



# SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO. ESTUDIOS CIENTÍFICOS DEL PROBLEMA.

---

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
PREVENCIÓN DE RIESGOS  
LABORALES.

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ.**

**AUTOR: LEANDRO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ.**

**DIRECTOR: JOSÉ LUIS LLORCA RUBIO.**

14/06/2024



## **INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

D. José Luis Llorca Rubio, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado '*Síndrome del edificio enfermo. Estudios científicos del problema*' y realizado por el estudiante LEANDRO RODRIGUEZ HERNÁNDEZ

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 26 de junio de 2024

Firmado por JOSE LUIS LLORCA RUBIO - NIF:\*\*\*2129\*\* el día 26/06/2024 con un certificado emitido por ACCVCA-120

Fdo.: -José Luis Llorca Rubio  
Tutor TFM



## **DEDICATORIA:**

*"A lo largo de este arduo camino, he tenido la gran fortuna de contar con el apoyo inquebrantable de personas excepcionales que han dejado una huella imborrable en mi vida académica. A cada uno de ellos, quiero expresar mi más sincero agradecimiento.*

*Antes que todo, quiero dedicar estas palabras a mi tutor, D. José Luis Llorca Rubio, cuya guía experta y paciencia infinita han sido fundamentales para el éxito de este proyecto. Sus consejos han enriquecido mi trabajo y me han impulsado a superar mis propios límites.*

*No puedo dejar de mencionar a mis padres y familiares, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo desde el principio.*

*Que con su amor incondicional y sus palabras de aliento me han dado la fuerza necesaria para seguir adelante.*

*A mis compañeros de clase, gracias por compartir risas, dudas y momentos de estrés. Juntos hemos formado un equipo excepcional, y estoy seguro de que nuestras amistades perdurarán más allá de las aulas.*

*Por último, quiero reconocer a mis hijas, Inés María y Adriana, quienes creyeron en mí y me impulsaron, ante la oportunidad de llevar a cabo este proyecto. Su confianza en mis habilidades ha sido un motor constante.*

*Este trabajo de fin de máster no es solo mío, sino también de todos aquellos que han estado a mi lado. A todos, ¡mil gracias!"*

# 1. RESUMEN

El presente "TRABAJO FINAL DE MASTER" tiene como propósito la investigación del síndrome del edificio enfermo (SEE), a través del estudio de distintas fuentes bibliográficas, tales como artículos científicos, revistas y otras bibliografías de renombre científico.

Que nos conduzcan a una mejor comprensión del problema, basándonos en, cuál es su origen, causas y posibles soluciones.

El síndrome del edificio enfermo (SEE), es una expresión que se usa desde mediados de la década de los años 80, para referirse a situaciones en las que ocupantes de los edificios perciben efectos dañinos agudos sobre su salud, así como discomfort relacionado con el tiempo de exposición dentro de estos lugares, todo lo anterior indica que los efectos dañinos palpables en las distintas organizaciones son un gran problema de salud que afecta a los trabajadores. Esta problemática se manifiesta en edificios herméticos, los cuales cuentan con ventanas no practicables, donde más del 20% de los ocupantes presentan quejas referentes a su estado de salud.

La incidencia real del problema es desconocida, pero la OMS aprecia que afecta al 30% de los edificios modernos, causando molestias a un 10-30% de los ocupantes. Es habitual que los edificios enfermos presentan problemas relacionados con sus equipos de aire acondicionado. Sus ocupantes presentan quejas relacionadas con su salud en proporciones mayores a lo esperado (>20%). Siendo su naturaleza complicada de determinar ya que sus procedencias son muy variadas.

**Palabras Clave:** Síndrome del Edificio Enfermo, Gas Radón, Compuestos Orgánicos Volátiles, Puentes Térmicos, Ambientes Contaminados, Zeolitas, Vidrios Inteligentes Bajo Emisivo.

# 1.SUMMARY

The purpose of this “Final Work of Master” is to investigate sick building syndrome (SEE), through the study of different bibliographic sources, such as scientific articles, magazines and other bibliographies of scientific renown.

That they lead us to a better understanding of the problem, based on its origin, causes and possible solutions.

Sick building syndrome (SBS) is an expression that has been used since the mid-1980s to refer to situations in which building occupants perceive acute harmful effects on their health, as well as discomfort related to the time of exposure within these places, all of the above indicates that the palpable harmful effects in different organizations are a major health problem that affects workers. This problem manifests itself in hermetic buildings, which have non-openable windows, where more than 20% of the occupants present complaints regarding their state of health.

The actual incidence of the problem is unknown, but the who estimates that it affects 30% of modern buildings, causing inconvenience to 10-30% of occupants. It is common for sick buildings to have problems related to their air conditioning equipment. Its occupants present complaints related to their health in higher proportions than expected (>20%). Its nature is complicated to determine since its origins are very varied.

**Key words:** Sick Building Syndrome, Radon Gas, Volatile Organic Compounds, Thermal Bridges, Polluted Environments, Zeolites, Low Emission Intelligent Glasses.

# ÍNDICE

1. Resumen. ....	pág. 4
2. Introducción. ....	pág. 10
3. Justificación. ....	pág. 11
4. Objetivos. ....	pág. 13
4.1. Objetivos generales.....	pág. 13
4.2. Objetivos específicos.....	pág. 13
5. Metodología. ....	pág. 14
6. Desarrollo del tema. ....	pág. 15
6.1 Definiciones del síndrome del edificio enfermo. ....	pág. 15
6.2 Origen del problema y contaminantes químicos. ....	pág. 20
6.3 Solución del problema. ....	pág. 39
6.3.1. Identificar la naturaleza de los contaminantes y fuentes. Sustituir productos problemáticos por otros menos contaminantes. ....	pág. 40
6.3.2. Desarrollo de materiales de construcción no contaminantes. ....	pág. 40
6.3.3. Materiales compuestos. ....	pág. 41
6.3.4. Características de los materiales compuestos. ....	pág. 42
6.3.5. Tipos de materiales compuestos. Casos. ....	pág. 42
6.3.5.1. Materiales poliméricos. ....	pág. 46
6.3.6. Mejorar los mecanismos que provocan irritaciones y olores. ....	pág. 47
6.3.6.1. Materiales de construcción de calidad. ....	pág. 48
6.3.6.2. Aislamiento térmico. ....	pág. 49
7. Conclusiones. ....	pág. 65
8. Bibliografía. ....	pág. 68
9. Anexos. ....	pág. 72
9.1 Diagrama de flujo, para evaluación del edificio. ....	pág. 72
9.2 Cuestionario de síntomas del edificio enfermo. ....	Pág. 73
9.3 Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sanitario en función de la concentración de radón existente. ....	pág. 76

9.4 Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sanitario en función de la concentración de radón existente. .... pág. 77

9.5 Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sobre sótano en función de la concentración de radón existente. .... Pág. 78



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentración de Formaldehído en el Aire en Distintos Estudios Ambientales. .....	pág. 20
Tabla 2 Referencia a los Distintos COVs más típicos. ....	pág. 24
Tabla 3 Tipo de suelos y concentraciones de elemento radiactivos. ....	pág. 29
Tabla 4 Valores de referencia para algunas sustancias no cancerígenas en aire según OMS. .....	pág. 39
Tabla 5 Tabla Comparativa de Valores (U). ....	pág. 51
Tabla 6 Mejoras que se consiguen en edificio rehabilitado con aislamiento térmico por el exterior. ....	pág. 64



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de causas del SEE. Fuente Jansz, 2017. ....	pág. 12
Figura 2 Técnicas de eliminación de COVs. ....	pág. 25
Figura 3 Mapa de zonificación por municipios CNS. ....	pág. 28
Figura 4 Típicas fuentes de radón y rutas de entrada. ....	pág. 29
Figura 5 Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población. ....	pág. 32
Figura 6 Despresurización activa del suelo para el control del gas radón. ....	pág. 36
Figura 7 Despresurización pasiva del suelo para el control del gas radón. ....	pág. 37
Figura 8 Guardian sun tipos de ventanas y cristales de vidrio bajo emisivo. ....	pág. 50
Figura 9 Cuadro comparativo de los distintos tipos de vidrios guardian glass. ....	pág. 52
Figura 10 Características de los vidrios guardian glass. ....	pág. 52
Figura 11 Puente Térmico constructivo: elevada conductividad ( $\lambda$ ) ....	pág. 55
Figura 12 Puente térmico construido: corregido. ....	pág. 55
Figura 13 Ambiente Interior de un edificio exento de aislamiento térmico por el exterior. ....	pág. 56
Figura 14 Mismo ambiente visto con cámara térmica de infrarrojos. ....	pág. 57
Figura 15 Mismo ambiente visto con cámara térmica de infrarrojos: en correspondencia de los puentes térmicos corregidos. ....	pág. 57
Figura 16 Edificio existente rehabilitado con aislamiento térmico por el exterior. ....	pág. 62

## 2.INTRODUCCIÓN

Como primeras evidencias que pusieron de manifiesto problemas en un edificio, aparecieron en julio de 1968, en la ciudad de Pontiac, Míchigan, EEUU. Una epidemia de fiebre, dolor de cabeza y muscular, afectó a más de 100 personas, el incidente se llamó, “fiebre de Pontiac”. (Llorca, 2014).

España tuvo el primer caso en la Residencia Militar de Zaragoza. (Llorca, 2014).

El síndrome del edificio enfermo (SEE) ha sido descrito como una afección de la salud, que sufren los trabajadores debido a diferentes factores ocasionados por riesgos físicos, químicos, biológicos y psicosociales dentro de su ambiente laboral.

Su origen está directamente relacionado con múltiples síntomas, las cuales desaparecen cuando el trabajador abandona la edificación.

Siendo aplicable la siguiente definición: “*La Epidemia Silenciada*”. Yo me pregunto, ¿Cómo es posible que siga ocurriendo? Porque en vez de decrecer, va en aumento debido a estos fundamentos. Su invisibilidad, a pesar de la gran abundancia de edificios que sufren estas patologías, no es habitual que lo hagan público, por lo que pasa a ser un problema frecuente pero silenciado, en la mayoría de las ocasiones los edificios afectados por el síndrome de edificio enfermo proceden de manera interna, incluso exigiendo cláusulas de confidencialidad a las personas que trabajan para resolver estas casuísticas.

Las normativas de edificación actuales todavía no recogen los criterios que eviten la aparición de estas patologías, aunque las medidas para evitarlo son relativamente elementales cuando las integramos a nivel de diseño. En cambio, es mucho más complejo poner una resolución una vez que han acontecido. A pesar de que las actuales normativas no eviten que esto siga apareciendo, ¡es fundamental implementar principios de diseño que prioricen no sólo la eficacia, sino también la salud de las personas!

Esta materia es especialmente imprescindible en diseños herméticos, y debería ser una prioridad de salud pública por su gran repercusión, así como a nivel de costes y mantenimiento de los edificios.

### 3.JUSTIFICACIÓN

El Síndrome del Edificio Enfermo, se identificó en la década de los años ochenta en edificios herméticos, con ventanas no practicables, equipados con sistemas de control de ventilación/climatización forzada del aire, donde más del 20% de sus ocupantes manifiestan quejas referentes a su estado de salud.

Estudiando el síndrome del edificio enfermo y las consecuencias que acarrea para la salud de los trabajadores, se decide realizar esta investigación que tiene como finalidad la revisión del comportamiento del síndrome del edificio enfermo en los trabajadores, así es como en él se tendrán en cuenta aspectos relacionados con las enfermedades reportadas, además recordar las principales medidas que se deben adoptar, verificando la implementación de las medidas y los beneficios que ha generado en la disminución de las mismas.

El desarrollo de este trabajo de revisión es muy interesante, porque se afrontó una temática de salud que aqueja a una gran mayoría de la población trabajadora quienes conviven en un edificio hermético o con sistemas centralizados de control de la ventilación y aire acondicionado, aunque también en aquellos edificios ventilados de forma natural, por este motivo el conocer estos aspectos se constituye en una aportación bibliográfica para posteriores investigaciones, permitiendo de esta manera verificar la problemática que afecta la salud e integridad de los trabajadores e impidiendo una efectividad en las diferentes actividades que realizan.

Nuestro estudio se considera útil ya que a través de la revisión bibliográfica tenemos la oportunidad de verificar las enfermedades más frecuentes, relacionarlas con la presencia del síndrome del edificio enfermo, además es un aporte a la institución universitaria y a la especialización en particular, porque se aplicarán los conocimientos teóricos establecidos, por normas o anteriores estudios científicos, permitiendo con ello interactuar con una problemática que está implícita en la población trabajadora, intentando con ello tomar las medidas pertinentes en el ámbito laboral para disminuir la presencia de estos síntomas que son frecuentes en este conjunto de personas.

Esta investigación supone una novedosa aportación, porque a nivel de institución universitaria se han realizado escasas revisiones relacionadas con esta temática. Por tal motivo presupongo que puede ser utilizado como referente bibliográfico para posteriores

investigaciones y con ello contribuir desde el presente estudio a la prevención, y posibles soluciones del síndrome del edificio enfermo, tanto a nivel nacional como en el ámbito europeo.

Según estudios realizados por (Jansz, 2017), desarrolló un modelo de causas del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), ver figura 1, señalando los factores más importantes que influyen en el padecimiento de los síntomas del SEE. Nombrando los factores químicos, físicos, biológicos, ergonómicos, de ventilación, de diseño de construcción y de materiales de construcción. Jansz señala que estos factores pueden provocar severos daños para la salud de los trabajadores.

**Figura 1**

*Modelo de Causas del SEE.*



Nota: Fuente Jansz, 2017

## 4.OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVOS GENERALES

Realizar una revisión bibliográfica relacionada con el comportamiento del síndrome del edificio enfermo que afecta a los trabajadores, que llevan a cabo su trabajo en edificios herméticos, en los que existen una gran cantidad de factores, físicos, químicos, biológicos y psicosociales que afectan a su salud, y bienestar en su puesto de trabajo.

Siendo fundamental la identificación y eliminación de las fuentes de contaminación del edificio remplazando materiales por otros que no emitan gases nocivos. Esto implica la realización de pruebas para evaluar la emisión de gases y partículas de distintos materiales.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O.E.1. Identificar las enfermedades reportadas cuyo origen se deriva del desarrollo de la actividad laboral en un edificio hermético o con sistemas centralizados de control de la ventilación y aire acondicionado, o aquellos edificios ventilados de forma natural.

O.E.2. Identificar, e implementar de las medidas oportunas y los beneficios de estas en la disminución de las enfermedades generadas por el síndrome del edificio enfermo.

O.E.3 Determinar distintos compuestos químicos que afectan, en el problema del SEE.

O.E.4. Establecer mecanismos que mejoren las irritaciones y olores.

O.E.5. Demostrar que determinados materiales de alta calidad influyen en la mejora del (SEE), disminuyendo sus síntomas y mejorando la salud de los trabajadores.

O.E.6. Determinar las influencias que pueden favorecer en la solución del (SEE), debidas al aislamiento térmico.

O.E.7. Solucionar adecuadamente la problemática de los puentes térmicos.

O.E.8. Exponer la relación que existe entre el tipo de suelo, o el origen de las rocas de las paredes donde se encuentra enclavado el edificio y la repercusión en la salud de los trabajadores, al estar expuestos a gases nocivos, como el gas radón proveniente de la descomposición natural de las rocas.

O.E.9. Demostrar las ventajas que se pueden conseguir con el uso de los vidrios inteligentes bajo emisivo.

## 5. METODOLOGÍA

La investigación se ha fundamentado en la revisión bibliográfica “es un estudio analítico del conocimiento acumulado que hace parte de la investigación documental (la cual se basa en el análisis de documentos escritos) y que tiene como objetivo inventariar y sistematizar la producción en un área del conocimiento, ejercicio que no se debe quedarse tan solo en el inventario, sino trascender más allá, porque permite hacer una reflexión profunda sobre las tendencias y vacíos en un área específica del conocimiento”

El presente estudio corresponde a una investigación de tipo documental, la cual se presentó mediante monografía informativa. Para esto se tuvo en cuenta: La literatura concerniente al tema. Criterios de inclusión: se acometieron investigaciones relacionadas con el síndrome del edificio enfermo registradas en la base de datos bibliográficas científicas virtuales a nivel mundial. Criterios de exclusión: investigaciones registradas de revistas no indexadas y no científicas. Abarcando un rango que comprende desde los años 1982 hasta 2022.

El trabajo se ha desarrollado, a través de distintas etapas de la investigación bibliográfica.

Primera etapa: Revisión por todos los investigadores de estudios del SEE de las páginas y documentos científicos autorizados.

Segunda etapa: Analizar y estudiar la bibliografía, en su contenido de forma meticulosa por parte de los investigadores para asegurar la correspondencia con el tema elegido y calidad de la información.

Tercera etapa: Seleccionar la información que será imprescindible para construir la monografía del tema planteado.

## 6.DESARROLLO DEL TEMA

### 6.1 Definiciones del síndrome del edificio enfermo

Tomamos una de las definiciones más significativas del síndrome del edificio enfermo (SEE), que será la que enunciaremos a continuación.

Se puede manifestar que el síndrome del edificio enfermo (SEE), también denominado Sick Building Syndrome (SBS), es la denominación que se le da al conjunto de síntomas diversos que presentan, las personas que trabajan en estos edificios, las sintomatologías no van en general acompañadas de lesiones orgánicas o signos físicos y se diagnostican, generalmente, por eliminación.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (1982), distingue entre dos tipos de edificios enfermos. Los edificios temporalmente enfermos, entre los que se incluyen edificios nuevos o de reciente remodelación donde los síntomas disminuyen y desaparecen con el tiempo, aproximadamente en unos seis meses, y los edificios permanentemente enfermos donde los síntomas persisten, a menudo durante varios años, a pesar de haberse tomado medidas para solucionar las anomalías encontradas.

Aspectos habituales que la OMS especifica:

Se debe tener presente que, casi siempre, en un sistema de ventilación forzada de aire común a todo el edificio o a amplios sectores de este, existe recirculación, como mínimo parcial, del aire.

“Algunos edificios tienen la localización de la toma exterior de aire en lugares inadecuados mientras que otros usan intercambiadores de calor que transfieren los contaminantes desde el aire de retorno al aire de suministro”.

“Con mucha frecuencia, la calidad de la construcción, ligera y poco costosa, es deficiente. Las superficies interiores están en gran parte recubiertas con materiales textiles, incluyendo paredes, suelos y otros elementos del diseño interior, lo que trae consigo una elevada relación entre superficie de dichos materiales textiles y la volumetría del edificio”.

“Efectúan el ahorro energético y se mantienen relativamente calientes o fríos buscando un ambiente térmico homogéneo”.

“Por ser edificios herméticos en los que las ventanas no suelen ser practicables”. (Berenguer et al., 1999).

