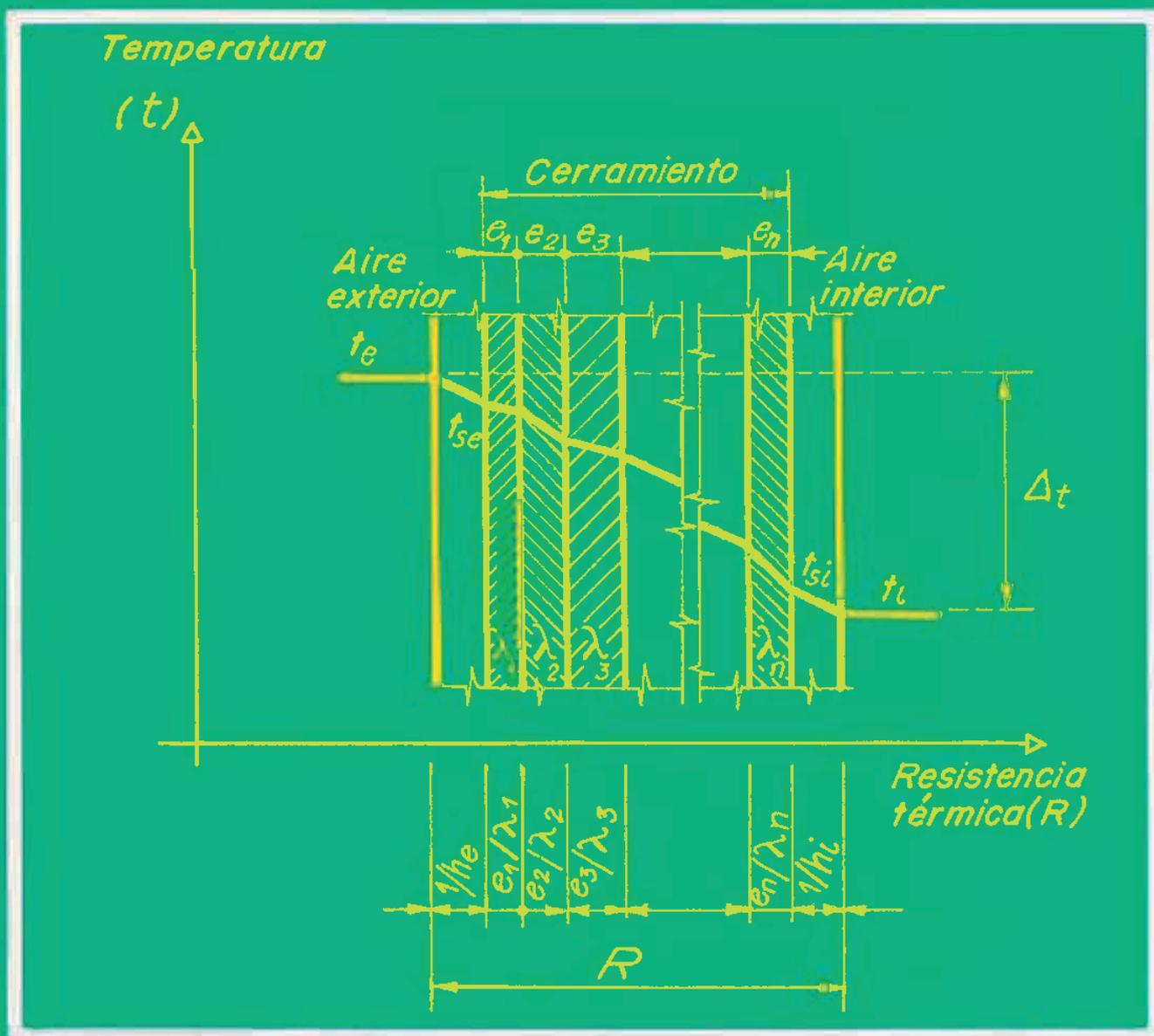


CÁLCULO INFORMATIZADO DE AISLAMIENTOS Y DEL BALANCE TÉRMICO EN INSTALACIONES FRIGORÍFICAS



P. Melgarejo Moreno

F. Artés Calero



A. MADRID VICENTE, EDICIONES

Edita:

A. MADRID VICENTE, EDICIONES
Calle Almansa, 94. 28040 - Madrid (España - Spain)
Telf. 91 - 533 69 26 / Fax 91 - 553 02 86

Imprime:

Novograf, S.A. - Murcia

ISBN: 84-89922-08-X

Dep. Legal: MU-351-1998

©Copyright P. Melgarejo y F. Artés

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este libro.

Abril de 1998

CÁLCULO INFORMATIZADO DE AISLAMIENTOS Y DEL BALANCE TÉRMICO EN INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

Autores:

P. MELGAREJO MORENO

Dr. Ingeniero Agrónomo.

Catedrático de E.U.

Escuela Politécnica Superior

de Orihuela (EPSO). Universidad

Miguel Hernández (UHM)

F. ARTÉS CALERO

Dr. Ingeniero Agrónomo.

Ingénier Frigoriste.

Investigador del CSIC y

Profesor Asociado de la EPSO (UMH)



A. MADRID VICENTE, EDICIONES

Calle Almansa, 94. 28040 - Madrid (España - Spain)

Telf. 91 - 533 69 26 - Fax 91 - 553 02 86

Índice

	<u>Página</u>
1. Introducción	7
2. Programas y procedimientos de cálculo utilizados	9
3. El programa AISLAPE	10
3.1. Fórmulas utilizadas en el cálculo	12
3.2. Ejemplo de cálculo	16
4. El programa AISLAPQ	18
4.1. Fórmulas utilizadas en el cálculo	19
4.2. Ejemplo de cálculo	20
5. El programa AISLATE	22
5.1. Fórmulas utilizadas en el cálculo	23
5.2. Ejemplo de cálculo	25
6. El programa AISLATQ	26
6.1. Fórmulas utilizadas en el cálculo	26
6.2. Ejemplo de cálculo	27
7. Los programas CNFCR , CNFCC y CNFCCC	28
7.1. Ejemplos de cálculo	29
7.1.1. Cálculo de las necesidades frigoríficas de una cámara de refrigeración mediante el programa CNFCR	29
7.1.2. Cálculo de las necesidades frigoríficas de una cámara o de un túnel de congelación mediante el programa CNFCC	33
7.1.3. Cálculo de las necesidades frigoríficas de una cámara de conservación de congelados mediante el programa CNFCR	36
7.2. Estadillos para la introducción de datos	39
7.3. Relación de tablas para rellenar los estadillos de datos que facilitan el uso de los programas informáticos	46
8. Formatos reducidos de algunas tablas de interés	49
9. Ejercicios propuestos	56
10. Bibliografía	61

1. INTRODUCCIÓN

Con este trabajo se pretende introducir al lector en los cálculos prácticos informatizados que con mayor frecuencia se utilizan en los proyectos industriales de instalaciones frigoríficas. En efecto, con los cálculos que se proponen en esta monografía se puede, por un lado, determinar los espesores de aislamiento necesarios para el diseño y construcción de recintos frigoríficos y el aislamiento de tuberías y, por otro, el balance térmico o necesidades frigoríficas de una instalación.

En el texto se abordan sucesivamente los fundamentos teóricos y diversos ejemplos de aplicación de los siguientes cálculos informatizados relativos a la determinación de espesores de aislamiento y de transmisiones térmicas:

- Del espesor de aislante en cerramientos compuestos o simples, fijando el tipo de aislamiento y el flujo máximo de calor permitido a través del cerramiento: Programa AISLAPE.
- Del flujo de calor a través de cerramientos compuestos o simples, fijando el tipo y espesor de aislante: Programa AISLAPQ.
- Del espesor de aislante en tuberías, fijando el tipo de aislamiento y el flujo máximo de calor permitido a través del aislante: Programa AISLATE.
- Del flujo de calor a través del aislamiento en tuberías aisladas, fijando el tipo y espesor de aislamiento: Programa AISLAPQ.

A continuación se abordan los cálculos informatizados relativos a la determinación de los balances frigoríficos en:

- Cámaras de refrigeración: Programa CNFCR.
- Túneles o cámaras de congelación: Programa CNFCC.
- Cámaras de conservación de congelados: Programa CNFCCC.

Para facilitar al proyectista la introducción de datos, así como para reducir los riesgos de errores se ofrecen estadillos específicos para cada uno de los programas propuestos.

Igualmente, se han elaborado una serie de tablas resumidas para recoger los datos necesarios para los diferentes cálculos informatizados, remitiendo al lector a la bibliografía especializada que se ha recopilado para esta finalidad. Particu-

larmente se recomienda al usuario de esta monografía la consulta del libro “Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas”, del que es autor el Dr. Ing. P. Melgarejo, especialmente editado con esta finalidad, ya que los programas informáticos utilizados en el presente trabajo están realizados siguiendo dicho texto.

Por último, se han elaborado una serie de ejercicios que se proponen al lector para que se ejercite en el cálculo.

Los cálculos relativos a las instalaciones que se proponen en este trabajo resultan imprescindibles para determinar las exigencias en potencia eléctrica de cada instalación, así como para el diseño o elección de los equipos frigoríficos idóneos (compresores, motores eléctricos, condensadores, evaporadores, válvulas de expansión, tuberías, etc.).

La introducción de datos se produce en unidades del Sistema Internacional (S.I.), aunque los resultados se ofrecen tanto en el S.I. como en el tradicional de unidades térmicas, lo que puede facilitar al proyectista la elección de los equipos a través de los catálogos comerciales que suelen presentar sus datos en este último sistema de unidades.

Una vez realizados los cálculos citados y diseñados o, en su caso, seleccionados los equipos, el ingeniero proyectista estará en condiciones de efectuar los cálculos presupuestarios del proyecto de la instalación frigorífica correspondiente.

Con los procedimientos de cálculo informatizado se pretende liberar al estudiante interesado en estas materias y al ingeniero proyectista de los cálculos rutinarios o tediosos en algunas ocasiones, permitiéndole así dedicar el máximo tiempo al diseño y optimización de la instalación que proyecta. Asimismo, los procedimientos informatizados eliminan las posibilidades de errores, tanto de cálculo como simplemente mecanográficos que con frecuencia aparecen en muchos proyectos y trabajos.

Los programas informáticos se presentan en un diskette de 1.44 Mb. En éste, cada vez que se ejecuta uno de los programas, se generará un archivo en el subdi-

rectorio denominado RESULTA y cada archivo generado en este subdirectorío tendrá el mismo nombre que el programa que lo generó. La memoria ocupada en el diskette por cada uno de los cálculos realizados es muy pequeña, lo que permitirá almacenar en él gran cantidad de cálculos. Cuando la cantidad de cálculos almacenada pueda resultar inútil o falte capacidad en el diskette, los archivos del subdirectorío RESULTA pueden borrarse, con lo que se dispondrá de nuevo de la capacidad de almacenamiento inicial.

La utilización de los programas informáticos que contiene este manual permiten igualmente la elaboración de los Anexos de Cálculo que la legislación vigente exige en los proyectos de instalaciones frigoríficas.

2. PROGRAMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO UTILIZADOS

Los programas informáticos utilizados para los diferentes cálculos y que a continuación se comentan son: AISLAPE, AISLAPQ, AISLATE, AISLATQ, CNFCR, CNFCC Y CNFCCC.

