

## **TEMA 64**

**ENFOQUE ERGONÓMICO EN LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR. LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN EL REAL DECRETO 486/1997. VENTILACIÓN EN AMBIENTES INTERIORES. BIENESTAR TÉRMICO. CONCEPTOS BÁSICOS. ECUACIÓN DEL BALANCE TÉRMICO. NORMAS TÉCNICAS APLICABLES. LOS ÍNDICES PMV Y PPD. LAS CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DE LOS LUGARES DE TRABAJO; CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL.**

### **INTRODUCCIÓN**

El nombre de calidad del ambiente interior (CAI) sirve para designar de forma genérica al conjunto de factores y circunstancias que configuran y determinan el efecto de las condiciones ambientales de ciertos edificios en sus ocupantes.

En el ámbito laboral, se suele restringir al sector servicios o terciario, es decir, al trabajo en edificios de oficinas, centros de salud, centros comerciales, entre otros. Por el contrario, en la industria, las condiciones ambientales y sus repercusiones en las personas trabajadoras no suelen estudiarse desde esta óptica. La calidad del ambiente interior tiene un papel importante en ciertas afecciones que sufren las personas trabajadoras de oficinas y similares, así como en el malestar o falta de confort que puedan experimentar. Por ello, su estudio cabe situarlo dentro de la ergonomía.

El número de trabajadores del sector servicios afectados por el deterioro de las condiciones ambientales de sus lugares de trabajo ha experimentado un aumento notable en las últimas décadas, con lo que se ha producido, en consecuencia, un interés creciente por conocer dichas condiciones y como mejorarlas.

### **1. ENFOQUE ERGONÓMICO EN LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR**

La calidad del ambiente interior empieza a ser citada como un problema a finales de los años 60, aunque los primeros estudios no aparecen hasta diez años después.

En la actualidad, en los países industrializados los habitantes de las ciudades pasan entre el 60-80% de su tiempo en espacios cerrados, por lo que una mala calidad del aire interior puede afectar de manera seria a las personas.

La norma UNE 171330 define como Calidad Ambiental en Interiores a las condiciones ambientales de los espacios interiores, adecuadas al usuario y la actividad, definidas por los niveles de contaminación química, microbiológica y por los valores de los factores físicos. Se excluye del campo de aplicación de esta definición a los recintos destinados a uso industrial y/o agrícola.

Los factores implicados en la CAI pueden ser de origen químico, biológico o físico, y todos ellos pueden proceder tanto de fuentes internas como externas al edificio.

Cuando la CAI de un local de trabajo presenta deficiencias, esto repercute de manera notable en el confort de las personas trabajadoras, dando lugar a molestias, sensaciones de malestar e incomodidad (deslumbramientos, falta de concentración, mareos, tos, etc.).

Pero una mala CAI no sólo origina molestias, sino que también puede dar lugar a la aparición de enfermedades que, en general, no suelen ser graves, aunque en algunos casos, como por ejemplo la enfermedad del legionario, sí lo son. Las alteraciones de salud más importantes debidas a una mala calidad del ambiente interior se engloban dentro del nombre genérico de Enfermedades Relacionadas con el Edificio (ERE), en las cuales el origen de la enfermedad es perfectamente conocido. Por otro lado, la aparición de determinados síntomas en grupos de personas, sin conocimiento de causa, que desaparecen una vez abandonan el edificio, ha dado lugar a la denominación de un síndrome, el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE).

Las ERE pueden ser enfermedades infecciosas, alérgicas o de tipo irritativo, causadas por agentes biológicos, químicos o físicos específicos, es decir, tienen una causa conocida. Son poco frecuentes, pero puedan dañar seriamente la salud. Cuando afectan a individuos sensibles o con las defensas debilitadas pueden incluso llegar a provocar la muerte. Se clasifican en dos grupos:

- Grupo 1: Personas con enfermedades conocidas que sufren un empeoramiento clínico al permanecer en un edificio con problemas de CAI. Ejemplo: asma bronquial, rinitis alérgica o dermatitis atópica. El empeoramiento se produce por la presencia de alérgenos o por las propias condiciones ambientales.
- Grupo 2: Enfermedades específicas producidas por causas identificables presentes en el edificio.
  - Alérgicas: asma, neumonitis por hipersensibilidad...
  - Infecciosas: legionelosis, infecciones virales...
  - Tóxicas: producidas por irritantes o tóxicos volátiles presentes en el ambiente (CO, Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs)...)...

Uno de los ejemplos más representativos de ERE es la enfermedad conocida como legionelosis, originada por la bacteria *legionella pneumophila*, que prolifera en el agua estancada y sucia. La enfermedad se produce cuando los individuos respiran aire que contiene gotículas de agua contaminada con legionela. Si el agua de las torres de refrigeración o de los humidificadores está contaminada con la bacteria y penetra en el aire de ventilación en forma de aerosol (gotitas de agua suspendidas en el aire), se crean unas condiciones altamente peligrosas para que pueda aparecer la enfermedad.