Entre los síntomas más característicos asociados al SEE son los siguientes:

- Oculares, entre ellos; el escozor y/o enrojecimiento y el lagrimeo.
- Vías respiratorias superiores; la rinorrea presente a modo de goteo nasal, la congestión nasal y, el picor nasal, los estornudos, la hemorragia nasal, la sequedad de garganta, el dolor de garganta, la ronquera y, la sed.
- Pulmonares; opresión torácica, la sensación de ahogo, las sibilancias, la tos seca, las manifestaciones cutáneas.
- Eritema y/o enrojecimiento; sequedad cutánea, prurito generalizado y, el prurito localizado.
- Generales; dolor de cabeza, la somnolencia, el letargo, la dificultad para concentrarse.
- Irritabilidad. Náuseas. Mareos”. (Berenguer, et al., 1999).
- Psicosociales; la ansiedad y el estrés. En cuanto a, las relaciones interpersonales el control de las condiciones ambientales, es preciso, destacar que los factores relacionados con la organización del trabajo y, con un estatus bajo a nivel laboral actúan incrementando el estrés y escasa satisfacción laboral. Además, que favorecen la aparición del síndrome del edificio enfermo. El espacio disponible por el trabajador y la concentración de máquinas de oficina en áreas determinadas favorecen también la aparición de síntomas. El número de horas pasadas delante de los monitores de un ordenador también se ha relacionado con el incremento en los síntomas.

“Como factores de tipo psicosocial, y según la clasificación de la OMS, se pueden considerar los que se refieren a la organización del trabajo: horario, participación en el trabajo, ritmo de trabajo, responsabilidad, etc. y los que se refieren a la propia tarea: contenido de esta, repetitividad, monotonía, status, etc. Los factores desencadenantes más comunes en trabajadores de oficina incluyen: consideración del puesto, ambigüedad de roles, demandas conflictivas, trabajo repetitivo, escasa posibilidad de promoción, falta de implicación con los objetivos de la empresa” (Berenguer et al., 1999).

Entre las enfermedades afines con el SEE, se pueden enumerar entre las más habituales: INSHT. (2003). Síndrome del edificio enfermo, (Martí y Obiola, 1991).

- Hipersensibilidad:
- Alveolitis alérgica: en la mayoría de los casos se puede manifestar a modo de neumonía aguda, recurrente, con fiebre, tos dolor pectoral e infiltrados pulmonares.

Se han detectados casos originados por bioaerosoles formados a partir de mobiliario dañado por el agua. En algún caso se ha reconocido su origen fúngico y se ha observado una elevada prevalencia de síntomas característicos del Síndrome del Edificio Enfermo en trabajadores expuestos que no presentan la enfermedad.

- Fiebre de los humidificadores: la sintomatología se caracteriza por fiebre, escalofríos, dolores musculares y malestar general.
- Asma: los síntomas presentados son dolor en el pecho, estornudos, tos y disnea. En algunos casos se ha asociado al uso de biocidas en los humidificadores y con la utilización de nebulizadores caseros.
- Rinitis alérgica: es un tipo de trastorno que frecuentemente puede permanecer enmascarado por los síntomas del Síndrome del Edificio Enfermo.
- Dermatitis: Ocurre cuando la piel entra en contacto con una sustancia irritante o alérgica, como productos químicos, metales, plantas o tejidos. Los síntomas incluyen picazón, enrojecimiento, ampollas y descamación.

**Lipoatrofia Semicircular:** la lipoatrofia semicircular (LS) es un trastorno benigno del tejido subcutáneo, de causa desconocida que se caracteriza por depresiones semicirculares en la cara anterolateral de los muslos, relacionado con el medio laboral. Aparece con frecuencia en los edificios de oficinas de diseño moderno, nuevos o reformados. Se ha relacionado con condiciones ambientales laborales, manifestándose a través de micro traumas repetitivos y factores individuales. La LS es un trastorno que genera alarma en los trabajadores afectados al aparecer en forma de brotes. Existiendo insuficiente evidencia científica sobre las causas de la LS.

La lipoatrofia semicircular (LS) se corresponde con una atrofia del tejido adiposo situado en el tejido subcutáneo, que ha sido descrita en diferentes localizaciones como la zona de los muslos o los antebrazos. Se identifica por depresiones circulares en forma de bandas, ubicadas con bastante frecuencia en la semicircunferencia anterolateral de los muslos, unilaterales o bilaterales. No afecta a los tejidos vecinos como la piel y los músculos, en la gran mayoría de los casos no produce síntomas, su evolución clínica es benigna, no produce secuelas y los casos remiten en un periodo de varios meses, o puede perdurar hasta un periodo de años, al cesar la exposición a los factores de riesgo identificados. Su prevalencia se ha establecido en 25 – 37% en trabajadores de oficina, siendo más frecuente en mujeres en la tercera o cuarta década de su vida. Aunque no se puede decir que sea exclusiva del sexo femenino, algunos autores informan que la razón de ocurrencia de la LS en mujeres y hombres de 6:1.

Por lo tanto, actualmente no conocemos con exactitud cuales son las causas de la LS, generalmente se ha relacionado con alteraciones circulatorias, riego sanguíneo disminuido en las variantes de la arteria femoral lateral, micro traumas repetitivos en los muslos por los bordes de las mesas de trabajo, la presión ejercida por las sillas en la cara posterior de los muslos, el uso de ropa compresiva, los campos electromagnéticos y la de electricidad estática. Aunque existen datos publicados que apoyan la hipótesis de una potencial acción de los campos magnéticos débiles sobre la diferenciación adipocítica y estos representan el primer indicio experimental de que los campos magnéticos de baja frecuencia podrían intervenir como cofactor determinante en la génesis o desarrollo de la LS de origen ocupacional, sin embargo, las causas de la LS no han podido ser establecidas por métodos epidemiológicos, clínicos, bioquímicos, inmunológicos ni histológicos. Ante estas circunstancias, se hace necesario actualizar y mejorar los niveles de evidencias científicas acerca de las posibles causas de la LS para así acometer su posterior prevención.

Los edificios que presentan trabajadores afectados con LS se caracterizan por ser del tipo de edificio moderno con ventanas no practicables, sistema de circulación de aire forzado y alta concentración de trabajadores uno al lado del otro o uno frente al otro, sentados en escritorios alrededor de los cuales están una serie de equipos de oficina conectados al cableado eléctrico. También en oficinas de vigilancia de monitores de video, donde existe una alta concentración de estos equipos, ordenadores, cámaras de video, radios, etc. concentrados en un espacio relativamente reducido y con el trabajador sentado.

En la actualidad, se cuenta con múltiples teorías que sostienen que en su origen participan campos electromagnéticos y principalmente descargas electrostáticas. En este punto, el mecanismo propuesto es que mediante el contacto de la piel con la superficie conductora se produciría una transferencia de electrones (descarga) que activaría la secreción del factor de necrosis tumoral  $\alpha$  y estimularía la fagocitosis de los adipocitos. Por otro lado, experimentalmente se ha observado que la radiación electromagnética reduce la capacidad de diferenciación y desarrollo de precursores celulares de adipocitos.

“Estos mismos factores debieran ser considerados e incluidos al momento de legislar sobre las normas de construcción, haciendo un especial énfasis en las medidas que impliquen el aislamiento estructural de la radiación electromagnética; además de unas adecuadas conexiones a tierra de todo el inmueble, que deberá ser medido y controlado por la autoridad, así como considerar el establecimiento de un control periódico de los sistemas de

climatización, manteniéndose los valores de humedad ambiental por encima del 50%. Por último y no menos importante, la percepción de los trabajadores que están en un lugar de trabajo donde se ha diagnosticado LS porque genera alarma y preocupación en los trabajadores e implica un compromiso a resolver para las autoridades y personal de prevención de riesgos laborales responsables. Como es sabido la aparición de la LS en un trabajador se considera un accidente de trabajo, sin baja laboral, ya que no afecta a las capacidades funcionales". (Díaz et al., (2011).

En el origen intervienen múltiples elementos, algunos conocidos como los micro traumas repetitivos, la baja humedad relativa, los altos niveles de electricidad estática y campos electromagnéticos, así como otros aún desconocidos.

La desaparición de las lesiones es un proceso lento, variable de una persona a otra se miden más en años que en meses.

La existencia de trabajadores portadores de Lipoatrofia Semicircular debe ser considerado un factor indicativo de la situación ambiental en el entorno laboral y debe ser abordada de forma multidisciplinaria para corregir estas alteraciones.

Es verdaderamente importante que no se minimice el problema, ya que, desde la perspectiva del trabajador, que se encuentra trabajando en un lugar en el que se le está exponiendo a un riesgo indeterminado y que está produciendo alteraciones visibles en su cuerpo.

Infeciosas: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (INSST). (2003). Síndrome del edificio enfermo, (Martí y Obiola, 1991).

Legionelosis: es causada por la bacteria Legionella, manifestándose por afecciones intestinales, renales y del sistema nervioso central. La misma está relacionada con los aerosoles generados en las torres de refrigeración, condensadores de evaporación, bañeras con chorros de agua a presión y cabezales de ducha.

- Fiebre de Pontiac: se debe también a la bacteria Legionella, aunque la sintomatología presentada difiere con la legionelosis presentando fiebre, escalofríos, dolor de cabeza y mialgias. Se ha asociado a la contaminación de sistemas de aire acondicionado, bañeras con chorros a presión, condensadores de turbina de vapor y refrigerantes industriales.

- Tuberculosis: enfermedad grave que afecta principalmente los pulmones y se contagia por gotitas de microbios en el aire. Producida por el bacilo de Koch. Los síntomas pueden variar según los órganos afectados, pero pueden incluir: Tos persistente: Dura tres semanas o más. Tos con sangre o moco. Dolor en el pecho o dolor al respirar o toser. Pérdida de peso involuntaria. Fatiga. Fiebre. Sudoraciones nocturnas.
- Gripe: resfriado común: Congestión o goteo nasal: La nariz puede estar congestionada o secretar una mucosidad clara y transparente al principio, que luego puede volverse más espesa y de color amarillo o verde. Dolor o irritación de garganta: La garganta puede sentirse áspera o dolorida. Tos: Puede haber tos seca o con expectoración. Estornudos: Los estornudos frecuentes son comunes durante un resfriado. Malestar general: Sensación de cansancio o debilidad. Dolor corporal o de cabeza leve: A veces, se pueden experimentar dolores musculares o de cabeza. Fiebre leve: En algunos casos, puede haber fiebre baja. Suele afectar a personas adultas dos o tres veces por año.

## 6.2 Origen del problema, contaminantes químicos.

Los factores principales de riesgos que originan el problema del SEE, se concretan en los siguientes:

1. Formaldehído: este es un compuesto químico que se puede encontrar en distintos materiales de construcción, muebles y productos de limpieza. Observar tabla 1.

**Tabla 1**

*Concentración de Formaldehido en el Aire en Distintos Estudios Ambientales. Según actividad y margen de concentración en ppm.*

ACTIVIDAD/EMPRESA	MARGEN DE CONCENTRACIONES EN PPM
Curtidos	4,00-0,09
Soldadura térmica	0,03-0,02
Resinas fenólicas	0,30-0,05
Fundiciones	1,25-0,09
Fabricación de muebles	0,33-0,20
Oficinas (decoración)	0,33-0,19
Edificios (reformas)	0,60-1,20
Hospitales Limpieza/Desinfección	1,62-0,01
Hospitales Anatomía patológica Laboratorio	0,08-6,90
Hospitales Anatomía patológica Archivo muestras	0,22-0,36
Hospitales Endoscopias	0,08-0,01
Hospitales Autopsias (Sala)	0,07-8,40
Hospitales Autopsias (Archivo muestras)	1,10-1,60
Prácticas disección de cadáveres	0,38-2,94
Aire urbano	0,02-0,04

*Nota:* Fuente NTP 590. Prevención de la exposición al formaldehído. Año 2001.

Puede causar irritación en los ojos, nariz y garganta. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSHT). (1999). (Berenguer, 1991)

Esta es una sustancia química inflamable, incolora y de olor fuerte que se produce a nivel industrial y se usa para la construcción de materiales como tableros de partículas, madera contrachapada y otros productos de madera prensada, también se produce naturalmente en la atmósfera y durante el proceso de descomposición de plantas en el suelo. Es un producto de la combustión que se encuentra en el humo de tabaco.

Podrían también ser pesticidas o contaminantes presentes en la atmósfera, generados por la industria química y petroquímica, etc., que penetran en el interior de los edificios. De todos los COVs, es el formaldehído uno de los más conocidos, y uno de los pocos contaminantes del aire interior que puede medirse sin dificultades extremas. Esta sustancia es utilizada en telas que no necesitan planchado, en relleno de colchones, resinas, madera contrachapada, muebles, etc. El formaldehído también se puede formar durante los primeros meses (al menos hasta los primeros cuatro meses) de envejecimiento de determinados barnices, por lo que la cantidad de formaldehído emitida por un producto dado (el típico “olor a nuevo”) puede ser entre dos y ocho veces mayor, una vez concluido su proceso de fabricación”. Aguado et al., (2002).

“Estudios realizados en trabajadores expuestos a altos niveles de formaldehído, como trabajadores industriales y embalsamadores, han indicado que el formaldehído es una de las causas fundamentales de la leucemia mieloide y cánceres poco comunes, entre los que se encuentran, el cáncer de seno paranasal y de cavidad nasal y el cáncer de nasofaringe”. Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. U.S. Environmental Protection Agency. (n. d.).

El NIOSH ha indicado que una concentración de formaldehído **de 20 ppm** constituye peligro inmediato para la salud y la vida.

En relación a, los límites de exposición ocupacional al formaldehído las organizaciones de salud pública y seguridad laboral han establecido diferentes límites de exposición ocupacional para el formaldehído, con el objetivo de proteger a los trabajadores de los efectos adversos para la salud asociados a la inhalación de este compuesto. A continuación, se resumen los límites recomendados por las principales entidades:

- **Conferencia Americana de Higienistas Industriales de Gobierno (ACGIH):** Establece un **Límite de Valor Umbral (TLV)** de **0,4 ppm** como promedio ponderado en el tiempo (TWA) para una jornada laboral de 8 horas.

- **Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSST):** Define un **Valor Límite Ambiental para Exposiciones Cortas (LEP-VLA-EC)** de **0,3 ppm (0,37 mg/m<sup>3</sup>)** para exposiciones de hasta 15 minutos.
  
- **Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH):** Recomienda un límite de exposición ocupacional de **0,016 ppm** como TWA para una jornada laboral de 8 horas y un límite de **0,1 ppm** para exposiciones de 15 minutos.

**Es importante destacar que:**

“Las medidas para prevenir la exposición al formaldehído son:

1. **Medidas colectivas.** Para prevenir la exposición a formaldehído es necesario reducir al mínimo posible su presencia en el puesto de trabajo, proteger al trabajador frente a salpicaduras y contactos directos con la piel y establecer un plan de formación e información del personal que lo maneja. Se debe evitar la existencia de fuentes de contaminación innecesarias, como recipientes abiertos y eliminar rápidamente los derrames.
  
2. **Medidas Individuales.** La utilización de EPI implica el establecimiento de un programa para su adecuada gestión, desde la decisión de su utilización, hasta la formación e información a los usuarios y deberá tenerse en cuenta especialmente la legislación existente al respecto, los RRDD de comercialización (1407/92) y de disposiciones mínimas de seguridad y salud para su utilización (773/97), no olvidándose nunca el carácter de “ultima protección” que tienen. Los EPI recomendados generalmente para trabajar con formaldehído son los que protegen de contacto dérmico y de salpicaduras, como guantes, delantales, gafas y máscara facial. Si se pretende evitar completamente la inhalación de vapores, debe recurrirse a la utilización de equipos de protección respiratoria incluyendo filtros químicos del tipo BP3. Consultar siempre su adecuación al fabricante y leer detenidamente el folleto explicativo”. Instituto Nacional de seguridad e higiene del trabajo. (INSHT). (2010). (Freixa y Torrado, 2010).

Se ha recomendado el uso de productos de madera prensada de grado exterior, con la finalidad de limitar la exposición al formaldehído. Los niveles de formaldehído en ambientes de trabajo también se pueden reducir al garantizar una ventilación adecuada, temperaturas moderadas y la reducción de los niveles de humedad con el uso de aire acondicionado y deshumidificadores.

### **Formas para reducir los efectos nocivos que provoca la presencia del formaldehído en los lugares de trabajo.**

Medidas más adecuadas para reducir los efectos nocivos del formaldehído.

➤ Ventilación:

Abrir ventanas: es la forma más sencilla de reducir los niveles de formaldehído es abrir las ventanas para permitir la circulación de aire fresco. Esto ayuda a diluir y eliminar los contaminantes del aire interior del edificio.

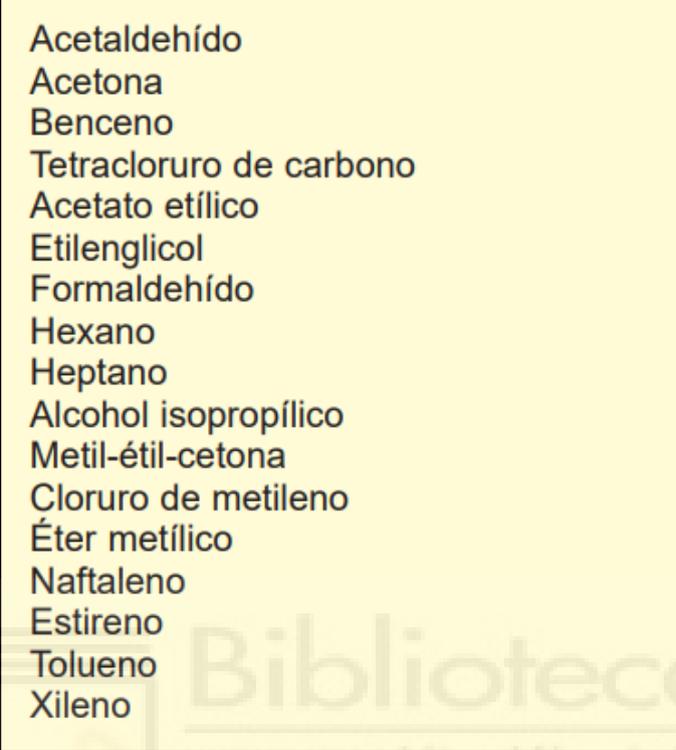
Purificadores de aire: filtros de oxidación: Algunos purificadores de aire contienen oxidantes como el  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KMnO}_4$ . Estos oxidantes pueden convertir el formaldehído en ácido fórmico ( $\text{HCOOH}$ ), que es menos volátil y nocivo.

El óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), usándolo para eliminar impurezas y contaminantes. El permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), como agente oxidante muy fuerte, elimina hierro, magnesio y sulfuro de hidrogeno del agua, aprovechando sus propiedades está diseñado para purificar el agua y el aire.

