
| Aire exterior          | 14.10            | 1608.128          | 1157.852     | 72.0                                |       |                              |
| <hr/>                  |                  |                   |              |                                     |       |                              |
| Cara exterior          | 14.15            | 1612.867          | 1157.852     | 71.8                                | --    | --                           |
| Interfase 1-2          | 14.15            | 1612.868          | 1279.877     | 79.4                                | --    | --                           |
| Interfase 2-3          | 19.64            | 2284.930          | 1280.060     | 56.0                                | --    | --                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 19.64 | 2284.931 | 1402.085 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.82 | 2310.813 | 1402.097 | 60.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.89 | 2320.585 | 1402.171 | 60.4 | -- | -- |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| -----                  |                  |                   |              |                                     |       |                              |
| Aire exterior          | 9.00             | 1147.455          | 906.489      | 79.0                                |       |                              |
| -----                  |                  |                   |              |                                     |       |                              |
| Cara exterior          | 9.08             | 1154.032          | 906.489      | 78.5                                | --    | --                           |
| Interfase 1-2          | 9.08             | 1154.032          | 1154.032     | 100.0                               | 0.000 | 0.000                        |
| Interfase 2-3          | 19.32            | 2240.782          | 1154.403     | 51.5                                | --    | --                           |
| Interfase 3-4          | 19.32            | 2240.783          | 1401.997     | 62.6                                | --    | --                           |
| Interfase 4-5          | 19.66            | 2288.425          | 1402.022     | 61.3                                | --    | --                           |
| Cara interior          | 19.79            | 2306.518          | 1402.171     | 60.8                                | --    | --                           |
| -----                  |                  |                   |              |                                     |       |                              |

|               |  |       |          |          |      |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.



| Cubierta 1-Polivalente | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior          | 5.90     | 928.177  | 751.823  | 81.0                      |                     |       |
| ----- -----            |          |          |          |                           |                     |       |
| Cara exterior          | 6.01     | 935.176  | 751.823  | 80.4                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2          | 6.01     | 935.177  | 935.177  | 100.0                     | 1.514               | 1.514 |
| Interfase 2-3          | 19.13    | 2214.314 | 935.875  | 42.3                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4          | 19.13    | 2214.314 | 1401.845 | 63.3                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5          | 19.57    | 2274.910 | 1401.891 | 61.6                      | --                  | --    |
| Cara interior          | 19.73    | 2298.004 | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| ----- -----            |          |          |          |                           |                     |       |
| Aire interior          | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |
| ----- -----            |          |          |          |                           |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es noviembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov   | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |       |       |
| gc                                           | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 1.627 | 0.787 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | 0.000 | 1.514 |
| gev                                          | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --    | --    | 0.507 | 2.134 | 1.287 | --  | --  | --  | --  | --    | --    |
| Ma                                           | (g/m <sup>2</sup> )     | 3.141 | 3.928 | 3.422 | 1.287 | --    | --  | --  | --  | --  | 0.000 | 1.514 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 5.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Mayo                     |                       | Junio                    |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
| -----                    |                       | -----                    |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| -----                    |                       | -----                    |                       |



-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Condensación acumulada  
-----

---

## 6. BAÑOS P PRIMERA

### 6.1. Cerramiento exterior

#### 6.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 6.1.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.954 \geq fR_{si, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

##### 6.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

##### 6.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic

---

|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Condiciones exteriores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 6.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$   | Sd      |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|---------|---------|
|                      |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         | (m)     |
| Rse                  |                                                          |      |           | 0.04                  |         |         |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 |      | 6.0       | 2.500                 | 0.02400 | 80      |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] |      |           |                       | 8.0     | 0.032   |
| 20                   | 1.6                                                      |      |           |                       |         | 2.50000 |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 |      | 6.0       | 2.500                 | 0.02400 | 80      |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           |      | 8.0       | 0.031                 | 2.58065 | 1       |
| 0.08                 |                                                          |      |           |                       |         |         |

|                   |                                            |      |       |         |   |
|-------------------|--------------------------------------------|------|-------|---------|---|
| 5                 | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4 |
| 0.06              |                                            |      |       |         |   |
| 6                 | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250 | 0.06000 | 4 |
| 0.06              |                                            |      |       |         |   |
| ----- ----- ----- |                                            |      |       |         |   |
| Rsi               |                                            | 0.13 |       |         |   |
| -----             |                                            |      |       |         |   |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| -----                                            | -----                 | -----  |
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 31.0   |
|                                                  |                       |        |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.4186 |
|                                                  |                       |        |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 11.40  |
|                                                  |                       |        |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.185  |
|                                                  |                       |        |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.954  |
| -----                                            | -----                 | -----  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las

resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 6.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,min}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,min}$<br>(°C) | $fR_{si,min}$ |  |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|--|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |  |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |  |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |  |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |  |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |  |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |  |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |  |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |  |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 6.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |       |                              |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504           | 722.212      | 79.4                                | --    | --                           |

|               |  |       |          |          |       |        |        |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|--------|--------|
| Interfase 1-2 |  | 5.67  | 913.569  | 913.569  | 100.0 | 18.301 | 35.016 |
| Interfase 2-3 |  | 12.36 | 1435.537 | 1032.018 | 71.9  | --     | --     |
| Interfase 3-4 |  | 12.43 | 1441.610 | 1387.365 | 96.2  | --     | --     |
| Interfase 4-5 |  | 19.33 | 2241.913 | 1393.287 | 62.1  | --     | --     |
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.408 | 1397.729 | 61.7  | --     | --     |
| Cara interior |  | 19.65 | 2287.101 | 1402.171 | 61.3  | --     | --     |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |        |        |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |        |        |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |        |        |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior        | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior        | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3        | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4        | 13.10            | 1507.216     | 1389.932  | 92.2                                | --    | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 4-5 |  | 19.39 | 2250.293 | 1394.828 | 62.0 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.54 | 2270.831 | 1398.499 | 61.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.68 | 2291.532 | 1402.171 | 61.2 | -- | -- |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------|
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |         |                           |
| Aire exterior        | 8.80             | 1132.044     | 781.110   | 69.0                                |         |                           |
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |         |                           |
| Cara exterior        | 8.88             | 1138.392     | 781.110   | 68.6                                | --      | --                        |
| Interfase 1-2        | 8.93             | 1142.216     | 1142.216  | 100.0                               | -19.201 | 20.456                    |
| Interfase 2-3        | 14.10            | 1608.089     | 1205.236  | 74.9                                | --      | --                        |
| Interfase 3-4        | 14.15            | 1613.269     | 1394.293  | 86.4                                | --      | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.48            | 2263.240     | 1397.444  | 61.7                                | --      | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2280.742     | 1399.807  | 61.4                                | --      | --                        |



|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.363 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat  | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma      |
|----------------------|----------|-------|----------|---------------------------|---------------------|---------|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)  | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |         |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Aire exterior        |          | 11.60 | 1365.261 | 928.378                   | 68.0                |         |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Cara exterior        |          | 11.66 | 1370.871 | 928.378                   | 67.7                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 1-2        |          | 11.70 | 1374.247 | 1374.247                  | 100.0               | -20.456 |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 2-3        |          | 15.57 | 1768.501 | 1381.016                  | 78.1                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 3-4        |          | 15.61 | 1772.722 | 1401.325                  | 79.0                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 4-5        |          | 19.61 | 2281.474 | 1401.663                  | 61.4                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Interfase 5-6        |          | 19.71 | 2294.683 | 1401.917                  | 61.1                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Cara interior        |          | 19.80 | 2307.958 | 1402.171                  | 60.8                | --      |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |
| Aire interior        |          | 20.00 | 2336.951 | 1402.171                  | 60.0                |         |
| <hr/>                |          |       |          |                           |                     |         |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc                  | Ma |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------|----|
|                      | (Pa)             |              |           |                                     | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior        | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |                     |    |
| Cara exterior        | 15.33            | 1741.480     | 1164.195  | 66.9                                | --                  | -- |
| Interfase 1-2        | 15.36            | 1743.809     | 1264.395  | 72.5                                | --                  | -- |
| Interfase 2-3        | 17.52            | 2001.891     | 1297.795  | 64.8                                | --                  | -- |
| Interfase 3-4        | 17.54            | 2004.523     | 1397.996  | 69.7                                | --                  | -- |
| Interfase 4-5        | 19.78            | 2305.767     | 1399.666  | 60.7                                | --                  | -- |
| Interfase 5-6        | 19.84            | 2313.218     | 1400.918  | 60.6                                | --                  | -- |
| Cara interior        | 19.89            | 2320.690     | 1402.171  | 60.4                                | --                  | -- |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación,  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ .

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $\text{g}/\text{m}^2$ .

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>( $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ ) | gc | Ma                        |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|--------------------------------------------------------|----|---------------------------|
|                      |                  |              |           |                                                        |    | ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) |
| Aire exterior        | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                                   |    |                           |
| Cara exterior        | 23.47            | 2889.346     | 1533.739  | 53.1                                                   | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 23.46            | 2886.648     | 1478.342  | 51.2                                                   | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 21.84            | 2617.367     | 1459.876  | 55.8                                                   | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 21.83            | 2614.893     | 1404.479  | 53.7                                                   | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 20.16            | 2360.412     | 1403.556  | 59.5                                                   | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 20.12            | 2354.763     | 1402.863  | 59.6                                                   | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.08            | 2349.125     | 1402.171  | 59.7                                                   | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                                   |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación,  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ .

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $\text{g}/\text{m}^2$ .

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025          | 1497.973     | 54.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554          | 1497.973     | 54.1                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473          | 1457.635     | 52.7                                | --                           | --                           |
| Interfase 2-3        | 21.48            | 2559.044          | 1444.189     | 56.4                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 21.46            | 2557.103          | 1403.851     | 54.9                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 20.13            | 2355.704          | 1403.179     | 59.6                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 20.10            | 2351.191          | 1402.675     | 59.7                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 20.07            | 2346.686          | 1402.171     | 59.8                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595          | 1382.013     | 61.0                                |                                    |                              |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114          | 1382.013     | 61.0                                | --                                 | --                           |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426          | 1390.500     | 61.4                                | --                                 | --                           |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118          | 1393.329     | 60.6                                | --                                 | --                           |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434          | 1401.817     | 61.0                                | --                                 | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616          | 1401.958     | 60.1                                | --                                 | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.98            | 2334.416          | 1402.065     | 60.1                                | --                                 | --                           |
| Cara interior        | 19.99            | 2335.216          | 1402.171     | 60.0                                | --                                 | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                                    |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior                | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2                | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3                | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4                | 16.92            | 1926.596     | 1397.884  | 72.6                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.73            | 2297.864     | 1399.599  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.79            | 2307.192     | 1400.885  | 60.7                                | -- | --                        |
| Cara interior                | 19.86            | 2316.554     | 1402.171  | 60.5                                | -- | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |    |                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara exterior |  | 9.08  | 1153.764 | 906.489  | 78.6 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 9.13  | 1157.564 | 1115.197 | 96.3 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 14.20 | 1619.108 | 1184.767 | 73.2 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 14.25 | 1624.226 | 1393.475 | 85.8 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.49 | 2264.538 | 1396.953 | 61.7 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.61 | 2281.736 | 1399.562 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.74 | 2299.048 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$  | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.90             | 928.177           | 751.823      | 81.0                                |        |                              |
| Cara exterior        | 6.00             | 934.891           | 751.823      | 80.4                                | --     | --                           |
| Interfase 1-2        | 6.07             | 938.941           | 938.941      | 100.0                               | 16.715 | 16.715                       |
| Interfase 2-3        | 12.57            | 1455.547          | 1051.239     | 72.2                                | --     | --                           |



|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 12.63 | 1461.524 | 1388.133 | 95.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.35 | 2244.489 | 1393.748 | 62.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.51 | 2266.383 | 1397.960 | 61.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.66 | 2288.463 | 1402.171 | 61.3 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene | Feb    | Mar   | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|-----|--------|-------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| <hr/>                                        |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| <hr/>                                        |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_c$ g/(m <sup>2</sup> ·mes)                |     | 18.301 | 4.640 | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| <hr/>                                        |     |        |       |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_{ev}$ g/(m <sup>2</sup> ·mes)             |     | --     | --    | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |

|             |                     |        |        |        |    |    |    |    |    |    |    |        |
|-------------|---------------------|--------|--------|--------|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| Ma          | (g/m <sup>2</sup> ) | 35.016 | 39.657 | 20.456 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 16.715 |
| ----- ----- |                     |        |        |        |    |    |    |    |    |    |    |        |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 6.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|                          |  |             |  |                       |  |                          |  |                       |  |
|--------------------------|--|-------------|--|-----------------------|--|--------------------------|--|-----------------------|--|
| Enero                    |  |             |  | Febrero               |  |                          |  |                       |  |
| Presión de vapor teórica |  |             |  | Presión de vapor real |  | Presión de vapor teórica |  | Presión de vapor real |  |
| Presión de saturación    |  | Temperatura |  | Presión de saturación |  | Temperatura              |  |                       |  |
|                          |  |             |  |                       |  |                          |  |                       |  |
| Marzo                    |  |             |  | Abril                 |  |                          |  |                       |  |
| Presión de vapor teórica |  |             |  | Presión de vapor real |  | Presión de vapor teórica |  | Presión de vapor real |  |
| Presión de saturación    |  | Temperatura |  | Presión de saturación |  | Temperatura              |  |                       |  |

-----  
Mayo  
-----

-----  
Junio  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

|                          |                       |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|

|                       |             |                       |             |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Presión de saturación | Temperatura | Presión de saturación | Temperatura |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|

-----

-----  
 Condensación acumulada  
 -----  
 -----

## 6.2. Cubierta 2-Transitable

### 6.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 6.2.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.962 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.152$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

#### 6.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo no presenta condensaciones intersticiales.

### 6.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |    |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Condiciones exteriores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |    |
| 5.9                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   | 81 |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Condiciones interiores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |    |
| 20.0                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |    |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 6.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 2-Transitable |                                     | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$   | Sd  |     |  |
|------------------------|-------------------------------------|------|-----------|-----------------------|---------|-----|-----|--|
|                        |                                     | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         | (m) |     |  |
| ----- -----            |                                     |      |           |                       |         |     |     |  |
| Rse                    |                                     |      |           | 0.04                  |         |     |     |  |
| ----- -----            |                                     |      |           |                       |         |     |     |  |
| 1                      | Losa filtron con 6cm de aislamiento |      | 6.0       | 0.032                 | 1.87500 | 20  | 1.2 |  |
| ----- -----            |                                     |      |           |                       |         |     |     |  |

|                   |                                                          |      |         |            |
|-------------------|----------------------------------------------------------|------|---------|------------|
| 2                 | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.029 W/[mK]] | 6.0  | 0.029   | 2.06897    |
| 20                | 1.2                                                      |      |         |            |
| 3                 | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.029 W/[mK]] | 6.0  | 0.029   | 2.06897    |
| 20                | 1.2                                                      |      |         |            |
| 4                 | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     | 30.0 | 1.579   | 0.18999 80 |
| 24                |                                                          |      |         |            |
| 5                 | Cámara de aire                                           | 10.0 | 0.16000 | 0.01       |
| 6                 | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250   | 0.06000 4  |
| 0.06              |                                                          |      |         |            |
| ----- ----- ----- |                                                          |      |         |            |
| Rsi               |                                                          | 0.10 |         |            |
| -----             |                                                          |      |         |            |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 59.5   |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 6.5629 |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 27.67  |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.152  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.962  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.152 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 6.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |

|             |  |      |      |      |      |         |         |      |       |
|-------------|--|------|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Octubre     |  | 14.1 | 72.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.439 |
| Noviembre   |  | 9.0  | 79.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.699 |
| Diciembre   |  | 5.9  | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |
| ----- ----- |  |      |      |      |      |         |         |      |       |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.962 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 6.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.



| Cubierta 2-Transitable | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior          | 5.50     | 902.765  | 722.212  | 80.0                      |                     |    |
| Cara exterior          | 5.59     | 908.326  | 722.212  | 79.5                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2          | 9.73     | 1205.360 | 751.701  | 62.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3          | 14.30    | 1629.322 | 781.189  | 47.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4          | 18.87    | 2178.843 | 810.678  | 37.2                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5          | 19.29    | 2236.615 | 1400.451 | 62.6                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6          | 19.65    | 2286.302 | 1400.696 | 61.3                      | --                  | -- |
| Cara interior          | 19.78    | 2305.182 | 1402.171 | 60.8                      | --                  | -- |
| Aire interior          | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

#### 6.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

-----  
 Enero  
 -----

Presión de vapor teórica    Presión de vapor real

Presión de saturación    Temperatura

-----

### 6.3. Cubierta 3 - Inclínadas aulas

#### 6.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 6.3.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.953 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 6.3.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

#### 6.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.



### 6.3.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 3 - Inclinas aulas |                                                          | e       | $\lambda$             | R       | $\mu$   | Sd      |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|---------|-----------------------|---------|---------|---------|
| (cm)                        |                                                          | (W/m·K) | (m <sup>2</sup> ·K/W) |         |         | (m)     |
| Rse                         |                                                          | 0.04    |                       |         |         |         |
| 1                           | Aluminio                                                 | 0.1     | 230.000               | 0.00000 | 1000000 | 1000    |
| 2                           | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] |         |                       | 10.0    | 0.032   | 3.12500 |
| 20                          | 2                                                        |         |                       |         |         |         |
| 3                           | Aluminio                                                 | 0.1     | 230.000               | 0.00000 | 1000000 | 1000    |
| 4                           | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           |         | 5.0                   | 0.031   | 1.61290 | 1       |
| 0.05                        |                                                          |         |                       |         |         |         |

|                                     |                                            |      |         |         |    |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|------|---------|---------|----|
| 5                                   | Con capa de compresión -Canto 300 mm       | 30.0 | 1.579   | 0.18999 | 80 |
| 24                                  |                                            |      |         |         |    |
| 6                                   | Cámara de aire                             | 10.0 | 0.16000 | 0.01    |    |
| 7                                   | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 | 1.5  | 0.250   | 0.06000 | 4  |
| 0.06                                |                                            |      |         |         |    |
| ----- ----- ----- ----- ----- ----- |                                            |      |         |         |    |
| Rsi                                 |                                            | 0.10 |         |         |    |
| ----- ----- ----- ----- ----- ----- |                                            |      |         |         |    |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor   |
|--------------------------------------------------|-----------------------|---------|
| ----- ----- ----- ----- ----- -----              |                       |         |
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 56.7    |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.2879  |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 2026.12 |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.189   |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.953   |
| ----- ----- ----- ----- ----- -----              |                       |         |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 6.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |  |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|--|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |  |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |  |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |  |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |  |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |  |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |  |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |  |

|             |  |     |      |      |      |         |         |      |       |
|-------------|--|-----|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Diciembre   |  | 5.9 | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |
| ----- ----- |  |     |      |      |      |         |         |      |       |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 6.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$   | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|-----------------------------|----------|-----------|---------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)     | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| ----- -----                 |          |           |         |                           |                     |       |
| Aire exterior               | 5.50     | 902.765   | 722.212 | 80.0                      |                     |       |
| ----- -----                 |          |           |         |                           |                     |       |