Todos los programas utilizados presentan algunos aspectos comunes, lo que facilita su utilización, ya que la filosofía de trabajo es la misma para todos ellos. Algunas de las características comunes que presentan son las siguientes:

- Todos ellos requieren la introducción de una clave personal para su funcionamiento.
- Los resultados de los cálculos aparecen en la pantalla del ordenador, lo que permite realizar una primera valoración sobre el cálculo efectuado.
- En los programas para el cálculo de aislamiento, si el espesor de aislante elegido no es suficiente y existe la posibilidad de que se produzcan condensaciones, se produce un mensaje de alarma que informa al proyectista sobre este riesgo.
- Si el usuario lo desea, los resultados pueden obtenerse impresos inmediatamente.

- La primera vez que se realiza un cálculo en cualquiera de los programas, se genera un archivo con el mismo nombre del programa en un subdirectorío denominado RESULTA. En los sucesivos cálculos realizados, los resultados se almacenan uno tras otro en el mismo archivo, indicándonos la hora y fecha en que se realizó el cálculo, la referencia del proyecto y el nombre que se le asignó. Esta forma de archivar los resultados de los distintos cálculos permite recuperar la información en cualquier momento de una manera sencilla y rápida.
- Los resultados de cálculo pueden personalizarse en un procesador de textos como el Word, seleccionando al traducir el archivo la opción “Texto MS-DOS” o bien “Texto MS-DOS con diseño”, lo que permitirá personalizar el documento o documentos obtenidos con el fin de su incorporación al estudio o proyecto correspondiente.
- Se dispone de estadillos de datos particularizados para cada programa. Antes de realizar la introducción de datos en el ordenador conviene rellenarlos, con lo que se reducirá el tiempo de introducción y disminuirán las posibilidades de introducir datos erróneos.

Como obra de consulta para algunos aspectos que puedan no estar suficientemente aclarados en este trabajo, se recomienda, por ser específica para este tipo de problemas, la ya reseñada “Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas” (Melgarejo, 1995), cuya referencia completa aparece en el capítulo dedicado a la bibliografía.

3. EL PROGRAMA AISLAPE

A partir de los datos de diseño introducidos, el programa AISLAPE permite calcular el **espesor de aislante tanto en cerramientos compuestos como en cerramientos simples, fijando el flujo de calor máximo permitido a través del cerramiento.**

Tras la introducción de los datos para el cálculo, el programa muestra inmediatamente en pantalla los resultados, separando las BASES DE CÁLCULO de los RESULTADOS DE CÁLCULO. El resultado tendrá el siguiente formato:

Referencia del Proyecto:

Fecha: mes-día-año

hora:minutos:segundos

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE (e) FIJADO EL FLUJO MÁXIMO DE CALOR EN CERRAMIENTOS COMPUESTOS:

1. BASES DE CÁLCULO

Capa:

– Espesor (m):

– Conductividad térmica del material (W/mK):

Nombre del cerramiento:

Nombre del aislante utilizado:

Coefficiente de conductividad térmica del aislante, λ (W/mK):

Temperatura exterior: $t_e =$ K= °C.

Temperatura interior: $t_i =$ K= °C.

Humedad relativa exterior (en tanto por uno):

Humedad relativa interior (en tanto por uno):

Coefficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m²K):

Coefficiente superficial interior, h_i (W/m²K):

Flujo de calor máximo permitido a través del cerramiento, Q (W/m²):

2. RESULTADOS DE CÁLCULO

Espesor de aislamiento: e (m):

Coefficiente global de transmisión de calor: K (W/m²K) y (Kcal/h m² °C):

Resistencia térmica global del cerramiento (m²K/W) y (hm² °C/Kcal):

Temperatura superficial exterior: t_{se} (K) y (°C):

Temperatura superficial interior: t_{si} (K) y (°C):

Temperatura de rocío: t_r (K) y (°C):

Si no hay condensaciones aparecerá el siguiente mensaje parpadeante:

Como la temperatura superficial exterior es mayor que la temperatura de rocío, no habrá condensaciones en el exterior del cerramiento.

Si hay condensaciones aparecerá el siguiente mensaje parpadeante:

Habrà condensaciones, ya que la temperatura exterior del cerramiento es inferior a la temperatura de rocío.

Para obtener estos resultados, el programa calcula, tanto para las condiciones exteriores como interiores del recinto frigorífico, la presión de vapor de saturación, la humedad absoluta de saturación, el volumen específico del aire y la entalpía del aire.

3.1. FÓRMULAS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO

Por cada metro cuadrado de cerramiento pasa una cantidad de calor, Q , tal que:

$Q = K (t_e - t_i)$, donde K es el coeficiente global de transmisión de calor (W/m^2K):

$$K = \frac{Q}{(t_e - t_i)}$$

Se denomina resistencia térmica global del cerramiento, R (m^2K/W):

$$R = \frac{1}{K} = \left[\left(\frac{1}{h_i} \right) + \sum \left(\frac{e_i}{\lambda_i} \right) + \left(\frac{1}{h_e} \right) \right]$$

Considerando que el cerramiento está constituido por un conjunto de capas superpuestas de distintos materiales, se puede calcular el espesor de aislante, e (m) como sigue:

$$e = \left\{ \left(\frac{t_e - t_i}{Q} \right) - \left[\left(\frac{1}{h_i} \right) + \left(\frac{1}{h_e} \right) + \sum^0 \left(\frac{e_j}{\lambda_j} \right) \right] \right\} \lambda$$

\sum^0 = Sumatorio extendido a todas las capas que constituyen el cerramiento, excepto la de aislante.

Cálculo de la temperatura superficial exterior, t_{se} (°C):

$$t_{se} = t_e - \frac{(t_e - t_i)}{Rh_e}$$

Cálculo de la temperatura superficial interior, t_{si} (°C):

$$t_{si} = t_i + \frac{(t_e - t_i)}{Rh_i}$$

donde,

K : Coeficiente global de transmisión de calor (W/m²K).

R : Resistencia térmica global del cerramiento (m²K/W).

Q : Flujo de calor (W/m²).

t_e : Temperatura del aire exterior (°C).

t_i : Temperatura del aire interior (°C).

h_e : Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior (W/m²K).

h_i : Coeficiente superficial de transmisión de calor interior (W/m²K).

e_j : Espesor de aislamiento de la capa j (m).

λ_j : Conductividad térmica de la capa j (W/mK).

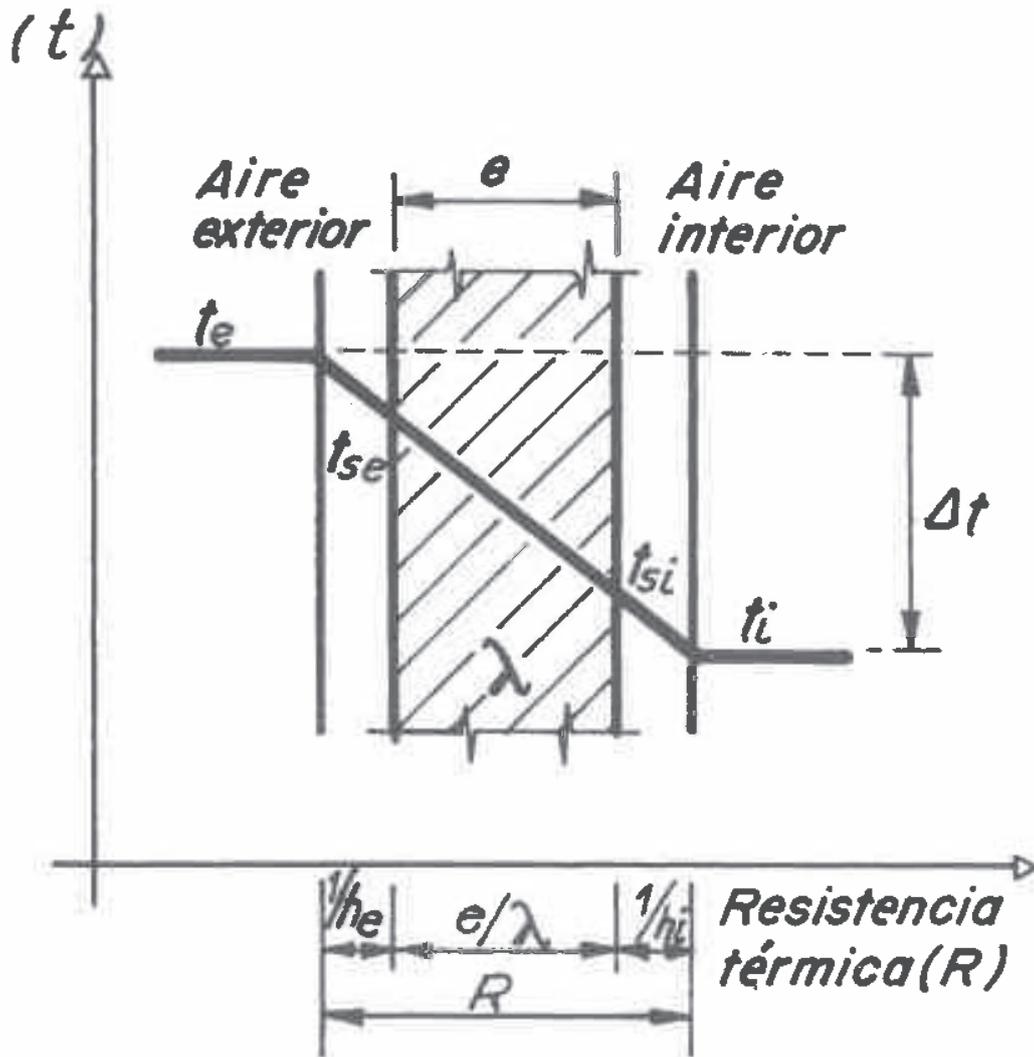
λ : Conductividad térmica del material aislante (W/mK).

t_{se} : Temperatura superficial exterior (°C).