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs): Estos son liberados por pinturas, barnices, alfombras y productos de limpieza, polvo, fibras, dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ozono. Los COVs pueden causar síntomas como dolor de cabeza, náuseas y fatiga. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSHT). (1999). (Berenguer, 1991).

**Tabla 2**

*Referencia a los Distintos COVs más Típicos.*



Acetaldehído
Acetona
Benceno
Tetracloruro de carbono
Acetato etílico
Etilenglicol
Formaldehído
Hexano
Heptano
Alcohol isopropílico
Metil-étil-cetona
Cloruro de metileno
Éter metílico
Naftaleno
Estireno
Tolueno
Xileno

*Nota:* Fuente MAPFRE SEGURIDAD. Nº 87 - Tercer Trimestre (2002).

En la misma se relacionan los distintos compuestos que en la gran mayoría de los casos nos enfrentamos a su presencia en un edificio afectado por el (SEE). Los cuales están presentes en los mismos.

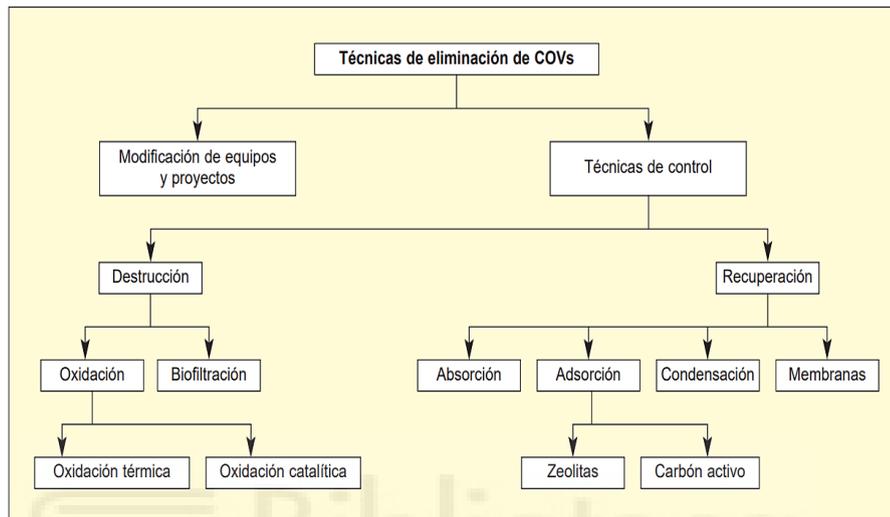
Estos compuestos pueden ser eliminados del interior de los edificios adoptando las siguientes medidas: ver en la figura 2.

“La idea de la utilización de membranas zeolíticas en la purificación de ambientes interiores contaminados con trazas de compuestos orgánicos volátiles (COVs), como el formaldehído, el benceno, el percloroetileno, etc. Esta gama de compuestos son los responsables de lo que se ha dado en llamar síndrome del edificio enfermo SEE, síndrome y, pueden haber sido generados por más de un centenar de productos, tales como: artículos personales como fragancias y fijadores de pelo, productos de oficina, fluidos de lavado en seco, combustibles,

materiales aislantes, muebles sintéticos o de madera tratada con agentes químicos (barnices, lacas, pinturas, etc.), maderas prensadas, productos de limpieza y mantenimiento, desinfectantes, etc.

## Figura 2

*Técnicas de Eliminación de COVs.*



*Nota:* Fuente MAPFRE SEGURIDAD. Nº 87 - Tercer Trimestre (2002).

En la figura 2, se puede observar las distintas vías para la eliminación de los COVs, como pueden ser técnicas de destrucción o técnicas de recuperación.

### **Técnicas más utilizadas en el proceso de recuperación.**

La adsorción basada en zeolitas. Algunos inconvenientes del carbón activo (es inflamable, difícil de regenerar para compuestos pesados, favorece la transformación de algunas sustancias en compuestos tóxicos o insolubles y requiere control de humedad) pueden paliarse con la utilización de zeolitas, las que presentan mayor capacidad de adsorción, una alta estabilidad térmica y no son inflamables. Las zeolitas son materiales inorgánicos que tienen una estructura cristalina y tamaño de poro fijo; su estabilidad térmica e hidrofobicidad aumentan con la relación Si/Al presente en su composición. Tenemos el contratiempo de que el coste de las zeolitas sintéticas es todavía alto, por lo que su uso está económicamente limitado a aplicaciones en las que el carbón activo no es apropiado.

Muchos fabricantes de aparatos de aire acondicionado están incorporando a sus líneas de productos, dispositivos que contienen cierta cantidad de carbón activo o de zeolitas capaces

de retener COVs. La separación con membranas utiliza una estructura basada en compuestos poliméricos semipermeables para separar los vapores orgánicos de la corriente gaseosa. La fuerza impulsora para el flujo de aire es el gradiente de presión a través de la membrana conseguido con ayuda de una bomba de vacío, o bien de un gas de barrido. Las membranas más apropiadas para esta aplicación son de 10 a 100 veces más permeables a los COVs que al aire. Como ejemplo, en algunos casos, la tecnología de membranas con capa fina de polidimetil siloxano puede ser considerada competitiva con las convencionales en las separaciones de vapores de gasolina de las emisiones procedentes de los tanques de almacenamiento.

Aunque la recuperación basada en membranas es un sistema con buenos resultados, se encuentra todavía en su etapa experimental; su adaptabilidad comercial depende de diversos factores, tales como su coste, su capacidad de permeación o su diseño para poder tratar una alta variedad de COVs.

Las zeolíticas son una clase de membranas inorgánicas microporosas donde cristales de zeolitas se hacen crecer en forma de capa continua sobre un soporte comercial meso o macroporoso. De este modo, el resultado es un nuevo material (una membrana zeolítica) que tiene las excepcionales propiedades de las zeolitas: estructura microporosa cristalina y regular con poros del tamaño de las moléculas (0.4-0.7 nm), elevada estabilidad térmica y química, actividad catalítica, posibilidad de intercambio iónico.

Una posible aplicación de las membranas zeolíticas que se ha investigado por primera vez, consiste en el diseño de un sistema capaz de eliminar de una forma no destructiva los contaminantes tipo COVs, ya mencionados, del ambiente interior de casas, fábricas, oficinas, hospitales, colegios, etc., donde están presentes en muy bajas concentraciones. Para ello se utilizan membranas zeolíticas de silicalita y ZSM-5, cuya principal característica, sobre todo de la primera, es la organofilicidad, es decir, la interacción específica y fuerte con compuestos orgánicos. Esto, mediante un mecanismo de adsorción y bloqueo de poros, favorece la separación selectiva de los COVs, incluso siendo más voluminoso que el aire. Aguado et al., 2002).

**Amoníaco:** Es un gas incoloro de olor penetrante y desagradable, altamente soluble en agua, presente en productos de limpieza y fertilizantes, el amoníaco puede provocar irritación de las vías respiratorias y los ojos. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

(INSHT). (1999). NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgos. NIPO: 211-92-011-6. Se trata de una sustancia corrosiva que, en casos extremos, debido a su exposición puede provocar ceguera permanente y enfermedades pulmonares, dependiendo de la concentración del amoníaco y la duración de la exposición. Por lo que, es esencial que los trabajadores utilicen el equipo de protección personal adecuado y sigan las medidas de seguridad recomendadas al manejar amoníaco.

Consecuencias más frecuentes provocadas por el uso de amoníaco:

Ojos: sus vapores son corrosivos para las mucosas, pudiendo dar lugar a graves lesiones en la córnea. Sus salpicaduras provocan enrojecimiento, quemaduras profundas graves, e incluso ceguera.

Vías respiratorias: los vapores provocan irritación broncopulmonar con sensación de quemazón en la garganta, su inhalación en altas concentraciones provoca, edema laríngeo, inflamación del tracto respiratorio y neumonía.

Piel: el contacto con la solución por su efecto corrosivo causa quemaduras cutáneas graves, escarificaciones, ampollas y dermatitis de contacto.

1. Óxidos de nitrógeno: Producidos por la combustión de combustibles fósiles, como el gas natural y el petróleo. Pueden agravar problemas respiratorios. Son compuestos de con olores fuertes, penetrantes y desagradables, que contribuyen al smog en áreas urbanas.

Partículas en suspensión: Incluyen polvo, humo y otras partículas finas. Pueden afectar la salud pulmonar. INSHT. (1999). (Berenguer, 1991).

2. Gas Radón: gas radiactivo que puede filtrarse desde el suelo y acumularse en los edificios. Es un gas inodoro, incoloro e insípido.

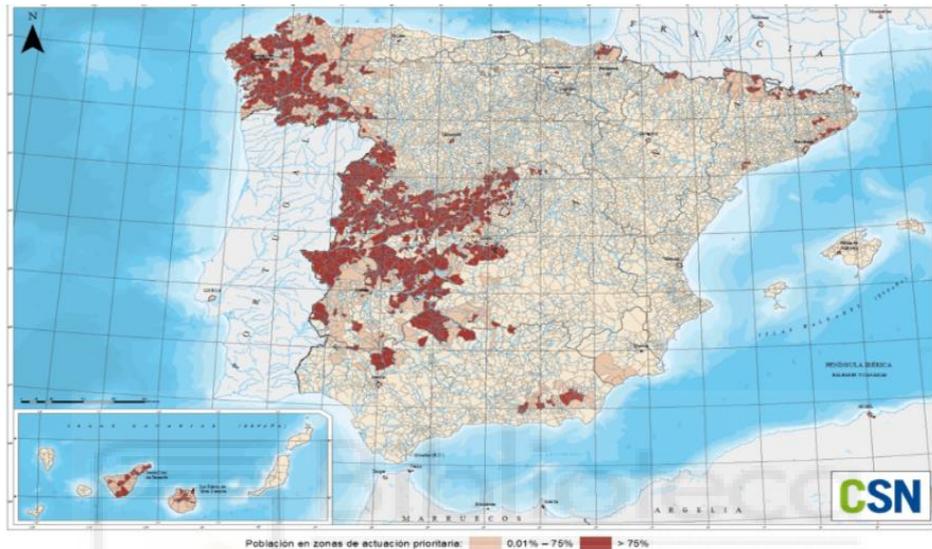
La exposición prolongada al radón aumenta los riesgos de cáncer de pulmón. Según la OMS el gas radón es la segunda causa más importante de cáncer de pulmón y se estima que a nivel nacional los casos de cáncer de pulmón imputables a este gas son entre un **3%-14%** (en función de la concentración media nacional de radón), respecto al total. Manual de la OMS. (2009).

Los análisis realizados indican que el riesgo de cáncer de pulmón aumenta proporcionalmente a la exposición al gas radón. Como son muchas las personas expuestas a concentraciones de gas radón bajas o medias, la mayoría de los casos de cáncer de pulmón

asociados al gas radón son provocados por esos niveles de exposición y no por concentraciones más elevadas. Ver figura 3, gas radón en interiores, zonificación por municipios.

### Figura 3

*Manual de la OMS sobre el Gas Radón en Interiores. ISBN 978 92 4 3547671.*



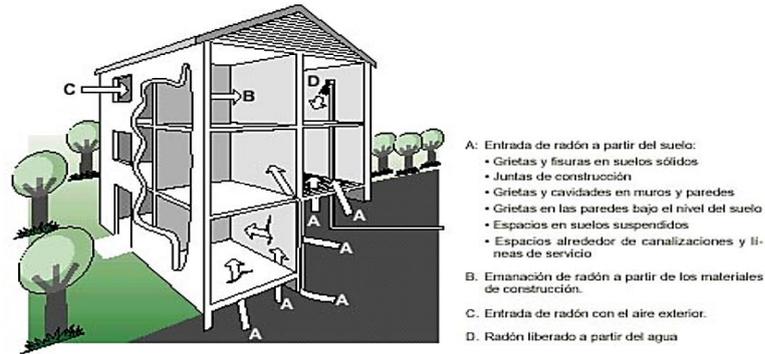
*Nota:* Fuente Mapa de zonificación por municipios CSN. “Consejo de Seguridad Nuclear”

Las zonas del mapa con potencial superior a 300 Bq/m<sup>3</sup> (el nivel de referencia que establece la Directiva 2013/59/Euratom) consideran zonas de actuación prioritaria, En total representan el 17% del territorio nacional. Por Comunidad Autónoma, los porcentajes de superficie afectada son: Andalucía, 8%; Aragón 2%; Asturias, 12%; Canarias, 19%; Castilla y León, 19%; Castilla-La Mancha, 10%; Cataluña, 16%; Ceuta, 11%; Extremadura; 47% Galicia, 70%; Madrid; 36%; Murcia, 1%; Navarra, 6%; País Vasco, 2%.

“Se tiene la certeza de que siendo el principal foco de gas radón (en la inmensa mayoría de los casos) es el terreno, y la causa es su contenido natural en uranio y torio, Mientras que los terrenos de origen basáltico poseen 1 ppm de uranio y 4 ppm de torio, las areniscas, al igual que los suelos carbonatados poseen 0.5 ppm de uranio y 1.7 ppm de torio, los suelos arcillosos poseen 3.5 ppm y 11 ppm respectivamente, los suelos graníticos poseen 5 ppm de uranio y 12 ppm en torio, poseyendo un mayor potencial emisor de gas radón” (Suárez et al., 2000). ULPGC. (Figura 4 y tabla 3).

**Figura 4**

*Fuentes de Radón y Rutas de Entrada*



*Nota:* Fuente NTP 440-INSHT. Radón en ambientes interiores. Año 1999.

**Tabla 3**

*Tipos de Suelo y Concentraciones de Elementos Radiactivos.*

TIPO DE SUELO	CONCENTRACION DE URANIO (ppm).	CONCENTRACION DE TORIO (ppm)
Basáltico.	1	4
Areniscas.	0.5	1.7
Arcillosos.	3.5	11
Graníticos.	5	12

*Nota:* Fuente Elaboración Propia.

Las concentraciones de gas radón en la mayoría de los suelos de la corteza terrestre pueden ser distintos en varios órdenes de magnitud. El gas radón se desplaza por el terreno principalmente por difusión y por convección, dependiendo de propiedades como son la porosidad, la permeabilidad o la presencia de grietas o fallas. Este penetra en las edificaciones a través de las grietas de los cimientos, a través de los cerramientos en contacto con el suelo, las paredes y huecos, e incluso por las propias cañerías de los cuartos de baño. Ver tabla 3, tipos de suelos y concentraciones de elementos radiactivos.

Otros focos de gas radón: son los distintos materiales utilizados en la construcción, en especial cementos de bajo coste y calidad realizados a base de escorias de la industria metalúrgica. Además, el gas suministrado como combustible, puede contener también gas radón susceptible de ser liberado al medio. La concentración de gas radón en el interior del edificio se incrementa en función de la porosidad de los materiales utilizados en su construcción.

Presencia del gas radón en la atmósfera: en general, cuando el gas radón llega al aire atmosférico se difunde rápidamente. Por ejemplo: las condiciones meteorológicas, como la temperatura del suelo y del aire exterior, la presión atmosférica, la humedad y la velocidad del viento. Un factor que influye mucho en la exhalación del gas radón a la atmósfera son las variaciones de la presión atmosférica.

Cuando la presión disminuye, la exhalación aumenta debido al fenómeno de bombeo de aire y, en cambio, cuando la presión aumenta, el aire atmosférico tiende a penetrar en el suelo, lo que frena la salida del gas radón.

- Presencia del gas radón en las aguas: como se ha indicado anteriormente, el gas radón es un gas soluble en agua, y se encuentra tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. Al igual que en los suelos, la concentración del gas radón en aguas es muy variable y puede ser considerada una fuente potencialmente importante de exposición del público en general a las radiaciones ionizantes naturales (Appleton, 2007), (Appleton, 2013). Las aguas que se extraen habitualmente de fuentes subterráneas tales como manantiales, pozos y sondeos y que fluyen a través de formaciones rocosas que pueden contener uranio, radio y torio, presentan valores altos. Aguas subterráneas obtenidas en fuentes situadas en **rocas graníticas**, rocas volcánicas ácidas, presentan concentraciones de radón que varían de 50 a 500 Bq·L<sup>-1</sup>. Las aguas subterráneas obtenidas en fuentes situadas en rocas sedimentarias como calizas, areniscas y pizarras, así como rocas intermedias y rocas volcánicas básicas, por lo general, presentan concentraciones de radón que varían entre 5 a 70 Bq·L<sup>-1</sup> (Akerblom y Lindgren, 1997).
- La presencia de gas radón en el agua ha sido objeto de amplios estudios en todo el mundo durante los últimos años (Appleton, 2007; Begy et al., 2012; Correa et al., 2014; Otahal et al., 2014).

La mayoría de estos estudios se centran en la investigación de lugares con niveles altos, y con ello, evaluar la exposición de la población a la radiación por el consumo de agua, la correlación entre los valores de distintos radionucleidos en agua y otros parámetros, tales como la estructura geológica, el contenido de distintos elementos químicos. Por ejemplo: en el caso de las aguas con niveles altos de gas radón y radio son las aguas termales. Diversos estudios realizados en distintos balnearios españoles han proporcionado valores de concentración de gas radón superiores a 1800 Bq·L<sup>-1</sup> (Ródenas et al., 2008), localizados en diversas zonas geográficas de la península ibérica. Estos altos valores se encuentran tanto en zonas donde predominan formaciones de **granito y esquisto**, con altos niveles de uranio, radio y radón, como en áreas geológicas caracterizadas por bajas concentraciones de uranio, pero con fuentes profundas, aguas primitivas y de origen endógeno, que alcanzan la superficie a través de fallas o fracturas, y no tienen contacto que aguas de origen meteórico.

Según datos del Consejo de Seguridad Nuclear, la dosis que una persona recibe como promedio en España proveniente de fuentes naturales es de 2.41 mSv/año (similar a la dosis media mundial indicado por UNSCEAR), "Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas", cantidad que en condiciones normales y como promedio se estima que se distribuye de la siguiente forma: un 50% de la dosis procedente del radón, un 20% de la dosis procedente de la radiación terrestre (materiales), un 15% de la dosis procedente de la radiación cósmica y un 15% de la dosis procedente del propio organismo.

Dada la potencial peligrosidad de altas concentraciones de gas radón en las viviendas, la Comisión de las Comunidades Europeas, emitieron la Recomendación 90/143/EURATOM relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. Fijándose el límite de dosis anual de exposición de la población a la radiación producida por el hombre en 5 mSv/año.

Finalmente, se recoge la recomendación de que se establezca un sistema adecuado para limitar toda exposición a las concentraciones de gas radón en el interior de edificios, prestando especial atención a la adecuada información al público.

El Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. Este decreto incluye los límites de dosis anual para la población y los trabajadores expuestos. Para los trabajadores, el límite efectivo de dosis es de 20000

$\mu\text{Sv}$ (microsieverts), al año. Además, se protege la salud visual de los especialistas, limitando la dosis al cristalino a 100 mSv a lo largo de cinco años oficiales consecutivos, con una dosis máxima de 50 mSv en un único año oficial. Real Decreto 1029/2022.

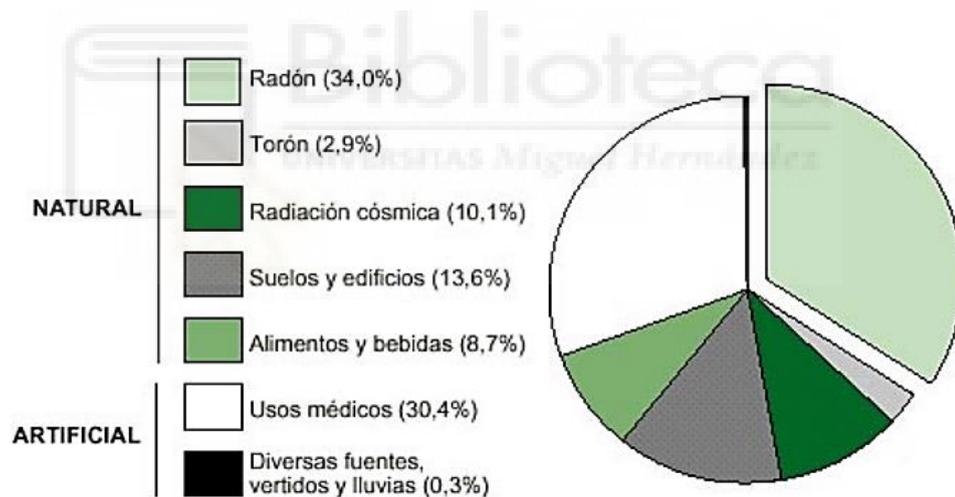
En la figura 5, se detallan las contribuciones naturales o artificiales, dosis recibidas por la población, en ambientes interiores.

Natural: Radón, Torón, Radiaciones cósmicas, Suelos y edificios y Bebidas y alimentos.

Artificial: Usos médicos, diferentes fuentes: vertidos y lluvias.

### Figura 5

*Contribución de las Distintas Fuentes de Exposición, de Origen Natural y Artificial, a la Dosis Recibida por la Población.*



*Nota:* Fuente: NTP 440: Radón en ambientes interiores. INSHT.

Tomando en consideración la nueva directiva EURATOM sobre normas básicas de seguridad publicada en enero de 2014 por parte de la Unión Europea (CE, 2013), presenta aspectos novedosos en relación con la radiactividad natural con respecto a la edición de 1996, por ejemplo, el plan de acción del gas radón en el que “ los Estados miembros establecerán un plan nacional de acción frente a los riesgos debidos a la exposición al gas radón a largo plazo en viviendas, edificios de acceso público y en los lugares de trabajo para cualquier fuente de entrada de gas radón, ya sea de suelos, materiales de construcción o las aguas.

Los Estados miembros deberán identificar aquellas zonas donde se espera que la concentración de gas radón en un número significativo de edificios (en media anual) supere un determinado valor de referencia”

“Los Estados miembros garantizarán que se adopten las medidas adecuadas para impedir que el radón entre en los edificios de nueva construcción. Entre estas medidas se podrán incluir requisitos específicos en los códigos de edificación nacionales”. Directiva 2013/59/Euratom. Traspuesta parcialmente al ordenamiento jurídico español mediante: Real Decreto 601/2019 de 19 de octubre. (2019). Justificación y optimización del uso de radiaciones ionizantes de personas con ocasión de exposiciones médicas.

“Los Estados miembros identificarán aquellas zonas en las que se espere que el promedio anual de concentración de gas radón en un número significativo de edificios supere el nivel de referencia nacional correspondiente”. Directiva 2013/59/Euratom.

Para descubrir la presencia de este gas, se utilizan diferentes detectores, siendo unos de los más utilizados, el **RAD7**, es un detector de radón portátil en continuo, basado en la espectrometría de la radiación alfa. Consta de un detector de estado sólido, una cámara de electrodeposición y una bomba interna. Es robusto frente a golpes y vibraciones. La principal ventaja de este detector es su capacidad espectrométrica, que permite distinguir entre los distintos isótopos de gas radón o de sus descendientes.

También es destacable su rapidez de recuperación tras una medida, En modo “rastreo” el RAD7 sólo busca los descendientes de vida corta del gas radón, presentando un tiempo de respuesta de unos 15 min.

Por otro lado, es de suma importancia abordar la determinación del número de detectores.

1. Para determinar el número de detectores de los que se debe disponer, se definirán en primer lugar las zonas de muestreo necesarias en el edificio.

2. Las zonas de muestreo se establecerán en aquellas plantas del edificio donde exista una probabilidad más alta de presentar niveles elevados de gas radón.

En particular:

- bajo rasante, en cada una de las plantas en las que existan locales habitables.
- sobre rasante, en las dos plantas más bajas en las que haya locales habitables.

3. Para delimitar las zonas de muestreo, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:

a) En cada unidad de uso se establecerá, al menos: una zona de muestreo por cada 200 m<sup>2</sup> de superficie útil; una zona de muestreo por planta.

b) En unidades de uso con grandes áreas no compartimentadas (por ejemplo, oficinas de planta abierta, superficies de atención al público, etc.), se tendrá en cuenta lo siguiente: cuando la superficie sea superior a 1.000 m<sup>2</sup> e inferior o igual a 5.000 m<sup>2</sup>, se podrá establecer una zona de muestreo por cada 400 m<sup>2</sup>; cuando la superficie sea superior a 5.000 m<sup>2</sup>, se podrá establecer 1 zona de muestreo por cada 500 m<sup>2</sup>.

4. En cada zona de muestreo se instalará al menos 1 detector, excepto en unidades de uso de superficie inferior a 200 m<sup>2</sup> en los que se haya definido una única zona de muestreo, donde se instalarán al menos 2 detectores.

5. En el caso de los detectores pasivos, cuando, de acuerdo con las indicaciones anteriores, “el número de detectores a exponer en un mismo edificio esté comprendido entre 15 y 25, será necesario colocar un detector más, a modo de control. A partir de 25 detectores, se añadirá un detector de control adicional por cada 20 detectores expuestos. Estos detectores se ubicarán en una zona del edificio en la que se prevea una baja concentración de gas radón”.  
CTE. HS 6, Protección frente a la exposición al gas radón.

### **Medidas para reducir el nivel de gas radón en interiores.**

Es difícil dar reglas generales aplicables a todas las situaciones en que pueda existir gas radón en un interior ya que la experiencia está demostrando que no hay dos edificios iguales y que las medidas a tomar dependerán del tipo de edificio, de su construcción y de la utilización que se le dé.

Sin embargo, en líneas generales, las principales acciones que podrían tomarse para limitar la entrada y/o el nivel de concentración de gas radón serían las siguientes:

Despresurización del espacio entre el suelo del edificio y el terreno para reducir la entrada de gas radón. Utilizado para nuevas construcciones, la despresurización pasiva del suelo. Observar figuras 6-7. Despresurización activa y pasiva del suelo para el control del gas radón.

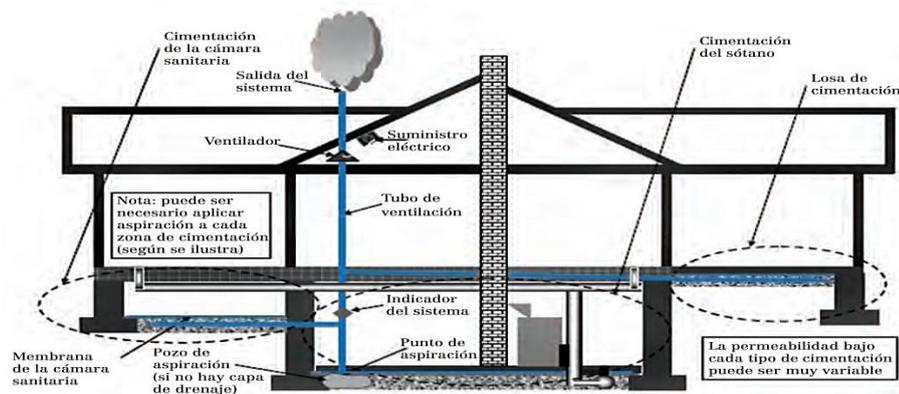
Despresurización activa del suelo: (DAS).

La Figura 6 muestra un sistema de DAS, que resulta simple de instalar y proporciona una mayor reducción de radón que los sistemas de DPS (USEPA 1993). Esto hace que la DAS pueda ser una opción preferida para la construcción de viviendas. La DAS cuenta con un amplio historial desde sus primeras aplicaciones experimentales en Canadá (DSMA ATCON 1982; Gessall y Lowder 1980; Scott 1979). Habitualmente, los sistemas de DAS incluyen los siguientes componentes básicos:

1. Uno o más puntos de aspiración situados por debajo del piso o losa en contacto con el suelo y conectados a una capa de agregado permeable continua y uniforme, un sistema de control del agua subterránea, o un sumidero.
2. Un punto de salida ubicado de modo que se reduzcan al mínimo las posibilidades de exposición humana, por ejemplo, por encima de la cubierta más alta. Se ha demostrado que ubicar las salidas del sistema DAS a ras de suelo supone un riesgo de que el radón vuelva a entrar en la vivienda (Henschel y Scott 1991, Yull 1994, Henschel 1995).
3. Un ventilador en línea, de funcionamiento continuo, situado fuera y por encima del espacio acondicionado de la edificación. Una diferencia importante entre la DAS en edificios existentes y de nueva construcción es que, en estas últimas, el uso de una capa permeable y un sistema de sellado permiten utilizar ventiladores más pequeños con mayor eficiencia energética.
4. Puede utilizarse un manómetro de tubo en U como indicador del sistema para comprobar el desempeño, por ejemplo, midiendo las diferencias de presión en el tubo de ventilación debajo del ventilador. Los sistemas deben marcarse en todos los niveles accesibles para evitar su confusión con el sistema de tuberías de agua (de modo similar a la DPS).

**Figura 6**

*Despresurización Activa del Suelo para el Control del Gas Radón.*



*Nota:* Fuente Manual de la OMS Sobre el Gas Radón en Interiores. ISBN 978 92 4 3547671.

Despresurización pasiva del suelo.

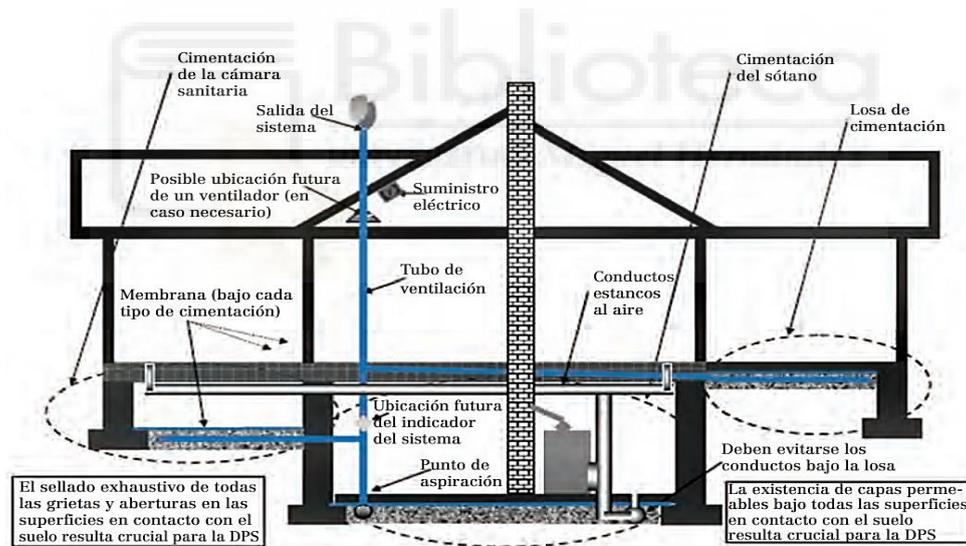
Despresurización pasiva del suelo (DPS). La DPS (véase Figura 7) se usa en nuevas construcciones. Es similar a la despresurización activa del suelo (DAS), salvo en los siguientes aspectos:

1. La eficacia de la DPS depende de la flotabilidad térmica del aire en el tubo de ventilación y de la capacidad del sistema para despresurizar ligeramente el suelo situado bajo edificio. Para que el sistema sea eficaz debe tenerse en cuenta estos factores:
  - a) El sistema debe incluir una capa permeable uniforme bajo todos los elementos en contacto directo con el suelo (p.ej. losas de hormigón, membranas de la cámara sanitaria).
  - b) El tubo de ventilación debe transcurrir fundamentalmente por la parte calefactada de la edificación, y cualquier tramo que discurra por zonas no calefactadas debe aislarse térmicamente.
  - c) La trayectoria del tubo de ventilación debe permitir instalar un ventilador con facilidad en caso de que el sistema de DPS no proporcione una reducción suficiente del radón.

- d) El tubo de salida debe desembocar por encima de la cubierta más alta.
  - e) Los sistemas deben marcarse en todos los niveles accesibles para evitar su confusión con el sistema de tuberías de agua.
2. Los elementos del edificio que estén en contacto con el suelo deben sellarse para impedir la infiltración de gases del suelo (véanse los apartados correspondientes a los sistemas de sellado y a las barreras).
  3. Como las diferencias en la presión del aire entre el tubo de ventilación y la zona habitada son muy pequeñas, el único modo de comprobar el buen funcionamiento del sistema es realizar mediciones periódicas o continuas del radón.

**Figura 7**

*Despresurización Pasiva del Suelo para el Control del Gas Radón.*



*Nota:* Fuente Manual de la OMS sobre el Gas Radón en Interiores. ISBN 978 92 4 3547671.

Aumento de la tasa de ventilación del edificio para facilitar la eliminación de gas radón.

Este es uno de los métodos más asequibles, pero hay que evitar que se generen depresiones en el edificio que pueden tener un efecto contrario.

Recubrimiento de los elementos (suelo y/o paredes) que presenten una emisión de gas radón elevada y así reducir la acumulación de radón en el interior del edificio. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSHT). (1999). (Berenguer, 1999)

La guía de rehabilitación frente al gas radón, establece unas soluciones orientativas de protección frente al radón más adecuadas en función de la concentración de gas radón. Ministerio de Ciencia e Innovación. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (2020).

Promedio anual de concentración de radón (Bq/m<sup>3</sup>) Soluciones de protección ≤600  
Disposición de barrera de protección:

1. (Solución A1+ Solución A1-1). Sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas.
2. (Solución A2). Empleo de puertas estancas.
3. (Solución A3). Creación de sobrepresión en los locales a proteger.
4. (Solución A4). Mejora de la ventilación del espacio de contención.
5. (Solución B1 y Solución B2). Mejora de la ventilación de los locales habitables. **(Véase anexo 9.3-9.5)**

Promedio anual de concentración de radón (Bq/m<sup>3</sup>) Soluciones de protección >600

1. Solución C1). Creación de espacio de contención.
2. (Solución B1 y Solución B2). Instalación de sistema de despresurización del terreno
3. (Solución B3) **(Véase anexo 9.3- 9.5)**.

1. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de solera en función de la concentración de radón existente.
2. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sanitario en función de la concentración de radón existente.
3. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sobre sótano en función de la concentración de radón existente.

La OMS en unas Guías para el establecimiento de la Calidad del Aire recomienda unos valores para proteger la salud pública para 28 sustancias, algunas de las más significativas para el SEE se exponen en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Valores de Referencia para Algunas Sustancias no Cancerígenas en Aire según OMS.*

COMPUESTO		VALOR DE REFERENCIA (PROMEDIO PONDERADO EN EL TIEMPO)	PERIODO DE TIEMPO
COMPUESTOS ORGÁNICOS	Cloruro de metileno	3 mg/m <sup>3</sup>	24 horas
	Estireno	800 µg/m <sup>3</sup>	24 horas
	Formaldehído	100 g/m <sup>3</sup>	30 minutos
	Sulfuro de Carbono	100 g/m <sup>3</sup>	24 horas
	Tetracloroetileno	5 mg/m <sup>3</sup>	24 horas
	Tolueno	8 mg/m <sup>3</sup>	24 horas
	Tricloroetileno	1 mg/m <sup>3</sup>	24 horas
COMPUESTOS INORGÁNICOS	Cadmio	1 - 5 ng/m <sup>3</sup> 10-20 ng/m <sup>3</sup>	1 año (áreas rurales) 1 año (áreas urbanas)
	Dióxido de Azufre	500 µg/m <sup>3</sup> 350 µg/m <sup>3</sup>	10 minutos 1 hora
	Dióxido de Nitrógeno	400 µg/m <sup>3</sup> 150 µg/m <sup>3</sup>	1 hora 24 horas
	Monóxido de Carbono	100 mg/m <sup>3</sup> 60 mg/m <sup>3</sup> 30 mg/m <sup>3</sup> 10 mg/m <sup>3</sup>	15 minutos 30 minutos 1 hora 8 horas
	Ozono	150 µg/m <sup>3</sup> 100-120 µg/m <sup>3</sup>	1 hora 8 horas
	Plomo	0.5-1.0 µg/m <sup>3</sup>	1 año

*Nota:* Fuente (Berenguer, 1991).

### 6.3 Solución del problema.

A continuación, abordaremos sobre cómo mejorar la calidad del ambiente interior de un edificio. Se presentan varias soluciones que incluyen la implementación de una buena ventilación, el uso de mobiliario y materiales de construcción de calidad, la garantía de un buen aislamiento térmico y la evitación de suelos de moqueta. Cada una de estas soluciones se detalla a continuación para proporcionar un ambiente interior saludable y confortable:

- Buena ventilación: Realizar una ventilación del interior del edificio de manera regular y constante.
- Control de humedad: Asegurarse de que los sistemas de ventilación están limpios y funcionan correctamente, y controlar y regular la humedad en el ambiente.
- Evitar materiales tóxicos: Evitar utilizar materiales y productos que contengan compuestos orgánicos volátiles (COVs).
- Luz natural: Favorecer la entrada de luz natural en el edificio.
- Mobiliario y materiales de construcción de calidad: Evitar los productos plásticos y tóxicos.
- Buen aislamiento térmico: Asegurar un aislamiento térmico adecuado.
- Evitar el suelo de moqueta: Este tipo de suelo puede acumular polvo y ácaros.