|               |  |       |          |          |       |       |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Cara exterior |  | 5.61  | 909.671  | 722.212  | 79.4  | --    | --    |
| Interfase 1-2 |  | 5.61  | 909.672  | 909.672  | 100.0 | 0.157 | 0.302 |
| Interfase 2-3 |  | 14.18 | 1616.361 | 910.632  | 56.3  | --    | --    |
| Interfase 3-4 |  | 14.18 | 1616.362 | 1390.594 | 86.0  | --    | --    |
| Interfase 4-5 |  | 18.60 | 2142.151 | 1390.618 | 64.9  | --    | --    |
| Interfase 5-6 |  | 19.12 | 2212.994 | 1402.137 | 63.4  | --    | --    |
| Interfase 6-7 |  | 19.56 | 2274.234 | 1402.142 | 61.7  | --    | --    |
| Cara interior |  | 19.73 | 2297.578 | 1402.171 | 61.0  | --    | --    |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |       |       |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |       |       |
| <hr/>         |  |       |          |          |       |       |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat    | Pn      | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|---------|---------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)    | (%)     | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 6.80     | 987.670 | 750.629 | 76.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 6.90     | 994.473 | 750.629 | 75.5                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 6.90     | 994.474 | 994.474 | 100.0                     | 0.074               | 0.377 |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 14.70 | 1671.841 | 995.268  | 59.5 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 14.70 | 1671.842 | 1392.587 | 83.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 18.73 | 2159.016 | 1392.607 | 64.5 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.20 | 2223.868 | 1402.143 | 63.0 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.60 | 2279.796 | 1402.147 | 61.5 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.75 | 2301.084 | 1402.171 | 60.9 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$  |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 8.80             | 1132.044          | 781.110      | 69.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 8.88             | 1138.550          | 781.110      | 68.6                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 8.88             | 1138.550          | 1138.550     | 100.0                               | -0.054                       | 0.323 |
| Interfase 2-3               | 15.50            | 1760.457          | 1139.064     | 64.7                                | --                           | --    |



|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 15.50 | 1760.458 | 1395.974 | 79.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 18.92 | 2185.189 | 1395.987 | 63.9 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.32 | 2240.687 | 1402.153 | 62.6 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.66 | 2288.377 | 1402.155 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.79 | 2306.488 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$  |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 11.60            | 1365.261          | 928.378      | 68.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 11.66            | 1371.010          | 928.378      | 67.7                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 11.66            | 1371.011          | 1371.011     | 100.0                               | -0.214                       | 0.109 |
| Interfase 2-3               | 16.63            | 1891.429          | 1371.072     | 72.5                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 16.63            | 1891.430          | 1401.438     | 74.1                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 19.19            | 2222.298          | 1401.440     | 63.1                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.422 | 1402.169 | 61.9 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.75 | 2300.437 | 1402.169 | 61.0 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.84 | 2314.071 | 1402.171 | 60.6 | -- | -- |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 15.30            | 1737.605          | 1164.195      | 67.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 15.34            | 1741.576          | 1164.195      | 66.8                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 15.34            | 1741.577          | 1741.577      | 100.0                               | -0.109                       | --    |
| Interfase 2-3               | 18.11            | 2077.547          | 1740.915      | 83.8                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 18.11            | 2077.548          | 1410.149      | 67.9                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 19.55            | 2272.179          | 1410.132      | 62.1                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 19.72            | 2296.123          | 1402.194      | 61.1                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 6-7 |  | 19.86 | 2316.458 | 1402.191 | 60.5 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.91 | 2324.125 | 1402.171 | 60.3 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 19.80    | 2308.176 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Cara exterior               | 19.80    | 2308.393 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 19.80    | 2308.393 | 1416.806 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 19.92    | 2325.362 | 1416.778 | 60.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 19.92    | 2325.362 | 1402.515 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 19.98    | 2334.162 | 1402.514 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.99    | 2335.201 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.99    | 2336.076 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 20.00    | 2336.404 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |

|               |       |          |          |      |
|---------------|-------|----------|----------|------|
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
|---------------|-------|----------|----------|------|

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 23.50            | 2893.848          | 1533.739     | 53.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 23.47            | 2889.235          | 1533.739     | 53.1                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 23.47            | 2889.235          | 1468.803     | 50.8                                | --                           | --    |
| Interfase 2-3               | 21.41            | 2548.107          | 1468.673     | 57.6                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 21.41            | 2548.107          | 1403.737     | 55.1                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 20.34            | 2386.229          | 1403.734     | 58.8                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 20.21            | 2367.766          | 1402.175     | 59.2                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 20.11            | 2352.314          | 1402.175     | 59.6                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 20.07            | 2346.543          | 1402.171     | 59.8                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 22.80            | 2774.025          | 1497.973      | 54.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 22.78            | 2770.468          | 1497.973      | 54.1                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 22.78            | 2770.467          | 1450.690      | 52.4                                | --                           | --    |
| Interfase 2-3               | 21.12            | 2504.591          | 1450.595      | 57.9                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 21.12            | 2504.590          | 1403.311      | 56.0                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 20.27            | 2376.302          | 1403.309      | 59.1                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 20.17            | 2361.575          | 1402.174      | 59.4                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 20.08            | 2349.235          | 1402.174      | 59.7                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 20.05            | 2344.622          | 1402.171      | 59.8                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171      | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 19.50    | 2265.595 | 1382.013 | 61.0                      |                     |    |
| Cara exterior               | 19.50    | 2266.127 | 1382.013 | 61.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 19.50    | 2266.127 | 1391.962 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 19.80    | 2308.071 | 1391.982 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 19.80    | 2308.072 | 1401.931 | 60.7                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 19.95    | 2329.985 | 1401.931 | 60.2                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.97    | 2332.578 | 1402.170 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.98    | 2334.764 | 1402.170 | 60.1                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 19.99    | 2335.584 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 14.10            | 1608.128     | 1157.852   | 72.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 14.14            | 1612.787     | 1157.852   | 71.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 14.14            | 1612.788     | 1278.437   | 79.3                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 17.63            | 2015.502     | 1278.678   | 63.4                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 17.63            | 2015.502     | 1399.262   | 69.4                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 19.43            | 2255.895     | 1399.268   | 62.0                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.64            | 2285.800     | 1402.162   | 61.3                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 19.82            | 2311.252     | 1402.163   | 60.7                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 19.89            | 2320.860     | 1402.171   | 60.4                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171   | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot mes)$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot mes)$ ) | $g_c$<br>( $g/m^2$ ) | $Ma$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|----------------------|------|
| Aire exterior               | 9.00             | 1147.455          | 906.489      | 79.0                              |                      |      |
| Cara exterior               | 9.08             | 1153.920          | 906.489      | 78.6                              | --                   | --   |
| Interfase 1-2               | 9.08             | 1153.921          | 1151.135     | 99.8                              | --                   | --   |
| Interfase 2-3               | 15.58            | 1769.541          | 1151.624     | 65.1                              | --                   | --   |
| Interfase 3-4               | 15.58            | 1769.542          | 1396.270     | 78.9                              | --                   | --   |
| Interfase 4-5               | 18.94            | 2187.822          | 1396.282     | 63.8                              | --                   | --   |
| Interfase 5-6               | 19.33            | 2242.376          | 1402.154     | 62.5                              | --                   | --   |
| Interfase 6-7               | 19.67            | 2289.236          | 1402.156     | 61.2                              | --                   | --   |
| Cara interior               | 19.79            | 2307.029          | 1402.171     | 60.8                              | --                   | --   |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                              |                      |      |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot mes)$ .



Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 5.90     | 928.177  | 751.823  | 81.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 6.01     | 935.058  | 751.823  | 80.4                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 6.01     | 935.059  | 935.059  | 100.0                     | 0.146               | 0.146 |
| Interfase 2-3               | 14.34    | 1633.257 | 935.969  | 57.3                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 14.34    | 1633.258 | 1391.191 | 85.2                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5               | 18.64    | 2147.328 | 1391.214 | 64.8                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6               | 19.15    | 2216.335 | 1402.139 | 63.3                      | --                  | --    |
| Interfase 6-7               | 19.57    | 2275.944 | 1402.143 | 61.6                      | --                  | --    |
| Cara interior               | 19.73    | 2298.657 | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| gc                                           | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 0.157 | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
| gev                                          | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --    | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --    |
| Ma                                           | (g/m <sup>2</sup> )     | 0.302 | 0.377 | 0.323 | 0.109 | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 6.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|       |         |
|-------|---------|
| Enero | Febrero |
|-------|---------|

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Marzo

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Abril

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Mayo

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Junio

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Julio

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Agosto

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----

## 7.1. Cerramiento exterior

### 7.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 7.1.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.954 \geq f_{Rsi, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

#### 7.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 7.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene  | Feb | Mar | Abr | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic |    |
|----------------------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|----|
| -----                      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Condiciones exteriores     |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| -----                      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5 | 6.8 | 8.8 | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0 |    |
| 5.9                        |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
|                            |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80  | 76  | 69  | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79  | 81 |
|                            |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| -----                      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Condiciones interiores     |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| -----                      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| -----                      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |

Temperatura,  $\theta_i$  (°C) | 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0  
20.0

Humedad relativa,  $\phi_i$  (%) | 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60  
-----|-----

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 7.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$ | Sd  |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|-------|-----|
|                      |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |       | (m) |
| Rse                  |                                                          | 0.04 |           |                       |       |     |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 8.0  | 0.032     | 2.50000               |       |     |
| 20                   | 1.6                                                      |      |           |                       |       |     |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 8.0  | 0.031     | 2.58065               | 1     |     |
| 0.08                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| 5                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| 6                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| Rsi                  |                                                          | 0.13 |           |                       |       |     |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Esesor total del elemento, eT                    | cm                    | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.4186 |
| Esesor de aire equivalente total, Sd,T           | m                     | 11.40  |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.185  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.954  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi, m<sup>2</sup>·K/W.

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como (1 - U·R si), donde U = 0.185 W/m<sup>2</sup>·K y R si = 0.25

$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ .

#### 7.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.



$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $fR_{si} = 0.954 > fR_{si,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 7.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$  | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |        |                              |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504           | 722.212      | 79.4                                | --     | --                           |
| Interfase 1-2        | 5.67             | 913.569           | 913.569      | 100.0                               | 18.301 | 35.016                       |
| Interfase 2-3        | 12.36            | 1435.537          | 1032.018     | 71.9                                | --     | --                           |
| Interfase 3-4        | 12.43            | 1441.610          | 1387.365     | 96.2                                | --     | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.33            | 2241.913          | 1393.287     | 62.1                                | --     | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.49            | 2264.408          | 1397.729     | 61.7                                | --     | --                           |
| Cara interior        | 19.65            | 2287.101          | 1402.171     | 61.3                                | --     | --                           |

|               |       |          |          |      |
|---------------|-------|----------|----------|------|
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
|---------------|-------|----------|----------|------|

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

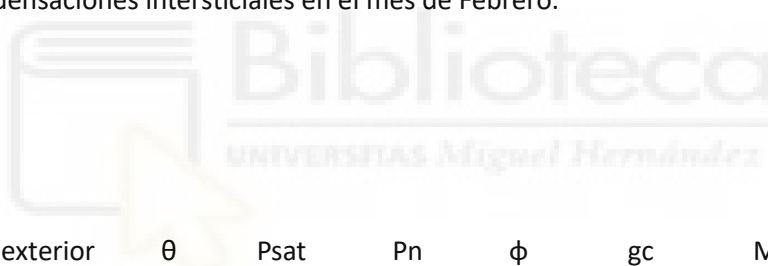
$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.



| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 6.80             | 987.670           | 750.629      | 76.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 6.90             | 994.308           | 750.629      | 75.5                                | --                           | --                           |
| Interfase 1-2        | 6.96             | 998.310           | 998.310      | 100.0                               | 4.640                        | 39.657                       |
| Interfase 2-3        | 13.05            | 1501.467          | 1096.216     | 73.0                                | --                           | --                           |
| Interfase 3-4        | 13.10            | 1507.216          | 1389.932     | 92.2                                | --                           | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.39            | 2250.293          | 1394.828     | 62.0                                | --                           | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.54            | 2270.831          | 1398.499     | 61.6                                | --                           | --                           |
| Cara interior        | 19.68            | 2291.532          | 1402.171     | 61.2                                | --                           | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------|
| Aire exterior        | 8.80             | 1132.044     | 781.110   | 69.0                                |         |                           |
| Cara exterior        | 8.88             | 1138.392     | 781.110   | 68.6                                | --      | --                        |
| Interfase 1-2        | 8.93             | 1142.216     | 1142.216  | 100.0                               | -19.201 | 20.456                    |
| Interfase 2-3        | 14.10            | 1608.089     | 1205.236  | 74.9                                | --      | --                        |
| Interfase 3-4        | 14.15            | 1613.269     | 1394.293  | 86.4                                | --      | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.48            | 2263.240     | 1397.444  | 61.7                                | --      | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2280.742     | 1399.807  | 61.4                                | --      | --                        |
| Cara interior        | 19.73            | 2298.363     | 1402.171  | 61.0                                | --      | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |         |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------------|
| Aire exterior        | 11.60            | 1365.261     | 928.378   | 68.0                                |         |                           |
| Cara exterior        | 11.66            | 1370.871     | 928.378   | 67.7                                | --      | --                        |
| Interfase 1-2        | 11.70            | 1374.247     | 1374.247  | 100.0                               | -20.456 | --                        |
| Interfase 2-3        | 15.57            | 1768.501     | 1381.016  | 78.1                                | --      | --                        |
| Interfase 3-4        | 15.61            | 1772.722     | 1401.325  | 79.0                                | --      | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.61            | 2281.474     | 1401.663  | 61.4                                | --      | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.71            | 2294.683     | 1401.917  | 61.1                                | --      | --                        |
| Cara interior        | 19.80            | 2307.958     | 1402.171  | 60.8                                | --      | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |         |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 15.33            | 1741.480     | 1164.195  | 66.9                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 15.36            | 1743.809     | 1264.395  | 72.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 17.52            | 2001.891     | 1297.795  | 64.8                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 17.54            | 2004.523     | 1397.996  | 69.7                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.78            | 2305.767     | 1399.666  | 60.7                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.84            | 2313.218     | 1400.918  | 60.6                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.89            | 2320.690     | 1402.171  | 60.4                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|----------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                 | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior        | 23.50    | 2893.848 | 1533.739 | 53.0                      |                     |    |
| Cara exterior        | 23.47    | 2889.346 | 1533.739 | 53.1                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2        | 23.46    | 2886.648 | 1478.342 | 51.2                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3        | 21.84    | 2617.367 | 1459.876 | 55.8                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4        | 21.83    | 2614.893 | 1404.479 | 53.7                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5        | 20.16    | 2360.412 | 1403.556 | 59.5                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6        | 20.12    | 2354.763 | 1402.863 | 59.6                      | --                  | -- |
| Cara interior        | 20.08    | 2349.125 | 1402.171 | 59.7                      | --                  | -- |
| Aire interior        | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

|                      |          |      |    |        |    |    |
|----------------------|----------|------|----|--------|----|----|
| Cerramiento exterior | $\theta$ | Psat | Pn | $\phi$ | gc | Ma |
|----------------------|----------|------|----|--------|----|----|

|               | (°C)  | (Pa)     | (Pa)     | (%)  | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |  |
|---------------|-------|----------|----------|------|---------------------------|---------------------|--|
| Aire exterior | 22.80 | 2774.025 | 1497.973 | 54.0 |                           |                     |  |
| Cara exterior | 22.78 | 2770.554 | 1497.973 | 54.1 | --                        | --                  |  |
| Interfase 1-2 | 22.77 | 2768.473 | 1457.635 | 52.7 | --                        | --                  |  |
| Interfase 2-3 | 21.48 | 2559.044 | 1444.189 | 56.4 | --                        | --                  |  |
| Interfase 3-4 | 21.46 | 2557.103 | 1403.851 | 54.9 | --                        | --                  |  |
| Interfase 4-5 | 20.13 | 2355.704 | 1403.179 | 59.6 | --                        | --                  |  |
| Interfase 5-6 | 20.10 | 2351.191 | 1402.675 | 59.7 | --                        | --                  |  |
| Cara interior | 20.07 | 2346.686 | 1402.171 | 59.8 | --                        | --                  |  |
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |                           |                     |  |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595          | 1382.013     | 61.0                                |                              |                              |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114          | 1382.013     | 61.0                                | --                           | --                           |



|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 1-2 |  | 19.51 | 2266.426 | 1390.500 | 61.4 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 19.74 | 2299.118 | 1393.329 | 60.6 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 19.74 | 2299.434 | 1401.817 | 61.0 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.98 | 2333.616 | 1401.958 | 60.1 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.98 | 2334.416 | 1402.065 | 60.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.216 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 14.14            | 1612.675     | 1157.852  | 71.8                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 14.17            | 1615.408     | 1260.723  | 78.0                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 16.89            | 1923.406     | 1295.013  | 67.3                                | -- | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 16.92 | 1926.596 | 1397.884 | 72.6 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 19.73 | 2297.864 | 1399.599 | 60.9 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.79 | 2307.192 | 1400.885 | 60.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.86 | 2316.554 | 1402.171 | 60.5 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| Aire exterior        | 9.00             | 1147.455          | 906.489      | 79.0                                | --    | --                           |
| Cara exterior        | 9.08             | 1153.764          | 906.489      | 78.6                                | --    | --                           |
| Interfase 1-2        | 9.13             | 1157.564          | 1115.197     | 96.3                                | --    | --                           |
| Interfase 2-3        | 14.20            | 1619.108          | 1184.767     | 73.2                                | --    | --                           |
| Interfase 3-4        | 14.25            | 1624.226          | 1393.475     | 85.8                                | --    | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.49            | 2264.538          | 1396.953     | 61.7                                | --    | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2281.736          | 1399.562     | 61.3                                | --    | --                           |

|               |       |          |          |      |    |    |
|---------------|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara interior | 19.74 | 2299.048 | 1402.171 | 61.0 | -- | -- |
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior        | 5.90             | 928.177      | 751.823   | 81.0                                |        |                           |
| Cara exterior        | 6.00             | 934.891      | 751.823   | 80.4                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.07             | 938.941      | 938.941   | 100.0                               | 16.715 | 16.715                    |
| Interfase 2-3        | 12.57            | 1455.547     | 1051.239  | 72.2                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4        | 12.63            | 1461.524     | 1388.133  | 95.0                                | --     | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.35            | 2244.489     | 1393.748  | 62.1                                | --     | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.51            | 2266.383     | 1397.960  | 61.7                                | --     | --                        |
| Cara interior        | 19.66            | 2288.463     | 1402.171  | 61.3                                | --     | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |        |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |        |        |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_c$                                        | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 18.301 | 4.640  | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| $g_{ev}$                                     | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --     | --     | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |
| $Ma$                                         | (g/m <sup>2</sup> )     | 35.016 | 39.657 | 20.456 | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |

donde:

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$g_{ev}$ : Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

7.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enero                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Febrero                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> |
| Marzo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Abril                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> |
| Mayo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Junio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Presión de vapor teórica   Presión de vapor real</p> <p>Presión de saturación   Temperatura</p> </div> </div> |

| Julio | Agosto |
|-------|--------|
|-------|--------|

| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

| Septiembre | Octubre |
|------------|---------|
|------------|---------|

| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

| Noviembre | Diciembre |
|-----------|-----------|
|-----------|-----------|

| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----

## 7.2. Cubierta 3 - Inclínadas aulas

### 7.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 7.2.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.953 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica,  
calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

#### 7.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 7.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.



### 7.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 3 - Inclinas aulas |                                                          | e    | $\lambda$ | R        | $\mu$   | Sd   |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|----------|---------|------|
|                             |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m²·K/W) |         | (m)  |
| Rse                         |                                                          | 0.04 |           |          |         |      |
| 1                           | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000   | 0.00000  | 1000000 | 1000 |
| 2                           | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 10.0 | 0.032     | 3.12500  |         |      |
| 20                          | 2                                                        |      |           |          |         |      |
| 3                           | Aluminio                                                 | 0.1  | 230.000   | 0.00000  | 1000000 | 1000 |
| 4                           | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 5.0  | 0.031     | 1.61290  | 1       |      |
| 0.05                        |                                                          |      |           |          |         |      |



|                                           |                                            |  |      |         |         |    |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|--|------|---------|---------|----|
| 5                                         | Con capa de compresión -Canto 300 mm       |  | 30.0 | 1.579   | 0.18999 | 80 |
| 24                                        |                                            |  |      |         |         |    |
| 6                                         | Cámara de aire                             |  | 10.0 | 0.16000 | 0.01    |    |
| 7                                         | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 |  | 1.5  | 0.250   | 0.06000 | 4  |
| 0.06                                      |                                            |  |      |         |         |    |
| ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- |                                            |  |      |         |         |    |
| Rsi                                       |                                            |  | 0.10 |         |         |    |
| ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- |                                            |  |      |         |         |    |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor   |
|--------------------------------------------------|-----------------------|---------|
| ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----        |                       |         |
| Espesor total del elemento, eT                   | cm                    | 56.7    |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 5.2879  |
| Espesor de aire equivalente total, Sd,T          | m                     | 2026.12 |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.189   |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.953   |
| ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----        |                       |         |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