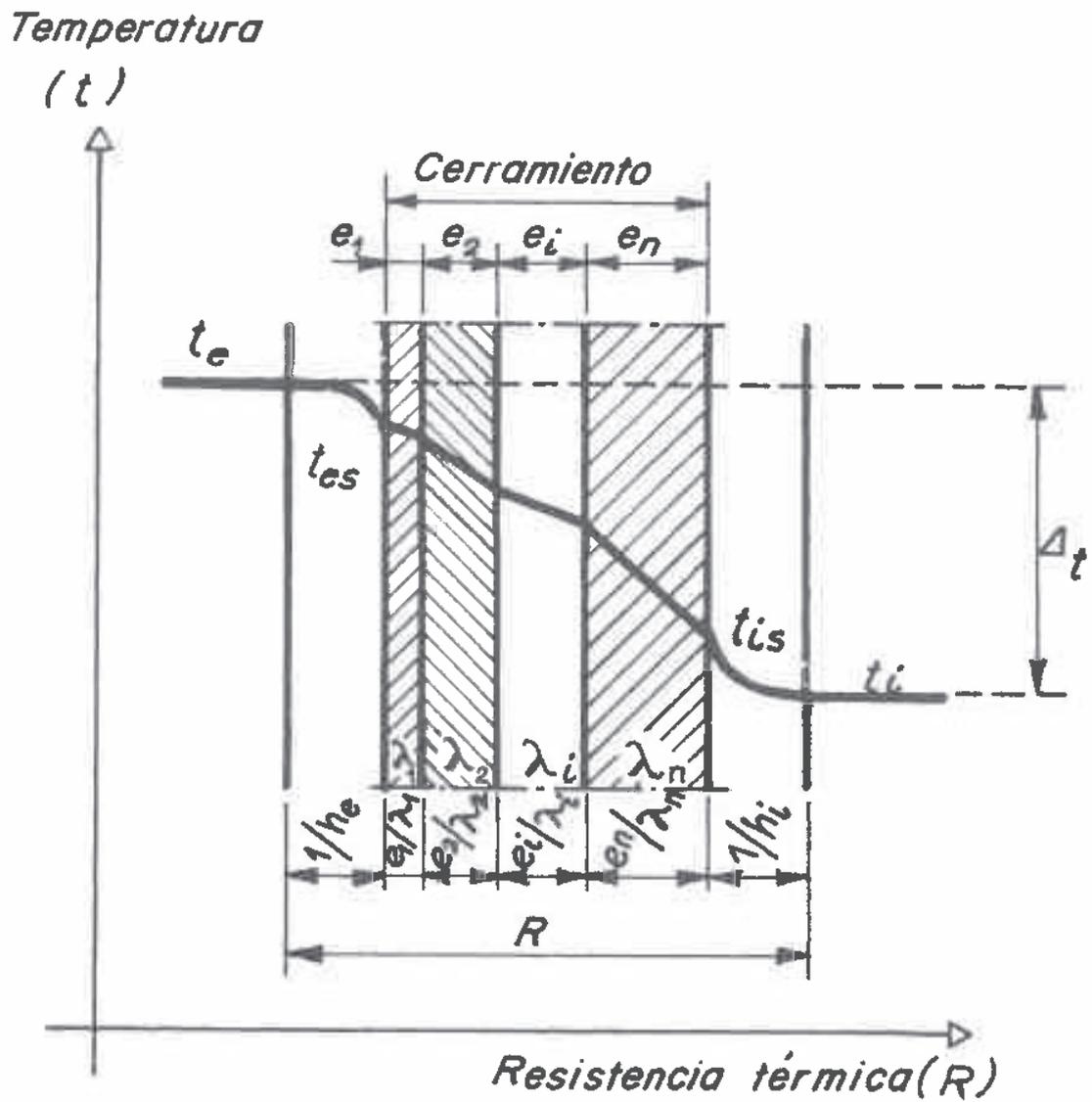
t_{si} : Temperatura superficial interior (°C).

No se expone el procedimiento de cálculo de la temperatura de rocío, ya que ésta es calculada por el programa informático y, por otro lado, su cálculo puede realizarse a través del ábaco psicrométrico para el aire húmedo de Mollier o bien puede consultarse en el referido libro de Melgarejo (1995).

Temperatura



Variación de la temperatura, en un cerramiento simple, según la resistencia térmica que ofrece el material que constituye el cerramiento.



Variación de la temperatura, en un cerramiento compuesto, según la resistencia térmica que ofrece cada una de las capas que constituyen el cerramiento.

3.2. EJEMPLO DE CÁLCULO

Calcular el espesor de aislante en la pared norte de una cámara de refrigeración, fijando un flujo de calor máximo a través del cerramiento de 7.0 W/m^2 . El cerramiento está compuesto por cinco capas de espesores y conductividades térmicas diferentes, además de por la capa de aislamiento propiamente dicha. Las capas indicadas y sus características son:

Capa 1: Mortero de cemento de 0.02 m de espesor y $\lambda_1 = 1.40 \text{ W/mK}$.

Capa 2: Fábrica de bloques H-40 de 0.2 m de espesor y $\lambda_2 = 0.56 \text{ W/mK}$.

Capa 3: Mortero de cemento de 0.02 m de espesor y $\lambda_3 = 1.40 \text{ W/mK}$.

Capa 4: Lámina bituminosa de 0.005 m de espesor y $\lambda_4 = 0.19 \text{ W/mK}$.

Capa 5: Lámina de aluminio unida a la lámina bituminosa de 0.0002 m de espesor y $\lambda_5 = 2.04 \text{ W/mK}$.

Las capas 4 y 5 constituyen la barrera antivapor.

Capa 6: AISLAMIENTO. Capa de espuma de poliuretano expandido de 40 Kg/m^3 y $\lambda = 0.02326 \text{ W/mK}$.

Las temperaturas exterior e interior son, respectivamente, 36 y $0 \text{ }^\circ\text{C}$, los coeficientes superficiales de transmisión de calor valen: $h_e: 31.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $h_i: 19.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Las humedades exterior e interior son, respectivamente, 0.65 y 0.95 (en tanto por uno).

Tras introducir los datos indicados en el programa AISLAPE, se obtienen los siguientes **resultados**:

Referencia del Proyecto: Proyecto de instalación frigorífica para fruta de pepita en Jumilla (Murcia).

Fecha: mes-día-año:12-25-1997

hora:minutos:segundos:21:49:22

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE (e) FIJADO EL FLUJO MÁXIMO DE CALOR EN CERRAMIENTOS COMPUESTOS:

1. BASES DE CÁLCULO

Capa: 1

- Espesor (m): 0.02
- Conductividad térmica del material (W/m K): 1.4

Capa: 2

- Espesor (m): 0.2
- Conductividad térmica del material (W/m K): 0.56

Capa: 3

- Espesor (m): 0.02
- Conductividad térmica del material (W/m K): 1.4

Capa: 4

- Espesor (m): 0.005
- Conductividad térmica del material (W/m K): 0.19

Capa: 5

- Espesor (m): 0.0002
- Conductividad térmica del material (W/m K): 2.04

Nombre del cerramiento: Pared norte de la cámara de refrigeración.

Aislante utilizado: Espuma de poliuretano.

Coefficiente de conductividad térmica del aislante, λ (W/m K): 0.02326.

Temperatura exterior: $t_e = 309.15$ K = 36 °C.

Temperatura interior: $t_i = 273.15$ K = 0 °C.

Humedad relativa exterior (en tanto por uno): 0.65.

Humedad relativa interior (en tanto por uno): 0.95.

Coefficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m² K): 31.3.

Coefficiente superficial interior, h_i (W/m² K): 19.6.

Flujo de calor máximo permitido a través del cerramiento, Q (W/m²): 7.0.

2. RESULTADOS DE CÁLCULO

Espesor de aislamiento: $e = 0.108$ m.

Coefficiente global de transmisión de calor: $K = 0.194$ W/m²K = 0.167 Kcal/m² °C.

Resistencia térmica global del cerramiento: $R = 5.142$ m²K/W = 5.981 hm² °C/Kcal.

Temperatura superficial exterior: $t_{se} = 308.926 \text{ K} = 35.776 \text{ }^\circ\text{C}$.

Temperatura superficial interior: $t_{si} = 273.507 \text{ K} = 0.357 \text{ }^\circ\text{C}$.

Temperatura de rocío: $t_r = 301.875 \text{ K} = 28.725 \text{ }^\circ\text{C}$.

Como la temperatura superficial exterior es mayor que la temperatura de rocío, no habrá condensaciones en el exterior del cerramiento.

El cálculo del espesor de aislantes en cerramientos simples, es decir compuestos por una sola capa de material aislante, se realiza siguiendo el mismo procedimiento expuesto para cerramientos compuestos. Así, por ejemplo, si se trata de un cerramiento de paneles aislantes, dado que éstos suelen estar formados por dos láminas muy delgadas de acero u otro material y por una capa de aislante, el número de capas a considerar excluyendo la del aislante es 2; sin embargo, en la práctica se suele despreciar su existencia, tomando por tanto un número de capas igual a cero.

Esta misma forma de operar suele adoptarse cuando el cerramiento está compuesto por distintas capas de materiales de fábrica y morteros aglomerantes, ya que con el tiempo estos materiales se humedecen y, en consecuencia, se produce un aumento de su conductividad térmica.

4. EL PROGRAMA AISLAPQ

El programa AISLAPQ, a partir de los datos de diseño introducidos, permite calcular el **flujo de calor tanto en cerramientos compuestos como en cerramientos simples, fijando el tipo y espesor de aislante.**

Tras la introducción de los datos para el cálculo, el programa muestra inmediatamente en pantalla los resultados, separando las BASES DE CÁLCULO de los RESULTADOS DE CÁLCULO.

4.1. FÓRMULAS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor, K (W/m² K):

$$K = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{h_i} \right) + \sum \left(\frac{e_i}{\lambda_i} \right) + \left(\frac{1}{h_e} \right) \right]}$$

Cálculo del flujo de calor (por cada m²), Q (W/m²):

$$Q = K (t_e - t_i)$$

Cálculo de la resistencia térmica global del cerramiento, R (m²K/W):

$$R = \frac{1}{K}$$

Cálculo de la temperatura superficial exterior, t_{se} (°C):

$$t_{se} = t_e - \frac{(t_e - t_i)}{Rh_e}$$

Cálculo de la temperatura superficial interior, t_{si} (°C):

$$t_{si} = t_i + \frac{(t_e - t_i)}{Rh_i}$$

donde,

t_e: Temperatura del aire exterior (°C).

t_i: Temperatura del aire interior (°C).

h_e : Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior (W/m²K).

h_i : Coeficiente superficial de transmisión de calor interior (W/m²K).

e_i : Espesor del material de la capa i (m).

λ_i : Conductividad térmica del material de la capa i (W/mK).

e_i/λ_i : Resistencia térmica interna de cada una de las capas que constituyen el cerramiento.

t_{se} : Temperatura superficial exterior (°C).

t_{si} : Temperatura superficial interior (°C).

No se expone el procedimiento de cálculo de la temperatura de rocío, ya que ésta es calculada por el programa informático y, por otro lado, su cálculo puede realizarse a través del ábaco psicrométrico para el aire húmedo de Mollier o bien puede consultarse en la bibliografía.

El formato del programa es similar al expuesto para AISLAPE y el procedimiento detallado de cálculo puede consultarse en la bibliografía (Melgarejo, 1995), por lo que se obviará su exposición. A continuación, se expone un ejemplo de cálculo para su resolución mediante el programa informático indicado.

4.2. EJEMPLO DE CÁLCULO

Calcular el flujo de calor en un cerramiento compuesto, fijando el tipo y espesor de aislamiento y conociendo los espesores y conductividades térmicas de las distintas capas, que se exponen a continuación:

Capa 1: Mortero de cemento de 0.02 m de espesor y $\lambda_1 = 1.40$ W/mK.

Capa 2: Fábrica de bloques H-40 de 0.2 m de espesor y $\lambda_2 = 0.56$ W/mK.

Capa 3: Mortero de cemento de 0.02 m de espesor y $\lambda_3 = 1.40$ W/mK.

Capa 4: Lámina bituminosa de 0.005 m de espesor y $\lambda_4 = 0.19$ W/mK.

Capa 5. Lámina de aluminio unida a la lámina bituminosa de 0.0002 m de espesor y $\lambda_5 = 2.04$ W/mK.

Las capas 4 y 5 constituyen la barrera antivapor.

Capa 6: AISLAMIENTO. Capa de espuma de poliuretano expandido de 40 Kg/m³, de espesor 0.1 m y $\lambda = 0.02326$ W/mK.

Las temperaturas exterior e interior son, respectivamente, 36 y 0 °C, siendo los coeficientes superficiales de transmisión de calor por convección-radiación, en la cara exterior, h_e : 31'3 W/m²K y en la cara interior h_i : 19'6 W/m²K.

Las humedades relativas exterior e interior son, respectivamente, 0.65 y 0.95 (en tanto por uno).