### 6.3.1. Identificar la naturaleza de los contaminantes y fuentes.

“En relación con los contaminantes biológicos, el aire interior puede contener una mezcla compleja y variable de microorganismos, fragmentos y componentes de los mismos entre los que cabe destacar: b-1.3 glucano y ergosterol fúngicos, ácido murámico bacteriano, toxinas (endotoxinas de las bacterias Gram negativo y micotoxinas fúngicas), compuestos orgánicos volátiles microbianos (COVs), polen, ácaros, partes y deyecciones de insectos, pelo y descamaciones de animales, etc. La composición de los bioaerosoles va a depender fundamentalmente de su fuente, del mecanismo de aerosolización y de las condiciones ambientales existentes” (Culver, 2015).

Los bioaerosoles juegan un papel muy importante en la contaminación del aire interior, llegando a contribuir entre un 5 y un 34% a la contaminación total existente. (Culver, 2015).

Sustituir productos problemáticos por otros menos contaminantes.

Identificar la naturaleza de los contaminantes y fuentes: Esto implica realizar pruebas de calidad del aire para identificar los contaminantes presentes. Los contaminantes comunes pueden incluir compuestos orgánicos volátiles (COVs), dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas en suspensión, moho y otros alérgenos. Las fuentes de estos contaminantes pueden ser diversas, incluyendo materiales de construcción, productos de limpieza, mobiliario, sistemas de ventilación deficientes, entre otros.

Sustituir productos problemáticos por otros menos contaminantes: Una vez identificados los contaminantes y sus fuentes, se pueden tomar medidas para eliminar o reducir la exposición a estos. Esto puede implicar la sustitución de productos de limpieza tóxicos por alternativas más seguras, la eliminación de materiales de construcción que emiten COVs, la mejora de los sistemas de ventilación, entre otras medidas.

### 6.3.2. Desarrollo de materiales de construcción no contaminantes.

“La sustitución de materiales tradicionales por materiales compuestos supone un importante cambio en favor de la sostenibilidad. La sostenibilidad se entiende como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las

generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar de la sociedad". Acciona., (2019).

**Materiales compuestos:** Los materiales compuestos son la combinación de dos o más materiales de forma que las propiedades del material final sean superiores a las de los componentes por separado. Este tipo de materiales, utilizados inicialmente para la industria aeroespacial, son cada vez más utilizados en el sector de la construcción. Se trabaja principalmente con fibras de carbono y fibras de vidrio unidas entre sí mediante materiales poliméricos y utilizando procesos como hand lay-up, pultrusión, RTM (resing transfer moulding) o infusión de grandes espesores. Estos innovadores procesos consumen una menor cantidad de energía y los materiales compuestos resultantes ofrecen unas prestaciones superiores a los tradicionales con un menor impacto ambiental.

**Materiales sostenibles:** Los materiales sostenibles no solo nos ofrecen la oportunidad de edificar pensando en el medio ambiente, sino que también representan una inversión a largo plazo en términos de sostenibilidad. La construcción moderna se está rediseñando para ser parte de la solución al cambio climático mediante la integración de métodos y materiales que apoyan la preservación del entorno natural y promueven una economía circular.

### 6.3.3. Materiales compuestos.

**Elementos de fachadas:** Los materiales compuestos ofrecen la posibilidad de diseñar fachadas ligeras, resistentes y estéticamente atractivas.

**Elementos estructurales:** Los materiales compuestos se pueden utilizar en la construcción de elementos estructurales como vigas, columnas y losas.

**Cubiertas:** Los materiales compuestos se pueden emplear en la fabricación de cubiertas, ofreciendo una solución ligera y resistente.

Es importante destacar que estos materiales tienen un comportamiento anisotrópico, lo que significa que pueden adaptarse a diferentes aplicaciones según la orientación de las fibras.

#### 6.3.4. Características de los materiales compuestos.

Fases químicas distintas: Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interfase.

Propiedades superiores: Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes.

Variedad de aplicaciones: Los materiales compuestos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones debido a su versatilidad. Por ejemplo, se utilizan en la industria del transporte, la construcción, la aeronáutica, entre otras.

Tipos de materiales compuestos: Existen diferentes tipos de materiales compuestos, como los reforzados con partículas, los endurecidos por dispersión, los reforzados con fibras y los estructurales.

#### 6.3.5. Tipos de materiales compuestos. Casos.

Materiales compuestos de matriz metálica (MMC):

Tienen una alta resistencia y muy bajo peso. Son una categoría especial de materiales compuestos combinando sus distintas propiedades, las de los metales con las de otros materiales como pueden ser cerámicas o polímeros, que son resistentes a altas temperaturas, siendo el procedimiento más habitual de fabricación, la infiltración de gas bajo presión, se introduce un gas a presión en un molde que contiene una mezcla de polvos metálicos y refuerzo, permitiendo que el metal se funda y se infiltre el refuerzo, su fabricación acostumbra a ser muy costosa, sin embargo, con el desarrollo de la tecnología se han encontrado diferentes soluciones para superar estas estas limitaciones.

Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC): son aquellos que poseen mejores propiedades mecánicas que los materiales cerámicos tradicionales, como la resistencia y la tenacidad, especialmente en rangos de bajas temperaturas. Soportan altas temperaturas superiores a los 1000°C, excelente resistencia al desgaste, impacto o corrosión, son relativamente ligeros. Típicamente consiste en matriz cerámica como la alúmina o el carburo

de silicio, fortalecida con fibras cerámicas, metálicas o poliméricas. Se producen por sinterización.

Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC): son materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos. Matriz polimérica, polietileno, o polipropileno, de refuerzo: estos son materiales añadidos en la matriz para enriquecer sus propiedades. Pueden ser fibras, partículas o láminas. Las fibras de carbono, vidrio y aramida son refuerzos comunes en los PMC. Se elaboran por moldeo por transferencia de resina (RTM), la matriz líquida se infunde en molde que contiene el refuerzo dispuesto, luego el mismo sometido a un proceso de curación.

Materiales compuestos reforzados por partículas: están constituidos por partículas de un material duro y frágil dispersas uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil. Las partículas utilizadas pueden ser: polvo de aluminio, óxido de magnesio, carbonato de calcio, dióxido de titanio, nitrato de plata, óxido de zinc, nitrato de plomo u otros. Se usa generalmente en hormigones agregando las partículas al cemento. Los materiales compuestos reforzados con partículas se fabrican mezclando las partículas con la matriz en estado líquido o semilíquido. Luego, la mezcla se somete a un procedimiento de curado o sinterizado para formar el compuesto sólido.

Las propiedades finales dependen en gran medida de la naturaleza de las partículas, la forma, el tamaño, su distribución y por último la orientación de las partículas en la matriz.

Materiales compuestos endurecidos por dispersión: el tamaño de las partículas que forman parte de la composición es muy pequeño (entre 100 y 2500  $\mu$  de diámetro). A temperaturas normales, estos compuestos no resultan más resistentes que las aleaciones, por lo tanto, su resistencia disminuye con los aumentos de la temperatura.

Materiales compuestos reforzados por fibras: son los composites los más importantes desde el punto de vista tecnológico. Su objetivo fundamental es conseguir materiales con una elevada resistencia a la fatiga y rigidez a bajas y altas temperaturas.

Materiales compuestos estructurales: son aquellos que se encuentran formados tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos. Estos materiales se utilizan en una variedad de aplicaciones donde se requiere una combinación de resistencia, rigidez y ligereza.

Ejemplos más representativos de distintos materiales compuestos son:

- Cermet: es una conjunción de cerámica y metal, diseñada para soportar altas temperaturas y abrasión (como los cerámicos) pero los mismos gozan de la maleabilidad de los metales.
- Hormigón reforzado y mampostería: son ejemplos de materiales compuestos estructurales utilizados en la construcción.
- Madera compuesta: como la madera contrachapada, es un ejemplo de un material compuesto reforzado por fibras.
- Plásticos reforzados: como el polímero reforzado con fibra o la fibra de vidrio.
- Material de la ventana intercambiable: Se mantiene transparente mientras bloquea la luz del sol. En síntesis, cuando la luz del sol atraviesa las ventanas de un edificio, puede originar temperaturas interiores

A medida que la luz del sol atraviesa las ventanas de un edificio, puede hacer que se incremente la temperatura interior, hasta el punto de que se debe usar el sistema de aire acondicionado de la estructura, que consume gran cantidad energía. Sin embargo, un nuevo material de ventana intercambiable bloquea el calor entrante sin dejar de ser transparente en su mayor parte.

En primer lugar, ya existen lunas con cristales electrocrómicos, que se tiñen electrónicamente bajo demanda. Sin embargo, a medida que el vidrio se torna más oscuro, se vuelve más difícil ver a través de él. Además, aunque dichas ventanas bloquean parcialmente el espectro visible de la luz solar, no bloquean necesariamente el espectro infrarrojo, que produce el calor. Ahí es donde entra a jugar su papel el nuevo material.

Desarrollado por científicos de la Universidad Tecnológica Nanyang de Singapur y la Universidad Hebrea de Jerusalén de Israel, consiste en una mezcla económica de dióxido de titanio, trióxido de tungsteno, neodimio-niobio y óxido de estaño. Esto se puede aplicar como un revestimiento al vidrio de un panel de ventana común y se conecta a un circuito eléctrico.

Cuando deseamos que el calor extra que proporciona la luz del sol, como durante los meses de invierno, el material se deja apagado. Esto nos permitiría que pase toda la radiación infrarroja de la luz solar. Sin embargo, durante los meses más cálidos, se enciende la energía; las simulaciones han indicado que el material bloqueará hasta el 70 por ciento de la radiación

infrarroja entrante, al tiempo que permitirá que pase hasta el 90 por ciento de la luz visible del sol.

Además, mientras que las ventanas electrocrómicas existentes comienzan a perder su funcionalidad después de tres a cinco años de uso, las pruebas que involucran ciclos repetidos de encendido/apagado han demostrado que el nuevo material debería durar mucho más.

Además, las ventanas que incorporen la tecnología también podrían recubrirse con una película conmutable electrónicamente creada por el mismo equipo, que utiliza nanopartículas de carbono para conducir o bloquear el paso del calor ambiental del ambiente exterior.

"Con la capacidad de controlar tanto el calor infrarrojo irradiado por el sol como el calor conducido que pasa a través de la ventana, se espera que esta tecnología sea particularmente útil en climas templados, ya que los ocupantes del edificio pueden usarla para regular la pérdida o ganancia de calor de acuerdo con las necesidades del cambio de estaciones, sin dejar de disfrutar gran parte de la vista", según lo expuesto por el Dr. Ronn Goei de Nanyang, primer autor de un artículo sobre la investigación.

Ahora se pasa a explicar cómo funciona este material:

1. Composición del material: Es un material que está compuesto por una mezcla de **dióxido de titanio, trióxido de tungsteno, óxido de estaño y neodimio de niobio**. Esta combinación se puede extender como una capa adicional sobre los cristales convencionales.
2. Conexión eléctrica: Este material se conecta a un circuito eléctrico del edificio. En los meses que hace mucho calor, podemos activar este circuito para que bloquee hasta un **70% de la radiación infrarroja**, mientras permite que pase un **90% de la luz**.

Versatilidad: En la temporada de invierno, si queremos dejar pasar todo el calor posible, simplemente desconectamos el circuito. (Goei et al.).

## Beneficios de los materiales compuestos.

El empleo de materiales compuestos en lugar de elementos como hormigón y acero tiene multitud de ventajas:

- a) Ligereza: la densidad de los materiales varía desde 0.03 a 2 Kg/dm<sup>3</sup>, lo que facilita el ensamblaje, transporte y la colocación en obra.
- b) Corrosión: los materiales muestran un excelente comportamiento ante la corrosión y los agentes ambientales, lo que contribuye a su aplicación en zonas costeras y disminuye el coste del mantenimiento.
- c) Alta resistencia mecánica: presentan elevadas resistencias mecánicas, es decir, pueden soportar mucho peso, lo que justifica su uso como materiales estructurales.
- d) Moldeables: tienen un elevado grado de libertad en su capacidad de moldeo, algo que permite diseñar cualquier tipo de forma.
- e) Auto-limpiables: no se ven afectados por condiciones de lluvia, dado que repelen el agua, lo que permite su utilización en elementos estructurales exteriores, como techos, fachadas y elementos ornamentales.
- f) Terminaciones a medida: alcanzan diferentes tipos de terminaciones superficiales, obteniéndose elementos con diferentes grados de luminosidad.
- g) Posibilidad de variar las condiciones de aislamientos acústicos y térmicos.
- h) Sistemas de reparación y de refuerzo simple rápidos de ejecución. Acciona., (2019).

### 6.3.5.1. Materiales poliméricos.

Los materiales poliméricos son compuestos formados por macromoléculas que se encuentran en todo nuestro alrededor. Un polímero es una sustancia constituida por moléculas muy grandes llamadas macromoléculas, las cuales están compuestas por muchas unidades pequeñas que se repiten y que están ligadas químicamente una tras otra. La palabra polímero procede del griego y significa, literalmente, “muchas partes”.

Los polímeros pueden ser de varios tipos en función del comportamiento físico de sus

moléculas y del tipo de enlace que crean estas. Teniendo en cuenta sus rasgos generales, podemos hacer una elemental distinción entre los siguientes polímeros:

- Polímeros termoplásticos: Este tipo de polímeros está formado por cadenas sencillas o ramificadas de moléculas que se deslizan entre sí, o unas sobre otras, cuando se aplica una fuente externa de calor.
- Polímeros termoestables: La cualidad más importante que caracteriza a estos polímeros es que son más resistentes y soportan mejor el calor.

Algunas características generales de los materiales poliméricos son:

- Son aislantes de la electricidad: Estos materiales poliméricos, son materiales aislantes debido a que están formados por átomos de elementos no metálicos, en su mayor parte.
- Generalmente forman sólidos amorfos en lugar de sólidos cristalinos.
- La mayor cantidad de estos son termoplásticos, lo que significa que se pueden moldear semejante a las arcillas a altas temperaturas.
- Algunos son elásticos mientras que otros son muy rígidos.
- Algunos, como el nylon, son muy resistentes a la tensión.
- Casi siempre en su gran mayoría son inertes o poco reactivos por lo que pueden durar mucho tiempo sin desintegrarse.
- En general los polímeros sintéticos no son biodegradables.
- Algunos son reciclables.
- Algunos son transparentes como el vidrio (o más, incluso) mientras que otros son completamente opacos.
- La mayoría son aislantes, es decir, son muy malos conductores eléctricos.
- La mayoría son malos conductores térmicos.

### 6.3.6. Mejorar los mecanismos que provocan irritaciones y olores.

La selección de materiales: Elegir materiales que no exhale gases o partículas que puedan causar irritaciones o malos olores. Esto puede implicar la elección de polímeros que

no contengan ciertos aditivos o que los mismos hayan sido procesados de una manera que se minimice la emisión de compuestos volátiles.

**El procesamiento apropiado:** Durante la fabricación y el procesamiento de los polímeros, se deben seguir prácticas que minimicen la liberación de compuestos irritantes o malolientes. Esto puede incluir el control de las temperaturas y la presión durante el procesamiento, así como la utilización de técnicas de purificación o tratamientos posteriores.

**El empleo de aditivos:** Se pueden utilizar aditivos para neutralizar o eliminar los olores desagradables. Estos pueden incluir agentes absorbentes de olores, neutralizantes de olores o fragancias que enmascaren el olor.

**La investigación y desarrollo:** Continuar con las investigaciones y el desarrollo de nuevos materiales y procesos que reduzcan la irritación y los olores relacionados con los materiales poliméricos.

#### 6.3.6.1. Materiales de construcción de calidad.

- La ventilación apropiada: se trata de un sistema de ventilación eficiente puede ayudar a mantener el aire interior libre y limpio de contaminantes.
- El control de humedad: mantener un buen nivel de humedad puede prevenir la proliferación de moho y otros microorganismos.
- La luz natural: necesitamos de la luz natural ya esta puede mejorar la calidad del aire y el bienestar general de los ocupantes del edificio.
- Los materiales de construcción de calidad: evitar el uso de productos plásticos y tóxicos. Optar por materiales de construcción de alta calidad que no emitan partículas tóxicas.
- Un aislamiento térmico eficiente: un buen aislamiento térmico puede ayudar a mantener una temperatura interior confortable y reducir la necesidad de sistemas de calefacción o refrigeración, que pueden contribuir a la mala calidad del aire interior.
- Evitar el suelo de moqueta: las moquetas pueden atrapar polvo y alérgenos, lo que puede contribuir a la mala calidad del aire interior.

### 6.3.6.2. Aislamiento térmico

Nos aproximamos en la explicación de distintos tipos de aislamientos térmicos, pero se desarrollará con más profundidad el que ha quedado demostrado ser el más importante y eficiente para las edificaciones actuales.

- Lana de roca: este material ofrece una excelente regulación de la temperatura y puede reducir el consumo de energía hasta en un 70%. Se podría instalar en fachadas, techos, cubiertas y otros espacios.
- Fibra de vidrio: es un material comúnmente utilizado para el aislamiento térmico. Ofrece un excelente aislamiento y es fácil de instalación.
- Espuma de poliuretano: este material es conocido por su alta resistencia térmica y su capacidad para rellenar y sellar espacios pequeños, lo que lo hace perfecto para el aislamiento de paredes y techos. Mejora el aislamiento térmico de fachadas, muros y paredes, eliminando puentes térmicos y grietas. Además, es eficaz para insonorizar espacios. Previenen fugas de calor y sellan eficazmente, debido a su baja conductividad térmica, ayuda a mantener la temperatura interior, y se reduce la pérdida de calor o frío. La espuma de poliuretano rígido, utilizada en aislamientos y paneles, es menos inflamable debido a su estructura más densa. Aunque es importante seguir las normas de seguridad contra incendios. Las láminas utilizadas para impermeabilización y protección de superficies, son resistentes al fuego y no son inflamables.
- Celulosa: este material ecológico ofrece un buen aislamiento térmico y es excelente para áreas como áticos y buhardillas.
- Poliestireno: es un material ligero y resistente que se utiliza comúnmente para el aislamiento de techos, paredes y suelos.
- Cristal bajo emisivo y control solar: son de vidrios inteligentes utilizados para las ventanas a los que se les ha impregnado con una capa de óxidos metálicos sobre una de sus caras. Esta capa es bajo emisiva, por lo que, en lugar de emitir energía la refleja, consiguiendo de esta forma mejorar las prestaciones de aislamiento térmico frente a un vidrio normal, que no ha recibido un tratamiento de este tipo.

Los vidrios de capa bajo emisivo siempre forman parte de un doble o triple acristalamiento, y han supuesto una novedosa innovación en el sector del vidrio y de las ventanas permitiendo una mejor eficiencia energética de un edificio y pueden contribuir al ahorro de los consumos de energía.