#### 7.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |  |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|--|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |  |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |  |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |  |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |  |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |  |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |  |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |  |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |  |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |  |

|             |  |     |      |      |      |         |         |      |       |
|-------------|--|-----|------|------|------|---------|---------|------|-------|
| Diciembre   |  | 5.9 | 81.0 | 20.0 | 65.0 | 1519.02 | 1898.77 | 16.7 | 0.765 |
| ----- ----- |  |     |      |      |      |         |         |      |       |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 7.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$   | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|-----------------------------|----------|-----------|---------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)     | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| ----- -----                 |          |           |         |                           |                     |       |
| Aire exterior               | 5.50     | 902.765   | 722.212 | 80.0                      |                     |       |
| ----- -----                 |          |           |         |                           |                     |       |

|               |  |       |          |          |       |       |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Cara exterior |  | 5.61  | 909.671  | 722.212  | 79.4  | --    | --    |
| Interfase 1-2 |  | 5.61  | 909.672  | 909.672  | 100.0 | 0.157 | 0.302 |
| Interfase 2-3 |  | 14.18 | 1616.361 | 910.632  | 56.3  | --    | --    |
| Interfase 3-4 |  | 14.18 | 1616.362 | 1390.594 | 86.0  | --    | --    |
| Interfase 4-5 |  | 18.60 | 2142.151 | 1390.618 | 64.9  | --    | --    |
| Interfase 5-6 |  | 19.12 | 2212.994 | 1402.137 | 63.4  | --    | --    |
| Interfase 6-7 |  | 19.56 | 2274.234 | 1402.142 | 61.7  | --    | --    |
| Cara interior |  | 19.73 | 2297.578 | 1402.171 | 61.0  | --    | --    |
| ----- -----   |  |       |          |          |       |       |       |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |       |       |
| ----- -----   |  |       |          |          |       |       |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat | Pn      | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|------|---------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa) | (%)     | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| ----- -----                 |          |      |         |                           |                     |       |
| Aire exterior               |          | 6.80 | 987.670 | 750.629                   | 76.0                |       |
| ----- -----                 |          |      |         |                           |                     |       |
| Cara exterior               |          | 6.90 | 994.473 | 750.629                   | 75.5                | --    |
| Interfase 1-2               |          | 6.90 | 994.474 | 994.474                   | 100.0               | 0.074 |
|                             |          |      |         |                           |                     | 0.377 |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 14.70 | 1671.841 | 995.268  | 59.5 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 14.70 | 1671.842 | 1392.587 | 83.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 18.73 | 2159.016 | 1392.607 | 64.5 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.20 | 2223.868 | 1402.143 | 63.0 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.60 | 2279.796 | 1402.147 | 61.5 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.75 | 2301.084 | 1402.171 | 60.9 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$  |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 8.80             | 1132.044          | 781.110      | 69.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 8.88             | 1138.550          | 781.110      | 68.6                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 8.88             | 1138.550          | 1138.550     | 100.0                               | -0.054                       | 0.323 |
| Interfase 2-3               | 15.50            | 1760.457          | 1139.064     | 64.7                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 3-4 |  | 15.50 | 1760.458 | 1395.974 | 79.3 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 18.92 | 2185.189 | 1395.987 | 63.9 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 19.32 | 2240.687 | 1402.153 | 62.6 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.66 | 2288.377 | 1402.155 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.79 | 2306.488 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 11.60            | 1365.261          | 928.378      | 68.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 11.66            | 1371.010          | 928.378      | 67.7                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 11.66            | 1371.011          | 1371.011     | 100.0                               | -0.214                       | 0.109 |
| Interfase 2-3               | 16.63            | 1891.429          | 1371.072     | 72.5                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 16.63            | 1891.430          | 1401.438     | 74.1                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 19.19            | 2222.298          | 1401.440     | 63.1                                | --                           | --    |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 19.49 | 2264.422 | 1402.169 | 61.9 | -- | -- |
| Interfase 6-7 |  | 19.75 | 2300.437 | 1402.169 | 61.0 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.84 | 2314.071 | 1402.171 | 60.6 | -- | -- |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| -----         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| -----                       |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Aire exterior               | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |                           |    |
| -----                       |                  |              |           |                                     |                           |    |
| Cara exterior               | 15.34            | 1741.576     | 1164.195  | 66.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 15.34            | 1741.577     | 1741.577  | 100.0                               | -0.109                    | -- |
| Interfase 2-3               | 18.11            | 2077.547     | 1740.915  | 83.8                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 18.11            | 2077.548     | 1410.149  | 67.9                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 19.55            | 2272.179     | 1410.132  | 62.1                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.72            | 2296.123     | 1402.194  | 61.1                                | --                        | -- |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 6-7 |  | 19.86 | 2316.458 | 1402.191 | 60.5 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.91 | 2324.125 | 1402.171 | 60.3 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 19.80    | 2308.176 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Cara exterior               | 19.80    | 2308.393 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 19.80    | 2308.393 | 1416.806 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 19.92    | 2325.362 | 1416.778 | 60.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 19.92    | 2325.362 | 1402.515 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 19.98    | 2334.162 | 1402.514 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.99    | 2335.201 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.99    | 2336.076 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 20.00    | 2336.404 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |



|               |       |          |          |      |
|---------------|-------|----------|----------|------|
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
|---------------|-------|----------|----------|------|

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 23.47            | 2889.235     | 1533.739  | 53.1                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 23.47            | 2889.235     | 1468.803  | 50.8                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 21.41            | 2548.107     | 1468.673  | 57.6                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 21.41            | 2548.107     | 1403.737  | 55.1                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 20.34            | 2386.229     | 1403.734  | 58.8                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 20.21            | 2367.766     | 1402.175  | 59.2                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 20.11            | 2352.314     | 1402.175  | 59.6                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 20.07            | 2346.543     | 1402.171  | 59.8                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 22.80            | 2774.025          | 1497.973      | 54.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 22.78            | 2770.468          | 1497.973      | 54.1                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 22.78            | 2770.467          | 1450.690      | 52.4                                | --                           | --    |
| Interfase 2-3               | 21.12            | 2504.591          | 1450.595      | 57.9                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 21.12            | 2504.590          | 1403.311      | 56.0                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 20.27            | 2376.302          | 1403.309      | 59.1                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 20.17            | 2361.575          | 1402.174      | 59.4                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 20.08            | 2349.235          | 1402.174      | 59.7                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 20.05            | 2344.622          | 1402.171      | 59.8                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171      | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 19.50    | 2265.595 | 1382.013 | 61.0                      |                     |    |
| Cara exterior               | 19.50    | 2266.127 | 1382.013 | 61.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 19.50    | 2266.127 | 1391.962 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 19.80    | 2308.071 | 1391.982 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 19.80    | 2308.072 | 1401.931 | 60.7                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 19.95    | 2329.985 | 1401.931 | 60.2                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.97    | 2332.578 | 1402.170 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.98    | 2334.764 | 1402.170 | 60.1                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 19.99    | 2335.584 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 14.10            | 1608.128     | 1157.852   | 72.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 14.14            | 1612.787     | 1157.852   | 71.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 14.14            | 1612.788     | 1278.437   | 79.3                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 17.63            | 2015.502     | 1278.678   | 63.4                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 17.63            | 2015.502     | 1399.262   | 69.4                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 19.43            | 2255.895     | 1399.268   | 62.0                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 19.64            | 2285.800     | 1402.162   | 61.3                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 19.82            | 2311.252     | 1402.163   | 60.7                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 19.89            | 2320.860     | 1402.171   | 60.4                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171   | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $g_c$<br>( $g/m^2$ ) | $Ma$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|------------------------------------------|----------------------|------|
| Aire exterior               | 9.00             | 1147.455          | 906.489      | 79.0                                     |                      |      |
| Cara exterior               | 9.08             | 1153.920          | 906.489      | 78.6                                     | --                   | --   |
| Interfase 1-2               | 9.08             | 1153.921          | 1151.135     | 99.8                                     | --                   | --   |
| Interfase 2-3               | 15.58            | 1769.541          | 1151.624     | 65.1                                     | --                   | --   |
| Interfase 3-4               | 15.58            | 1769.542          | 1396.270     | 78.9                                     | --                   | --   |
| Interfase 4-5               | 18.94            | 2187.822          | 1396.282     | 63.8                                     | --                   | --   |
| Interfase 5-6               | 19.33            | 2242.376          | 1402.154     | 62.5                                     | --                   | --   |
| Interfase 6-7               | 19.67            | 2289.236          | 1402.156     | 61.2                                     | --                   | --   |
| Cara interior               | 19.79            | 2307.029          | 1402.171     | 60.8                                     | --                   | --   |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                     |                      |      |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 5.90     | 928.177  | 751.823  | 81.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 6.01     | 935.058  | 751.823  | 80.4                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 6.01     | 935.059  | 935.059  | 100.0                     | 0.146               | 0.146 |
| Interfase 2-3               | 14.34    | 1633.257 | 935.969  | 57.3                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 14.34    | 1633.258 | 1391.191 | 85.2                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5               | 18.64    | 2147.328 | 1391.214 | 64.8                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6               | 19.15    | 2216.335 | 1402.139 | 63.3                      | --                  | --    |
| Interfase 6-7               | 19.57    | 2275.944 | 1402.143 | 61.6                      | --                  | --    |
| Cara interior               | 19.73    | 2298.657 | 1402.171 | 61.0                      | --                  | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                     | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                         |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |       |
| gc                                           | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | 0.157 | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
| gev                                          | g/(m <sup>2</sup> ·mes) | --    | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --    |
| Ma                                           | (g/m <sup>2</sup> )     | 0.302 | 0.377 | 0.323 | 0.109 | --    | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

gev: Densidad de flujo de evaporación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

7.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

|       |         |
|-------|---------|
| Enero | Febrero |
|-------|---------|

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Marzo

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Abril

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Mayo

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Junio

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Julio

-----

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

Agosto

-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura



-----

-----  
Septiembre  
-----

-----  
Octubre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----

### 7.3. Cubierta 2-Transitable

### 7.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 7.3.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.962 \geq f_{Rsi,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.152$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

#### 7.3.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo no presenta condensaciones intersticiales.

### 7.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)  | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ----- -----                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 7.3.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 2-Transitable |                                                          | e<br>(cm) | $\lambda$<br>(W/m·K) | R<br>(m <sup>2</sup> ·K/W) | $\mu$ | Sd<br>(m) |
|------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|----------------------|----------------------------|-------|-----------|
| Rse                    |                                                          | 0.04      |                      |                            |       |           |
| 1                      | Losa filtron con 6cm de aislamiento                      | 6.0       | 0.032                | 1.87500                    | 20    | 1.2       |
| 2                      | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.029 W/[mK]] | 6.0       | 0.029                | 2.06897                    | 20    | 1.2       |
| 3                      | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.029 W/[mK]] | 6.0       | 0.029                | 2.06897                    | 20    | 1.2       |
| 4                      | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     | 30.0      | 1.579                | 0.18999                    | 80    | 24        |
| 5                      | Cámara de aire                                           | 10.0      | 0.16000              | 0.01                       |       |           |
| 6                      | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5       | 0.250                | 0.06000                    | 4     | 0.06      |
| Rsi                    |                                                          | 0.10      |                      |                            |       |           |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

$S_d$ : Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

$R_{se}$ : Resistencia térmica superficial exterior del elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

$R_{si}$ : Resistencia térmica superficial interior del elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                              | Uds.              | Valor  |
|-------------------------------------------------------|-------------------|--------|
| Esesor total del elemento, $e_T$                      | cm                | 59.5   |
| Resistencia térmica total, $R_T$                      | $m^2 \cdot K/W$   | 6.5629 |
| Esesor de aire equivalente total, $S_{d,T}$           | m                 | 27.67  |
| Transmitancia térmica, $U$                            | $W/(m^2 \cdot K)$ | 0.152  |
| Factor de resistencia superficial interior, $fR_{si}$ | --                | 0.962  |

donde:

$e_T$ : Espesor total del elemento, cm.

$R_T$ : Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales  $R_{se}$  y  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

$U$ : Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.152$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

7.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.962 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

### 7.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 2-Transitable | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$               | $M_a$ |
|------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior          | 5.50     | 902.765   | 722.212  | 80.0                      |                     |       |
| Cara exterior          | 5.59     | 908.326   | 722.212  | 79.5                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2          | 9.73     | 1205.360  | 751.701  | 62.4                      | --                  | --    |
| Interfase 2-3          | 14.30    | 1629.322  | 781.189  | 47.9                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4          | 18.87    | 2178.843  | 810.678  | 37.2                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5          | 19.29    | 2236.615  | 1400.451 | 62.6                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6          | 19.65    | 2286.302  | 1400.696 | 61.3                      | --                  | --    |
| Cara interior          | 19.78    | 2305.182  | 1402.171 | 60.8                      | --                  | --    |
| Aire interior          | 20.00    | 2336.951  | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

-----|-----  
donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

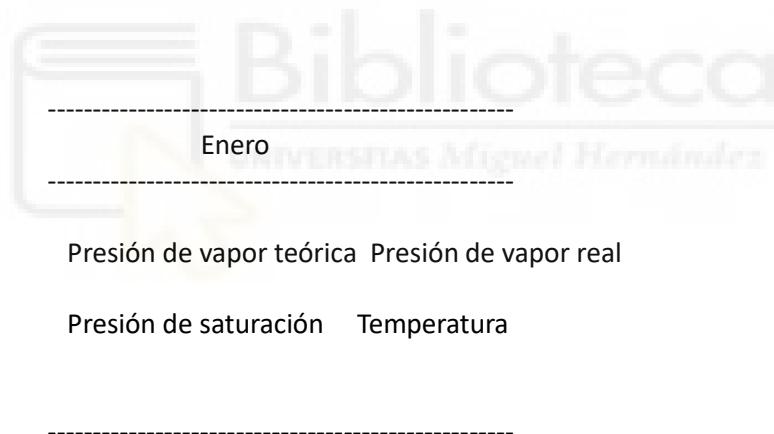
$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

#### 7.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas



### 8. CIRCULACIONES P PRIMERA

#### 8.1. Cerramiento exterior

##### 8.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 8.1.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.954 \geq f_{Rsi, \text{mín}} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi, \text{mín}}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si, cr} \leq 0.8$ .

#### 8.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

#### 8.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene   | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)  | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)   | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)  | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -----                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a



continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 8.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cerramiento exterior |                                                          | e    | $\lambda$ | R                     | $\mu$ | Sd  |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|-------|-----|
|                      |                                                          | (cm) | (W/m·K)   | (m <sup>2</sup> ·K/W) |       | (m) |
| Rse                  |                                                          | 0.04 |           |                       |       |     |
| 1                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |
| 2                    | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] | 8.0  | 0.032     | 2.50000               |       |     |
| 20                   | 1.6                                                      |      |           |                       |       |     |
| 3                    | Hormigón armado d > 2500                                 | 6.0  | 2.500     | 0.02400               | 80    | 4.8 |
| 4                    | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           | 8.0  | 0.031     | 2.58065               | 1     |     |
| 0.08                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| 5                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| 6                    | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5  | 0.250     | 0.06000               | 4     |     |
| 0.06                 |                                                          |      |           |                       |       |     |
| Rsi                  |                                                          | 0.13 |           |                       |       |     |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                                 | Valor  |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|
| Esesor total del elemento, eT                    | cm                                   | 31.0   |
| Resistencia térmica total, RT                    | $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$   | 5.4186 |
| Esesor de aire equivalente total, Sd,T           | m                                    | 11.40  |
| Transmitancia térmica, U                         | $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ | 0.185  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                                   | 0.954  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.185 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

#### 8.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.954 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 8.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$  | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| Aire exterior        | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |        |                              |
| Cara exterior        | 5.61             | 909.504           | 722.212      | 79.4                                | --     | --                           |
| Interfase 1-2        | 5.67             | 913.569           | 913.569      | 100.0                               | 18.301 | 35.016                       |
| Interfase 2-3        | 12.36            | 1435.537          | 1032.018     | 71.9                                | --     | --                           |
| Interfase 3-4        | 12.43            | 1441.610          | 1387.365     | 96.2                                | --     | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.33            | 2241.913          | 1393.287     | 62.1                                | --     | --                           |
| Interfase 5-6        | 19.49            | 2264.408          | 1397.729     | 61.7                                | --     | --                           |
| Cara interior        | 19.65            | 2287.101          | 1402.171     | 61.3                                | --     | --                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |        |                              |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc    | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|-------|---------------------------|
| Aire exterior        | 6.80             | 987.670      | 750.629   | 76.0                                |       |                           |
| Cara exterior        | 6.90             | 994.308      | 750.629   | 75.5                                | --    | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.96             | 998.310      | 998.310   | 100.0                               | 4.640 | 39.657                    |
| Interfase 2-3        | 13.05            | 1501.467     | 1096.216  | 73.0                                | --    | --                        |
| Interfase 3-4        | 13.10            | 1507.216     | 1389.932  | 92.2                                | --    | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.39            | 2250.293     | 1394.828  | 62.0                                | --    | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.54            | 2270.831     | 1398.499  | 61.6                                | --    | --                        |
| Cara interior        | 19.68            | 2291.532     | 1402.171  | 61.2                                | --    | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |       |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc      | Ma                  |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------|
|                      |                  |              |           |                                     |         | (g/m <sup>2</sup> ) |
| Aire exterior        | 8.80             | 1132.044     | 781.110   | 69.0                                |         |                     |
| Cara exterior        | 8.88             | 1138.392     | 781.110   | 68.6                                | --      | --                  |
| Interfase 1-2        | 8.93             | 1142.216     | 1142.216  | 100.0                               | -19.201 | 20.456              |
| Interfase 2-3        | 14.10            | 1608.089     | 1205.236  | 74.9                                | --      | --                  |
| Interfase 3-4        | 14.15            | 1613.269     | 1394.293  | 86.4                                | --      | --                  |
| Interfase 4-5        | 19.48            | 2263.240     | 1397.444  | 61.7                                | --      | --                  |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2280.742     | 1399.807  | 61.4                                | --      | --                  |
| Cara interior        | 19.73            | 2298.363     | 1402.171  | 61.0                                | --      | --                  |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |         |                     |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $Ma$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Aire exterior        | 11.60            | 1365.261          | 928.378      | 68.0                                |                              |                             |
| Cara exterior        | 11.66            | 1370.871          | 928.378      | 67.7                                | --                           | --                          |
| Interfase 1-2        | 11.70            | 1374.247          | 1374.247     | 100.0                               | -20.456                      | --                          |
| Interfase 2-3        | 15.57            | 1768.501          | 1381.016     | 78.1                                | --                           | --                          |
| Interfase 3-4        | 15.61            | 1772.722          | 1401.325     | 79.0                                | --                           | --                          |
| Interfase 4-5        | 19.61            | 2281.474          | 1401.663     | 61.4                                | --                           | --                          |
| Interfase 5-6        | 19.71            | 2294.683          | 1401.917     | 61.1                                | --                           | --                          |
| Cara interior        | 19.80            | 2307.958          | 1402.171     | 60.8                                | --                           | --                          |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |                             |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 15.30            | 1737.605     | 1164.195  | 67.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 15.33            | 1741.480     | 1164.195  | 66.9                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 15.36            | 1743.809     | 1264.395  | 72.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 17.52            | 2001.891     | 1297.795  | 64.8                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 17.54            | 2004.523     | 1397.996  | 69.7                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.78            | 2305.767     | 1399.666  | 60.7                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.84            | 2313.218     | 1400.918  | 60.6                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.89            | 2320.690     | 1402.171  | 60.4                                | -- | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.



| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 19.80            | 2308.176     | 1431.069  | 62.0                                |    |                           |
| Cara exterior                | 19.80            | 2308.387     | 1431.069  | 62.0                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2                | 19.80            | 2308.514     | 1418.901  | 61.5                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3                | 19.89            | 2321.753     | 1414.845  | 60.9                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4                | 19.90            | 2321.880     | 1402.678  | 60.4                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5                | 19.99            | 2335.617     | 1402.475  | 60.0                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6                | 19.99            | 2335.937     | 1402.323  | 60.0                                | -- | --                        |
| Cara interior                | 20.00            | 2336.257     | 1402.171  | 60.0                                | -- | --                        |
| Aire interior                | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cerramiento exterior<br>(°C) | $\theta$<br>(Pa) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior                | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |    |                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Cara exterior |  | 23.47 | 2889.346 | 1533.739 | 53.1 | -- | -- |
| Interfase 1-2 |  | 23.46 | 2886.648 | 1478.342 | 51.2 | -- | -- |
| Interfase 2-3 |  | 21.84 | 2617.367 | 1459.876 | 55.8 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 21.83 | 2614.893 | 1404.479 | 53.7 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 20.16 | 2360.412 | 1403.556 | 59.5 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 20.12 | 2354.763 | 1402.863 | 59.6 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.08 | 2349.125 | 1402.171 | 59.7 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| Aire exterior        | 22.80            | 2774.025     | 1497.973  | 54.0                                |    |                           |
| Cara exterior        | 22.78            | 2770.554     | 1497.973  | 54.1                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 22.77            | 2768.473     | 1457.635  | 52.7                                | -- | --                        |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 2-3 |  | 21.48 | 2559.044 | 1444.189 | 56.4 | -- | -- |
| Interfase 3-4 |  | 21.46 | 2557.103 | 1403.851 | 54.9 | -- | -- |
| Interfase 4-5 |  | 20.13 | 2355.704 | 1403.179 | 59.6 | -- | -- |
| Interfase 5-6 |  | 20.10 | 2351.191 | 1402.675 | 59.7 | -- | -- |
| Cara interior |  | 20.07 | 2346.686 | 1402.171 | 59.8 | -- | -- |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |
| <hr/>         |  |       |          |          |      |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $M_a$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|
| Aire exterior        | 19.50            | 2265.595          | 1382.013     | 61.0                                |       |                              |
| Cara exterior        | 19.50            | 2266.114          | 1382.013     | 61.0                                | --    | --                           |
| Interfase 1-2        | 19.51            | 2266.426          | 1390.500     | 61.4                                | --    | --                           |
| Interfase 2-3        | 19.74            | 2299.118          | 1393.329     | 60.6                                | --    | --                           |
| Interfase 3-4        | 19.74            | 2299.434          | 1401.817     | 61.0                                | --    | --                           |
| Interfase 4-5        | 19.98            | 2333.616          | 1401.958     | 60.1                                | --    | --                           |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 19.98 | 2334.416 | 1402.065 | 60.1 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.99 | 2335.216 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 | -- | -- |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$ | $Ma$<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------|
| Aire exterior        | 14.10            | 1608.128          | 1157.852     | 72.0                                | --    | --                          |
| Cara exterior        | 14.14            | 1612.675          | 1157.852     | 71.8                                | --    | --                          |
| Interfase 1-2        | 14.17            | 1615.408          | 1260.723     | 78.0                                | --    | --                          |
| Interfase 2-3        | 16.89            | 1923.406          | 1295.013     | 67.3                                | --    | --                          |
| Interfase 3-4        | 16.92            | 1926.596          | 1397.884     | 72.6                                | --    | --                          |
| Interfase 4-5        | 19.73            | 2297.864          | 1399.599     | 60.9                                | --    | --                          |
| Interfase 5-6        | 19.79            | 2307.192          | 1400.885     | 60.7                                | --    | --                          |
| Cara interior        | 19.86            | 2316.554          | 1402.171     | 60.5                                | --    | --                          |

|               |  |       |          |          |      |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |
| ----- -----   |  |       |          |          |      |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.



| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|----|---------------------------|
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |    |                           |
| Aire exterior        | 9.00             | 1147.455     | 906.489   | 79.0                                |    |                           |
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |    |                           |
| Cara exterior        | 9.08             | 1153.764     | 906.489   | 78.6                                | -- | --                        |
| Interfase 1-2        | 9.13             | 1157.564     | 1115.197  | 96.3                                | -- | --                        |
| Interfase 2-3        | 14.20            | 1619.108     | 1184.767  | 73.2                                | -- | --                        |
| Interfase 3-4        | 14.25            | 1624.226     | 1393.475  | 85.8                                | -- | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.49            | 2264.538     | 1396.953  | 61.7                                | -- | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.61            | 2281.736     | 1399.562  | 61.3                                | -- | --                        |
| Cara interior        | 19.74            | 2299.048     | 1402.171  | 61.0                                | -- | --                        |
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |    |                           |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |    |                           |
| ----- -----          |                  |              |           |                                     |    |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cerramiento exterior | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc     | Ma<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--------|---------------------------|
| Aire exterior        | 5.90             | 928.177      | 751.823   | 81.0                                |        |                           |
| Cara exterior        | 6.00             | 934.891      | 751.823   | 80.4                                | --     | --                        |
| Interfase 1-2        | 6.07             | 938.941      | 938.941   | 100.0                               | 16.715 | 16.715                    |
| Interfase 2-3        | 12.57            | 1455.547     | 1051.239  | 72.2                                | --     | --                        |
| Interfase 3-4        | 12.63            | 1461.524     | 1388.133  | 95.0                                | --     | --                        |
| Interfase 4-5        | 19.35            | 2244.489     | 1393.748  | 62.1                                | --     | --                        |
| Interfase 5-6        | 19.51            | 2266.383     | 1397.960  | 61.7                                | --     | --                        |
| Cara interior        | 19.66            | 2288.463     | 1402.171  | 61.3                                | --     | --                        |
| Aire interior        | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |        |                           |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              | Ene                        | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic    |
|----------------------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                            |        |        |        |        |     |     |     |     |     |     |        |
| $g_c$                                        | $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ | 18.301 | 4.640  | --     | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |
| $g_{ev}$                                     | $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ | --     | --     | 19.201 | 20.456 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --     |
| $Ma$                                         | $(g/m^2)$                  | 35.016 | 39.657 | 20.456 | --     | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 16.715 |

donde:

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$g_{ev}$ : Densidad de flujo de evaporación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

#### 8.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

-----  
Enero  
-----

-----  
Febrero  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Marzo  
-----

-----  
Abril  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Mayo  
-----

-----  
Junio  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

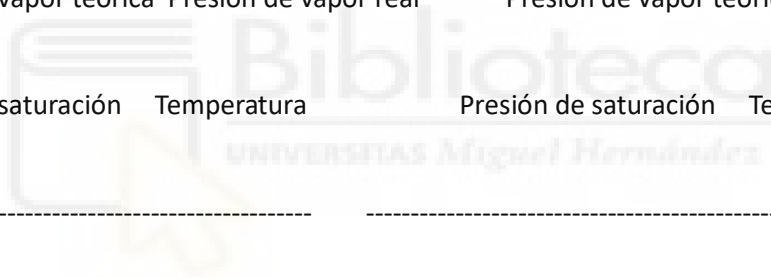
Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Julio  
-----

-----  
Agosto  
-----





-----  
Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----  
Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----  
Septiembre

-----  
Octubre

-----  
Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----  
Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----  
Noviembre

-----  
Diciembre

-----  
Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de saturación Temperatura

-----  
Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----

## 8.2. Cubierta 2-Transitable

### 8.2.1. Resultados del cálculo de condensaciones

#### 8.2.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.962 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.152$   $W/m^2 \cdot K$  y  $R_{si} = 0.25$   $m^2 \cdot K/W$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

#### 8.2.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo no presenta condensaciones intersticiales.

### 8.2.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene  | Feb | Mar | Abr | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic |    |
|----------------------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|----|
| -----                      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Condiciones exteriores     |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| ----- -----                |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C) | 5.5 | 6.8 | 8.8 | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0 |    |
| 5.9                        |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
|                            |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
|                            |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)  | 80  | 76  | 69  | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79  | 81 |
| ----- -----                |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| Condiciones interiores     |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |
| ----- -----                |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |     |    |

Temperatura,  $\theta_i$  (°C) | 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0  
20.0

Humedad relativa,  $\phi_i$  (%) | 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60  
-----|-----

El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 8.2.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 2-Transitable |                                                          | e<br>(cm) | $\lambda$<br>(W/m·K) | R<br>(m <sup>2</sup> ·K/W) | $\mu$ | Sd<br>(m) |
|------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|----------------------|----------------------------|-------|-----------|
| Rse                    |                                                          | 0.04      |                      |                            |       |           |
| 1                      | Losa filtron con 6cm de aislamiento                      | 6.0       | 0.032                | 1.87500                    | 20    | 1.2       |
| 2                      | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.029 W/[mK]] | 6.0       | 0.029                | 2.06897                    | 20    | 1.2       |
| 3                      | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.029 W/[mK]] | 6.0       | 0.029                | 2.06897                    | 20    | 1.2       |
| 4                      | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     | 30.0      | 1.579                | 0.18999                    | 80    | 24        |
| 5                      | Cámara de aire                                           | 10.0      | 0.16000              | 0.01                       |       |           |
| 6                      | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               | 1.5       | 0.250                | 0.06000                    | 4     | 0.06      |
| Rsi                    |                                                          | 0.10      |                      |                            |       |           |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material, m<sup>2</sup>·K/W.

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                  | Valor  |
|--------------------------------------------------|-----------------------|--------|
| Esesor total del elemento, eT                    | cm                    | 59.5   |
| Resistencia térmica total, RT                    | m <sup>2</sup> ·K/W   | 6.5629 |
| Esesor de aire equivalente total, Sd,T           | m                     | 27.67  |
| Transmitancia térmica, U                         | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 0.152  |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                    | 0.962  |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi, m<sup>2</sup>·K/W.

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como (1 - U·R si), donde U = 0.152 W/m<sup>2</sup>·K y R si = 0.25

$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ .

#### 8.2.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.962 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

#### 8.2.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 2-Transitable | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$    | $\phi$                    | $g_c$ | $M_a$               |
|------------------------|----------|-----------|----------|---------------------------|-------|---------------------|
| (°C)                   | (Pa)     | (Pa)      | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) |       | (g/m <sup>2</sup> ) |
| Aire exterior          | 5.50     | 902.765   | 722.212  | 80.0                      |       |                     |
| Cara exterior          | 5.59     | 908.326   | 722.212  | 79.5                      | --    | --                  |
| Interfase 1-2          | 9.73     | 1205.360  | 751.701  | 62.4                      | --    | --                  |
| Interfase 2-3          | 14.30    | 1629.322  | 781.189  | 47.9                      | --    | --                  |
| Interfase 3-4          | 18.87    | 2178.843  | 810.678  | 37.2                      | --    | --                  |
| Interfase 4-5          | 19.29    | 2236.615  | 1400.451 | 62.6                      | --    | --                  |

|               |  |       |          |          |      |    |    |
|---------------|--|-------|----------|----------|------|----|----|
| Interfase 5-6 |  | 19.65 | 2286.302 | 1400.696 | 61.3 | -- | -- |
| Cara interior |  | 19.78 | 2305.182 | 1402.171 | 60.8 | -- | -- |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |    |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

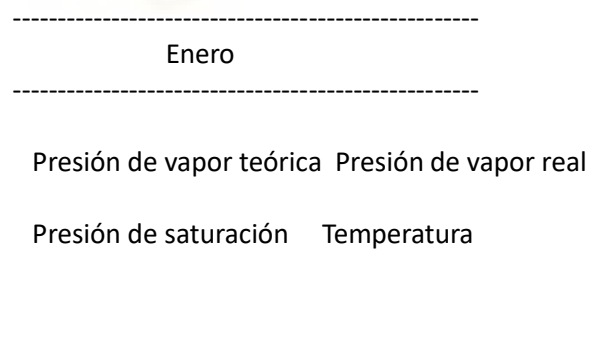
$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

#### 8.2.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas



### 8.3. Cubierta 3 - Inclinas aulas

#### 8.3.1. Resultados del cálculo de condensaciones

##### 8.3.1.1. Condensación superficial

$$fR_{si} = 0.953 \geq fR_{si,mín} = 0.772$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

$fR_{si}$ : Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$fR_{si,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

### 8.3.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: diciembre, enero, febrero. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

### 8.3.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

|                            | Ene         | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
|----------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ----- -----                |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones exteriores     | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_e$    | (°C)        | 5.5  | 6.8  | 8.8  | 11.6 | 15.3 | 19.8 | 23.5 | 22.8 | 19.5 | 14.1 | 9.0  |
| 5.9                        |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_e$ | (%)         | 80   | 76   | 69   | 68   | 67   | 62   | 53   | 54   | 61   | 72   | 79   |
| 81                         | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Condiciones interiores     | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Temperatura, $\theta_i$    | (°C)        | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| 20.0                       |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Humedad relativa, $\phi_i$ | (%)         | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   |
|                            | ----- ----- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |



El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de 679 m, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

### 8.3.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:

Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

| Cubierta 3 - Inclínadas aulas |                                                          | e<br>(cm) | $\lambda$<br>(W/m·K) | R<br>(m²·K/W) | $\mu$   | Sd<br>(m) |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------|---------|-----------|
| Rse                           |                                                          | 0.04      |                      |               |         |           |
| 1                             | Aluminio                                                 | 0.1       | 230.000              | 0.00000       | 1000000 | 1000      |
| 2                             | XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [ 0.032 W/[mK]] |           |                      | 10.0          | 0.032   | 3.12500   |
| 20                            | 2                                                        |           |                      |               |         |           |
| 3                             | Aluminio                                                 | 0.1       | 230.000              | 0.00000       | 1000000 | 1000      |
| 4                             | MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]                           |           | 5.0                  | 0.031         | 1.61290 | 1         |
| 0.05                          |                                                          |           |                      |               |         |           |
| 5                             | Con capa de compresión -Canto 300 mm                     |           | 30.0                 | 1.579         | 0.18999 | 80        |
| 24                            |                                                          |           |                      |               |         |           |
| 6                             | Cámara de aire                                           | 10.0      |                      | 0.16000       |         | 0.01      |
| 7                             | Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900               |           | 1.5                  | 0.250         | 0.06000 | 4         |
| 0.06                          |                                                          |           |                      |               |         |           |
| Rsi                           |                                                          | 0.10      |                      |               |         |           |

donde:

e: Espesor, cm.

$\lambda$ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).

R: Resistencia térmica del material,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

$\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Sd: Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

Rse: Resistencia térmica superficial exterior del elemento,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

Rsi: Resistencia térmica superficial interior del elemento,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

| Magnitud                                         | Uds.                                 | Valor   |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|
| Esesor total del elemento, eT                    | cm                                   | 56.7    |
| Resistencia térmica total, RT                    | $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$   | 5.2879  |
| Esesor de aire equivalente total, SdT            | m                                    | 2026.12 |
| Transmitancia térmica, U                         | $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ | 0.189   |
| Factor de resistencia superficial interior, fRsi | --                                   | 0.953   |

donde:

ET: Espesor total del elemento, cm.

RT: Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales Rse y Rsi,  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

SdT: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U: Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

fRsi: Factor de resistencia superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , donde  $U = 0.189 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  y  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

8.3.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de  $\phi_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de  $fR_{si,mín}$  queda como sigue:

|            | $\theta_e$<br>(°C) | $\phi_e$<br>(%) | $\theta_i$<br>(°C) | $\phi_i$<br>(%) | $P_i$<br>(Pa) | $P_{sat}(\theta_{si})$<br>(Pa) | $\theta_{si,mín}$<br>(°C) | $fR_{si,mín}$ |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Enero      | 5.5                | 80.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.772         |
| Febrero    | 6.8                | 76.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.749         |
| Marzo      | 8.8                | 69.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.704         |
| Abril      | 11.6               | 68.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.606         |
| Mayo       | 15.3               | 67.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.295         |
| Junio      | 19.8               | 62.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Julio      | 23.5               | 53.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Agosto     | 22.8               | 54.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | --*           |
| Septiembre | 19.5               | 61.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.000         |
| Octubre    | 14.1               | 72.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.439         |
| Noviembre  | 9.0                | 79.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.699         |
| Diciembre  | 5.9                | 81.0            | 20.0               | 65.0            | 1519.02       | 1898.77                        | 16.7                      | 0.765         |

\*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que  $\theta_e \geq \theta_i$ .

donde:

$\theta_e$ : Temperatura del aire exterior, °C.

$\phi_e$ : Humedad relativa del aire exterior, %.

$\theta_i$ : Temperatura del aire interior, °C.

$\phi_i$ : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

$P_i$ : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$ : Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,mín}$ : Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,mín}$ : Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.953 > f_{Rsi,mín} = 0.772$ , no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

### 8.3.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfases formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 5.50             | 902.765           | 722.212      | 80.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 5.61             | 909.671           | 722.212      | 79.4                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 5.61             | 909.672           | 909.672      | 100.0                               | 0.157                        | 0.302 |
| Interfase 2-3               | 14.18            | 1616.361          | 910.632      | 56.3                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 14.18            | 1616.362          | 1390.594     | 86.0                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 18.60            | 2142.151          | 1390.618     | 64.9                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 19.12            | 2212.994          | 1402.137     | 63.4                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 19.56            | 2274.234          | 1402.142     | 61.7                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 19.73            | 2297.578          | 1402.171     | 61.0                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | $g_c$<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $M_a$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|-------|
| Aire exterior               | 6.80             | 987.670           | 750.629       | 76.0                                |                              |       |
| Cara exterior               | 6.90             | 994.473           | 750.629       | 75.5                                | --                           | --    |
| Interfase 1-2               | 6.90             | 994.474           | 994.474       | 100.0                               | 0.074                        | 0.377 |
| Interfase 2-3               | 14.70            | 1671.841          | 995.268       | 59.5                                | --                           | --    |
| Interfase 3-4               | 14.70            | 1671.842          | 1392.587      | 83.3                                | --                           | --    |
| Interfase 4-5               | 18.73            | 2159.016          | 1392.607      | 64.5                                | --                           | --    |
| Interfase 5-6               | 19.20            | 2223.868          | 1402.143      | 63.0                                | --                           | --    |
| Interfase 6-7               | 19.60            | 2279.796          | 1402.147      | 61.5                                | --                           | --    |
| Cara interior               | 19.75            | 2301.084          | 1402.171      | 60.9                                | --                           | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171      | 60.0                                |                              |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma    |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|-------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |       |
| Aire exterior               | 8.80     | 1132.044 | 781.110  | 69.0                      |                     |       |
| Cara exterior               | 8.88     | 1138.550 | 781.110  | 68.6                      | --                  | --    |
| Interfase 1-2               | 8.88     | 1138.550 | 1138.550 | 100.0                     | -0.054              | 0.323 |
| Interfase 2-3               | 15.50    | 1760.457 | 1139.064 | 64.7                      | --                  | --    |
| Interfase 3-4               | 15.50    | 1760.458 | 1395.974 | 79.3                      | --                  | --    |
| Interfase 4-5               | 18.92    | 2185.189 | 1395.987 | 63.9                      | --                  | --    |
| Interfase 5-6               | 19.32    | 2240.687 | 1402.153 | 62.6                      | --                  | --    |
| Interfase 6-7               | 19.66    | 2288.377 | 1402.155 | 61.3                      | --                  | --    |
| Cara interior               | 19.79    | 2306.488 | 1402.171 | 60.8                      | --                  | --    |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(Pa) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma    |
|-----------------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------------------|---------------------------|-------|
| Aire exterior               | 11.60            | 1365.261     | 928.378    | 68.0                                |                           |       |
| Cara exterior               | 11.66            | 1371.010     | 928.378    | 67.7                                | --                        | --    |
| Interfase 1-2               | 11.66            | 1371.011     | 1371.011   | 100.0                               | -0.214                    | 0.109 |
| Interfase 2-3               | 16.63            | 1891.429     | 1371.072   | 72.5                                | --                        | --    |
| Interfase 3-4               | 16.63            | 1891.430     | 1401.438   | 74.1                                | --                        | --    |
| Interfase 4-5               | 19.19            | 2222.298     | 1401.440   | 63.1                                | --                        | --    |
| Interfase 5-6               | 19.49            | 2264.422     | 1402.169   | 61.9                                | --                        | --    |
| Interfase 6-7               | 19.75            | 2300.437     | 1402.169   | 61.0                                | --                        | --    |
| Cara interior               | 19.84            | 2314.071     | 1402.171   | 60.6                                | --                        | --    |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171   | 60.0                                |                           |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $g/m^2$ .