Tras introducir los datos indicados en el programa AISLAPQ, se obtienen los siguientes **resultados**:

Referencia del Proyecto: Proyecto de instalación frigorífica para conservación de fruta de pepita en Jumilla (Murcia).

Fecha: mes-día- año:02-12-1998 hora:minutos:segundos:22:09:37

CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR (Q) A TRAVÉS DE UN CERRAMIENTO:

1. BASES DE CÁLCULO

Capa: 1

- Espesor (m): 0.02
- Conductividad térmica del material (W/m K): 1.4

Capa: 2

- Espesor (m): 0.2
- Conductividad térmica del material (W/m K): 0.56

Capa: 3

- Espesor (m): 0.02
- Conductividad térmica del material (W/m K): 1.4

Capa: 4

- Espesor (m): 0.005
- Conductividad térmica del material (W/m K): 0.19

Capa: 5

- Espesor (m): 0.0002
- Conductividad térmica del material (W/m K): 2.04

Capa: 6

– Espesor (m): 0.1

– Conductividad térmica del material (W/m K): 0.02326

Nombre del cerramiento: Pared norte de la cámara de refrigeración.

Temperatura exterior del recinto, t_e (°C): 35

Temperatura interior del recinto, t_i (°C): 0

Humedad relativa exterior (en tanto por uno): 0.65

Humedad relativa interior (en tanto por uno): 0.95

Coefficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m² K): 31.3

Coefficiente superficial interior, h_i (W/m² K): 19.6

2. RESULTADOS DE CÁLCULO

Flujo de calor: $Q = 7.508 \text{ W/m}^2 = 6.457 \text{ Kcal/hm}^2$.

Coefficiente global de transmisión de calor: $K = 0.208 \text{ W/m}^2\text{K} = 0.179 \text{ Kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Resistencia térmica global del cerramiento: $R = 4.794 \text{ m}^2\text{K/W} = 5.575 \text{ hm}^2 \text{ }^\circ\text{C/Kcal}$.

Temperatura superficial exterior: $t_{se} = 307.916 \text{ K} = 34.760 \text{ }^\circ\text{C}$.

Temperatura superficial interior: $t_{si} = 273.533 \text{ K} = 0.383 \text{ }^\circ\text{C}$.

Temperatura de rocío: $t_r = 301.875 \text{ K} = 28.725 \text{ }^\circ\text{C}$.

Como la temperatura superficial exterior es mayor que la temperatura de rocío, no habrá condensaciones en el exterior del cerramiento.

5. EL PROGRAMA AISLATE

El programa AISLATE, a partir de los datos de diseño introducidos, permite calcular el **espesor de aislante en tuberías, fijando el flujo de calor máximo permitido a través del aislante.**

Tras la introducción de los datos para el cálculo, el programa nos muestra inmediatamente en pantalla los resultados, separando las BASES DE CÁLCULO de los RESULTADOS DE CÁLCULO.

El formato del programa es similar al expuesto para AISLAPE y el procedimiento de cálculo puede consultarse en Melgarejo (1995).

5.1. FÓRMULAS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO

El flujo de calor a través de una tubería aislada, q (W/mK), puede expresarse como:

$$q = \frac{(t_e - t_i)}{\frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{h_i r_1} + \frac{1}{\lambda} + \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{h_e r_2} \right]} = \frac{(t_e - t_i)}{R}$$

de donde:

$$\frac{(t_e - t_i)}{q} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{h_i r_1} + \frac{1}{\lambda} + \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{h_e r_2} \right]$$

En esta expresión podremos calcular el espesor de aislante teniendo en cuenta que:

\ln : Logaritmo neperiano. $\ln = 2.3$ logaritmo decimal.

q = Flujo de calor (W/m de longitud) o (Kcal/hm de longitud)

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W/mK) o (Kcal/hm^oC).

$t_e - t_i$ = Temperaturas de la cara interior y exterior, respectivamente ($\Delta t = t_e - t_i$).

r_1 = Radio exterior de la tubería (m).

e = Espesor de aislamiento (m).

r_2 = Radio exterior de la tubería (m) + aislamiento(m). $r_2 = r_1 + e$.

h_i = Coeficiente superficial de transmisión interior (W/m²K) o (Kcal/hm² °C).

h_e = Coeficiente superficial de transmisión exterior (W/m²K) o (Kcal/hm² °C).

Para calcular el espesor será preciso realizar las iteraciones necesarias. Para la resolución de este problema suelen utilizarse métodos de aproximaciones sucesivas como el de Newton y métodos gráficos.

Cálculo de la resistencia térmica ($m^{\circ}C/W$):

$$R = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{h_i r_1} + \frac{1}{\lambda} + \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{h_e r_2} \right]$$

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor, K ($W/m^{\circ}C$):

$$K = \frac{1}{R}$$

Cálculo de la temperatura superficial exterior, t_{se} ($^{\circ}C$):

$$t_{se} = t_e - \frac{(t_e - t_i)}{2\pi R h_e r_2}$$

donde,

K : Coeficiente global de transmisión de calor (W/mK).

R : Resistencia térmica global del cerramiento (mK/W) o ($m^{\circ}Ch/Kcal$).

t_e : Temperatura del aire exterior ($^{\circ}C$).

t_i : Temperatura del aire interior ($^{\circ}C$).

t_{se} : Temperatura superficial exterior ($^{\circ}C$).

h_e : Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior (W/m^2K).

h_i : Coeficiente superficial de transmisión de calor interior (W/m^2K).

No se expone el procedimiento de cálculo de la temperatura de rocío, ya que ésta es calculada por el programa informático y, por otro lado, su cálculo puede

realizarse a través del ábaco psicrométrico para el aire húmedo de Mollier o bien puede consultarse en la bibliografía.

5.2. EJEMPLO DE CÁLCULO

Calcular el espesor de aislante necesario a utilizar para aislar una tubería de cobre de radio exterior 0'045 m, fijando un flujo de calor máximo a través del aislamiento de 15 W/m. El aislante utilizado es coquilla elastomérica, cuyo coeficiente de conductividad térmica es $\lambda = 0'03489$ W/mK.

Las temperaturas exterior e interior son, respectivamente, 20 y 5°C.

La humedad relativa exterior es del 68%.

Los coeficientes superficiales de transmisión de calor por convección-radiación exterior e interior son, respectivamente, $h_e=10'23$ y $h_i= 872$ W/m²K.

Calcular también la temperatura superficial exterior (t_{se}) y la temperatura de rocío (t_r).

RESULTADO:

Referencia del Proyecto: Proyecto de instalación frigorífica en Jumilla (Murcia).

Fecha: mes-día-año:12-26-1997

hora:minutos:segundos:23:05:27

CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE EN TUBERÍAS, FIJANDO EL FLUJO DE CALOR (q):

1. BASES DE CÁLCULO.

Nombre de la tubería: t1.

Aislante utilizado: Coquilla elastomérica.

Temperatura exterior: $t_e = 293.15$ K = 20 °C.

Temperatura interior: $t_i = 278.15$ K = 5 °C.

Humedad relativa exterior: $H_{re} = 68$ % .

Flujo de calor a través del aislante: $q = 15$ W/m.

2. RESULTADOS DE CÁLCULO.

Espesor de aislante: $e = 7.460019E-03$ m.

Coefficiente global de transmisión de calor: $K = 0.999$ W/mK = 0.859 Kcal/m°C.

Resistencia térmica global del cerramiento: $R = 1.000$ mK/W = 1.163 hm°C/Kcal.

Temperatura superficial exterior: $t_{se} = 288.703$ K = 15.553 °C.

Temperatura de rocío: $t_r = 287.181$ K = 14.031 °C.

Como la temperatura superficial exterior es mayor que la temperatura de rocío, no habrá condensaciones en el exterior del cerramiento.

6. EL PROGRAMA AISLATQ

El programa AISLATQ, a partir de los datos de diseño introducidos, permite calcular el flujo de calor en tuberías aisladas, fijando el espesor y tipo de aislante.

Tras la introducción de los datos para el cálculo, el programa nos muestra inmediatamente en pantalla los resultados, separando las BASES DE CÁLCULO de los RESULTADOS DE CÁLCULO.

El formato del programa es similar al expuesto para AISLAPE y que el procedimiento de cálculo puede consultarse en la bibliografía (Melgarejo, 1995).

6.1. FÓRMULAS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de q , R , K y t_{se} , ya han sido expuestas en el apartado 5.1.

No se expone el procedimiento de cálculo de la temperatura de rocío, ya que ésta es calculada por el programa informático y, por otro lado, su cálculo puede rea-

lizarse a través del ábaco psicrométrico para el aire húmedo de Mollier o bien puede consultarse en la bibliografía (Melgarejo, 1995).

6.2. EJEMPLO DE CÁLCULO

Calcular el flujo de calor a través de una tubería de cobre de radio exterior 0'045 m, aislada con 0'007 m de coquilla elastomérica, cuyo coeficiente de conductividad térmica es $\lambda = 0'03489 \text{ W/mK}$.

Las temperaturas exterior e interior son, respectivamente, 20 y 5°C.

La humedad relativa exterior es del 68%.

Los coeficientes superficiales de transmisión de calor exterior e interior son, respectivamente, $h_e=10'23$ y $h_i=872 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Calcular también la temperatura superficial exterior (t_{se}) y la temperatura de rocío (t_p).

RESULTADOS:

Referencia del Proyecto: Proyecto de instalación frigorífica en Jumilla (Murcia).

Fecha: mes-día-año:12-26-1997

hora:minutos:segundos:23:52:25

CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR (q) A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA AISLADA:

1. BASES DE CÁLCULO

Nombre de la tubería: t2

Aislante utilizado: Espuma elastomérica.

Temperatura exterior: $t_e = 93.15 \text{ K} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Temperatura interior: $t_i = 278.15 \text{ K} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Humedad relativa exterior: $H_{re} = 68 \text{ } \%$.

2. RESULTADOS DE CÁLCULO

Coeficiente global de transmisión de calor: $K = 1.038 \text{ W/mK} = 0.893 \text{ Kcal/m}^\circ\text{C}$.

Resistencia térmica global del cerramiento: $R = 0.962 \text{ mK/W} = 1.119 \text{ hm}^\circ\text{C/Kcal}$.

Flujo de calor: $q = 15.580 \text{ W/m} = 13.398 \text{ Kcal/hm}$.

Temperatura superficial exterior: $t_{se} = 288.488 \text{ K} = 15.338 \text{ }^\circ\text{C}$.

Temperatura de rocío: $t_r = 287.181 \text{ K} = 14.031 \text{ }^\circ\text{C}$.

Como la temperatura superficial exterior es mayor que la temperatura de rocío, no habrá condensaciones en el exterior del cerramiento.

7. LOS PROGRAMAS CNFCR, CNFCC Y CNFCCC

El programa **CNFCR**, a partir de los datos de diseño introducidos, permite calcular **las necesidades frigoríficas de una cámara o recinto frigorífico de refrigeración.**

El programa **CNFCC** permite calcular **las necesidades frigoríficas de una cámara de congelación.**

El programa **CNFCCC** permite calcular **las necesidades frigoríficas de una cámara de conservación de congelados.**

Tras la introducción de los datos para el cálculo, estos programas nos muestran inmediatamente en pantalla los resultados, separando las **CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA Y DEL PRODUCTO** del **CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS (BALANCE DIARIO)**.

Dado que el formato del programa es similar al expuesto para AISLAPE y que el procedimiento de cálculo puede consultarse en Melgarejo (1995), obviaremos su exposición y se expondrán a continuación diversos ejemplos de cálculo para su resolución mediante el programa informático correspondiente.