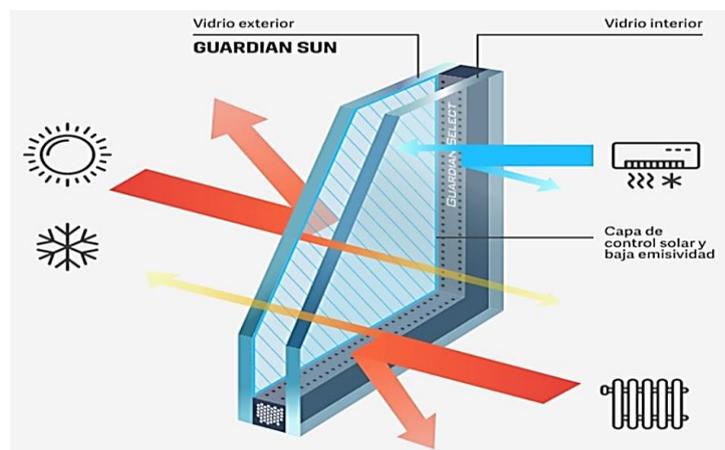
Es un elemento clave para mejorar el aislamiento térmico de las viviendas, así como otros tipos de edificios. Es trascendental indicar que, en nuestra climatología con importante radiación solar, la opción más adecuada es elegir vidrios de capa bajo emisivo y con propiedades de control solar como el cristal inteligente “Guardian Sun” ya que, de esta manera se protege del calor en verano y se mantiene la temperatura ideal, tanto en invierno como en verano, sin perder luz natural.

Los vidrios de capa con control solar evitan el llamado efecto invernadero, que sucede cuando los vidrios no protegen de la excesiva radiación solar que entra en la edificación. Siempre que combinemos un vidrio con capa bajo emisiva y de control solar, con adecuado cerramiento, se mejora el aislamiento frente al frío y al calor, contribuyendo al ahorro en sistemas de calefacción y aire acondicionado.

Aplicando a una cara del vidrio un recubrimiento de alta tecnología que, por su composición, mejora sustancialmente las prestaciones de aislamiento térmico del vidrio. Esta capa es casi invisible para el ojo humano, pero reduce las pérdidas de calor. Ver detalles en figura 8, tipos de ventanas y cristales de vidrio bajo emisivo.

## Figura 8

*Tipos de Ventanas y Cristales de Vidrio Bajo Emisivo.*



*Nota:* Fuente <https://www.guardiansun.es/tipos-de-ventanas-y-cristales/vidrio-bajo-emisivo>.

Los vidrios de capa bajo emisivos y control solar son la solución más extendida entre todos aquellos que buscan el mejor aislamiento en invierno y en verano. Este tipo de vidrios se pueden instalar en los diferentes marcos (PVC, aluminio, madera...) siempre como doble o triple acristalamiento, y se puede inclusive combinar con vidrios laminados para aportar seguridad o aislamiento acústico. Para cuantificar la mejora en el aislamiento térmico, tendremos en cuenta el valor U (coeficiente de transferencia de calor), o de transmitancia térmica del vidrio. Datos comparativos de valores (U), ver tabla 5.

**Tabla 5**

*Tabla Comparativa de Valores (U).*

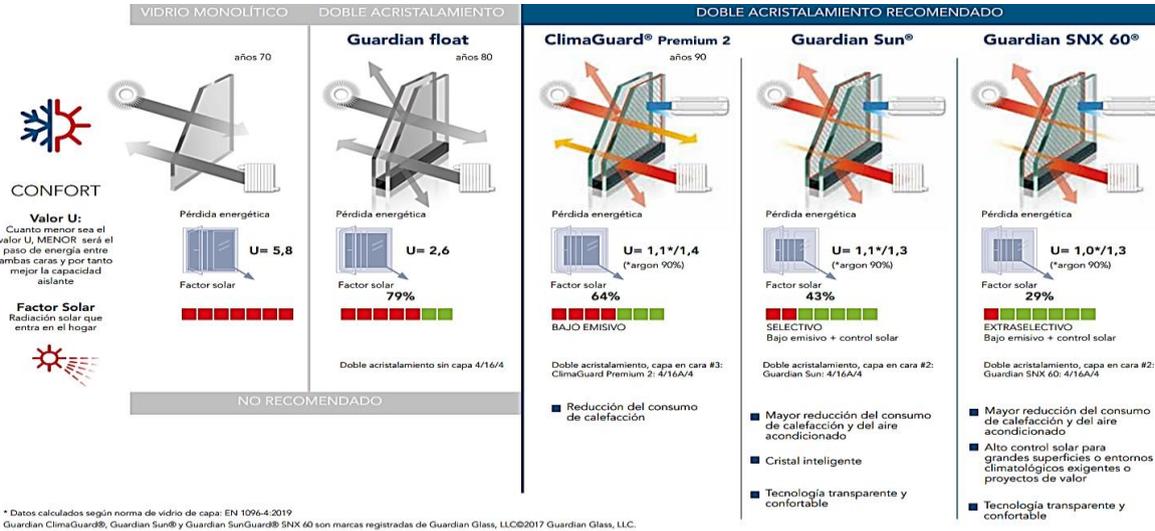
<b>Doble acristalamiento sin cristal de capa bajo emisivo.</b>	<b>Doble acristalamiento con un vidrio bajo emisivo y de control solar.</b>
Valor U del cristal se moverá entre 2.6 y 2.7 W/m <sup>2</sup> .	El cristal inteligente Guardian Sun ofrece un excelente aislamiento térmico, con un valor U de 1.1 W/m <sup>2</sup> K, y nunca por encima de 1.4W/m <sup>2</sup> K.

*Nota:* Fuente Elaboración propia.

De esta tabla comparativa se puede deducir que, utilizando el cristal inteligente, con vidrio bajo emisivo y de control solar, además de ser un excelente aislamiento térmico, y tomando en consideración los valores más desfavorables, podemos llegar a disminuir la transmitancia térmica del vidrio, o coeficiente de transferencia de calor hasta un 51,85%.

Figura 9

Cuadro Comparativo de los Distintos Tipos de Vidrios Guardian glass.



Nota: Fuente: NORMA. EN 1096-4:2019

Figura 10

Características de los Vidrios Guardian Glass.

CONFIGURACIÓN	LUMINOSIDAD		CONFORT			ENTORNO			
	Alta transmisión de luz natural	Reflexión Luminosa	Valor U	Factor Solar	Bloqueo UV	Atenuación acústica Db	Nivel de Seguridad		
<b>Guardian Float</b> Float 4/16//Float 4 argón 90%	24 mm	20,0 kg/m <sup>2</sup>	83%	15%	2,7	79%	40,1%	30 (-1; -5)	Ninguna
<b>ClimaGuard LamiGlass</b> Capa en cara #3 LamiGlass 44.1/16// ClimaGuard Premium 2,6 argón 90%	30,38 mm	35,04 kg/m <sup>2</sup>	80%	12%	1,3	59%	97,9%	38 (-1; -5)	2(B)2 ext.
<b>ClimaGuard LamiGlass Acoustic</b> Capa en cara #3 LamiGlass 44.1SR//16// ClimaGuard Premium 2,6 argón 90%	30,5 mm	35,05 kg/m <sup>2</sup>	80%	12%	1,3	59%	97,9%	42 (-2; -6)	1(B)1 ext.
<b>Guardian Sun LamiGlass</b> Capa en cara #2 LamiGlass 44.1 Guardian Sun //16// Float 6 argón 90%	30,38 mm	35,04 kg/m <sup>2</sup>	68%	19%	1,3	41%	98,8%	38 (-1; -5)	2(B)2 ext
<b>Guardian Sun LamiGlass Acoustic</b> Capa en cara #2 LamiGlass 44.1SR Guardian Sun //16// LamiGlass 44.1SR argón 90%	33,0 mm	41,10 kg/m <sup>2</sup>	68%	19%	1,3	41%	99,8%	44 (-2; -7)	1(B)1/1(B)1 ext./int.
<b>Guardian SNX 60 LamiGlass</b> Capa en cara #2 LamiGlass 44.1 SunGuard SNX60 //16// Float 6 argón 90%	30,38 mm	35,04 kg/m <sup>2</sup>	59%	13%	1,3	29%	99,4%	38 (-1; -5)	2(B)2 ext.
<b>Guardian SNX 60 LamiGlass Acoustic</b> Capa en cara #2 LamiGlass 44.1SR SunGuard SNX60 //16//LamiGlass 66.1SR argón 90%	37,0 mm	50,10 kg/m <sup>2</sup>	58%	13%	1,3	29%	99,9%	49 (-2; -7)	1(B)1/1(B)1 ext./int.

Diferencia de cotas a ambos lados de la superficie acristalada:  
 \* Mayor 12 m. Clasificación 1(B)1  
 \* Comprendida entre 0,55 m y 12 m. Clasificación 2(B)2

Todos los valores son nominales y están sujetos a tolerancias de producción. Datos calculados según norma de vidrio de capa: EN 1096-4:2019.  
 Valores espectrofotométricos según la norma EN 410, valores U según la norma EN 673, valores Rw según la norma EN ISO 140-3 & 717. Los productos de esta publicación se venden sujetos a los términos estándar y las condiciones de venta de Guardian así como a las garantías escritas aplicables. Es responsabilidad del comprador confirmar que los productos son adecuados para la aplicación prevista en cumplimiento con la normativa aplicable.  
 \*Estos datos podrían variar dependiendo de las desviaciones de fabricación.  
 Guardian KlimaGuard®, Guardian Sun® y Guardian SunGuard® SNX 60 son marcas registradas de Guardian Glass, LLC©2017 Guardian Glass, LLC.

Nota: Fuente: NORMA EN 1096-4:2019, EN 410, EN1673, EN ISO140-3 & 717.

Entre las fundamentales ventajas de los vidrios bajos emisivo merecen enumerar las siguientes.

Los vidrios bajos emisivo ayudan a mantener el calor interior, en los espacios interiores aislándolos del frío exterior. Incorporan una capa bajo emisiva y de control solar. En este caso, también protegen frente al calor del sol en los meses más calurosos, mientras permiten pasar la luz natural.

El ahorro energético que proporciona un aislamiento optimizado, hasta un **38%** de ahorro en aire acondicionado, por doble acristalamiento con Guardian Sun, con rotura de puente térmico y argón.

Minimizan la condensación interior, este fenómeno de la condensación interior se produce cuando el vapor de agua entra en contacto con una superficie más fría, generando problemas como humedad y olores. Para minimizarlo, es importante contar con un buen nivel de aislamiento y hermeticidad. Los vidrios bajo emisivo también contribuyen en este sentido.

Existe un método aprobado por el “Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico” para la certificación de la eficiencia energética de la edificación (**CEE**), el **CE3X**, en el cual se encuentra incluido, el estudio del acristalamiento. Este método ha sido elaborado por la sociedad estatal, “**IDAE**” (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía).

Un sistema de aislamiento térmico tiene como principal objetivo el de obstaculizar el paso del calor: del interior hacia el exterior en invierno y del exterior hacia el interior en verano; su eficiencia es notable en todas las estaciones y en todos los climas. Un sistema de aislamiento térmico es indispensable para construir en base a criterios de sostenibilidad ambiental, ahorro económico y confort.

Para la clasificación energética de los edificios existentes, las normativas vigentes prevén un límite máximo para el valor de Transmitancia  $U$  ( $W/m^2K$ ); este valor expresa el flujo de calor que pasa a través de un metro cuadrado de pared, en una hora de tiempo, para un gradiente térmico de un grado de temperatura entre las dos caras de la construcción (interna y externa). Simplificando la definición, la Transmitancia  $U$  representa cuanto calor se transmite (disipa) del interior hacia el exterior del edificio durante el invierno. Cuanto menor sea el valor  $U$ , menor es el paso del calor, por consiguiente, mayores las prestaciones aislantes de la pared realizada o rehabilitada.

Los materiales utilizados en la construcción (ladrillos, aislantes) se caracterizan por una capacidad particular para transmitir calor, llamada Conductividad térmica  $\lambda$ , que viene

determinada experimentalmente y se expresa en W/mK. Cuanto menor es el valor de  $\lambda$ , menor es la capacidad del material de transmitir el calor y mayor, por tanto, su capacidad aislante.

Además de la conductividad térmica, es muy importante considerar también la Inercia térmica (o capacidad calorífica) de un material, esto es la capacidad de acumular calor para después liberarlo posteriormente, expresado en J/kg·K.

Puentes Térmicos: son las discontinuidades en el aislamiento térmico y representan la vía preferente, a través de la cual se transmite el calor. Ejemplos: Pilares integrados en fachadas, contorno de huecos y lucernarios y Cajas de persianas.

Para evitar la trasmisión de calor a través de los puentes térmicos, se utiliza una técnica denominada rotura del puente térmico (RPT), que consiste en evitar que la cara interior y exterior tengan contacto entre sí. Esto se puede conseguir intercalando un material de baja conductividad para reducir las pérdidas de calor. DA DB-HE / 3, (2014). Puentes térmicos.

Clasificación de puentes térmicos según CTE, Documento de Apoyo al DB-HE.

Puentes térmicos integrados en los cerramientos: pilares integrados en los cerramientos de las fachadas; contorno de huecos y lucernarios; cajas de persianas; otros puentes térmicos integrados.

Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos: frentes de forjado en las fachadas; uniones de cubiertas con fachadas; cubiertas con pretil; cubiertas sin pretil; uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno; unión de fachada con losa o solera; unión de fachada con muro enterrado o pantalla.

Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en: esquinas entrantes; esquinas salientes; encuentros de voladizos con fachadas.

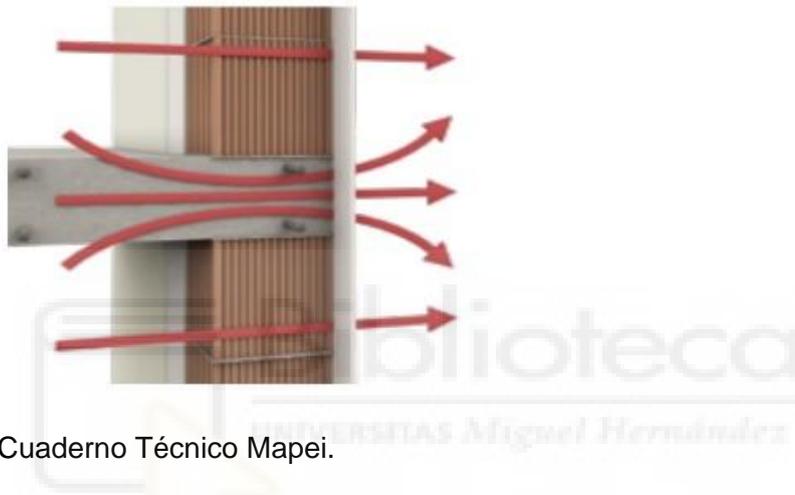
Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.

Determinando dispersiones, patologías y pérdida de confort, dispersiones de calor hacia el exterior en invierno, con el consecuente enfriamiento del ambiente interior y aumento de los consumos de calefacción; transmisiones del calor hacia el interior en verano, con el consecuente calentamiento de los ambientes interiores y aumento de consumos para el enfriamiento; enfriamiento de las superficies interiores, en invierno, con la consecuente formación de condensaciones y desarrollo precoz de mohos y bacterias.

Los mohos son hongos que crecen en ambiente húmedos y oscuros, las bacterias proliferan en ambientes húmedos y cálidos. Que se podrían evitar controlando la humedad, y utilizando el aislamiento térmico adecuado. Y se conseguiría evitar la degradación de los materiales y la aparición de enfermedades.

### Figura 11

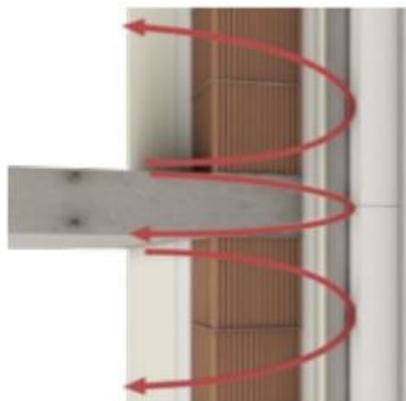
*Puente térmico constructivo: Elevada conductividad ( $\lambda$ ) de algunos materiales, ejemplo, el hormigón armado (vigas y pilares).*



*Nota:* Fuente Cuaderno Técnico Mapei.

### Figura 12

*Puente térmico construido: Corregido con Mapetherm System.*



*Nota:* Fuente Cuaderno Técnico Mapei.

Condensaciones y mohos: el vapor de agua se genera en el interior de las estancias debido a la actividad cotidiana: incluso respirar y hablar. Al contrario de algunas informaciones falsas, solo el 1-3% del vapor generado en las mismas migra a través del muro. El vapor de agua, así generado, condensa cuando encuentra superficies suficientemente frías (temperatura inferior al punto de condensación). Si la cantidad de vapor de agua es elevada, la condensación se forma también cuando encuentra superficies no particularmente frías; ejemplo, en un ambiente interior a +20°C y 80% de humedad relativa, se crea condensación en toda la superficie teniendo una temperatura igual o inferior a +18°C.

Así se puede entender la facilidad con que se generan condensaciones sobre las paredes interiores, en particular coincidiendo con los **puentes térmicos**, donde la temperatura superficial es sensiblemente más baja. A destacar que la formación de condensación se puede dar también con tasas de humedad relativa inferiores al 60%, consideradas de buena salubridad.

Todas las zonas de condensación representan terreno fértil de cultivo para la proliferación de bacterias y mohos, generando ambientes insalubres. Para dificultar la formación de condensación y las consecuentes patologías, es necesario que la temperatura de la superficie sea lo más alta posible; esto solo se puede obtener con un adecuado **aislamiento térmico** realizado sobre la superficie exterior y controlando el porcentaje de humedad relativa en los ambientes mediante la ventilación de estos.

### Figura 13

*Ambiente interior de un edificio exento de aislamiento térmico por el exterior. MAPEI.*



*Nota:* Fuente Cuaderno Técnico. MAPEI.

### Figura 14

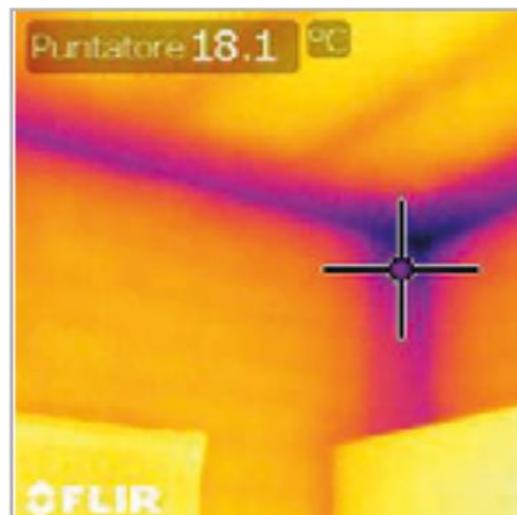
*El mismo ambiente visto con cámara térmica e infrarrojos: en correspondencia con los puentes térmicos se observa una temperatura de 8.4° C.*



*Nota:* Fuente Cuaderno Técnico. MAPEI.