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | $P_{sat}$<br>(Pa) | $P_n$<br>(%) | $\phi$<br>( $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ ) | $g_c$<br>( $g/m^2$ ) | $Ma$ |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------|------------------------------------------|----------------------|------|
| Aire exterior               | 15.30            | 1737.605          | 1164.195     | 67.0                                     |                      |      |
| Cara exterior               | 15.34            | 1741.576          | 1164.195     | 66.8                                     | --                   | --   |
| Interfase 1-2               | 15.34            | 1741.577          | 1741.577     | 100.0                                    | -0.109               | --   |
| Interfase 2-3               | 18.11            | 2077.547          | 1740.915     | 83.8                                     | --                   | --   |
| Interfase 3-4               | 18.11            | 2077.548          | 1410.149     | 67.9                                     | --                   | --   |
| Interfase 4-5               | 19.55            | 2272.179          | 1410.132     | 62.1                                     | --                   | --   |
| Interfase 5-6               | 19.72            | 2296.123          | 1402.194     | 61.1                                     | --                   | --   |
| Interfase 6-7               | 19.86            | 2316.458          | 1402.191     | 60.5                                     | --                   | --   |
| Cara interior               | 19.91            | 2324.125          | 1402.171     | 60.3                                     | --                   | --   |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951          | 1402.171     | 60.0                                     |                      |      |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación,  $g/(m^2 \cdot \text{mes})$ .



Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 19.80    | 2308.176 | 1431.069 | 62.0                      |                     |    |
| Cara exterior               | 19.80    | 2308.393 | 1431.069 | 62.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 19.80    | 2308.393 | 1416.806 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 19.92    | 2325.362 | 1416.778 | 60.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 19.92    | 2325.362 | 1402.515 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 19.98    | 2334.162 | 1402.514 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 19.99    | 2335.201 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 19.99    | 2336.076 | 1402.172 | 60.0                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 20.00    | 2336.404 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior               | 23.50            | 2893.848     | 1533.739  | 53.0                                |                           |    |
| Cara exterior               | 23.47            | 2889.235     | 1533.739  | 53.1                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2               | 23.47            | 2889.235     | 1468.803  | 50.8                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3               | 21.41            | 2548.107     | 1468.673  | 57.6                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4               | 21.41            | 2548.107     | 1403.737  | 55.1                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5               | 20.34            | 2386.229     | 1403.734  | 58.8                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6               | 20.21            | 2367.766     | 1402.175  | 59.2                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7               | 20.11            | 2352.314     | 1402.175  | 59.6                                | --                        | -- |
| Cara interior               | 20.07            | 2346.543     | 1402.171  | 59.8                                | --                        | -- |
| Aire interior               | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior               | 22.80    | 2774.025 | 1497.973 | 54.0                      |                     |    |
| Cara exterior               | 22.78    | 2770.468 | 1497.973 | 54.1                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2               | 22.78    | 2770.467 | 1450.690 | 52.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3               | 21.12    | 2504.591 | 1450.595 | 57.9                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4               | 21.12    | 2504.590 | 1403.311 | 56.0                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5               | 20.27    | 2376.302 | 1403.309 | 59.1                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6               | 20.17    | 2361.575 | 1402.174 | 59.4                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7               | 20.08    | 2349.235 | 1402.174 | 59.7                      | --                  | -- |
| Cara interior               | 20.05    | 2344.622 | 1402.171 | 59.8                      | --                  | -- |
| Aire interior               | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$ | Psat     | Pn       | $\phi$                    | gc                  | Ma |
|-------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------|----|
| (°C)                          | (Pa)     | (Pa)     | (%)      | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |    |
| Aire exterior                 | 19.50    | 2265.595 | 1382.013 | 61.0                      |                     |    |
| Cara exterior                 | 19.50    | 2266.127 | 1382.013 | 61.0                      | --                  | -- |
| Interfase 1-2                 | 19.50    | 2266.127 | 1391.962 | 61.4                      | --                  | -- |
| Interfase 2-3                 | 19.80    | 2308.071 | 1391.982 | 60.3                      | --                  | -- |
| Interfase 3-4                 | 19.80    | 2308.072 | 1401.931 | 60.7                      | --                  | -- |
| Interfase 4-5                 | 19.95    | 2329.985 | 1401.931 | 60.2                      | --                  | -- |
| Interfase 5-6                 | 19.97    | 2332.578 | 1402.170 | 60.1                      | --                  | -- |
| Interfase 6-7                 | 19.98    | 2334.764 | 1402.170 | 60.1                      | --                  | -- |
| Cara interior                 | 19.99    | 2335.584 | 1402.171 | 60.0                      | --                  | -- |
| Aire interior                 | 20.00    | 2336.951 | 1402.171 | 60.0                      |                     |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

| Cubierta 3 - Inclínadas aulas | $\theta$<br>(°C) | Psat<br>(Pa) | Pn<br>(%) | $\phi$<br>(g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | gc<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Ma |
|-------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------|----|
| Aire exterior                 | 14.10            | 1608.128     | 1157.852  | 72.0                                |                           |    |
| Cara exterior                 | 14.14            | 1612.787     | 1157.852  | 71.8                                | --                        | -- |
| Interfase 1-2                 | 14.14            | 1612.788     | 1278.437  | 79.3                                | --                        | -- |
| Interfase 2-3                 | 17.63            | 2015.502     | 1278.678  | 63.4                                | --                        | -- |
| Interfase 3-4                 | 17.63            | 2015.502     | 1399.262  | 69.4                                | --                        | -- |
| Interfase 4-5                 | 19.43            | 2255.895     | 1399.268  | 62.0                                | --                        | -- |
| Interfase 5-6                 | 19.64            | 2285.800     | 1402.162  | 61.3                                | --                        | -- |
| Interfase 6-7                 | 19.82            | 2311.252     | 1402.163  | 60.7                                | --                        | -- |
| Cara interior                 | 19.89            | 2320.860     | 1402.171  | 60.4                                | --                        | -- |
| Aire interior                 | 20.00            | 2336.951     | 1402.171  | 60.0                                |                           |    |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

Psat: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

Pn: Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

gc: Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

Cubierta 3 - Inclínadas aulas       $\theta$       Psat      Pn       $\phi$       gc      Ma

|               | (°C)  | (Pa)     | (Pa)     | (%)  | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |  |
|---------------|-------|----------|----------|------|---------------------------|---------------------|--|
| Aire exterior | 9.00  | 1147.455 | 906.489  | 79.0 |                           |                     |  |
| Cara exterior | 9.08  | 1153.920 | 906.489  | 78.6 | --                        | --                  |  |
| Interfase 1-2 | 9.08  | 1153.921 | 1151.135 | 99.8 | --                        | --                  |  |
| Interfase 2-3 | 15.58 | 1769.541 | 1151.624 | 65.1 | --                        | --                  |  |
| Interfase 3-4 | 15.58 | 1769.542 | 1396.270 | 78.9 | --                        | --                  |  |
| Interfase 4-5 | 18.94 | 2187.822 | 1396.282 | 63.8 | --                        | --                  |  |
| Interfase 5-6 | 19.33 | 2242.376 | 1402.154 | 62.5 | --                        | --                  |  |
| Interfase 6-7 | 19.67 | 2289.236 | 1402.156 | 61.2 | --                        | --                  |  |
| Cara interior | 19.79 | 2307.029 | 1402.171 | 60.8 | --                        | --                  |  |
| Aire interior | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0 |                           |                     |  |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$Ma$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

| Cubierta 3 - Inclinas aulas | $\theta$ | $P_{sat}$ | $P_n$   | $\phi$                    | $g_c$               | $Ma$ |
|-----------------------------|----------|-----------|---------|---------------------------|---------------------|------|
| (°C)                        | (Pa)     | (Pa)      | (%)     | (g/(m <sup>2</sup> ·mes)) | (g/m <sup>2</sup> ) |      |
| Aire exterior               | 5.90     | 928.177   | 751.823 | 81.0                      |                     |      |

|               |  |       |          |          |       |       |       |
|---------------|--|-------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Cara exterior |  | 6.01  | 935.058  | 751.823  | 80.4  | --    | --    |
| Interfase 1-2 |  | 6.01  | 935.059  | 935.059  | 100.0 | 0.146 | 0.146 |
| Interfase 2-3 |  | 14.34 | 1633.257 | 935.969  | 57.3  | --    | --    |
| Interfase 3-4 |  | 14.34 | 1633.258 | 1391.191 | 85.2  | --    | --    |
| Interfase 4-5 |  | 18.64 | 2147.328 | 1391.214 | 64.8  | --    | --    |
| Interfase 5-6 |  | 19.15 | 2216.335 | 1402.139 | 63.3  | --    | --    |
| Interfase 6-7 |  | 19.57 | 2275.944 | 1402.143 | 61.6  | --    | --    |
| Cara interior |  | 19.73 | 2298.657 | 1402.171 | 61.0  | --    | --    |
| Aire interior |  | 20.00 | 2336.951 | 1402.171 | 60.0  |       |       |

donde:

$\theta$ : Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

$P_n$ : Presión del vapor de agua, Pa.

$\phi$ : Humedad relativa, %.

$g_c$ : Densidad de flujo de condensación, g/(m<sup>2</sup>·mes).

$M_a$ : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m<sup>2</sup>.

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es diciembre, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

|                                              |                                          | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic   |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Evolución de la cantidad de agua condensada. |                                          |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |       |
| gc                                           | $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ | 0.157 | 0.074 | --    | --    | --    | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |
| gev                                          | $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ | --    | --    | 0.054 | 0.214 | 0.109 | --  | --  | --  | --  | --  | --  | --    |
| Ma                                           | $(\text{g}/\text{m}^2)$                  | 0.302 | 0.377 | 0.323 | 0.109 | --    | --  | --  | --  | --  | --  | --  | 0.146 |

donde:

gc: Densidad de flujo de condensación,  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ .

gev: Densidad de flujo de evaporación,  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{mes})$ .

Ma: Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie,  $\text{g}/\text{m}^2$ .

>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

### 8.3.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

| Enero                    |                       | Febrero                  |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |
|                          |                       |                          |                       |
|                          |                       |                          |                       |
| Marzo                    |                       | Abril                    |                       |
| Presión de vapor teórica | Presión de vapor real | Presión de vapor teórica | Presión de vapor real |
| Presión de saturación    | Temperatura           | Presión de saturación    | Temperatura           |



Presión de saturación    Temperatura

Presión de saturación    Temperatura

-----

-----

-----

Mayo

-----

Junio

-----

-----

Presión de vapor teórica    Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica    Presión de

Presión de saturación    Temperatura

Presión de saturación    Temperatura

-----

-----

-----

Julio

-----

Agosto

-----

-----

Presión de vapor teórica    Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica    Presión de

Presión de saturación    Temperatura

Presión de saturación    Temperatura

-----

-----

-----

Septiembre

-----

Octubre

-----

-----

Presión de vapor teórica    Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica    Presión de

Presión de saturación    Temperatura

Presión de saturación    Temperatura

-----

-----

-----  
Noviembre  
-----

-----  
Diciembre  
-----

Presión de vapor teórica Presión de vapor real  
vapor real

Presión de vapor teórica Presión de

Presión de saturación Temperatura

Presión de saturación Temperatura

-----

-----

-----  
Condensación acumulada  
-----  
-----



### 3. RESULTADOS DE CYPE:

#### 3.1 Demanda energética edificio BASE, “ Cypetherm HEPLUS “.

1. Balance energético, “ Cypetherm Improvements PLUS “.
2. Estudio de medidas de mejora, “ Cypetherm Improvements PLUS “
3. Condensaciones, UNE EN ISO 13788, “ Cypetherm HEPLUS “.
4. Puentes térmicos lineales, “ Cypetherm HEPLUS “



## DEMANDA ENERGÉTICA

### ÍNDICE

1. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA
2. RESULTADOS MENSUALES
  - 2.1 Balance energético anual del edificio
  - 2.2 Demanda energética mensual de calefacción y refrigeración
  - 2.3 Evolución de la temperatura
  - 2.4 Resultados numéricos del balance energético por zona y mes
3. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO
  - 3.1 Agrupación de recintos



## **Demanda energética**

## 1. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

| Zonas habitables        | $S_o$             | $D_{cal}$       |                           | $D_{ref}$       |                           |
|-------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
|                         | (m <sup>2</sup> ) | (kWh/año)       | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) | (kWh/año)       | (kWh/m <sup>2</sup> ·año) |
| Aulas P Baja            | 317.54            | 3138.48         | 9.88                      | 2176.05         | 6.85                      |
| Baños P Baja            | 40.41             | 573.81          | 14.20                     | 58.85           | 1.46                      |
| Circulaciones P Baja    | 309.38            | 5531.23         | 17.88                     | 1358.61         | 4.39                      |
| Oficinas P Baja         | 242.21            | 3711.20         | 15.32                     | 1889.26         | 7.80                      |
| Cocina                  | 110.24            | -               | -                         | -               | -                         |
| Salas                   | 458.16            | 2632.30         | 5.75                      | 2962.70         | 6.47                      |
| Baños P Primera         | 42.97             | 1045.57         | 24.33                     | 182.97          | 4.26                      |
| Aulas P Primera         | 426.83            | 4156.29         | 9.74                      | 4888.17         | 11.45                     |
| Circulaciones P Primera | 163.31            | 3621.34         | 22.17                     | 1278.06         | 7.83                      |
|                         | <b>2111.03</b>    | <b>24410.23</b> | <b>11.56</b>              | <b>14794.65</b> | <b>7.01</b>               |

donde:

$S_u$ : Superficie útil de la zona habitable,  $m^2$ .

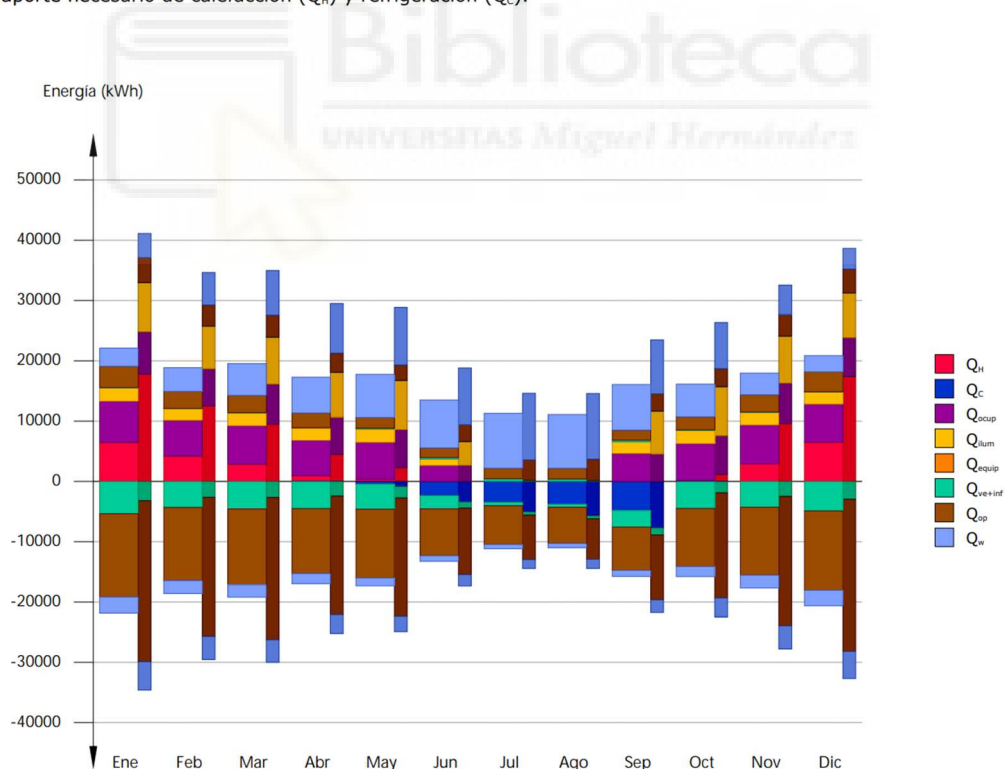
$D_{cal}$ : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m<sup>2</sup>·año.

$D_{ref}$ : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>·año.

## 2. RESULTADOS MENSUALES.

### 2.1. Balance energético anual del edificio.

La siguiente gráfica de barras muestra el balance energético del edificio mes a mes, contabilizando la energía perdida o ganada por transmisión térmica a través de elementos pesados y ligeros ( $Q_{op}$  y  $Q_w$ , respectivamente), la energía intercambiada por ventilación e infiltraciones ( $Q_{ve+inf}$ ), la ganancia de calor interna debida a la ocupación ( $Q_{occ}$ ), a la iluminación ( $Q_{lum}$ ) y al equipamiento interno ( $Q_{equip}$ ), así como el aporte necesario de calefacción ( $Q_H$ ) y refrigeración ( $Q_C$ ).



En la siguiente tabla se muestran los valores numéricos correspondientes a la gráfica anterior, del balance energético del edificio completo, como suma de las energías involucradas en el balance energético de cada una de las zonas térmicas que conforman el modelo de cálculo del edificio.