7.1. EJEMPLOS DE CÁLCULO

7.1.1. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS DE UNA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA CNFCR.

Calcular las necesidades frigoríficas de una cámara de refrigeración, cuyas características se exponen a continuación:

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN

Nombre de la cámara	C. REF-1
Producto que contiene	Limones
Longitud exterior de la cámara(m)	20.18
Longitud interior de la cámara(m)	20.00
Anchura exterior de la cámara(m)	20.18
Anchura interior de la cámara(m)	20.00
Altura exterior de la cámara(m)	8.67
Altura interior de la cámara(m)	8.50
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	0.60
Humedad relativa interior (tanto por uno)	0.95
Entrada diaria prevista (Kg/día)	20000
Densidad de estiba (t/m ³)	0.3
Temperatura de entrada del producto (°C)	22
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	12
Temperatura exterior (°C)	36
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	9.0
Calor específico del producto, C1 (KJ/Kg°C): 1 Kcal=4'1868 KJ	3.85
Calor de respiración del producto, CR (KJ/t día):1 Kcal=4'1868 KJ	2512
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	42
Número de renovaciones de aire por día:	
-Técnicas	1
-Equivalentes	2
Número de personas en la cámara	1
-Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ	600
-Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	2
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW)	1
-Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	2
Coeficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	0.10
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	18

Los **resultados** que se obtienen tras la introducción de datos en el ordenador son:

Referencia del Proyecto: Proyecto de Central Hortofrutícola en Almoradí (Alicante).

Fecha: mes-día-año: 12-28-1997.

hora:minutos:segundos: 16:50:54.

CÁMARA DE REFRIGERACIÓN

1. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA Y DEL PRODUCTO

Superficie interior: 400 m².

Superficie de transmisión: 1497.107 m².

Volumen interior: 20 x 20 x 8.5 = 3400 m³.

Humedad exterior: 60 %.

Humedad de la cámara: 95 %.

Entrada prevista: 20000 Kg/día.

Temperatura exterior: 36 °C.

Temperatura interior o de régimen: 12 °C.

Temperatura de entrada del producto: 22 °C.

Pérdidas máximas permitidas por transmisión: 9.0 W/m².

Calor desprendido por los ventiladores: 42 KJ/m³día.

Número de renovaciones de aire por día: 3.

Número de personas en la cámara: 1.

Calor emitido por cada persona en la cámara: 600 KJ/h.

Número de horas que cada persona permanece en la cámara: 2 h/día.

Potencia de las luminarias instaladas en la cámara: 1 KW.

Número de horas de funcionamiento de las luminarias: 2 h/día.

Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio: .1.

Número de horas de funcionamiento del compresor: 18 h/día.

Producto que contiene: limones.

Calor específico del producto, C1: 3.85 KJ/Kg°C.

Calor de respiración del producto, CR: 2512 KJ/t día.

2. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS (BALANCE DIARIO)

2.1. Pérdidas por transmisión.

$$Q1 = Q \times S \times 24 \times 3.6 = 1165150 \text{ KJ/día.}$$

2.2. Necesidades por enfriamiento y/o congelación.

Enfriamiento: $Q_{21} = KG \times C1 \times (TEP - TCON) = 770000 \text{ KJ/día.}$

Congelación: $Q_{22} = KG \times C2 = 0 \text{ KJ/día.}$

Enfriamiento tras la congelación: $Q_{23} = KG \times C3 \times (TCON - TI) = 0 \text{ KJ/día.}$

Necesidades totales: $Q_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} = 770000 \text{ KJ/día.}$

2.3. Necesidades por calor desprendido por el producto.

$$Q_3 = N \times CR = 2562240 \text{ KJ/día.}$$

2.4. Necesidades por renovación del aire.

$$Q_4 = VOL \times DI \times DM \times N1 = 741872.6 \text{ KJ/día.}$$

2.5. Calor desprendido por los ventiladores de los evaporadores.

$$Q_5 = VOL \times CDV = 142800 \text{ KJ/día.}$$

2.6. Necesidades por calor desprendido por personas.

$$Q_6 = NP \times CP \times HP = 1200 \text{ KJ/día.}$$

2.7. Necesidades por iluminación.

$$Q_7 = 3600.648 \times P \times H = 7201.296 \text{ KJ/día.}$$

2.8. Necesidades por servicio.

$$Q_8 = Z \times (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 449639 \text{ KJ/día.}$$

2.9. Necesidades totales (NT) y carga térmica horaria (QTH).

$$NT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = 5839104 \text{ KJ/día.}$$

Carga térmica horaria:

$$QTH = NT / NH = 327344.7 \text{ KJ/h} = 78235.38 \text{ Kcal/h} = 90167.76 \text{ W.}$$

7.1.2. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS DE UN TÚNEL DE CONGELACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA CNFCC.

Calcular las necesidades frigoríficas de una cámara de congelación cuyas características se exponen a continuación:

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE TÚNELES/CÁMARAS DE CONGELACIÓN	
Nombre de la cámara	CC-1
Producto que contiene	Judías verdes
Longitud exterior de la cámara(m)	7.6
Longitud interior de la cámara(m)	7.24
Anchura exterior de la cámara(m)	6.3
Anchura interior de la cámara(m)	5.94
Altura exterior de la cámara(m)	4.65
Altura interior de la cámara(m)	4.33
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	0.50
Humedad relativa interior (tanto por uno)	0.90
Entrada diaria prevista (Kg/día)	72000
Temperatura de entrada del producto (°C)	20
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	-25
Temperatura exterior (°C)	36
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	7.0
Calor específico del producto, C1 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	3.85
Calor latente de congelación del producto, C2 (KJ/Kg): 1 Kcal=4'1868 KJ	297.0
Calor específico del producto congelado, C3 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	1.96
Temperatura de congelación del producto (°C)	-1
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	210
Número de renovaciones de aire por día:	
- Técnicas	0
- Equivalentes	10
Número de personas en la cámara	0
- Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ	1516
- Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	0
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW)	0.6
- Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	0.3
Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	0.15
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	4

Los **resultados** de cálculo obtenidos son:

Referencia del Proyecto: Proyecto de instalación frigorífica en Bigastro (Alicante).

Fecha: mes-día-año: 12-28-1997

hora:minutos:segundos: 17:36:56

CÁMARA DE CONGELACIÓN: CC-1

1. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA Y DEL PRODUCTO

Superficie interior: 43.00 m².

Superficie de transmisión: 212.41 m².

Volumen interior: 7.24 x 5.94 x 4.33 = 186.21 m³.

Humedad exterior: 50 %.

Humedad de la cámara: 90 %.

Entrada prevista: 72000 Kg/día.

Temperatura exterior: 36 °C.

Temperatura interior o de régimen: -25 °C.

Temperatura de entrada del producto: 20 °C.

Pérdidas máximas por transmisión de calor, Q: 7.0 W/m².

Potencia de las luminarias de la cámara: 0.6 KW.

Horas de funcionamiento de las luminarias: 0.3 h/día.

Número de personas que entran en la cámara: 0.

Número de horas que cada persona permanece en la cámara: 0 h/día.

Número total de renovaciones de aire/día: 10.

Calor específico del producto, C1: 3.85 KJ/Kg°C.

Calor latente de congelación del producto congelado, C2: 297 KJ/Kg.

Calor latente del producto congelado, C3: 1.96 KJ/Kg°C.

Número de horas de funcionamiento del compresor: 4 h/día.

2. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS (BALANCE DIARIO)

2.1. Pérdidas por transmisión.

$$Q1 = Q \times S \times 24 \times 3.6 = 128465.6 \text{ KJ/día.}$$

2.2. Necesidades por enfriamiento y/o congelación.

Enfriamiento: $Q_{21} = KG \times C_1 \times (T_{EP} - T_{CON}) = 5821200 \text{ KJ/día.}$

Congelación: $Q_{22} = KG \times C_2 = 2.1384E+07 \text{ KJ/día.}$

Enfriamiento tras la congelación: $Q_{23} = KG \times C_3 \times (T_{CON} - T_I) = 3386880 \text{ KJ/día.}$

Necesidades totales: $Q_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} = 3.059208E+07 \text{ KJ/día.}$

2.3. Necesidades por calor desprendido por el producto.

$Q_3 = N \times CR = 0 \text{ KJ/día.}$

2.4. Necesidades por renovación del aire.

$Q_4 = VOL \times DI \times DM \times N_1 = 254307.1 \text{ KJ/día.}$

2.5. Calor desprendido por los ventiladores de los evaporadores.

$Q_5 = VOL \times CDV = 39104.99 \text{ KJ/día.}$

2.6. Necesidades por calor desprendido por personas.

$Q_6 = NP \times CP \times HP = 0 \text{ KJ/día.}$

2.7. Necesidades por iluminación.

$Q_7 = 3600.648 \times P \times H = 648.1167 \text{ KJ/día.}$

2.8. Necesidades por servicio.

$Q_8 = Z \times (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 4608082 \text{ KJ/día.}$

2.9. Necesidades totales (NT) y carga térmica horaria (QTH).

$NT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = 3.562269E+07 \text{ KJ/día.}$

Carga térmica horaria:

$QTH = NT / NH = 8905672 \text{ KJ / h} = 2128456 \text{ Kcal/h} = 2475394 \text{ W.}$

7.1.3. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS DE UNA CÁMARA DE CONSERVACIÓN DE CONGELADOS MEDIANTE EL PROGRAMA CNFCCC.

Calcular las necesidades frigoríficas de una cámara de conservación de congelados cuyas características se exponen a continuación:

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS DE CONSERVACIÓN DE CONGELADOS	
Nombre de la cámara	CCC-1
Producto que contiene	Judías verdes
Longitud exterior de la cámara(m)	36
Longitud interior de la cámara(m)	35.64
Anchura exterior de la cámara(m)	17
Anchura interior de la cámara(m)	16.64
Altura exterior de la cámara(m)	10
Altura interior de la cámara(m)	9.53
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	0.50
Humedad relativa interior (tanto por uno)	0.90
Entrada diaria prevista (Kg/día)	10.000
Temperatura de entrada del producto (°C)	-16
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	-25
Temperatura exterior (°C)	36
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	7.0
Calor específico del producto congelado, C3 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	1.96
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	83.7
Número de renovaciones de aire por día:	
- Técnicas	0
- Equivalentes	1
Número de personas en la cámara	1
- Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ	1516
- Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	0.3
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW)	4
- Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	0.3
Coeficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	0.08
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	16

Los **resultados** de cálculo son:

Referencia del Proyecto: proyecto de instalación frigorífica en Bigastro (Alicante).

Fecha: mes-día-año: 12-28-1997

hora:minutos:segundos: 18:33:41

CÁMARA DE CONSERVACIÓN DE CONGELADOS: CCC-1

1. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA Y DEL PRODUCTO

Superficie interior: 593.04 m².

Superficie de transmisión: 2233.04 m².

Volumen interior: 35.64 x 16.64 x 9.53 = 5651.76 m³.

Humedad exterior: 50 %.

Humedad de la cámara: 90 %.

Entrada prevista: 10000 Kg/día.

Temperatura exterior: 36 °C.

Temperatura interior o de régimen: -25 °C.

Temperatura de entrada del producto: -16 °C.

Pérdidas máximas permitidas por transmisión: 7.0 W/m².

Calor desprendido por los ventiladores: 83.7 KJ/m³día.

Número de renovaciones de aire por día: 1.

Número de personas en la cámara: 1.