Respecto al SEE, la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 1982, definió el SEE como: "Fenómeno que se presenta en ciertos espacios interiores no industriales y que produce, en al menos un 20% de los ocupantes, un conjunto de síntomas tales como sequedad e irritación de mucosas, dolor de cabeza, fatiga mental e hipersensibilidades inespecíficas, sin que sus causas estén perfectamente definidas."

Es muy característico del SEE que los síntomas desaparezcan al abandonar el edificio, no suele tener una causa única, sino que suele ser multicausal. Los edificios con este síndrome suelen reunir varias de las siguientes características:

- Edificios herméticos con ventanas no practicables.

- Edificios nuevos o recientemente remodelados.
- Baja calidad de los materiales de construcción.
- Sistema de ventilación mecánica común a todo el edificio o a amplios sectores de este, en los que se recircula gran parte del aire.
- Superficies interiores recubiertas, en gran parte, con materiales textiles (alfombras, moquetas, etc.).

La OMS distingue entre edificios temporalmente enfermos, edificios nuevos o de reciente remodelación donde los síntomas del SEE desaparecen con el tiempo, y edificios permanentemente enfermos, en los que los síntomas persisten durante años.

Los factores de riesgo que influyen en la calidad del ambiente interior son, como su propio nombre indica, factores ambientales, es decir, factores que determinen los distintos aspectos que componen el ambiente. Sin embargo, cuando existen problemas de tipo psicosocial en una organización, esto puede repercutir de manera negativa en la percepción personal de los factores ambientales, aunque se encuentren en valores adecuados. No obstante, hay que saber distinguir entre la confusión que puedan crear los problemas psicosociales sobre la percepción del ambiente y la existencia real de problemas de CAI.

En relación con este hecho, se ha definido como "enfermedad psicogénica de masas" a la aparición de una serie de síntomas (dolor de cabeza, debilidad, fatiga, náuseas...) que dan lugar a quejas numerosas entre las personas trabajadoras sobre las condiciones ambientales y cuyo origen es psicosocial en lugar de toxicológico. Estos síntomas se extienden como una epidemia entre las personas trabajadoras.

## **2. LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN EL REAL DECRETO 486/1997**

Este real decreto regula las condiciones que deben cumplir los lugares de trabajo, dentro de su ámbito de aplicación, para que su utilización no origine riesgos para la seguridad y salud de las personas trabajadoras. Establece así obligaciones del empresario relativas a condiciones constructivas; orden, limpieza y mantenimiento; instalaciones de servicio y protección; condiciones ambientales; iluminación; servicios higiénicos y locales de descanso; y primeros auxilios.

Su artículo 7 "Condiciones ambientales" remite a lo establecido en su anexo III para que la exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no suponga un riesgo para la seguridad y salud de las personas trabajadoras.

Su artículo 8 "Iluminación", indica que la iluminación de los lugares de trabajo deberá permitir que las personas trabajadoras dispongan de condiciones de visibilidad adecuadas para poder circular por los mismos y desarrollar en ellos sus actividades sin riesgo para su seguridad y salud, y remite a las disposiciones establecidas en su anexo IV. Este anexo se comenta más adelante, cuando se profundiza en el tema de la iluminación.

El Anexo III, sobre las condiciones ambientales de los lugares de trabajo, establece en su apartado 3: *"En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones:*

*a) La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C.*

*La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C.*

*b) La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100."*

Una humedad relativa inferior al 30 % puede provocar sequedad de las mucosas y de la piel. Asimismo no ayuda a la disipación de la electricidad estática que se puede generar en todo puesto de trabajo. En este sentido, las descargas de electricidad estática, en forma de chispa, pueden ser focos de ignición efectivos en áreas de los locales de trabajo de entornos industriales con posible presencia de atmósferas explosivas de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos. Si la humedad relativa del aire es de al menos el 50 %, se garantiza que la acumulación de cargas electrostáticas no va a llegar a un nivel peligroso, en el caso de que dichas cargas se disipasen en forma de chispa.

Por otra parte, cuanto mayor es la humedad, más difícil resulta la evaporación del sudor y, por tanto, se elimina menos calor corporal en situaciones de calor intenso. Además, cuando se sobrepasa un 70 % de humedad relativa pueden producirse condensaciones, con lo que pueden proliferar agentes biológicos (fundamentalmente hongos), favorecer la presencia de ciertas sustancias químicas en el aire (por ejemplo, el desprendimiento del formaldehído de los materiales de madera conglomerada) y favorecer la corrosión de los materiales del edificio.

Como **medidas preventivas y de control** para las condiciones de temperatura y humedad se pueden regular las condiciones termohigrométricas dentro de los rangos establecidos utilizando sistemas de climatización con sensores y mantenimiento programado.