El criterio de signos adoptado consiste en emplear valores positivos para energías aportadas a la zona de cálculo, y negativos para la energía extraída.

|                                               | Ene<br>(kWh) | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh) | Jun<br>(kWh) | Jul<br>(kWh) | Ago<br>(kWh) | Sep<br>(kWh) | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh) | Año<br>(kWh/año) | Año<br>(kWh/m <sup>2</sup> -año) |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|----------------------------------|
| <b>Balance energético anual del edificio.</b> |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                  |                                  |
| $Q_{op}$                                      | 3529.4       | 2824.5       | 2851.0       | 2448.0       | 1773.3       | 1588.2       | 1752.3       | 1789.5       | 1664.9       | 2175.1       | 2861.0       | 3324.8       | -93577.01        | -44.33                           |
| $Q_{tr}$                                      | -13819.0     | -12139.4     | -12584.6     | -10769.9     | -11402.1     | -7770.1      | -6438.2      | -6002.6      | -7159.5      | -9636.0      | -11274.8     | -13162.5     | 50972.41         | 24.15                            |
| $Q_{ve+inf}$                                  | 3016.5       | 3926.4       | 5265.7       | 5931.5       | 7134.6       | 7942.7       | 9099.3       | 8903.9       | 7563.6       | 5407.9       | 3594.0       | 2675.9       | -40696.55        | -19.28                           |
| $Q_{equip}$                                   | -2668.2      | -2140.0      | -2041.8      | -1670.4      | -1292.0      | -926.2       | -694.8       | -694.9       | -1005.8      | -1665.8      | -2127.0      | -2562.5      | 0.00             | 0.00                             |
| $Q_{alum}$                                    | 26.1         | 56.3         | 75.8         | 73.8         | 165.4        | 264.9        | 449.5        | 403.7        | 290.5        | 73.3         | 43.4         | 31.7         | 19711.05         | 9.34                             |
| $Q_{ocup}$                                    | -5348.9      | -4312.7      | -4571.8      | -4496.6      | -4206.3      | -2223.8      | -595.8       | -531.7       | -2749.5      | -4456.6      | -4267.2      | -4889.9      | 57387.46         | 27.18                            |
| $Q_H$                                         | 6451.5       | 4202.0       | 2850.6       | 941.0        | 378.1        | --           | --           | --           | --           | 165.5        | 2925.5       | 6496.1       | 24410.23         | 11.56                            |
| $Q_C$                                         | --           | --           | --           | -5.4         | -412.1       | -2330.1      | -3435.0      | -3748.9      | -4833.5      | -29.6        | --           | --           | -14794.65        | -7.01                            |
| $Q_{HC}$                                      | 6451.5       | 4202.0       | 2850.6       | 946.4        | 790.2        | 2330.1       | 3435.0       | 3748.9       | 4833.5       | 195.1        | 2925.5       | 6496.1       | 39204.88         | 18.57                            |

donde:

$Q_{op}$ : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos pesados en contacto con el exterior, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{tr}$ : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos ligeros en contacto con el exterior, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{ve+inf}$ : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica por ventilación, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{equip}$ : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida al equipamiento interno, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{alum}$ : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la iluminación, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{ocup}$ : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la ocupación, kWh/m<sup>2</sup>-año.

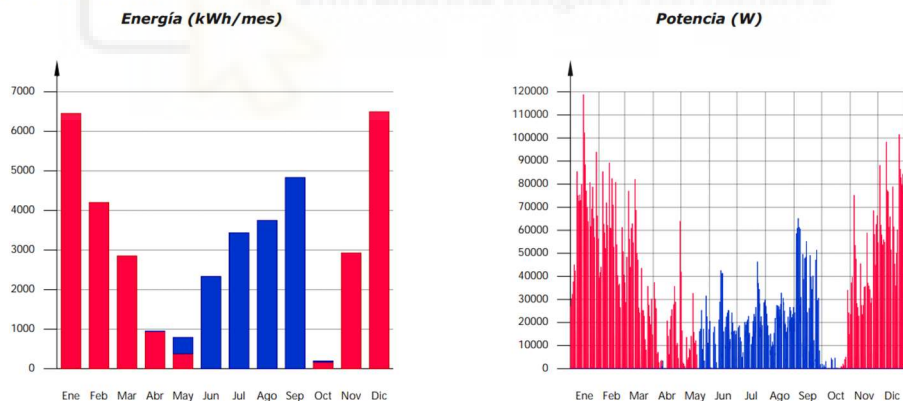
$Q_H$ : Energía aportada de calefacción, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_C$ : Energía aportada de refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{HC}$ : Energía aportada de calefacción y refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>-año.

## 2.2. Demanda energética mensual de calefacción y refrigeración.

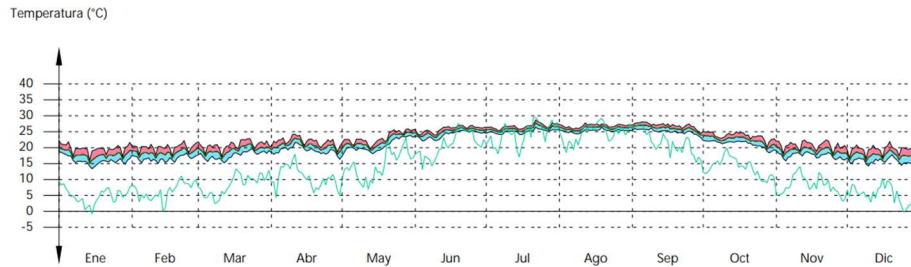
Atendiendo únicamente a la demanda energética a cubrir por los sistemas de calefacción y refrigeración, las necesidades energéticas y de potencia útil instantánea a lo largo de la simulación anual se muestran en los siguientes gráficos:



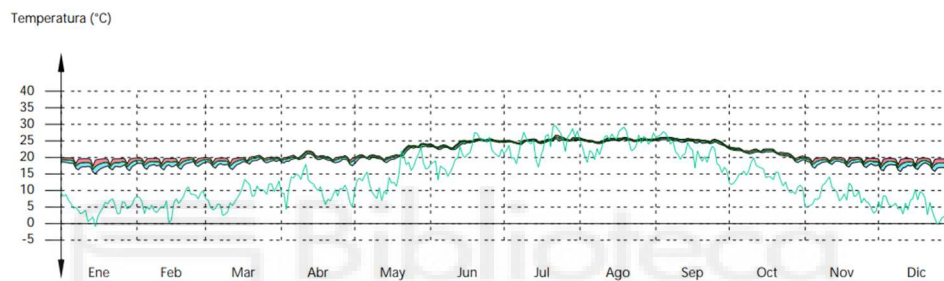
### 2.3. Evolución de la temperatura.

La evolución de la temperatura operativa interior en las zonas modelizadas del edificio objeto de proyecto se muestra en las siguientes gráficas, que muestran la evolución de las temperaturas mínimas, máximas y medias de cada día, en cada zona:

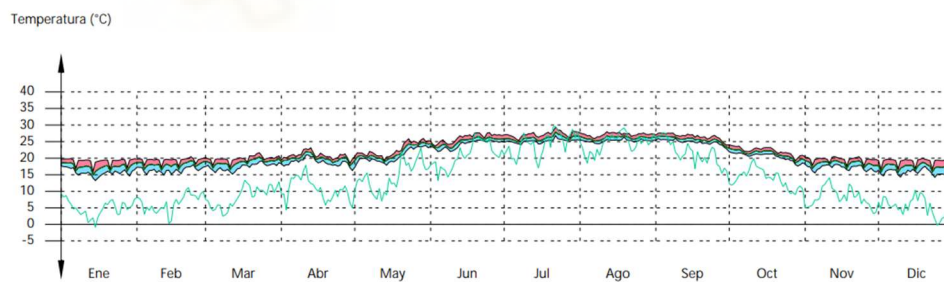
#### **Aulas P Baja**



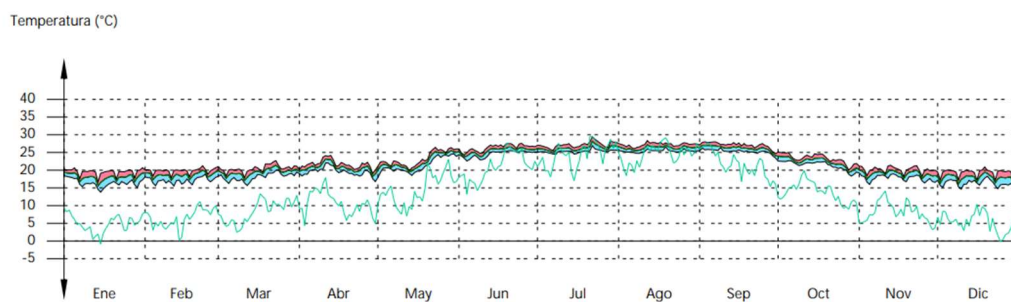
#### **Baños P Baja**



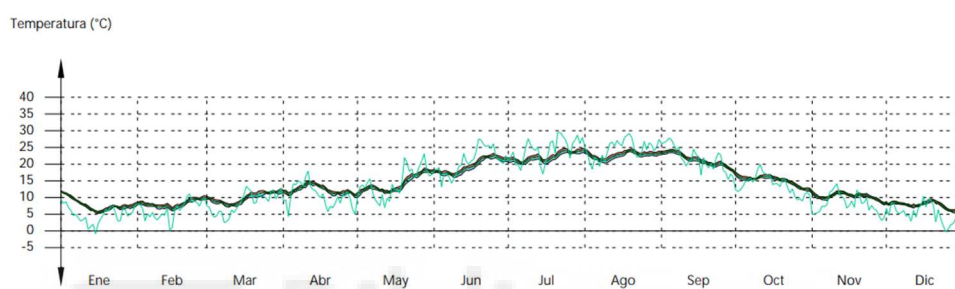
#### **Circulaciones P Baja**



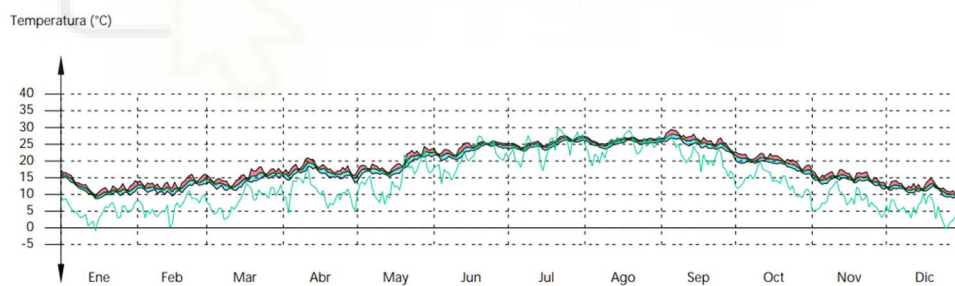
### **Oficinas P Baja**



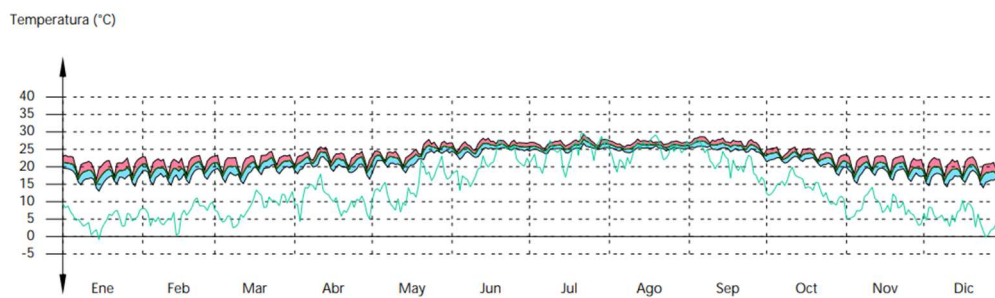
### **Instalaciones**



### **Cocina**

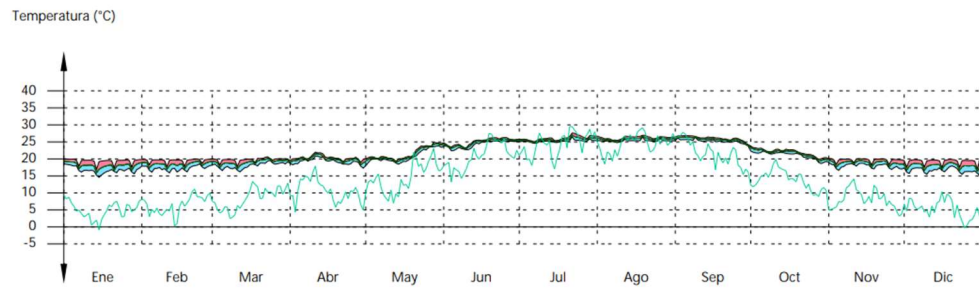


### **Salas**

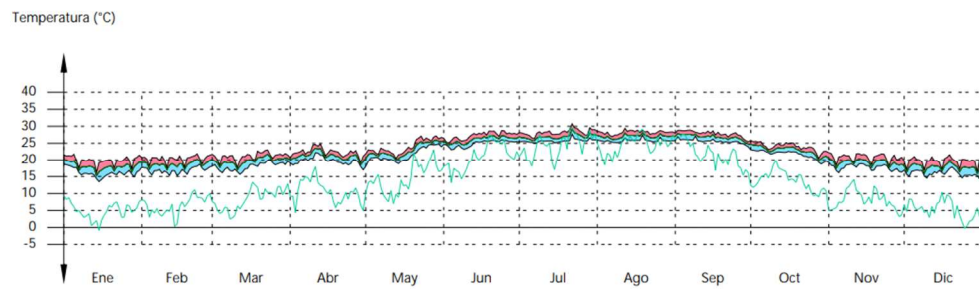


### **Baños P Primera**

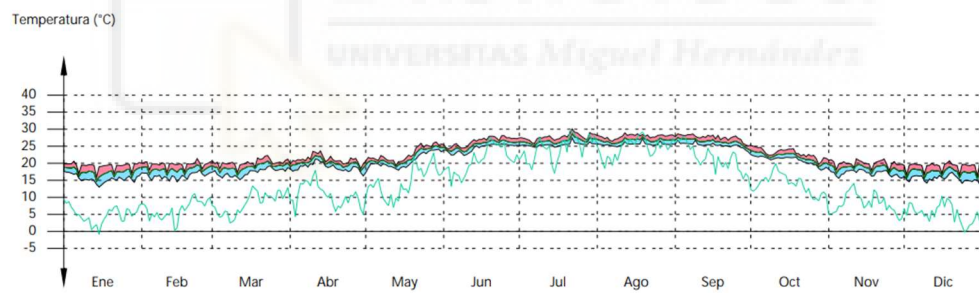




### ***Aulas P Primera***



### ***Circulaciones P Primera***



## Demanda energética

|                                                                  | Ene<br>(kWh) | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh) | Jun<br>(kWh) | Jul<br>(kWh) | Ago<br>(kWh) | Sep<br>(kWh) | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh) | Año<br>(kWh/año) (kWh/m²·año) |        |
|------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|--------|
| Aulas P Baja (A <sub>v</sub> = 317.54 m²; V = 793.85 m³)         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Q <sub>op</sub>                                                  | 514.0        | 416.4        | 412.1        | 344.3        | 249.0        | 185.3        | 171.7        | 184.1        | 212.6        | 325.5        | 417.5        | 485.5        | -16699.00                     | -52.59 |
|                                                                  | -2391.7      | -2087.7      | -2161.3      | -1849.4      | -1840.2      | -1177.9      | -927.0       | -906.5       | -1233.0      | -1791.2      | -1991.2      | -2260.1      |                               |        |
| Q <sub>w</sub>                                                   | 776.2        | 874.2        | 1029.2       | 1042.2       | 1050.9       | 1163.2       | 1374.8       | 1460.3       | 1399.2       | 1143.9       | 848.6        | 665.6        | 9691.90                       | 30.52  |
|                                                                  | -436.6       | -350.1       | -331.0       | -269.8       | -201.5       | -139.4       | -103.1       | -104.3       | -158.0       | -276.2       | -350.5       | -415.7       |                               |        |
| Q <sub>ve+inf</sub>                                              | --           | --           | --           | --           | 1.4          | 9.5          | 28.6         | 24.8         | 18.0         | 0.0          | --           | --           | -5289.47                      | -16.66 |
|                                                                  | -681.1       | -545.8       | -553.0       | -533.4       | -494.3       | -296.8       | -63.6        | -55.3        | -382.3       | -620.1       | -519.0       | -627.2       |                               |        |
| Q <sub>equip</sub>                                               | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | 0.00                          | 0.00   |
| Q <sub>alum</sub>                                                | 290.2        | 252.4        | 277.6        | 265.0        | 290.2        | 138.8        | --           | --           | 252.4        | 290.2        | 277.6        | 265.0        | 2599.35                       | 8.19   |
| Q <sub>ocup</sub>                                                | 1095.0       | 948.2        | 1017.9       | 935.1        | 973.9        | 421.8        | --           | --           | 734.8        | 956.3        | 1023.4       | 1004.9       | 9111.15                       | 28.69  |
| Q <sub>H</sub>                                                   | 866.1        | 524.1        | 347.0        | 103.7        | 48.2         | --           | --           | --           | --           | 12.3         | 326.9        | 910.1        | 3138.48                       | 9.88   |
| Q <sub>C</sub>                                                   | --           | --           | --           | --           | -31.4        | -279.6       | -467.1       | -588.8       | -808.3       | -0.8         | --           | --           | -2176.05                      | -6.85  |
| Q <sub>HC</sub>                                                  | 866.1        | 524.1        | 347.0        | 103.7        | 79.6         | 279.6        | 467.1        | 588.8        | 808.3        | 13.1         | 326.9        | 910.1        | 5314.53                       | 16.74  |
|                                                                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Baños P Baja (A <sub>v</sub> = 40.41 m²; V = 101.02 m³)          |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Q <sub>op</sub>                                                  | 3.7          | 3.2          | 3.3          | 2.9          | 2.2          | 2.8          | 10.1         | 10.2         | 5.7          | 2.8          | 3.2          | 3.5          | -1078.30                      | -26.69 |
|                                                                  | -186.5       | -147.8       | -132.2       | -88.4        | -80.9        | -41.1        | -24.6        | -19.8        | -30.8        | -68.1        | -129.7       | -181.8       |                               |        |
| Q <sub>w</sub>                                                   | 6.4          | 9.1          | 13.4         | 16.7         | 23.5         | 26.7         | 31.0         | 28.8         | 22.4         | 14.5         | 8.2          | 5.0          | 119.56                        | 2.96   |
|                                                                  | -12.8        | -9.9         | -9.2         | -7.3         | -5.4         | -3.7         | -2.6         | -2.5         | -3.8         | -7.0         | -9.7         | -12.4        |                               |        |
| Q <sub>ve+inf</sub>                                              | --           | --           | --           | 0.0          | 0.1          | 0.1          | --           | --           | 1.0          | --           | --           | --           | -175.32                       | -4.34  |
|                                                                  | -22.2        | -17.3        | -16.6        | -13.9        | -18.4        | -12.1        | --           | --           | -24.6        | -14.4        | -16.6        | -20.4        |                               |        |
| Q <sub>equip</sub>                                               | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | 0.00                          | 0.00   |
| Q <sub>alum</sub>                                                | 32.5         | 28.2         | 31.0         | 29.6         | 32.5         | 15.5         | --           | --           | 28.2         | 32.5         | 31.0         | 29.6         | 290.73                        | 7.20   |
| Q <sub>ocup</sub>                                                | 37.5         | 32.6         | 35.8         | 33.7         | 35.3         | 15.1         | --           | --           | 25.5         | 34.9         | 35.8         | 34.2         | 320.54                        | 7.93   |
| Q <sub>H</sub>                                                   | 140.3        | 101.1        | 73.6         | 25.9         | 11.4         | --           | --           | --           | --           | 4.0          | 76.5         | 141.0        | 573.81                        | 14.20  |
| Q <sub>C</sub>                                                   | --           | --           | --           | --           | --           | -3.5         | -14.2        | -17.2        | -24.0        | --           | --           | --           | -58.85                        | -1.46  |
| Q <sub>HC</sub>                                                  | 140.3        | 101.1        | 73.6         | 25.9         | 11.4         | 3.5          | 14.2         | 17.2         | 24.0         | 4.0          | 76.5         | 141.0        | 632.66                        | 15.66  |
|                                                                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Circulaciones P Baja (A <sub>v</sub> = 309.38 m²; V = 795.19 m³) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Q <sub>op</sub>                                                  | 495.5        | 403.1        | 391.8        | 318.7        | 238.5        | 215.0        | 247.3        | 237.1        | 202.6        | 285.7        | 394.9        | 477.6        | -12587.89                     | -40.69 |
|                                                                  | -1880.4      | -1609.1      | -1629.8      | -1349.8      | -1528.2      | -1197.8      | -1081.4      | -957.0       | -927.4       | -1075.5      | -1447.3      | -1811.9      |                               |        |
| Q <sub>w</sub>                                                   | 287.5        | 431.4        | 624.6        | 771.2        | 1076.4       | 1241.6       | 1404.7       | 1285.5       | 982.7        | 621.4        | 388.1        | 280.9        | 5890.16                       | 19.04  |
|                                                                  | -488.4       | -390.9       | -370.2       | -300.3       | -232.0       | -166.5       | -125.4       | -122.8       | -173.2       | -284.6       | -380.1       | -471.6       |                               |        |
| Q <sub>ve+inf</sub>                                              | --           | --           | --           | 0.0          | 1.3          | 7.1          | 22.4         | 20.0         | 12.6         | 0.0          | 0.0          | --           | -3106.03                      | -10.04 |
|                                                                  | -450.6       | -362.0       | -347.1       | -293.9       | -266.7       | -162.7       | -53.3        | -45.1        | -206.5       | -233.4       | -326.5       | -421.7       |                               |        |
| Q <sub>equip</sub>                                               | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | 0.00                          | 0.00   |
| Q <sub>alum</sub>                                                | 248.5        | 216.1        | 237.7        | 226.9        | 248.5        | 118.9        | --           | --           | 216.1        | 248.5        | 237.7        | 226.9        | 2226.01                       | 7.20   |
| Q <sub>ocup</sub>                                                | 431.1        | 374.4        | 410.3        | 385.0        | 397.0        | 168.5        | --           | --           | 288.2        | 401.1        | 411.3        | 393.5        | 3660.35                       | 11.83  |
| Q <sub>H</sub>                                                   | 1369.1       | 951.4        | 703.8        | 266.1        | 109.8        | --           | --           | --           | --           | 59.6         | 734.4        | 1337.1       | 5531.23                       | 17.88  |
| Q <sub>C</sub>                                                   | --           | --           | --           | --           | -3.5         | -194.6       | -390.9       | -398.5       | -371.2       | --           | --           | --           | -1358.61                      | -4.39  |
| Q <sub>HC</sub>                                                  | 1369.1       | 951.4        | 703.8        | 266.1        | 113.3        | 194.6        | 390.9        | 398.5        | 371.2        | 59.6         | 734.4        | 1337.1       | 6889.84                       | 22.27  |
|                                                                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Oficinas P Baja (A <sub>v</sub> = 242.21 m²; V = 605.51 m³)      |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Q <sub>op</sub>                                                  | 352.9        | 286.5        | 283.6        | 237.5        | 182.2        | 174.0        | 206.4        | 222.6        | 180.8        | 223.8        | 284.3        | 339.7        | -10300.16                     | -42.53 |
|                                                                  | -1506.3      | -1294.8      | -1327.4      | -1140.6      | -1235.8      | -873.5       | -714.3       | -691.8       | -820.6       | -1047.5      | -1175.3      | -1446.7      |                               |        |
| Q <sub>w</sub>                                                   | 307.9        | 426.9        | 605.6        | 691.7        | 823.3        | 923.0        | 1082.4       | 1087.5       | 923.4        | 621.9        | 394.5        | 277.1        | 5333.20                       | 22.02  |
|                                                                  | -394.3       | -313.8       | -296.9       | -242.3       | -186.7       | -132.9       | -96.6        | -96.4        | -142.8       | -240.6       | -308.7       | -380.0       |                               |        |
| Q <sub>ve+inf</sub>                                              | --           | --           | --           | --           | 0.7          | 3.8          | 10.8         | 9.5          | 14.4         | --           | --           | --           | -3020.97                      | -12.47 |
|                                                                  | -461.4       | -366.0       | -357.4       | -309.1       | -253.4       | -107.5       | -27.4        | -23.5        | -120.6       | -263.7       | -343.7       | -426.6       |                               |        |
| Q <sub>equip</sub>                                               | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | --           | 0.00                          | 0.00   |
| Q <sub>alum</sub>                                                | 559.8        | 486.8        | 535.5        | 511.1        | 559.8        | 267.7        | --           | --           | 486.8        | 559.8        | 535.5        | 511.1        | 5014.01                       | 20.70  |
| Q <sub>ocup</sub>                                                | 168.5        | 146.2        | 159.2        | 147.5        | 150.4        | 63.1         | --           | --           | 111.4        | 150.7        | 160.1        | 153.8        | 1410.88                       | 5.83   |
| Q <sub>H</sub>                                                   | 989.9        | 645.7        | 422.0        | 130.0        | 46.0         | --           | --           | --           | --           | 20.9         | 470.3        | 986.4        | 3711.20                       | 15.32  |
| Q <sub>C</sub>                                                   | --           | --           | --           | --           | -49.9        | -294.8       | -444.3       | -492.5       | -607.7       | -0.1         | --           | --           | -1889.26                      | -7.80  |
| Q <sub>HC</sub>                                                  | 989.9        | 645.7        | 422.0        | 130.0        | 95.8         | 294.8        | 444.3        | 492.5        | 607.7        | 21.0         | 470.3        | 986.4        | 5600.46                       | 23.12  |
|                                                                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |
| Instalaciones (A <sub>v</sub> = 113.35 m²; V = 283.37 m³)        |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                               |        |