Número de horas que cada persona permanece en la cámara: 0.3 h/día.

Potencia de las luminarias instaladas en la cámara: 4 KW.

Número de horas de funcionamiento de las luminarias: 0.3 h/día.

Producto que contiene: judías verdes.

Calor específico del producto congelado, C3: 1.96 KJ/Kg°C.

Número de horas de funcionamiento del compresor: 16 h/día.

2. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS (BALANCE DIARIO)

2.1. Pérdidas por transmisión.

$$Q1 = Q \times S \times 24 \times 3.6 = 1350545 \text{ KJ/día.}$$

2.2. Necesidades por enfriamiento y/o congelación.

$$\text{Enfriamiento: } Q_{21} = KG \times C_1 \times (TEP - TCON) = 0 \text{ KJ/día.}$$

$$\text{Congelación: } Q_{22} = KG \times C_2 = 0 \text{ KJ/día.}$$

$$\text{Enfriamiento tras la congelación: } Q_{23} = KG \times C_3 \times (TEP - TI) = 176400 \text{ KJ/día.}$$

$$\text{Necesidades totales: } Q_2 = Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} = 176400 \text{ KJ/día.}$$

2.3. Necesidades por calor desprendido por el producto.

$$Q_3 = N \times CR = 0 \text{ KJ/día.}$$

2.4. Necesidades por renovación del aire.

$$Q_4 = VOL \times DI \times DM \times N_1 = 771843.9 \text{ KJ/día.}$$

2.5. Calor desprendido por los ventiladores de los evaporadores.

$$Q_5 = VOL \times CDV = 473052.5 \text{ KJ/día.}$$

2.6. Necesidades por calor desprendido por personas.

$$Q_6 = NP \times CP \times HP = 454.8 \text{ KJ/día.}$$

2.7. Necesidades por iluminación.

$$Q_7 = 3600.648 \times P \times H = 4320.778 \text{ KJ/día.}$$

2.8. Necesidades por servicio.

$$Q_8 = Z \times (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 122155.6 \text{ KJ/día.}$$

2.9. Necesidades totales (NT) y carga térmica horaria (QTH).

$$NT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = 2898773 \text{ KJ/día.}$$

Carga térmica horaria:

$$QTH = NT / NH = 181173.3 \text{ KJ/h} = 43300.41 \text{ Kcal/h} = 50358.38 \text{ W.}$$

7.2. ESTADILLOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE DATOS

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE (e) FIJANDO EL FLUJO DE CALOR MÁXIMO EN CERRAMIENTOS COMPUESTOS POR VARIAS CAPAS [AISLAPE]

Referencia del proyecto:

Nombre del cerramiento:

Nº de capas que constituyen el cerramiento, excluida la del aislante:

Indique las características de los materiales que constituyen el cerramiento a excepción de la del aislante:

Capa 1:

– Espesor en m:

– Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 2:

– Espesor en m:

– Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 3:

– Espesor en m:

– Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 4:

– Espesor en m:

– Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 5:

– Espesor en m:

– Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 6:

– Espesor en m:

– Conductividad térmica del material en W/mK:

Temperatura exterior del recinto, t_e (°C):

Temperatura interior del recinto, t_i (°C):

Humedad relativa exterior (en tanto por uno):

Humedad relativa interior (en tanto por uno):

Coefficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m²K):

Coefficiente superficial de transmisión interior, h_i (W/m²K):

Flujo de calor máximo permitido a través del cerramiento, Q (W/m²):

Nombre del aislante utilizado:

Coefficiente de conductividad térmica del aislante, λ (W/mK):

ESTADILLO PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR (Q) Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K), FIJANDO EL ESPESOR DE AISLANTE (e) O EL ESPESOR DEL CERRAMIENTO EN CERRAMIENTOS COMPUESTOS POR VARIAS CAPAS [AISLAPQ]

Referencia del Proyecto:

Nombre del cerramiento:

Nº de capas que constituyen el cerramiento:

Indique las características de los materiales que constituyen el cerramiento:

Capa 1:

- Espesor en m:
- Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 2:

- Espesor en m:
- Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 3:

- Espesor en m:
- Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 4:

- Espesor en m:
- Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 5:

- Espesor en m:
- Conductividad térmica del material en W/mK:

Capa 6:

- Espesor en m:
- Conductividad térmica del material en W/mK:

Temperatura exterior del recinto, t_e (°C):

Temperatura interior del recinto, t_i (°C):

Humedad relativa exterior (en tanto por uno):

Humedad relativa interior (en tanto por uno):

Coeficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m²K):

Coeficiente superficial interior, h_i (W/m²K):

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE (e) Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K), FIJANDO EL FLUJO DE CALOR (q) EN TUBERÍAS [AISLATE]

Referencia del Proyecto:

Nombre de la tubería:

Se considera una sola capa de material aislante

Radio exterior de la tubería (m):

Indique las características del material que constituye el recubrimiento:

Nombre del aislante:

Conductividad térmica del material (W/mK):

Flujo de calor máximo permitido a través del aislante, q (W/m):

Temperatura exterior, t_e (°C):

Temperatura interior de la tubería, t_i (°C):

Humedad relativa exterior (en tanto por uno):

Coeficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m² K):

Coeficiente superficial interior, h_i (W/m²K):

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR (q) Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K), FIJANDO EL ESPESOR DE AISLANTE (e) EN TUBERÍAS [AISLATQ]

Referencia del Proyecto:

Nombre de la tubería:

Nº de capas que constituyen el recubrimiento:

Se considera una sola capa de material aislante:

Radio exterior de la tubería (m):

Indique las características del material que constituye el recubrimiento:

Nombre del aislante:

Espesor (m):

Conductividad térmica del material (W/mK):

Temperatura exterior, t_e (°C):

Temperatura interior de la tubería, t_i (°C):

Humedad relativa exterior (en tanto por uno):

Coeficiente superficial de transmisión exterior, h_e (W/m²K):

Coeficiente superficial interior, h_i (W/m²K):

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN [CNFCR]	
Nombre de la cámara	
Producto que contiene	
Longitud exterior de la cámara (m)	
Longitud interior de la cámara (m)	
Anchura exterior de la cámara (m)	
Anchura interior de la cámara (m)	
Altura exterior de la cámara (m)	
Altura interior de la cámara (m)	
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	
Humedad relativa interior (tanto por uno)	
Entrada diaria prevista (Kg/día)	
Densidad de estiba (t/m ³)	
Temperatura de entrada del producto (°C)	
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	
Temperatura exterior (°C)	
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	
Calor específico del producto, C1 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Calor de respiración del producto, CR (KJ/t día):1 Kcal=4'1868 KJ	
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Número de renovaciones de aire por día: - Técnicas - Equivalentes	
Número de personas en la cámara - Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ - Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW) - Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	
Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE TÚNELES Y CÁMARAS DE CONGELACIÓN [CNFCC]	
Nombre de la cámara	
Producto que contiene	
Longitud exterior de la cámara (m)	
Longitud interior de la cámara (m)	
Anchura exterior de la cámara (m)	
Anchura interior de la cámara (m)	
Altura exterior de la cámara (m)	
Altura interior de la cámara (m)	
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	
Humedad relativa interior (tanto por uno)	
Entrada diaria prevista (Kg/día)	
Temperatura de entrada del producto (°C)	
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	
Temperatura exterior (°C)	
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	
Calor específico del producto, C1 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Calor latente de congelación del producto, C2 (KJ/Kg): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Calor específico del producto congelado, C3 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Temperatura de congelación del producto (°C)	
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Número de renovaciones de aire por día: - Técnicas - Equivalentes	
Número de personas en la cámara - Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ - Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW) - Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	
Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	

ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS DE CONSERVACIÓN DE CONGELADOS [CNFCCC]

Nombre de la cámara	
Producto que contiene	
Longitud exterior de la cámara (m)	
Longitud interior de la cámara (m)	
Anchura exterior de la cámara (m)	
Anchura interior de la cámara (m)	
Altura exterior de la cámara (m)	
Altura interior de la cámara (m)	
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	
Humedad relativa interior (tanto por uno)	
Entrada diaria prevista (Kg/día)	
Temperatura de entrada del producto (°C)	
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	
Temperatura exterior (°C)	
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	
Calor específico del producto congelado, C3 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	
Número de renovaciones de aire por día: <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas - Equivalentes 	
Número de personas en la cámara <ul style="list-style-type: none"> - Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ - Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día) 	
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW) <ul style="list-style-type: none"> - Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día) 	
Coeficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	

7.3. RELACIÓN DE TABLAS PARA RELLENAR LOS ESTADILLOS DE DATOS QUE FACILITAN EL USO DE LOS PROGRAMAS INFORMÁTICOS

A continuación se relacionan las tablas donde se recogen simplificada-mente los datos requeridos por los programas informáticos que hemos expues-to. Estas tablas se pueden encontrar en distintas obras sobre instalaciones y apli-caciones frigoríficas que se citan en la bibliografía. No obstante, para hacer más efectiva la búsqueda de datos, nos referiremos aquí al libro “Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas” (Melgarejo, 1995), ya que está espe-cialmente editado para este fin y, como se ha reiterado, los programas informá-ticos utilizados están realizados siguiendo dicho texto.

TABLAS DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE (e) FIJANDO EL FLUJO DE CALOR MÁXIMO EN CERRAMIENTOS COMPUESTOS POR VARIAS CAPAS [AISLAPE]

- Tablas de conductividad y resistencia térmica de algunos materiales constructivos y aislantes: páginas 106 a 114.
- Tablas para determinar los coeficientes superficiales de transmisión de calor por convección-radiación exterior, h_e , e interior, h_i (W/m^2K).
- Tablas para el cálculo de h_e y de h_i por el método de Nüsselt: páginas 70 a 77.
- Tabla para el cálculo de h_e y de h_i según norma NBE-CT-79: página 83.
- Tabla y fórmula para el cálculo de h_e y de h_i , según Jurgens: página 84.

TABLAS DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR (Q) Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K), FIJANDO EL ESPESOR DE AISLANTE (e) O EL ESPESOR DEL CERRAMIENTO EN CERRAMIENTOS COMPUESTOS POR VARIAS CAPAS [AISLAPQ]

- Tablas de conductividad y resistencia térmica de algunos materiales constructivos y aislantes: páginas 106 a 114.
- Tablas para determinar los coeficientes superficiales de transmisión exterior, h_e , e interior, h_i (W/m^2K).
- Tablas para el cálculo de h_e y de h_i por el método de Nüsselt: páginas 70 a 77.
- Tabla para el cálculo de h_e y de h_i según norma NBE-CT-79: página 83.
- Tabla y fórmula para el cálculo de h_e y de h_i , según Jurgens: página 84.

TABLAS DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE (e) Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K), FIJANDO EL FLUJO DE CALOR (q) EN TUBERÍAS [AISLATE]

- Tablas de conductividad y resistencia térmica de algunos materiales constructivos y aislantes: páginas 106 a 114.
- Tablas para determinar los coeficientes superficiales de transmisión exterior, h_e , e interior, h_i . (W/m^2K).
- Tabla para el cálculo de h_e y de h_i en tuberías: páginas 164 y 165.
- Tablas para la elección de espesor de aislante en tuberías para distintas situaciones y diámetros: páginas 171 a 173.