### Figura 15

*El mismo ambiente visto con cámara térmica de infrarrojos: en correspondencia de los puentes térmicos corregidos con Mapetherm System se observa una temperatura de 18.1°C.*



*Nota:* Fuente Cuaderno técnico MAPEI.

Transpirabilidad: la transpirabilidad o, más correctamente, la permeabilidad al vapor de agua expresa la cantidad de vapor de agua que consigue pasar a través de una superficie. Cuando se hace referencia a paredes exteriores, una alta transpirabilidad es muy útil para eliminar la eventual agua residual de la construcción o pequeñas acumulaciones de condensación en el interior de la estructura; muy a menudo, la transpirabilidad es entendida erróneamente como el vapor de agua, producido en el interior de la edificación, que puede ser eliminado hacia el exterior atravesando las mismas paredes. En realidad, la cantidad de vapor que atraviesa las paredes es poquísima en relación a la generada en el interior de una estancia durante las normales actividades cotidianas. Muchos ejemplos de modelos de cálculo confirman que los muros no respiran y que no se elimina el vapor de agua generado en el interior de los habitáculos gracias a la transpirabilidad de las paredes, sino que es indispensable una adecuada ventilación de los mismos para su eliminación. En definitiva, utilizando el sistema MAPETHERM se mejora el confort del hábitat, porque es la solución más eficaz para **equilibrar térmicamente el edificio**, corregir los puentes térmicos, elevar sensiblemente la temperatura de las superficies interiores y minimizar, en consecuencia, la formación de condensación y de todas las consiguientes patologías dañinas. Sin afectar la permeabilidad de la estructura, el sistema MAPETHERM se combina habitualmente con otras intervenciones constructivas que mejoran la eficiencia energética del edificio, sin prescindir de la correcta gestión de los ambientes, realizando ventilaciones periódicas a través de las ventanas, o dotando al edificio de mecanismos de ventilación mecánica controlada.

Marco Normativo: la prestación energética de un edificio, considerada como poco significativa en el pasado, es cada vez más importante a causa de su estrecha vinculación con la necesidad medioambiental de reducir las emisiones de gas de efecto invernadero y de los costes crecientes de los combustibles y la energía. Estos argumentos han hecho emerger la necesidad de limitar las **dispersiones térmicas de las edificaciones** y ha permitido el desarrollo de soluciones adecuadas para ello, creando un sector que ha crecido rápidamente en la construcción moderna.

En 1997 nace el Protocolo de Kioto, un tratado internacional dirigido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Entró en vigor en 2005, fue suscrito por 190 naciones y ha obligado a los gobiernos a legislar en materia de eficiencia energética, situando el tema en el centro del debate y popularizándolo. La Unión Europea, en este sentido, delegó en los estados miembros la libertad de legislar en transposición de la Directiva 2002/91/CE denominada

también EPBD (Energy Performance Buildings Directive), refundida posteriormente, de forma íntegra, en la Directiva 2010/31/UE publicada en el Boletín oficial de la Unión Europea el 18 de junio de 2010.

La anterior directiva, ha sido transpuesta a la legislación nacional, mediante el RD. 47/2007 de 19 de enero, por el se aprueba, el procedimiento para la certificación de eficiencia energética para edificios de nueva construcción.

1. Constituye el objeto del Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios, determinar la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, con el que se inicia el proceso de certificación, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios de nueva construcción o que se modifiquen, reformen o rehabiliten en una extensión determinada, así como establecer las condiciones técnicas y administrativas para las certificaciones de eficiencia energética de los proyectos y de los edificios terminados y aprobar un distintivo común en todo el territorio nacional denominado etiqueta de eficiencia energética.

2. La finalidad de la aprobación de dicho Procedimiento básico es la promoción de la eficiencia energética, mediante la información objetiva que obligatoriamente se ha de proporcionar a los compradores y usuarios en relación con las características energéticas de los edificios, materializada en forma de un certificado de eficiencia energética que permita valorar y comparar sus prestaciones.

3. A efectos del presente Procedimiento básico se establecen las siguientes definiciones:

a) Eficiencia energética de un edificio: Consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.

b) Calificación de eficiencia energética de un edificio: Expresión de la eficiencia energética de un edificio que se determina de acuerdo con una metodología de cálculo y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética.

c) Certificación de eficiencia energética de proyecto: Proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del proyecto.

d) Certificación de eficiencia energética del edificio terminado: Proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto con la del edificio terminado y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del edificio terminado.

e) Certificado de eficiencia energética de proyecto: Documentación suscrita por el proyectista como resultado del proceso de certificación, que incluye la calificación de eficiencia energética del proyecto, señalada en la escala de eficiencia energética.

f) Certificado de eficiencia energética del edificio terminado: Documentación suscrita por la dirección facultativa de la obra como resultado del proceso de certificación, que incluye la calificación de eficiencia energética del edificio terminado, señalada en la escala de eficiencia energética.

g) Etiqueta de eficiencia energética: Distintivo que señala el nivel de calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto de un edificio o por el edificio terminado.

h) Documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética: Documentos técnicos, sin carácter reglamentario, que cuenten con el reconocimiento conjunto del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y del Ministerio de Vivienda y que se encuentren inscritos en el Registro general creado a tal efecto.

1. La certificación de eficiencia energética de un edificio es el proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto del edificio y por el edificio terminado y que conduce, respectivamente, a la expedición de un certificado de eficiencia energética del proyecto y de un certificado de eficiencia energética del edificio terminado.

2. El certificado de eficiencia energética dará información exclusivamente sobre la eficiencia energética del edificio y no supone en ningún caso la acreditación del cumplimiento de ningún otro requisito exigible al edificio.

3. El certificado de eficiencia energética contendrá como mínimo la siguiente información:

a) Identificación del edificio.

b) Indicación de la normativa energética que le es de aplicación en el momento de su construcción.

c) Indicación de la opción elegida, general o simplificada y en su caso programa informático de Referencia o Alternativo utilizado para obtener la calificación de eficiencia energética.

d) Descripción de las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones normales de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación de eficiencia energética del edificio.

e) Calificación de eficiencia energética del edificio expresada mediante la etiqueta de eficiencia energética. (EEE). BOE, (2007). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/01/19/47>

La eficiencia del sistema de aislamiento térmico por el exterior: este sistema de aislamiento térmico por el exterior permite un aislamiento térmico ideal, de las superficies verticales opacas de los edificios. Su eficiencia es evidente tanto en las nuevas construcciones como en la rehabilitación de las existentes. Este simple sistema se consigue optimizar prestaciones y características: confort de hábitat, protección de las estructuras de los edificios, cumplimiento de las normativas vigentes, ahorro energético, reducción de los costes en calefacción y refrigeración, reducción de emisiones contaminantes, resolución o prevención de los problemas de naturaleza termo-higrométrica, salubridad de los ambientes interiores.

Ventajas: temperatura superficial de la pared interna, próxima al ambiente (de +26°C a +23.1°C), lo que comporta un mayor confort y habitabilidad, además de un sensible ahorro en climatización y reducción de las emisiones contaminantes; reducción de la temperatura superficial interna de los puentes térmicos, reducción del flujo térmico a través de la estructura (de 32.8 W/m<sup>2</sup> a 9.4 W/ m<sup>2</sup> ), con el consiguiente ahorro energético y de emisiones contaminantes; reducción del flujo térmico a través de los puentes térmicos, con el consiguiente ahorro energético y de emisiones contaminantes, además de una notable mejora del confort; mitigación de la temperatura en la superficie exterior del muro, con una variación de más de +20°C sobre la superficie del ladrillo (de +49.4°C a +29.1°C), con la consiguiente eliminación de las fracturas habituales (ejemplo, fisura en el encuentro entre el ladrillo y la estructura portante de hormigón armado); reducción de variaciones de temperatura dentro de la estructura de la pared y eliminación sustancial de las tensiones térmicas.

Se entienden las razones por las cuales el sistema MAPETHERM permite obtener extraordinarias ventajas de habitabilidad, ambientales y económicas, e incrementa la

durabilidad de los edificios, protegiendo de variadas patologías la estructura sobre la que se aplica.

El concepto de durabilidad es incluso más relevante que el de sostenibilidad ambiental; esta es una de las razones por las que el aislamiento térmico por el exterior es la intervención más sostenible que pueda instalarse.

### **Figura 16**

*Edificio existente rehabilitado con aislamiento térmico por el exterior.*



*Nota:* Fuente Cuaderno Técnico Mapei.

Aislando las paredes exteriores, en invierno, se consigue la eliminación de todos los puntos fríos y el aumento de la capacidad de inercia térmica del edificio. Los muros se calientan, acumulan calor y después lo restituyen al ambiente interior. Esto hace que la calefacción funcione menos horas, con un ahorro sensible de combustible y una reducción de emisiones contaminantes. La ventaja segura del aislamiento térmico por el exterior es la eliminación de los puentes térmicos (perímetro de las carpinterías, esquinas, techos, pilares embebidos en el muro, ...) donde resulta más fácil que se produzcan fenómenos de formación de mohos y de manchas por el interior. Es ideal cuando es necesario realizar trabajos de rehabilitación de la

fachada de un edificio, ya que el equilibrio térmico que se consigue evita las tensiones e impide la formación de nuevas fisuras.

Ahorro energético: La cantidad de energía (metano, gas, electricidad) necesaria para calentar y enfriar las edificaciones se reduce de manera sensible gracias al sistema MAPETHERM, permitiendo ingentes ahorros sobre el consumo mensual. Este ahorro permite un retorno de la inversión realizada en pocos años. Reducción de emisiones contaminantes MAPETHERM es indiscutiblemente uno de los sistemas tecnológicos con posibilidad de acometer soluciones con la máxima sostenibilidad ambiental; de hecho, permite un ahorro energético constante y duradero y su verdadera sostenibilidad reside en la capacidad de contener las emisiones contaminantes y nocivas para el ambiente y, sobre todo, de reducir drásticamente las dispersiones energéticas en todas las estaciones. Rehabilitación energética a bajo coste MAPETHERM permite la rehabilitación de los edificios existentes con la máxima eficiencia, prestaciones y durabilidad y con una incomparable relación coste/ beneficio, que lo convierte más en una inversión, que no en un gasto. Continuidad del aislamiento MAPETHERM permite al prescriptor la posibilidad de aislar con continuidad todas las superficies opacas verticales, eliminando aislamientos parciales de la estructura, a menudo perjudiciales (por ejemplo, en las estructuras portantes de hormigón armado). Protección duradera de la estructura de albañilería MAPETHERM permite estabilizar térmicamente el edificio, aislándolo por completo y sin discontinuidad. Esto comporta la eliminación de las sollicitaciones higrotérmicas de la estructura, aumentando su durabilidad. Se previenen así la formación de fisuras y las consecuentes filtraciones de agua, que comportaran manchas, mohos y el aumento exponencial de fenómenos disgregativos, además de la sensible disminución de la capacidad aislante de la estructura.

Eliminación total y correcta de los puentes térmicos MAPETHERM corrige todo tipo de puentes térmicos, eliminando la principal vía de dispersión del calor, y el origen de condensaciones y mohos en las superficies interiores, estabilizándolas frente al riesgo de generación de fisuras (por ejemplo, en la interfaz entre ladrillos de cerramiento y vigas y pilares de hormigón); en contraposición de otras soluciones artificiosas que habitualmente conllevan **graves patologías**. Aprovechamiento de la inercia térmica de los muros En los periodos fríos, MAPETHERM permite mantener caliente la pared y puede aprovechar el calor acumulado en toda su masa. En periodos cálidos, en cambio, impide el sobrecalentamiento. Todo ello gracias al posicionamiento correcto de los paneles aislantes.

Reducido espesor de la estructura del muro MAPETHERM se coloca sobre la superficie exterior, sin comportar en su ejecución, ninguna molestia para los residentes y sin disminuir el espacio útil del edificio, permitiendo a su vez no incrementar significativamente la sección del muro y el peso soportado. Correcta y equilibrada difusión del vapor MAPETHERM permite la eliminación del vapor de agua proveniente del interior de la vivienda. Es absolutamente erróneo el comentario que considera que el aislamiento térmico por el exterior es una barrera de vapor.

Eliminación de las condensaciones intersticiales MAPETHERM desplaza el punto de rocío al exterior de la estructura, impidiendo la formación de dañosas e insalubres condensaciones intersticiales. Salubridad y confort MAPETHERM reduce los riesgos de formación de condensación superficial, y el consiguiente moho en las superficies interiores y permite aprovechar la acumulación térmica (flujo reducido de calor en todas las estaciones del año).

Como se puede observar, en la tabla 6, quedan demostradas las mejoras en las condiciones debido a la utilización del sistema de aislamiento térmico por el exterior. En un edificio existente rehabilitado, la transmitancia mejora más de 4 veces, el factor de atenuación 3 veces y la propagación 1.5 veces.

**TABLA 6.**

*Mejoras que se consiguen en edificio rehabilitado con aislamiento térmico por el exterior.*

<b>Parámetro</b>	<b>Edificio existente – estado original</b>	<b>Edificio existente rehabilitado con aislamiento térmico por el exterior</b>	<b>Mejora</b>
Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K)	1,115	0,261	más de 4 veces
Factor de atenuación	0,633	0,208	3 veces
Propagación	6 h y 6'	9 h y 15'	1,5 veces

*Nota:* Fuente Cuaderno Técnico Mapei.

## 7.CONCLUSIONES

Durante este trabajo de investigación se ha pretendido crear un documento de utilidad, para que todas aquellas organizaciones ya sean públicas o privadas lo puedan tomar como referencia para tratar de conseguir en la mayoría de los casos solventar la grave problemática del síndrome del edificio enfermo, (SEE), que tantos inconvenientes y enfermedades está ocasionando en la inmensa mayoría de los trabajadores, que prestan sus servicios en los edificios modernos, los cuales comparten como característica principal el ser “edificios herméticos”.

Sabiendo que esta situación afecta directamente a la actividad laboral, la productividad y la salud de los trabajadores, cuando tenemos una buena salud podemos aprovechar al máximo el potencial, el efecto adverso producido por el SEE conlleva al uso de medicamentos provocando nuevos problemas tanto para el trabajador como para toda la sociedad.

Y en mi modesta opinión los objetivos propuestos los he conseguido satisfactoriamente, por lo que a continuación paso a enumerar todos los aspectos de relevante importancia que se deben tener en cuenta para de esta forma enfrentar la situación que en la actualidad estamos viviendo con esta grave problemática.

Se han detallado los síntomas y distintas enfermedades provocadas, por el desarrollo de la actividad laboral dentro de un edificio hermético.

Selección de materiales de construcción con baja emisividad de compuestos orgánicos volátiles. Empleando el método de recuperación, basado en la adsorción, que proporcionan el uso de membranas zeolíticas, las cuales son capaces de retener los COVs.

Sustituir compuestos que contengan formaldehído, por otros menos contaminantes como ejemplo, “Acrodur”. Siendo esta una alternativa ecológica a las resinas a base de formaldehído.

Es un aglutinante a base de agua, libre de formaldehído, que tiene un excelente rendimiento en múltiples aplicaciones. Su beneficio clave es su impacto en el medio ambiente.

Al ser a base de agua, el subproducto de la reacción de reticulación es agua. Con lo que se elimina el riesgo de emisión de gases nocivos. Al no usarse oxidantes se ahorra una gran cantidad de energía. Norton, J. (n.d.). Especialista técnico en BASF.

Se ha demostrado que, con buen aislamiento térmico por el exterior, y usando la técnica de la rotura de los puentes térmicos, (RPT); se evitan las condensaciones en el interior del edificio, evitando así la aparición de mohos y bacterias.

La transmitancia mejora más de 4 veces, el factor de atenuación 3 veces y por último la propagación una 1.5 veces.

Se ha demostrado que, con el uso del vidrio inteligente en ventanas, conseguimos una “U” coeficiente de transmitancia térmica muy baja y así se reducen las emisiones y la transferencia de calor, en ambas direcciones, durante las distintas estaciones del año.

Controlar el método utilizado en la impermeabilización de las zonas del edificio por el que ya se conoce que puede penetrar el gas radón, para así evitar sus efectos destructivos, y también realizar los exámenes correspondientes al agua utilizada en los edificios.

Mejorar los sistemas de ventilación de los edificios y su mantenimiento (tasa de renovación del aire mayor de 10 l/seg/persona).

Apostar por la ventilación natural.

- Evitar todos los problemas relacionados con las humedades en el interior del edificio.
- Evitar los materiales que contengan compuestos volátiles.
- Buena limpieza y mantenimiento de los edificios.
- Que los trabajadores tengan el espacio suficiente para realizar su actividad laboral.
- Colocación de los equipos de oficina en áreas con adecuada ventilación.
- Regulación local de las temperaturas, humedad, ruido e iluminación.
- Creación de un buen ambiente laboral entre los diferentes trabajadores y sus superiores.
- Evitar situaciones de estrés laboral.
- Ambiente interno en todo el edificio libre de humos.

Por último, resaltar como conclusión a modo personal que la realización de este trabajo de fin de master ha sido la vía para lograr el reforzamiento de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del Master Universitario en Prevención de Riesgos Laborales al ser aplicados en la presente investigación.



## 8.BIBLIOGRAFÍA

Acciona, (2019). [Materiales de construcción no contaminantes \(sostenibilidad.com\)](#)

Aguado, S., Polo, A., C., Coronas, J., y Santamaria Ramiro, J., (2002). *Mapfre seguridad*. 87. (Tercer Trimestre). Eliminación de compuestos orgánicos volátiles del ambiente interior de edificios.

Arnold P, Arrizabalaga P, y Bonet M. (2006). *Medicina clínica*. Hipersensibilidad química múltiple en el síndrome del edificio enfermo. España: Change "Departamento de Medicina Legal y Toxicología. Facultat de Medicina" to "Departamento de Medicina Legal y Toxicología, Facultad de Medicina" (capitalize "Facultad").

Berenguer, M. J. (1999). *Síndrome del edificio enfermo. Factores de riesgos*. (NTP 289). INSHT. NIPO: 211-92-011-6.

Berenguer, M. J. (2010). *Radón en ambientes interiores*. NTP 440. INSHT.

Confederación Española de Organizaciones Empresariales. (2006). *El síndrome del edificio Enfermo: concepto, identificación y evaluación*. CTE. HS 6, Protección frente a la exposición al radón.

Díaz-Sarmiento, R., Peña-Rodríguez, R., y Asúnsolo-del Barco, A. (2011). Lipoatrofia semicircular: una revisión sistemática de la literatura. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 57(222),77-94.  
[http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0465-546X2011000100008](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2011000100008)

Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía Código Técnico de la Edificación DA DB-HE/3 Puentes térmicos. (2014).