|              | Ene<br>(kWh) | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh) | Jun<br>(kWh) | Jul<br>(kWh) | Ago<br>(kWh) | Sep<br>(kWh) | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh) | Año<br>(kWh/año) (kWh/m²-año) |       |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------|
| $Q_{op}$     | 236.8        | 166.5        | 181.8        | 189.2        | 110.1        | 92.0         | 86.8         | 93.1         | 96.4         | 155.4        | 196.6        | 206.0        | 326.61                        | 2.88  |
| $Q_{ve+inf}$ | -36.3        | -71.9        | -91.5        | -87.8        | -172.4       | -207.0       | -242.0       | -221.3       | -159.2       | -93.4        | -59.4        | -42.2        | -755.27                       | -6.66 |
| $Q_{equip}$  | 25.9         | 56.1         | 74.9         | 72.9         | 150.8        | 196.9        | 246.1        | 224.8        | 139.1        | 73.0         | 42.9         | 31.5         | 0.00                          | 0.00  |
| $Q_{ilum}$   | -275.0       | -191.6       | -210.2       | -218.6       | -133.9       | -103.7       | -90.1        | -96.9        | -119.7       | -184.4       | -226.8       | -239.3       | 616.87                        | 5.44  |
| $Q_{ocup}$   | 68.9         | 59.9         | 65.9         | 62.9         | 68.9         | 32.9         | --           | --           | 59.9         | 68.9         | 65.9         | 62.9         | 0.00                          | 0.00  |

**Cocina** ( $A_v = 110.24 \text{ m}^2$ ;  $V = 278.70 \text{ m}^3$ )

|              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |        |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
| $Q_{op}$     | 85.6   | 64.6   | 73.4   | 70.7   | 45.3   | 34.8   | 25.1   | 27.3   | 41.8   | 63.0   | 77.8   | 73.8   | -3551.94 | -32.22 |
| $Q_{ve+inf}$ | -290.4 | -335.9 | -407.3 | -391.0 | -477.9 | -372.0 | -312.3 | -306.8 | -395.2 | -371.2 | -314.3 | -261.0 | 2115.76  | 19.19  |
| $Q_{equip}$  | 95.2   | 140.0  | 202.3  | 226.3  | 258.7  | 278.2  | 315.0  | 311.7  | 264.2  | 192.4  | 110.5  | 71.8   | -2353.06 | -21.34 |
| $Q_{ilum}$   | -42.1  | -33.1  | -35.0  | -31.8  | -23.3  | -18.8  | -15.0  | -16.5  | -24.7  | -34.3  | -37.9  | -38.0  | 0.00     | 0.00   |
| $Q_{ocup}$   | 0.2    | 0.2    | 0.9    | 0.8    | 5.0    | 8.4    | 17.2   | 13.5   | 7.0    | 0.2    | 0.5    | 0.2    | 936.08   | 8.49   |
|              | -302.4 | -229.2 | -262.1 | -272.5 | -219.0 | -105.2 | -27.2  | -27.4  | -171.8 | -260.4 | -267.9 | -262.1 | 2920.96  | 26.50  |
| $Q_{equip}$  | 104.5  | 90.9   | 100.0  | 95.4   | 104.5  | 50.0   | --     | --     | 90.9   | 104.5  | 100.0  | 95.4   | 0.00     | 0.00   |
| $Q_{ilum}$   | 355.3  | 309.5  | 335.8  | 308.4  | 316.3  | 129.8  | --     | --     | 192.8  | 310.7  | 336.9  | 325.5  |          |        |
| $Q_{ocup}$   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |        |

**Salas** ( $A_v = 458.16 \text{ m}^2$ ;  $V = 2015.77 \text{ m}^3$ )

|              |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |           |        |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| $Q_{op}$     | 629.6   | 505.2   | 519.3   | 435.9   | 321.9   | 227.2   | 206.3   | 175.2  | 234.0   | 349.3   | 503.6   | 592.3   | -22105.54 | -48.25 |
| $Q_{ve+inf}$ | -3141.2 | -2718.6 | -2843.9 | -2531.2 | -2575.3 | -1544.3 | -1096.6 | -973.2 | -1475.3 | -2281.7 | -2658.6 | -2965.5 | 7647.56   | 16.69  |
| $Q_{equip}$  | 327.9   | 468.5   | 716.7   | 915.8   | 1244.4  | 1424.1  | 1587.8  | 1431.0 | 1076.1  | 688.8   | 398.6   | 281.8   | -13161.66 | -28.73 |
| $Q_{ilum}$   | -403.1  | -324.1  | -313.3  | -253.9  | -201.8  | -134.7  | -94.0   | -91.8  | -139.8  | -244.4  | -325.4  | -387.8  | 0.00      | 0.00   |
| $Q_{ocup}$   | --      | --      | --      | --      | 1.5     | 15.6    | 50.8    | 47.1   | 40.4    | --      | --      | --      | 2947.31   | 6.43   |
|              | -1526.5 | -1275.2 | -1427.7 | -1465.3 | -1561.4 | -737.7  | -112.5  | -93.9  | -913.1  | -1519.6 | -1294.0 | -1390.1 | 25493.12  | 55.64  |
| $Q_{equip}$  | 329.1   | 286.1   | 314.8   | 300.5   | 329.1   | 157.4   | --      | --     | 286.1   | 329.1   | 314.8   | 300.5   | 0.00      | 0.00   |
| $Q_{ilum}$   | 3067.4  | 2631.3  | 2811.7  | 2581.3  | 2686.8  | 1201.0  | --      | --     | 2131.9  | 2728.0  | 2835.5  | 2818.3  |           |        |
| $Q_{ocup}$   |         |         |         |         |         |         |         |        |         |         |         |         |           |        |
| $Q_H$        | 746.0   | 460.9   | 271.2   | 75.6    | 18.9    | --      | --      | --     | --      | 16.0    | 272.1   | 771.6   | 2632.30   | 5.75   |
| $Q_C$        | --      | --      | --      | -5.4    | -198.2  | -568.7  | -514.3  | -472.1 | -1186.1 | -17.8   | --      | --      | -2962.70  | -6.47  |
| $Q_{HC}$     | 746.0   | 460.9   | 271.2   | 81.0    | 217.2   | 568.7   | 514.3   | 472.1  | 1186.1  | 33.8    | 272.1   | 771.6   | 5595.00   | 12.21  |

**Baños P Primera** ( $A_v = 42.97 \text{ m}^2$ ;  $V = 107.42 \text{ m}^3$ )

|              |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |        |        |          |        |
|--------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|--------|
| $Q_{op}$     | 44.0   | 34.7   | 34.6   | 30.8   | 19.1  | 27.4  | 44.1  | 49.2  | 29.2  | 24.8  | 33.2   | 40.3   | -686.09  | -15.97 |
| $Q_{ve+inf}$ | -203.1 | -159.7 | -138.2 | -78.7  | -67.2 | -26.2 | -12.1 | -10.7 | -20.7 | -47.4 | -137.1 | -196.5 | 165.59   | 3.85   |
| $Q_{equip}$  | 12.1   | 14.5   | 17.8   | 17.5   | 16.3  | 17.8  | 21.2  | 24.1  | 23.7  | 20.0  | 13.6   | 9.7    | -1103.04 | -25.67 |
| $Q_{ilum}$   | -6.1   | -4.9   | -4.5   | -3.6   | -2.7  | -1.9  | -1.4  | -1.4  | -2.1  | -3.6  | -4.8   | -5.9   | 0.00     | 0.00   |
| $Q_{ocup}$   | --     | --     | --     | 0.0    | 0.8   | 2.6   | 6.9   | 6.1   | 6.3   | 0.0   | --     | --     | 415.25   | 9.66   |
|              | -176.1 | -138.4 | -132.9 | -110.5 | -83.8 | -37.1 | -11.9 | -10.2 | -44.6 | -88.5 | -129.3 | -162.5 | 341.03   | 7.94   |
| $Q_{equip}$  | 46.4   | 40.3   | 44.3   | 42.3   | 46.4  | 22.2  | --    | --    | 40.3  | 46.4  | 44.3   | 42.3   | 0.00     | 0.00   |
| $Q_{ilum}$   | 39.9   | 34.7   | 38.1   | 36.1   | 37.6  | 15.9  | --    | --    | 26.6  | 37.6  | 38.1   | 36.4   |          |        |
| $Q_{ocup}$   |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |        |        |          |        |
| $Q_H$        | 241.7  | 177.9  | 140.0  | 65.4   | 34.4  | --    | --    | --    | --    | 10.2  | 140.8  | 235.1  | 1045.57  | 24.33  |
| $Q_C$        | --     | --     | --     | --     | -0.1  | -20.2 | -46.6 | -57.0 | -59.1 | --    | --     | --     | -182.97  | -4.26  |
| $Q_{HC}$     | 241.7  | 177.9  | 140.0  | 65.4   | 34.4  | 20.2  | 46.6  | 57.0  | 59.1  | 10.2  | 140.8  | 235.1  | 1228.53  | 28.59  |

**Aulas P Primera** ( $A_v = 426.83 \text{ m}^2$ ;  $V = 1067.06 \text{ m}^3$ )

|              |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |        |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| $Q_{op}$     | 860.7   | 694.9   | 703.6   | 609.9   | 455.1   | 453.0   | 509.9   | 529.3   | 478.5   | 562.2   | 703.4   | 814.8   | -19318.57 | -45.26 |
| $Q_{ve+inf}$ | -2914.8 | -2587.8 | -2756.6 | -2431.5 | -2604.2 | -1763.7 | -1512.2 | -1380.9 | -1510.4 | -2113.8 | -2365.3 | -2752.6 | 14995.88  | 35.13  |
| $Q_{equip}$  | 877.6   | 1107.3  | 1515.6  | 1714.2  | 2040.4  | 2226.1  | 2540.1  | 2500.1  | 2139.4  | 1544.3  | 1011.1  | 743.1   | -8915.24  | -20.89 |
| $Q_{ilum}$   | -661.7  | -532.2  | -510.4  | -422.1  | -330.0  | -246.7  | -192.4  | -194.2  | -271.1  | -435.3  | -532.5  | -634.8  | 0.00      | 0.00   |
| $Q_{ocup}$   | --      | --      | --      | --      | 2.6     | 14.1    | 44.3    | 38.7    | 42.5    | --      | 0.0     | --      | 3467.98   | 8.13   |
|              | -1048.5 | -856.7  | -944.6  | -1003.2 | -952.0  | -520.8  | -147.7  | -125.6  | -603.2  | -1050.5 | -843.6  | -961.0  | 12203.15  | 28.59  |
| $Q_{equip}$  | 387.2   | 336.7   | 370.4   | 353.5   | 387.2   | 185.2   | --      | --      | 336.7   | 387.2   | 370.4   | 353.5   |           |        |
| $Q_{ilum}$   | 1471.3  | 1271.0  | 1366.7  | 1253.8  | 1295.2  | 554.3   | --      | --      | 981.4   | 1282.5  | 1378.2  | 1348.9  |           |        |
| $Q_{ocup}$   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |           |        |



## Demanda energética

|                       | Ene<br>(kWh)  | Feb<br>(kWh) | Mar<br>(kWh) | Abr<br>(kWh) | May<br>(kWh)  | Jun<br>(kWh)  | Jul<br>(kWh)   | Ago<br>(kWh)   | Sep<br>(kWh)   | Oct<br>(kWh) | Nov<br>(kWh) | Dic<br>(kWh)  | Año<br>(kWh/año) (kWh/m <sup>2</sup> -año) |               |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|---------------|--------------------------------------------|---------------|
| <b>Q<sub>H</sub></b>  | <b>1192.6</b> | <b>716.6</b> | <b>430.1</b> | <b>98.2</b>  | <b>31.6</b>   | --            | --             | --             | --             | <b>12.1</b>  | <b>440.2</b> | <b>1235.0</b> | <b>4156.29</b>                             | <b>9.74</b>   |
| <b>Q<sub>C</sub></b>  | --            | --           | --           | --           | <b>-125.1</b> | <b>-790.8</b> | <b>-1199.0</b> | <b>-1328.5</b> | <b>-1433.8</b> | <b>-11.0</b> | --           | --            | <b>-4888.17</b>                            | <b>-11.45</b> |
| <b>Q<sub>HC</sub></b> | <b>1192.6</b> | <b>716.6</b> | <b>430.1</b> | <b>98.2</b>  | <b>156.7</b>  | <b>790.8</b>  | <b>1199.0</b>  | <b>1328.5</b>  | <b>1433.8</b>  | <b>23.0</b>  | <b>440.2</b> | <b>1235.0</b> | <b>9044.45</b>                             | <b>21.19</b>  |

**Circulaciones P Primera** ( $A_t = 163.31 \text{ m}^2$ ;  $V = 444.37 \text{ m}^3$ )

|                                                    |         |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |         |          |        |
|----------------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|--------|
| en unidades de 1000000 (€ = 1000000, \$ = 1000000) |         |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |         |          |        |
| Q <sub>op</sub>                                    | 306.6   | 249.3   | 247.5   | 208.1  | 150.0  | 176.6  | 244.6  | 261.2  | 183.3  | 182.5  | 246.3  | 291.4   | -7576.10 | -46.39 |
|                                                    | -1268.4 | -1126.0 | -1096.6 | -821.5 | -820.0 | -566.7 | -515.8 | -534.6 | -586.9 | -746.3 | -996.6 | -1244.3 |          |        |
| Q <sub>en</sub>                                    | 325.7   | 454.4   | 540.5   | 535.8  | 600.6  | 641.9  | 742.3  | 774.8  | 732.5  | 560.8  | 420.7  | 340.9   | 5012.81  | 30.70  |
|                                                    | -223.1  | -181.0  | -171.2  | -139.5 | -108.6 | -81.7  | -64.3  | -65.0  | -90.3  | -139.8 | -177.4 | -216.3  |          |        |
| Q <sub>ve+inf</sub>                                | --      | --      | --      | --     | 1.0    | 6.8    | 22.4   | 19.0   | 9.3    | 0.0    | --     | --      | -2816.48 | -17.25 |
|                                                    | -405.1  | -330.6  | -320.3  | -276.3 | -223.5 | -140.1 | -62.2  | -53.8  | -162.9 | -221.7 | -299.7 | -379.0  |          |        |
| Q <sub>equip</sub>                                 | --      | --      | --      | --     | --     | --     | --     | --     | --     | --     | --     | --      | 0.00     | 0.00   |
| Q <sub>ilum</sub>                                  | 133.7   | 116.3   | 127.9   | 122.1  | 133.7  | 63.9   | --     | --     | 116.3  | 133.7  | 127.9  | 122.1   | 1197.43  | 7.33   |
| Q <sub>ocup</sub>                                  | 227.4   | 197.5   | 216.4   | 203.1  | 209.6  | 88.1   | --     | --     | 150.7  | 209.1  | 216.7  | 207.6   | 1926.27  | 11.80  |
| Q <sub>H</sub>                                     | 905.8   | 624.3   | 463.0   | 176.1  | 77.8   | --     | --     | --     | --     | 30.3   | 464.4  | 879.7   | 3621.34  | 22.17  |
| Q <sub>C</sub>                                     | --      | --      | --      | --     | -4.0   | -177.8 | -358.5 | -394.4 | -343.3 | --     | --     | --      | -1278.06 | -7.83  |
| Q <sub>HC</sub>                                    | 905.8   | 624.3   | 463.0   | 176.1  | 81.7   | 177.8  | 358.5  | 394.4  | 343.3  | 30.3   | 464.4  | 879.7   | 4899.40  | 30.00  |

donde:

$A_t$ : Superficie útil de la zona térmica, m<sup>2</sup>.