TABLAS DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR (q) Y DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K), FIJANDO EL ESPESOR DE AISLANTE (e) EN TUBERÍAS [AISLATQ]

- Tablas de conductividad y resistencia térmica de algunos materiales constructivos y aislantes: páginas 106 a 114.
- Tablas para determinar los coeficientes superficiales de transmisión exterior, h_e , e interior, h_i (W/m^2K).
- Tabla para el cálculo de h_e y de h_i en tuberías: páginas 164 y 165.
- Tablas para la elección de espesor de aislante en tuberías para distintas situaciones y diámetros: páginas 171 a 173.

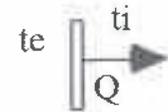
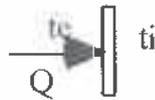
TABLAS DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN [CNFCR], CÁMARAS DE CONGELACIÓN [CNFCC] Y CÁMARAS DE CONSERVACIÓN DE CONGELADOS [CNFCCC]

- Tablas para determinar el calor específico de alimentos y sus componentes: páginas 326 y 327.
- Tablas para determinar el calor de respiración y CO_2 desprendido a la temperatura de conservación, en frutas y verduras: páginas 328 y 329.
- Tablas donde se expresan las temperaturas favorables para el almacenamiento de los productos a refrigerar, con indicación de las necesidades de renovación de aire: páginas 329 a 333.
- Tabla para determinar el número de renovaciones en cámaras frigoríficas por apertura de puertas e infiltraciones, según el volumen de la cámara y su temperatura: páginas 333 y 334.

8. FORMATOS REDUCIDOS DE ALGUNAS TABLAS DE INTERÉS

A continuación se exponen los formatos reducidos de algunas tablas de interés para el cálculo de aislamientos y del balance térmico en instalaciones frigoríficas. Las tablas completas pueden consultarse en el libro “Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas” (Melgarejo, 1995).

CÁLCULO DE h_e Y DE h_i ($h = \alpha_c + \alpha_R$): CONVECCIÓN FORZADA EN CERRAMIENTOS VERTICALES Y TECHOS



$$h = \alpha_c + \alpha_R \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$$

Longitud de la pared en la dirección del viento = 6 m.	CÁLCULO DE $h_e = \alpha_{ce} + \alpha_{Re}$								CÁLCULO DE $h_i = \alpha_{ci} + \alpha_{Ri}$							
	FLUJO DEL AIRE A LA PARED								FLUJO DE LA PARED AL AIRE							
	TEMPERATURAS DEL AIRE EXTERIOR (°C) (t_e)								TEMPERATURAS DEL AIRE INTERIOR (°C) (t_i)							
Vel. viento (m/s)	20	25	30	35	40	45	50	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	
Q=6'96 (W/m²) E _T =0'9	0'1	5'61	5'88	6'15	6'44	6'74	7'05	7'36	3'85	4'05	4'26	4'48	4'70	4'93	5'17	5'42
	1	6'71	6'98	7'23	7'52	7'83	8'32	8'45	7'83	5'14	5'35	5'57	5'79	6'02	6'26	6'51
	5	20'2	20'4	20'2	20'5	20'7	21'0	21'1	19'6	19'7	19'7	19'7	19'8	19'9	19'7	20'1
	10	31'3	31'6	31'0	31'3	31'4	31'7	31'6	31'7	31'6	31'5	31'4	31'4	31'3	31'3	31'3
	15	41'3	41'6	40'7	41'0	41'1	41'4	41'0	42'6	42'4	42'2	42'0	41'8	41'7	41'6	41'4
	20	50'7	51'0	49'7	50'0	50'1	50'3	49'9	52'8	52'4	52'1	51'8	51'6	51'3	51'1	50'9
25	59'6	59'9	58'4	58'6	58'6	58'9	58'3	62'5	62'0	61'6	61'2	60'8	60'5	60'2	59'9	

Nota: Velocidades de 2 m/s corresponden a una simple exposición al aire libre, mientras que el valor de 25 m/s raramente se da, pudiendo considerarse en exposiciones particularmente desfavorables como puede ser el borde del mar o en la montaña (una velocidad de viento de 100 Km/h corresponde a 27'78 m/s).

Ejemplo de utilización de la Tabla:

$t_e=35$ °C, $Q=6'96$ W/m², $E_T=0'9$ y $v=5$ m/s : $h_e=20'5$ W/m²K.

DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
DE ALGUNOS MATERIALES

MATERIAL	Densidad aparente (Kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m ² °K)
Mortero de cemento	2.000	1'4
Fábrica de ladrillo hueco	1.200	0'70
Fibra de vidrio Tipo I	32	0'057

Espuma de poliuretano Tipo III	40	0'023

DETERMINACIÓN DE h_e EN TUBERÍAS, SEGÚN SU DIÁMETRO
Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Diámetro exterior (m)	Velocidad del viento (m/s)				
	0-1	1-2	2-5	5-10	<25
0-0'26	17'9	24'5	39'8	63'0	115'0
0'026-0'052	11'9	17'4	31'0	50'0	93'0

<0'500	4'3	7'1	13'3	21'9	42'7

**CALOR ESPECÍFICO DE ALIMENTOS
Y SUS COMPONENTES**

Producto	Agua (%)	Componentes sólidos (%)	Calor específico		C2 Calor de solidificación o de fusión en Kcal/Kg
			C1 antes de la solidificación en Kcal/Kg °C	C3 después de la solidificación en Kcal/Kg °C	
Aceite	–	–	0'40	0'35	–
Anguilas	62	38	0'70	0'39	50
Ciruelas	87	13	0'92	0'41	70
Limones	83-89	17-11	0'92	0'46	66-71
Zanahorias	83	17	0'87	0'45	66

**TEMPERATURA DE CONGELACIÓN
DE ALGUNOS PRODUCTOS**

Producto	Temperatura de congelación (°C)
Carnes de ave	-2'7
Carnes de ovino	-2
Frutas frescas	De -0'3 a -3
Hortalizas	De -0'5 a -1'5
Huevos	-2'2
Leche	-0'6
Pescados	-2'2

**CALOR DE RESPIRACIÓN Y DESPRENDIMIENTO DE CO₂
DE FRUTAS Y VERDURAS**

Producto	Temperatura °C	Cantidad de CO₂ producida mg/Kg h	Cantidad de calor producido en Kcal/Tm 24 h
Manzanas	4'4	5-8	275-440
Naranjas	1'7.	2	110
Plátanos verdes	12'2	15	825
Peras	0	3-4	165-220
Judías cortadas	4'4	—	680
Fresas	0	15-17	825-935

**ALGUNOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA
CONSERVACIÓN DE ALGUNOS PRODUCTOS**

Material	Temperatura o referencia (°C)	Movimiento del aire	Humedad relativa (%)	Tiempo de almacenaje
Carne de vaca grasa	-0'5/+0'5	f	80-85	15 días
Huevos en cámara fría	-0'5/+0'5	f	75-85	8-9 meses

NÚMERO DE RENOVACIONES DEL AIRE EN 24 H, DEBIDO A APERTURA DE PUERTAS E INFILTRACIONES, SEGÚN EL VOLUMEN DE LA CÁMARA Y EL NIVEL DE TEMPERATURA DE LA MISMA

Volumen de la cámara (m ³)	TEMPERATURAS		Volumen de la cámara (m ³)	TEMPERATURAS	
	SOBRE 0 °C	BAJO 0 °C		SOBRE 0 °C	BAJO 0 °C
5	47	36	200	6	4'5
30	17	13	1200	2'2	1'7
150	7	5'5	15000	0'90	0'80

CALOR DESPRENDIDO POR LAS PERSONAS EN RECINTOS FRIGORÍFICOS, SEGÚN LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE

Temperatura del recinto (°C)	Potencia calorífica liberada por persona (KJ/h)
15	645
0	971
-5	1080
-15	1294
-25	1516

CONDICIONES DE CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE FRUTAS

Producto	Tª de transporte (°C)	Límites de Tª (°C)	Punto de congelación (°C)	Ventilación	Tiempo de conservación (días)	Emisión de etileno	Sensibilidad al etileno
Manzanas ⁽¹⁾	0	-0.5/+2	-1.5	Alta	Según variedades	Muy alta	Alta
Albaricoque	-0.5	-0.5/0	-1.5	“	20	Alta	“
Cereza	-0.5	-1/0	-1.5	Baja	20	Muy baja	Baja
Uva	-0.5	-1/+0.5	1.5	“	0/100	Media	“
Ciruela ⁽⁵⁾	-0.5	-0.5/+0.5	-1	Alta	20/35	Baja	Alta
	0.5/+7				30		
Kiwi	-0.5	-0.5/+0.5	-2	“	50/75		Alta
Pomelo	10	4.5/16	-1		40		
Limón ⁽³⁾	10	5/16	-1.5	<1%CO ₂	80		
Naranja	4.5	3/7	-1/-0.5	máxima	40/50	Muy baja	Media
Otros cítricos: (mandarinas, tangerinas)	4.5	3/7	-1.5	posible	40		
Casaba ⁽⁴⁾	10	10/21		Media	90	Baja	Baja
Melón Cantalup	3	2/4.5		Media	15	Alta	Alta
Melón de agua	10	4.5/10		Baja	15	Baja	Baja
Nectarina	-0.5	-0.5/+0.5	-1	Medio/Alto	30	Alta	Alta
Melocotón	-0.5	-0.5/-1	-1.5	3% CO ₂	60/150	“	“
Piña	8.5	7/10	-1	Bajo	30		Baja
Bananas ⁽²⁾				Máxima			
-Lacatan	14	14/15	-1	posible	24	Media ⁽⁶⁾	Alta
-Otras variedad.	12	12/13.5	-1	al enfriar	24		
Plátano	12	12/13.5	-1	Máx. posible	24	Baja	“
Aguacate	7	4.5/13	-0.5	Alto	30	Alta	“

(1) Existen muchas variedades de manzana. Algunas son susceptibles a los daños por bajas temperaturas si se almacenan demasiado tiempo a 0°C. Esta temperatura de conservación o de transporte es utilizable para la mayoría de las variedades y condiciones. El exportador indicará si existe algún riesgo especial de daños por frío.

(2) La temperatura de transporte es la mínima aceptable, para evitar daños por el frío.

(3) Solamente debería utilizarse una temperatura inferior bajo estrictas instrucciones del exportador.

(4) Los melones honeydew (inmaduros) se transportan frecuentemente con éxito como cargas ventiladas.

(5) Algunas variedades de ciruela no maduran adecuadamente si se almacenan demasiado tiempo a 0°C, por lo tanto han de ser transportadas entre +7 y +10°C.

(6) Puede ser alta, dependiendo del estado de madurez.

En general, la humedad relativa en la conservación debe ser del 90 al 95%

Fuente: SRCRA, 1991, recogido en IIR 1995.