EN 1096-4. (2019). Norma Europea. Vidrio para la edificación. Vidrio de capa. Norma de producto.

EURATOM. (2013). Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122. Euratom.

Freixa, A. y Torrado, S. (2010). *Prevención de la exposición al Formaldehído. (NTP 873)*. NIPO: 792-11-011-0. INSHT.

Jansz, J. (2017). Sick building syndrome. En S. R. Quah (Ed.), *Oxford: Academic Press. Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(4), 97-108.

Llorca, J. L. (2014). *Síndrome del Edificio Enfermo*. Valencia. INVASSAT.

Martí, M. C. y Obiols, J. (2003). *Síndrome del edificio enfermo. (NTP 288)*. NIPO: 211-92-011-6. INSHT.

Ministerio de Ciencia e Innovación & Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (2020). *Guía de rehabilitación frente al gas radón (1ª ed., p. 18)*.

National Toxicology Program. (2014). *Formaldehyde, Report on Carcinogens, Thirteenth Edition*. Triangle Park, NC: National Institute of Environmental Health and Safety.

Okamoto, K., Kita, H., Korii, K., Y Tanaka, K. (2001). *Zeolite NaA membrane: preparation, single-gas permeation, and pervaporation and vapor permeation of water/organic liquid mixture*. *Industrial & Engineering Chemistry Reserch*. 40(1).

Organización Mundial de la Salud. (2010). *Manual sobre el Radón en Interiores. Una perspectiva de salud pública. Ministerio de Sanidad.*

R. D. 1029. (2022). *Reglamento sobre protección de la salud contra riesgos de exposición a radiaciones ionizantes.*

R.D. 47/2007. *Procedimiento para certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.*

Santolaya, C. y Freixa, A. (2001). *Prevención de la exposición al formaldehído. NTP 590. INSHT.*

Sanz, P., Nogue, S., Farrús, X., y Molina, J. M. (2010). *Lipoatrofia semicircular en oficinistas. Medicina Clínica, 134(3), 135-136.*

<https://doi.org/10.1016/j.medcli.2009.02.030>

Solé M, D, y Pérez, J. (1999). *El Síndrome del edificio enfermo. Guía Práctica para su Evaluación. NTP 380. INSHT.*

Suárez, E., Fernández; J.A., Baeza, A., Candelas, M., García, D., Moreno, J. y Lanaja, J.M. (2000). Consejo de Seguridad Nuclear. CSN 5.2000. *Proyecto Marna. Mapa de radiación gamma natural. Técnicas de eliminación de COVs.*

U.S. Environmental Protection Agency. (2014). *Formaldehyde, An Introduction to Indoor Air Quality. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.*

Úbeda-Maeso, A., Martínez-Pascual, M. A., Cid-Torres, M. A., Trillo-Ruiz, M. A., y Paíno-Belarrinaga, C. L. (2011). Campos ambientales débiles y lipoatrofia semicircular. *Seguridad y Medio Ambiente. 123, 10-21.*

UNE EN 410. (2011). Norma Europea. Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.

UNE EN ISO 140-3. (1995). Norma Europea. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

Varga, G., y Calvo, G. (1987). Seis modelos alternativos de investigación documental para el desarrollo de la práctica universitaria en educación superior y desarrollo. Bogotá: Centro de Investigación Universidad Pedagógica Nacional, CIUP.

Vargas, F., y Gallego, I. (2005). Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud. *Revista Española de Salud Pública*.

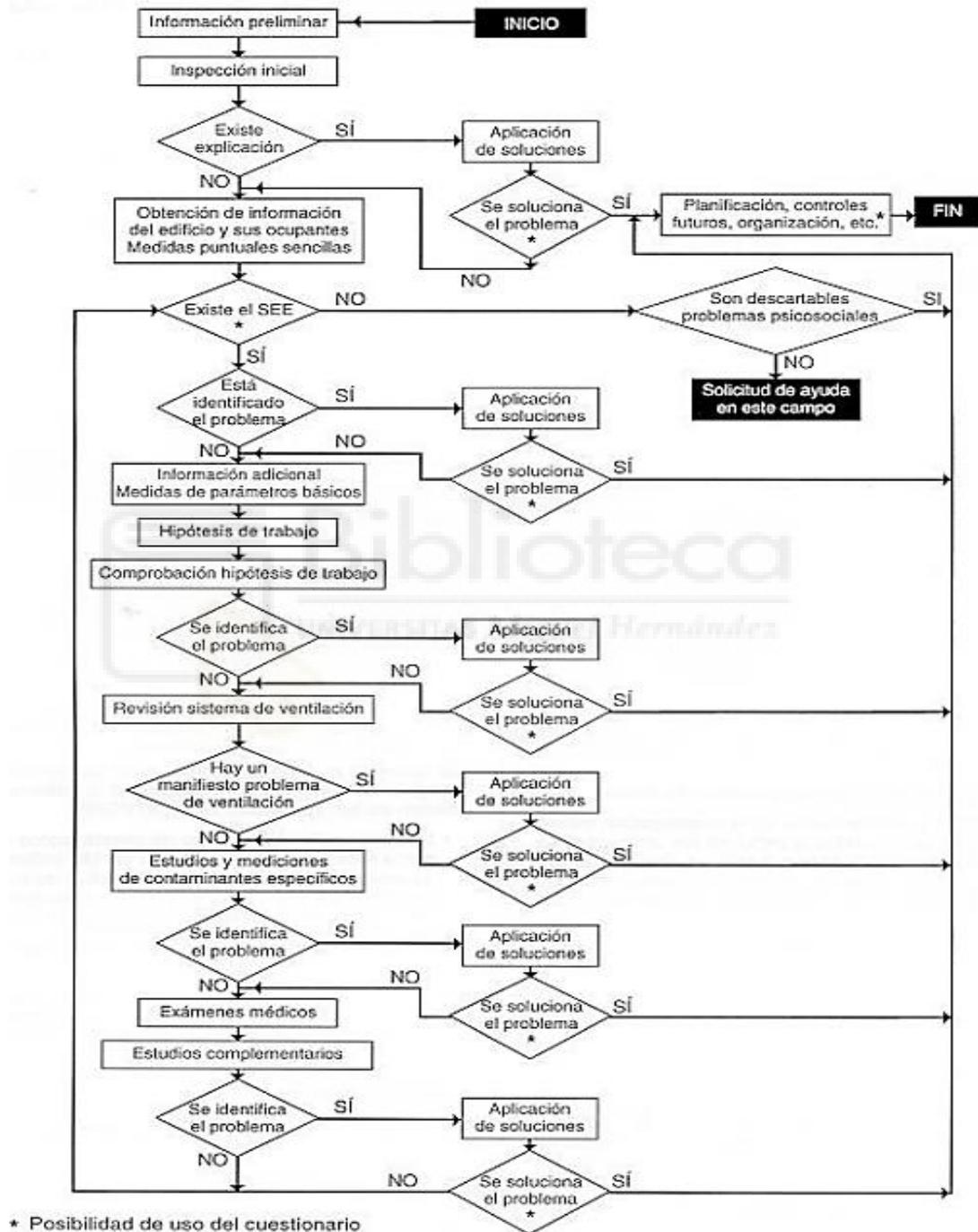
Verschaeve, L., y Maes, A. (2009). In vitro investigations related to the hypothesis that Lipoatrophia semicircularis finds its origin in electrostimulation. *Journal of Applied Toxicology*, 29(6), 478-482. <https://doi.org/10.1002/jat.1430>

Zalla, M. J., Winkelmann, R. K., y Gluck, O. S. (1995). Involutional lipoatrophy: macrophage-related involution of fat lobules. *Dermatology*, 191(2), 149-153. <https://doi.org/10.1159/000246535>

## 9. ANEXOS.

### 9.1. Diagrama de flujo, para evaluación del edificio.

**Diagrama de flujo, para evaluación del edificio.**



Fuente: Berenguer, S. et al "El síndrome del edificio enfermo: metodología de evaluación"

9.2 Síndrome del edificio enfermo. Cuestionario para su detección.

Nº CUESTIONARIO <input style="width: 40px;" type="text"/>	FECHA <input style="width: 40px;" type="text"/>
EMPRESA <input style="width: 200px;" type="text"/>	

<p>1. Departamento <input style="width: 40px;" type="text"/></p> <p>2. Planta <input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p>3. Edad <input style="width: 15px;" type="text"/> años</p> <p>4. Estudios realizados</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>ninguno/Primarios sin acabar.....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>estudios primarios/Graduado escolar .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>bachillerato/BUP/COU .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>formación Profesional .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>estudios medios .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>estudios superiores .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>5. Sexo</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>hombre .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>mujer .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>6. ¿Cuál es su categoría profesional en la empresa?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>peones, obreros, especialistas.....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>oficiales cualificados .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>subalternos.....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>aux. Admvos .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>oficial Admvos .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>cuadros Medios .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>cuadros superiores.....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>7. Antigüedad en el puesto</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>años .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>meses .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>8. ¿Cuánto tiempo hace que trabaja en este edificio?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>años .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>meses .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>9. ¿Cuánto tiempo hace que trabaja en el mismo local?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>años .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>meses .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>10. ¿Qué días de la semana trabaja Vd?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>lun <input style="width: 15px;" type="text"/></td><td>ju <input style="width: 15px;" type="text"/></td><td>do <input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>ma <input style="width: 15px;" type="text"/></td><td>vi <input style="width: 15px;" type="text"/></td><td></td></tr> <tr><td>mi <input style="width: 15px;" type="text"/></td><td>sa <input style="width: 15px;" type="text"/></td><td></td></tr> </table>	ninguno/Primarios sin acabar.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	estudios primarios/Graduado escolar .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	bachillerato/BUP/COU .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	formación Profesional .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	estudios medios .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	estudios superiores .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	hombre .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	mujer .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	peones, obreros, especialistas.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	oficiales cualificados .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	subalternos.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	aux. Admvos .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	oficial Admvos .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	cuadros Medios .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	cuadros superiores.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	años .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	meses .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	años .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	meses .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	años .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	meses .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	lun <input style="width: 15px;" type="text"/>	ju <input style="width: 15px;" type="text"/>	do <input style="width: 15px;" type="text"/>	ma <input style="width: 15px;" type="text"/>	vi <input style="width: 15px;" type="text"/>		mi <input style="width: 15px;" type="text"/>	sa <input style="width: 15px;" type="text"/>		<p>11. ¿Cuántas horas trabaja al día?..... <input style="width: 15px;" type="text"/></p> <p>12. ¿Fuma Vd. en su puesto de trabajo?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>sí .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>no .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>13. Si no es Vd. fumador ¿considera que el humo del tabaco de los demás, perjudica su salud?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>sí .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>no .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>14. Trabaja Vd. en:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>oficina cerrada .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>en un recinto separado por mamparas .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>en un área abierta con otras personas .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>15. ¿Se sienta Vd. a menos de 5 m de la ventana?</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>sí .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>no .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>16. Puede(n) abrirse la(s) ventana(s)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>sí .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>no .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>17. En un radio aproximado a 10 m de su puesto de trabajo existe alguna:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>máquina de escribir .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>fotocopiadora .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>pantalla de ordenador .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>impresora .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>teletipo o fax .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>franqueadora.....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> <tr><td>otras. Especificar .....</td><td style="text-align: center;"><input style="width: 15px;" type="text"/></td></tr> </table> <p>A continuación encontrará una serie de preguntas sobre el lugar donde transcurre la mayor parte de su Jornada de Trabajo.</p> <p>Conteste sinceramente a todas las preguntas, considerando únicamente las cuestiones que le afecten directamente.</p>	sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	oficina cerrada .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	en un recinto separado por mamparas .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	en un área abierta con otras personas .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	máquina de escribir .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	fotocopiadora .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	pantalla de ordenador .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	impresora .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	teletipo o fax .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	franqueadora.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>	otras. Especificar .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>
ninguno/Primarios sin acabar.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
estudios primarios/Graduado escolar .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
bachillerato/BUP/COU .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
formación Profesional .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
estudios medios .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
estudios superiores .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
hombre .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
mujer .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
peones, obreros, especialistas.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
oficiales cualificados .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
subalternos.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
aux. Admvos .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
oficial Admvos .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
cuadros Medios .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
cuadros superiores.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
años .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
meses .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
años .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
meses .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
años .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
meses .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
lun <input style="width: 15px;" type="text"/>	ju <input style="width: 15px;" type="text"/>	do <input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																						
ma <input style="width: 15px;" type="text"/>	vi <input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
mi <input style="width: 15px;" type="text"/>	sa <input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
oficina cerrada .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
en un recinto separado por mamparas .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
en un área abierta con otras personas .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
sí .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
no .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
máquina de escribir .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
fotocopiadora .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
pantalla de ordenador .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
impresora .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
teletipo o fax .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
franqueadora.....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							
otras. Especificar .....	<input style="width: 15px;" type="text"/>																																																																																							

**18. Hay ruido que procede de:**

el sistema de ventilación .....	1	vistas .....	3
los equipos de oficina .....	2	perturbaciones / distracciones .....	4
la calle, el exterior .....	3	sentimiento de encierro .....	5
conversaciones .....	4	otros(especificar) .....	6
otros (especificar) .....	5	ninguno .....	7
no hay ruido .....	6		

**19. En relación a la ventilación:**

hay corrientes de aire .....	1
falta de ventilación / estancamiento del aire .....	2
otros (especificar) .....	3
no hay problemas .....	4

**20. La temperatura/humedad produce:**

demasiado calor .....	1
demasiado frío .....	2
demasiada humedad .....	3
demasiada sequedad .....	4
otros (especificar) .....	5
no crea problemas .....	6

**21. Se perciben olores de:**

comida .....	1
humo del tabaco .....	2
corporales .....	3
otros olores (especificar) .....	4
no se perciben olores .....	5

**22. La iluminación:**

es demasiado intensa .....	1
es escasa .....	2
produce deslumbramientos .....	3
se producen parpadeos de la luz .....	4
otros (especificar) .....	5
es correcta .....	6

**23. En el área de trabajo le molesta:**

la decoración .....	1
la compartimentación .....	2
la moqueta en suelo y/o paredes .....	3

**23. En el área de trabajo le molesta:**

la decoración .....	1
la compartimentación .....	2
la moqueta en suelo y/o paredes .....	3
la falta de limpieza .....	4
otros (especificar) .....	5
no le molestan estos aspectos .....	6

**24. Otros aspectos que le afecten:**

aislamiento .....	1
falta de intimidad .....	2

**25. En general, el nivel de atención que debe mantener para realizar su trabajo es:**

alto .....	1
medio .....	2
bajo .....	3

**26. En los últimos tres meses la cantidad de trabajo que ha tenido, generalmente:**

no ha sido suficiente para estar ocupado/a ..	1
ha sido suficiente .....	2
ha sido excesiva .....	3

**27. El ritmo de trabajo está determinado por:**

el ritmo de una máquina o cadena .....	1
el ritmo de otros compañeros .....	2
causas externas (público, clientes...) .....	3
objetivos que hay que alcanzar, primas .....	4
no hay un ritmo prefijado .....	5

**28. El ritmo de trabajo:**

obliga a trabajar demasiado deprisa .....	1
es normal .....	2
se podrían hacer más cosas .....	3

**29. ¿Cuál de estas frases refleja mejor lo que Vd. hace en su puesto de trabajo?**

repite las mismas tareas y hago siempre lo mismo .....	1
hago siempre lo mismo con ligeras variantes .....	2
el trabajo es variado .....	3
el trabajo es muy variado .....	4
mismo .....	1
hago siempre lo mismo con ligeras variantes .....	2
el trabajo es variado .....	3
el trabajo es muy variado .....	4

**30. Cuando en su puesto de trabajo se comete algún error**

generalmente pasa desapercibido .....	1
puede provocar problemas menores y entorpecer el trabajo .....	2
puede producir consecuencias graves para el desarrollo del trabajo o sobre las personas ..	3

Las siguientes preguntas se refieren a aspectos de la organización del trabajo.  
Conteste sinceramente a todas las preguntas, considerando únicamente las cuestiones que le afecten directamente.

31. ¿Está contento con su horario habitual?

sí ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

32. El número y duración de las pausas durante la jornada laboral, ¿son suficientes?

sí ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

33. Sus responsabilidades son:

insuficientes ..... [1]  
 normales ..... [2]  
 excesivas ..... [3]

34. ¿Tiene Vd. más responsabilidades de las que quisiera en relación al bienestar o seguridad de los demás?

sí ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

35. ¿Considera que tiene que realizar tareas que no le corresponden?

a menudo ..... [1]  
 a veces ..... [2]  
 nunca ..... [3]

36. ¿Hasta qué punto puede tomar parte en decisiones que le afectan?

siempre ..... [1]  
 algunas veces ..... [2]  
 nunca ..... [3]

37. ¿Cómo considera que son las relaciones con las personas con las que debe trabajar?

	Buenas	Regulares	Malas
jefes			
compañeros			
subordinados (si tiene)			

38. ¿A cuántos cursos ha asistido Vd. en los dos últimos años? (especificar)

Nº de cursos ..... [ ] [ ]

39. Desde que trabaja en esta empresa, ¿le parece suficiente la formación que le han proporcionado para desempeñar su trabajo?

sí ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

40. En esta empresa ¿hay algún procedimiento establecido para regular la promoción del personal?

sí, pero sólo en algunos puestos ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

41. En caso afirmativo ¿le parece adecuado?

sí ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

42. ¿Cómo es su contrato de trabajo en esta empresa?

Fijo continuo ..... [1]  
 discontinuo ..... [2]  
 Eventual prácticas ..... [3]  
 formación ..... [4]  
 temporal ..... [5]  
 por contrato ..... [6]

43. En general ¿cómo cree que está considerado su puesto de trabajo en esta empresa?

muy poco importante ..... [1]  
 poco importante ..... [2]  
 importante ..... [3]  
 de los más importantes ..... [4]

44. Para desempeñar su puesto de trabajo se requiere:

ningún conocimiento especial, sólo práctica en el puesto ..... [1]  
 saber leer y escribir ..... [2]  
 formación profesional ..... [3]  
 formación media ..... [4]  
 formación superior ..... [5]

45. Su trabajo ¿le ofrece la oportunidad de aplicar sus conocimientos o capacidades?

totalmente ..... [1]  
 bastante ..... [2]  
 muy poco ..... [3]  
 nada ..... [4]

46. ¿Existe algún obstáculo que dificulte la comunicación con sus compañeros?

sí ..... [1]  
 no ..... [2]  
 no sabe ..... [3]

Fuente: NTP N° 290. El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección.

NIPO: 211-92-011-6

9.3. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sanitario en función de la concentración de radón existente.



9.4. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sanitario en función de la concentración de radón existente.



9.5. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sobre sótano en función de la concentración de radón existente.