$V$ : Volumen interior neto de la zona térmica, m<sup>3</sup>.

$Q_{op}$ : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos pesados en contacto con el exterior, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{en}$ : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos ligeros en contacto con el exterior, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{ve+inf}$ : Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica por ventilación, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{equip}$ : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida al equipamiento interno, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{ilum}$ : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la iluminación, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{ocup}$ : Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la ocupación, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_H$ : Energía aportada de calefacción, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_C$ : Energía aportada de refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>-año.

$Q_{HC}$ : Energía aportada de calefacción y refrigeración, kWh/m<sup>2</sup>-año.

## 3. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.

### 3.1. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de los espacios que componen cada una de las zonas de cálculo del edificio.

|                                      | <b>S</b><br>(m <sup>2</sup> ) | <b>V</b><br>(m <sup>3</sup> ) | <b>η</b><br>(%) | <b>ren<sub>h</sub></b><br>(1/h) | <b>ΣQ<sub>ocup,s</sub></b><br>(kWh/año) | <b>ΣQ<sub>ocup,l</sub></b><br>(kWh/año) | <b>ΣQ<sub>equip,s</sub></b><br>(kWh/año) | <b>ΣQ<sub>equip,l</sub></b><br>(kWh/año) | <b>ΣQ<sub>ilum</sub></b><br>(kWh/año) | <b>T° calef.</b><br>media<br>(°C) | <b>T° refrig.</b><br>media<br>(°C) |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Aulas P Baja</b> (Zona habitable) |                               |                               |                 |                                 |                                         |                                         |                                          |                                          |                                       |                                   |                                    |
| Aula 1                               | 60.49                         | 151.22                        | 77.00           | 1.64                            | 1313.99                                 | 875.99                                  | --                                       | --                                       | 495.17                                | 20.0                              | 25.0                               |
| Aula 2                               | 60.48                         | 151.20                        | 77.00           | 1.64                            | 1313.79                                 | 875.86                                  | --                                       | --                                       | 495.09                                | 20.0                              | 25.0                               |
| Aula 3                               | 64.52                         | 161.32                        | 77.00           | 1.64                            | 1401.66                                 | 934.44                                  | --                                       | --                                       | 528.20                                | 20.0                              | 25.0                               |
| Aula 4                               | 64.41                         | 161.02                        | 77.00           | 1.64                            | 1399.06                                 | 932.70                                  | --                                       | --                                       | 527.22                                | 20.0                              | 25.0                               |
| Aula 5                               | 67.64                         | 169.09                        | 77.00           | 1.64                            | 1469.23                                 | 979.48                                  | --                                       | --                                       | 553.67                                | 20.0                              | 25.0                               |
|                                      | <b>317.54</b>                 | <b>793.85</b>                 | <b>77.00</b>    | <b>1.64/0.41*</b>               | <b>6897.72</b>                          | <b>4598.48</b>                          | <b>--</b>                                | <b>--</b>                                | <b>2599.35</b>                        | <b>20.0</b>                       | <b>25.0</b>                        |

**Baños P Baja** (Zona habitable)

|         |              |               |              |                   |               |               |           |           |               |             |             |
|---------|--------------|---------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|-----------|---------------|-------------|-------------|
| Aseos 1 | 21.48        | 53.71         | 77.00        | 1.20              | 124.45        | 82.96         | --        | --        | 154.57        | 20.0        | 25.0        |
| Aseos 2 | 14.20        | 35.50         | 77.00        | 1.20              | 82.25         | 54.83         | --        | --        | 102.16        | 20.0        | 25.0        |
| Aseo 3  | 4.72         | 11.81         | 77.00        | 1.20              | 27.37         | 18.25         | --        | --        | 34.00         | 20.0        | 25.0        |
|         | <b>40.41</b> | <b>101.02</b> | <b>77.00</b> | <b>1.20/0.21*</b> | <b>234.07</b> | <b>156.04</b> | <b>--</b> | <b>--</b> | <b>290.73</b> | <b>20.0</b> | <b>25.0</b> |

**Circulaciones P Baja** (Zona habitable)

## Demanda energética

|           | S<br>(m <sup>2</sup> ) | V<br>(m <sup>3</sup> ) | η<br>(%)     | ren <sub>h</sub><br>(1/h)    | ΣQ <sub>ocup,s</sub><br>(kWh/año) | ΣQ <sub>ocup,l</sub><br>(kWh/año) | ΣQ <sub>equip,s</sub><br>(kWh/año) | ΣQ <sub>equip,l</sub><br>(kWh/año) | ΣQ <sub>ilum</sub><br>(kWh/año) | T' calef.<br>media<br>(°C) | T' refrig.<br>media<br>(°C) |
|-----------|------------------------|------------------------|--------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Pasillo 1 | 124.59                 | 323.31                 | 77.00        | 0.76                         | 1082.54                           | 721.70                            | --                                 | --                                 | 896.42                          | 20.0                       | 25.0                        |
| Pasillo 2 | 13.87                  | 34.67                  | 77.00        | 0.79                         | 120.49                            | 80.33                             | --                                 | --                                 | 99.78                           | 20.0                       | 25.0                        |
| Pasillo 3 | 131.68                 | 339.12                 | 77.00        | 0.77                         | 1144.21                           | 762.81                            | --                                 | --                                 | 947.49                          | 20.0                       | 25.0                        |
| Pasillo 4 | 39.24                  | 98.09                  | 77.00        | 0.79                         | 340.94                            | 227.30                            | --                                 | --                                 | 282.33                          | 20.0                       | 25.0                        |
|           | <b>309.38</b>          | <b>795.19</b>          | <b>77.00</b> | <b>0.77/0.23<sup>+</sup></b> | <b>2688.19</b>                    | <b>1792.13</b>                    | --                                 | --                                 | <b>2226.01</b>                  | <b>20.0</b>                | <b>25.0</b>                 |

### Oficinas P Baja (Zona habitable)

|                    |               |               |    |                              |                |               |    |    |                |             |             |
|--------------------|---------------|---------------|----|------------------------------|----------------|---------------|----|----|----------------|-------------|-------------|
| Secretaría         | 20.95         | 52.37         | -- | 0.60                         | 91.01          | 60.67         | -- | -- | 433.63         | 20.0        | 25.0        |
| AMPA               | 22.21         | 55.54         | -- | 0.60                         | 96.51          | 64.34         | -- | -- | 459.86         | 20.0        | 25.0        |
| Conserjería        | 7.24          | 18.10         | -- | 0.60                         | 31.45          | 20.97         | -- | -- | 149.87         | 20.0        | 25.0        |
| Despacho 1         | 33.97         | 84.92         | -- | 0.60                         | 147.57         | 98.38         | -- | -- | 703.18         | 20.0        | 25.0        |
| Despacho 2         | 20.02         | 50.05         | -- | 0.60                         | 86.98          | 57.99         | -- | -- | 414.47         | 20.0        | 25.0        |
| Despacho 3         | 20.02         | 50.05         | -- | 0.60                         | 86.98          | 57.99         | -- | -- | 414.46         | 20.0        | 25.0        |
| Sala de profesores | 76.38         | 190.95        | -- | 0.60                         | 331.85         | 221.23        | -- | -- | 1581.23        | 20.0        | 25.0        |
| Tutoría            | 21.43         | 53.56         | -- | 0.60                         | 93.08          | 62.06         | -- | -- | 443.54         | 20.0        | 25.0        |
| Despacho 4         | 19.99         | 49.97         | -- | 0.60                         | 86.84          | 57.89         | -- | -- | 413.77         | 20.0        | 25.0        |
|                    | <b>242.21</b> | <b>605.51</b> | -- | <b>0.60/0.16<sup>+</sup></b> | <b>1052.28</b> | <b>701.52</b> | -- | -- | <b>5014.02</b> | <b>20.0</b> | <b>25.0</b> |

### Instalaciones (Zona no habitable)

|                   |               |               |    |             |    |    |    |    |               |                  |  |
|-------------------|---------------|---------------|----|-------------|----|----|----|----|---------------|------------------|--|
| Calderas          | 68.29         | 170.71        | -- | 1.20        | -- | -- | -- | -- | 371.62        | Oscilación libre |  |
| Grupo electrogeno | 13.59         | 33.98         | -- | 1.20        | -- | -- | -- | -- | 73.96         |                  |  |
| Grupo de presión  | 31.48         | 78.68         | -- | 1.20        | -- | -- | -- | -- | 171.29        |                  |  |
|                   | <b>113.35</b> | <b>283.37</b> | -- | <b>1.20</b> | -- | -- | -- | -- | <b>616.87</b> |                  |  |

### Cocina (Zona habitable)

|              |               |               |    |                              |                |                |    |    |               |    |    |
|--------------|---------------|---------------|----|------------------------------|----------------|----------------|----|----|---------------|----|----|
| Cocina       | 71.51         | 181.87        | -- | 1.98                         | 1242.78        | 828.52         | -- | -- | 607.22        | -- | -- |
| Basuras      | 4.96          | 12.40         | -- | 2.02                         | 86.19          | 57.46          | -- | -- | 42.11         | -- | -- |
| Despensa     | 10.88         | 27.20         | -- | 2.02                         | 189.09         | 126.06         | -- | -- | 92.39         | -- | -- |
| Distribuidor | 22.89         | 57.23         | -- | 2.02                         | 397.79         | 265.20         | -- | -- | 194.36        | -- | -- |
|              | <b>110.24</b> | <b>278.70</b> | -- | <b>1.99/0.48<sup>+</sup></b> | <b>1915.85</b> | <b>1277.24</b> | -- | -- | <b>936.08</b> | -- | -- |

### Salas (Zona habitable)

|                  |               |                |              |                              |                 |                 |    |    |                |             |             |
|------------------|---------------|----------------|--------------|------------------------------|-----------------|-----------------|----|----|----------------|-------------|-------------|
| Biblioteca       | 62.88         | 157.20         | 77.00        | 3.02                         | 2731.92         | 1821.28         | -- | -- | 404.52         | 20.0        | 25.0        |
| Comedor          | 196.04        | 921.86         | 77.00        | 1.61                         | 8516.94         | 5677.96         | -- | -- | 1261.10        | 20.0        | 25.0        |
| Sala polivalente | 199.24        | 936.70         | 77.00        | 1.61                         | 8655.99         | 5770.66         | -- | -- | 1281.69        | 20.0        | 25.0        |
|                  | <b>458.16</b> | <b>2015.77</b> | <b>77.00</b> | <b>1.72/0.39<sup>+</sup></b> | <b>19904.85</b> | <b>13269.90</b> | -- | -- | <b>2947.31</b> | <b>20.0</b> | <b>25.0</b> |

### Baños P Primera (Zona habitable)

|        |              |               |    |                              |               |               |    |    |               |             |             |
|--------|--------------|---------------|----|------------------------------|---------------|---------------|----|----|---------------|-------------|-------------|
| Baño 1 | 21.48        | 53.71         | -- | 1.20                         | 124.45        | 82.96         | -- | -- | 207.63        | 20.0        | 25.0        |
| Baño 2 | 21.48        | 53.71         | -- | 1.20                         | 124.45        | 82.96         | -- | -- | 207.63        | 20.0        | 25.0        |
|        | <b>42.97</b> | <b>107.42</b> | -- | <b>1.20/0.36<sup>+</sup></b> | <b>248.89</b> | <b>165.93</b> | -- | -- | <b>415.25</b> | <b>20.0</b> | <b>25.0</b> |

### Aulas P Primera (Zona habitable)

|        |       |        |       |      |         |        |    |    |        |      |      |
|--------|-------|--------|-------|------|---------|--------|----|----|--------|------|------|
| Aula 1 | 60.14 | 150.36 | 77.00 | 1.64 | 1306.49 | 870.99 | -- | -- | 488.67 | 20.0 | 25.0 |
| Aula 2 | 60.48 | 151.20 | 77.00 | 1.64 | 1313.79 | 875.86 | -- | -- | 491.41 | 20.0 | 25.0 |
| Aula 3 | 60.21 | 150.53 | 77.00 | 1.64 | 1307.95 | 871.96 | -- | -- | 489.22 | 20.0 | 25.0 |
| Aula 4 | 60.72 | 151.79 | 77.00 | 1.64 | 1318.93 | 879.29 | -- | -- | 493.33 | 20.0 | 25.0 |
| Aula 5 | 20.27 | 50.68  | 77.00 | 1.64 | 440.37  | 293.58 | -- | -- | 164.72 | 20.0 | 25.0 |
| Aula 6 | 20.27 | 50.68  | 77.00 | 1.64 | 440.37  | 293.58 | -- | -- | 164.72 | 20.0 | 25.0 |

## Demanda energética

|        | S<br>(m <sup>2</sup> ) | V<br>(m <sup>3</sup> ) | $\eta$<br>(%) | ren <sub>h</sub><br>(1/h) | $\Sigma Q_{ocup,s}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{ocup,l}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{equip,s}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{equip,l}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{lum}$<br>(kWh/año) | T <sup>°</sup> calef.<br>media<br>(°C) | T <sup>°</sup> refriger.<br>media<br>(°C) |
|--------|------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Aula 7 | 20.14                  | 50.34                  | 77.00         | 1.64                      | 437.44                           | 291.63                           | --                                | --                                | 163.62                        | 20.0                                   | 25.0                                      |
| Aula 8 | 20.14                  | 50.34                  | 77.00         | 1.64                      | 437.44                           | 291.63                           | --                                | --                                | 163.62                        | 20.0                                   | 25.0                                      |
| Aula 9 | 20.14                  | 50.35                  | 77.00         | 1.64                      | 437.46                           | 291.64                           | --                                | --                                | 163.62                        | 20.0                                   | 25.0                                      |
| Aula10 | 24.27                  | 60.66                  | 77.00         | 1.64                      | 527.15                           | 351.43                           | --                                | --                                | 197.17                        | 20.0                                   | 25.0                                      |
| Aula11 | 60.05                  | 150.12                 | 77.00         | 1.64                      | 1304.41                          | 869.61                           | --                                | --                                | 487.89                        | 20.0                                   | 25.0                                      |
|        | <b>426.83</b>          | <b>1067.06</b>         | <b>77.00</b>  | <b>1.64/0.47'</b>         | <b>9271.80</b>                   | <b>6181.20</b>                   | <b>--</b>                         | <b>--</b>                         | <b>3467.98</b>                | <b>20.0</b>                            | <b>25.0</b>                               |

### Circulaciones P Primera (Zona habitable)

| Pasillo | S<br>(m <sup>2</sup> ) | V<br>(m <sup>3</sup> ) | $\eta$<br>(%) | ren <sub>h</sub><br>(1/h) | $\Sigma Q_{ocup,s}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{ocup,l}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{equip,s}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{equip,l}$<br>(kWh/año) | $\Sigma Q_{lum}$<br>(kWh/año) | T <sup>°</sup> calef.<br>media<br>(°C) | T <sup>°</sup> refriger.<br>media<br>(°C) |
|---------|------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
|         | 163.31                 | 444.37                 | 77.00         | 0.73                      | 1418.99                          | 946.00                           | --                                | --                                | 1197.43                       | 20.0                                   | 25.0                                      |
|         | <b>163.31</b>          | <b>444.37</b>          | <b>77.00</b>  | <b>0.73/0.32'</b>         | <b>1418.99</b>                   | <b>946.00</b>                    | <b>--</b>                         | <b>--</b>                         | <b>1197.43</b>                | <b>20.0</b>                            | <b>25.0</b>                               |

donde:

- S: Superficie útil interior del recinto, m<sup>2</sup>.
- V: Volumen interior neto del recinto, m<sup>3</sup>.
- $\eta$ : Eficiencia térmica de la recuperación de calor, %.
- ren<sub>h</sub>: Número de renovaciones por hora del aire del recinto.
- \*: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas.
- $Q_{ocup,s}$ : Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.
- $Q_{ocup,l}$ : Sumatorio de la carga interna latente debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.
- $Q_{equip,s}$ : Sumatorio de la carga interna sensible debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.
- $Q_{equip,l}$ : Sumatorio de la carga interna latente debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.
- $Q_{lum}$ : Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, kWh/año.
- T<sup>°</sup> calef. media: Valor medio en los intervalos de operación de la temperatura de consigna de calefacción, °C.
- T<sup>°</sup> refriger. media: Valor medio en los intervalos de operación de la temperatura de consigna de refrigeración, °C.



## BALANCE ENERGÉTICO

### 1. SIMULACIÓN ENERGÉTICA









## Balance energético

### 1. SIMULACIÓN ENERGÉTICA (ESPAÑA)

#### 1.1. Balance energético

| Indicadores de desempeño | Consumo anual de energía primaria no renovable<br>kWh/m²·año |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Calefacción              | 7.07                                                         |
| Refrigeración            | 14.65                                                        |
| ACS                      | 17.82                                                        |
| Iluminación              | 26.58                                                        |
| Ventilación              | 5.57                                                         |

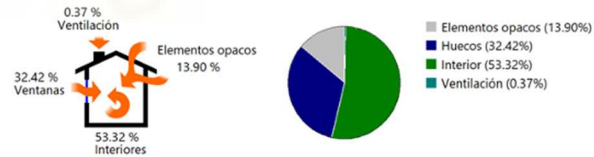
#### 1.2. Envolvente

##### 1.2.1. Indicadores de calefacción



| Elemento         | Pérdidas (%) |
|------------------|--------------|
| Elementos opacos | 71.75        |
| Huecos           | 11.89        |
| Ventilación      | 16.36        |

##### 1.2.2. Indicadores de refrigeración



| Elemento         | Ganancias (%) |
|------------------|---------------|
| Elementos opacos | 13.90         |
| Huecos           | 32.42         |
| Interior         | 53.32         |
| Ventilación      | 0.37          |

1. MAE 1: MEJORA RECUPERADOR + BOMBA DE CALOR



## Balance energético

### 2. MAE 1: MEJORA RECUPERADOR + BOMBA DE CALOR

#### 2.1. Balance energético

| Indicadores de desempeño | Consumo anual de energía primaria no renovable<br>kWh/m <sup>2</sup> ·año |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Calefacción              | 5.98                                                                      |
| Refrigeración            | 15.02                                                                     |
| ACS                      | 4.28                                                                      |
| Iluminación              | 28.18                                                                     |
| Ventilación              | 5.91                                                                      |

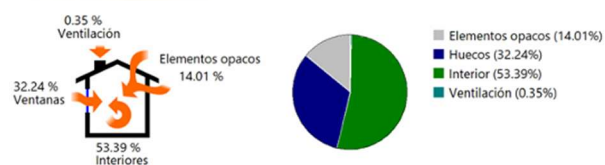
#### 2.2. Envoltente

##### 2.2.1. Indicadores de calefacción



| Elemento         | Pérdidas (%) |
|------------------|--------------|
| Elementos opacos | 71.59        |
| Huecos           | 11.83        |
| Ventilación      | 16.58        |

##### 2.2.2. Indicadores de refrigeración



| Elemento         | Ganancias (%) |
|------------------|---------------|
| Elementos opacos | 14.01         |
| Huecos           | 32.24         |
| Interior         | 53.39         |
| Ventilación      | 0.35          |

## 2. MAE 2: SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS FLUORESCENTES PROPUESTAS A TIPO LED



Condensaciones