CONDICIONES DE CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE HORTALIZAS

Producto	Tª de transporte (°C)	Límites de Tª (°C)	Punto de congelación (°C)	Ventilación	Tiempo de conservación (días)	Emisión de etileno	Sensibilidad al etileno (1)
Alcachofa:							
- Globo		0.5/+4	-1	Baja	14/20	Muy baja	Baja
- Jerusalén	0	0.5/+4			60		
Espárrago	0	0/1.1	-0.5	Media	20		Media
Berenjena	7	7/10	-0.5	Baja	14	Muy baja	Baja
Judías verdes	0	0/7	-0.5	Media/Alta	20	Baja	“
Remolacha	0	0/1	-0.5	Baja	60/90	Muy baja	“
Brócoli	0	0/1	-0.5		10		
Coliflor	0	0/1	-0.5		30		
Col de Bruselas	0	0/1	-0.5	Alta	30	Muy baja	Alta
Col, repollo, berza	0	0/1	-0.5		20		
Zanahorias	0	-0.5/+0.5 a +1	-	Baja	70	Muy baja	Baja
Apio	0	0/1	-0.3	Alta	60/90	“	Media
Endibia	0	0/1	-0.5	“	14/20	“	Alta
Pepino	7	7/10	-0.3	“	14	Baja	“
Gengibre	12	10/13	-	“	150		Media
Lechuga:							
- Iceberg	0	0/1	-0.5	Alta	40	Baja	Alta
- Otras	0	0/1	0		20		
Calabacines	7	7/10	-0.3	Media	60	“	Media
Ajos	0	0/1	-0.5	Media	30/120	Muy baja	Media
Guisantes vaina	0	0/1	-0.5	“	7/10	“	“
Pimiento dulce	7	7/10	-0.5	“	20	Baja	Baja
Patatas:							
- Consumo	7	4.5/10	-0.5	“	60	Muy baja	Media
- Siembra	4.5	2/7	-0.5		150		
Calabaza	10	10/13	-0.5	Baja	60/90	Baja	Baja
Ruibarbo	0	0/1	-0.5	“	15/30	Muy baja	“
Salsifi	0	0/1	-1	“		“	“
Patata dulce	13	13/16	-1	“	120	Muy baja	“
Tomate:							
- Verde	13	10/16	-0.5	Alta	20	Muy baja	Alta
- Maduro firme	7	7/10	-0.5		14	Media	

(1) Dependiendo de la duración del transporte (no afecta al transporte de corta duración).
En general, la humedad relativa en la conservación debe ser del 90 al 95%.

Fuente: SRCRA, 1991, recogido en IIR 1995.

9. EJERCICIOS PROPUESTOS

9.1. *Calcular el espesor de aislante necesario para aislar el suelo de una cámara frigorífica de refrigeración, fijando un flujo de calor máximo a través del suelo en 7 W/m^2 . El suelo de la cámara está constituido por:*

- *Una presolera de hormigón H-100 de 0.1 m de espesor y coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 1.63 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.*
- *Una barrera antivapor constituida por emulsión de betún asfáltico aplicado en frío a razón de 2 Kg/m^2 , de espesor 0.001 m y coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0.17 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.*
- *Una capa de espuma de poliuretano expandido cuyo coeficiente de conductividad térmica es $\lambda = 0.02326 \text{ W/mK}$.*
- *Una capa de hormigón en masa de 0.15 m de espesor y coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 1.63 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.*

Otros datos: $t_e = 18^\circ\text{C}$, $t_i = 0^\circ\text{C}$, $HRe = 0.85$, $HRi = 0.95$, $h_e = 5.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $h_i = 4.3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Resultado: $e = 0.046 \text{ m}$.

9.2. *Calcular el espesor de aislante necesario para aislar el suelo de la cámara de refrigeración propuesta en el problema anterior, despreciando las distintas capas que constituyen el suelo, excepto la del material aislante.*

Resultado: $e = 0.050 \text{ m}$.

9.3. *Calcular el espesor de aislante necesario para aislar el techo de una cámara de conservación de congelados mediante paneles frigoríficos aislantes de espuma de poliuretano de 40 Kg/m^3 y coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0.02326 \text{ W/mK}$. Se desprecia el espesor de las láminas de acero que recubren al material aislante.*

Otros datos: $Q = 7 \text{ W/m}^2$, $t_e = 45^\circ\text{C}$, $t_i = -25^\circ\text{C}$, $HRe = 0.65$, $HRi = 0.95$, $h_e = 19.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $h_i = 18.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Resultado: $e = 0.23 \text{ m}$.

9.4. Calcular el espesor de aislante necesario para aislar el techo de un túnel de congelación mediante paneles frigoríficos aislantes de espuma de poliuretano de 40 Kg/m^3 y coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0.02326 \text{ W/mK}$. Se desprecia el espesor de las láminas de acero que recubren al material aislante.

Otros datos: $Q = 7 \text{ W/m}^2$, $t_e = 45^\circ\text{C}$, $t_i = -40^\circ\text{C}$, $HRe = 0.65$, $HRi = 0.95$, $h_e = 19.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $h_i = 18.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Resultado: $e = 0.28 \text{ m}$.

9.5. Calcular el espesor de aislante necesario para evitar condensaciones sobre el aislamiento en una tubería de cobre, de 0.042 m de diámetro exterior, por la que circula un fluido a la temperatura de 2°C . El aislante utilizado tiene un coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$. Se desprecia el espesor de la tubería.

Otros datos: aire en calma, $q = 10 \text{ W/m}$, $t_e = 25^\circ\text{C}$, $HRe = 0.65$, $h_e = 11.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $h_i = 872 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Resultado: $e = 0.01 \text{ m}$.

9.6. Calcular el flujo de calor, la temperatura superficial exterior y la temperatura de rocío en una tubería de cobre de radio exterior 0.045 m que está aislada con un material de espesor 0.004 m y coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0.03944 \text{ W/mK}$. Por la tubería circula un fluido a 5°C y la temperatura exterior es de 20°C .

Otros datos: $h_e = 10.23 \text{ W/mK}$ y $h_i = 872.25 \text{ W/mK}$. $HR_e = 68\%$.

Resultados: $q = 19.39 \text{ W/m}$

$t_{se} = 12.84^\circ\text{C}$

$t_r = 14.03^\circ\text{C}$

Como $t_{se} < t_r$, habrá condensaciones.

9.7. Calcular las necesidades frigoríficas de una cámara de oreo de canales de ganado porcino cuyas características se describen en el estadillo siguiente:

**ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO
DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN**

Nombre de la cámara	Oreo
Producto que contiene	Canales porcino
Longitud exterior de la cámara(m)	10.3
Longitud interior de la cámara(m)	10.1
Anchura exterior de la cámara(m)	10.3
Anchura interior de la cámara(m)	10.1
Altura exterior de la cámara(m)	5.1
Altura interior de la cámara(m)	5.0
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	0.60
Humedad relativa interior (tanto por uno)	0.95
Entrada diaria prevista (Kg/día)	10000
Densidad de estiba (t/m ³)	—
Temperatura de entrada del producto (°C)	28
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	2
Temperatura exterior (°C)	36
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	9.0
Calor específico del producto, C1 (KJ/Kg°C): 1 Kcal=4'1868 KJ	0.51
Calor de respiración del producto, CR (KJ/t día):1 Kcal=4'1868 KJ	0
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	125
Número de renovaciones de aire por día:	
- Técnicas	3
- Equivalentes	3.6
Número de personas en la cámara	1
- Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ	900
- Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	2
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW)	0.648
- Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	2
Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	0.15
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	18

Resultado: $NT = 972009.3 \text{ KJ/día.}$

$QTH = 540052 \text{ KJ/h} = 12906.12 \text{ Kcal/h} = 15009.82 \text{ W.}$

9.8. Calcular las necesidades frigoríficas de una cámara de congelación de despieces de porcino cuyas características se describen en el estadillo siguiente:

**ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE TÚNELES
Y CÁMARAS DE CONGELACIÓN [CNFCC]**

Nombre de la cámara.	CC-1.
Producto que contiene	D. de porcino
Longitud exterior de la cámara(m)	4.00
Longitud interior de la cámara(m)	3.60
Anchura exterior de la cámara(m)	3.00
Anchura interior de la cámara(m)	2.60
Altura exterior de la cámara(m)	3.50
Altura interior de la cámara(m)	3.00
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	0.60
Humedad relativa interior (tanto por uno)	0.95
Entrada diaria prevista (Kg/día)	500
Temperatura de entrada del producto (°C)	14
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	-25
Temperatura exterior (°C)	36
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	7
Calor específico del producto, C1 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	2.13
Calor latente de congelación del producto, C2 (KJ/Kg): 1 Kcal=4'1868 KJ	142.3
Calor específico del producto congelado, C3 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	1.3
Temperatura de congelación del producto (°C)	-2.0
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	209
Número de renovaciones de aire por día:	
- Técnicas	0
- Equivalentes	20
Número de personas en la cámara	0
- Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ	1516
- Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	0
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW)	0.4
- Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	0
Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	0.1
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	18

Resultado: $NT = 245351.4 \text{ KJ/día.}$

$QTH = 13630.6 \text{ KJ/h} = 3257.7 \text{ Kcal/h} = 3788.7 \text{ W.}$

9.9. Calcular las necesidades frigoríficas de una cámara de conservación de congelados que contiene despieces de ganado porcino cuyas características se describen en el estadillo siguiente:

**ESTADILLO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS
DE CONSERVACIÓN DE CONGELADOS [CNFCCC]**

Nombre de la cámara	CCC-1.
Producto que contiene	D. porcino
Longitud exterior de la cámara(m)	8.0
Longitud interior de la cámara(m)	7.6
Anchura exterior de la cámara(m)	7
Anchura interior de la cámara(m)	6.6
Altura exterior de la cámara(m)	4.5
Altura interior de la cámara(m)	4.0
Humedad relativa exterior (tanto por uno)	0.60
Humedad relativa interior (tanto por uno)	0.95
Entrada diaria prevista (Kg/día)	2000
Temperatura de entrada del producto (°C)	-15
Temperatura interior o de régimen de la cámara (°C)	-25
Temperatura exterior (°C)	36
Pérdidas máximas permitidas por transmisión (W/m ²): 1 Kcal/h=1'163 W	7
Calor específico del producto congelado, C3 (KJ/Kg °C): 1 Kcal=4'1868 KJ	2.13
Calor desprendido por los ventiladores (KJ/m ³ día): 1 Kcal=4'1868 KJ	125
Número de renovaciones de aire por día:	
- Técnicas	0
- Equivalentes	10
Número de personas en la cámara	1
- Calor emitido por cada persona en la cámara (KJ/h): 1 Kcal=4'1868 KJ	1516
- Número de horas que cada persona permanece en la cámara (h/día)	1.5
Potencia de las luminarias instaladas en la cámara (KW)	0.8
- Número de horas de funcionamiento de las luminarias (h/día)	1.5
Coefficiente para el cálculo de las necesidades por servicio (0'1-0'15)	0.12
Número de horas de funcionamiento del compresor (h/día)	18

Resultado: $NT = 533017.9 \text{ KJ/día.}$

$QTH = 29612.1 \text{ KJ/h} = 7077.3 \text{ Kcal/h} = 8230.9 \text{ W.}$

10. BIBLIOGRAFÍA

- Artés, F. 1996. *Curso de Tecnología del Frío*. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Politécnica de Valencia. Policopiado.
- Conan, J.G. 1988. *Refrigeration Industrielle*. Eyrolles. Paris. 422 pp.
- De Andrés, J.A. 1994. *Calor y frío industrial*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid. 566 pp.
- International Institut of Refrigeration. 1995. *Guide to Refrigerated Transport*. Ed IIR. Paris. 150 pp.
- Koelet, P.C. 1997. *Frío industrial: fundamentos, diseño y aplicaciones*. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid. 415 pp.
- Maestre, J.; Melgarejo, P.; Artés, F. y otros. 1993. *Nuevo curso de ingeniería del frío*. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid. 482 pp.
- Margarida, M. 1984. *Aislamiento térmico. Aplicaciones en la edificación y la industria. Economía energética*. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona. 386 pp.
- Melgarejo, P. 1988. *Automatización del cálculo de las necesidades frigoríficas. Aplicación en proyectos*. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia. Murcia. 89 pp.
- Melgarejo, P. 1995. *Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas*. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid. 381 pp.