Cuando las condiciones termohigrométricas de la zona geográfica en la que se ubica el lugar de trabajo se alejan de las consideradas confortables, el aislamiento térmico de los locales (derivado de la capacidad del aislamiento térmico de los distintos materiales que lo componen) es de gran importancia ya que limita el intercambio de calor con el exterior. Si el clima de la zona es extremo, el aislamiento es una condición necesaria, pero puede no ser suficiente para garantizar el cumplimiento de los valores establecidos en el apartado 3, por lo que se deben tomar las medidas preventivas razonablemente posibles para reducir los riesgos por calor o frío excesivo

También los niveles citados de humedad relativa del aire en el local de trabajo se pueden alcanzar y mantener mediante alguno de los siguientes procedimientos:

- Dotar al sistema de climatización de un control automático de la humedad relativa del aire. Este se considera el procedimiento más eficaz para el control de la humedad relativa del aire, aunque las características técnicas del sistema de climatización pueden limitar o imposibilitar su instalación.
- Instalar equipos autónomos humidificadores del aire en aquellos locales donde se hayan detectado niveles bajos de humedad relativa.

*"c) Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:*

*1.º Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.*

*2.º Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s.*

*3.º Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.*

*Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y 0,35 m/s en los demás casos.*

*d) Sin perjuicio de lo dispuesto en relación a la ventilación de determinados locales en el Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, la renovación mínima del aire de los locales de trabajo, será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y de 50 metros cúbicos, en los casos restantes, a fin de evitar el ambiente viciado y los olores desagradables.*

*El sistema de ventilación empleado y, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo."*

Los valores mínimos de ventilación establecidos son los valores necesarios para evitar el ambiente viciado y los olores desagradables debidos fundamentalmente a la ocupación y la actividad humana; en concreto, a los contaminantes generados por las personas (dióxido de carbono, vapor de agua, partículas, olores, etc.). De todos ellos, el dióxido de carbono es el compuesto más representativo y sobre el que se basa el cálculo del caudal de aire de renovación. Así pues, este caudal es función de la tasa de generación de dióxido de carbono (conocida para las personas en reposo y directamente proporcional a la actividad metabólica) y de la concentración aceptable para conseguir los objetivos planteados.

Como **medidas preventivas y de control** para garantizar una ventilación óptima se puede:

- Controlar la velocidad del aire: Ajustar la ventilación mecánica para evitar corrientes de aire molestas, especialmente en trabajos sedentarios.
- Mantenimiento del sistema: Revisar anualmente la red de conductos (UNE 100012) y comprobar el estado de filtros, extractores y difusores.
- Distribución del aire: Diseñar la impulsión y extracción para evitar zonas muertas y asegurar una dilución eficaz de contaminantes.

Algunos procesos de trabajo pueden impedir o dificultar en gran medida el cumplimiento de los valores indicados en el apartado 3. Tal es el caso de los trabajos en cámaras frigoríficas, de los procesos realizados en locales de humedad controlada, de los procesos de secado, etc. En el caso concreto de los trabajos realizados en cámaras frigoríficas existe normativa específica que regula el tiempo máximo de permanencia en las mismas en función de la temperatura, debido a esto, el propio Anexo III introduce en su apartado 4 un matiz a la aplicación de lo establecido en el apartado anterior: *"A efectos de la aplicación de lo establecido en el apartado anterior deberán tenerse en cuenta las limitaciones o condicionantes que puedan imponer, en cada caso, las características particulares del propio lugar de trabajo, de los procesos u operaciones que se*

*desarrollen en él y del clima de la zona en la que esté ubicado. En cualquier caso, el aislamiento térmico de los locales cerrados debe adecuarse a las condiciones climáticas propias del lugar."*

El apartado 5 indica: "En los lugares de trabajo al aire libre y en los locales de trabajo que, por la actividad desarrollada, no puedan quedar cerrados, deberán tomarse medidas para que los trabajadores puedan protegerse, en la medida de lo posible, de las inclemencias del tiempo.", y la Guía Técnica sobre el RD 486 destaca la importancia de proteger de la radiación solar directa.

El apartado 6 es referido a las condiciones ambientales de zonas que no son específicas para realizar tareas, pero forman parte del lugar de trabajo: *"Las condiciones ambientales de los locales de descanso, de los locales para el personal de guardia, de los servicios higiénicos, de los comedores y de los locales de primeros auxilios deberán responder al uso específico de estos locales y ajustarse, en todo caso, a lo dispuesto en el apartado 3"*.

### **3. NORMAS TÉCNICAS APLICABLES**

Aparte de los criterios reflejados en el Real Decreto 486/1997, no existen criterios legales específicos que engloben la problemática concreta de la CAI, sin embargo, sí que existen algunas Normas Técnicas específicas, que desarrollan distintos aspectos sobre esta temática:

#### NORMA UNE 171330:2024 – Revisión de la calidad ambiental en interiores

Esta norma describe una metodología para llevar a cabo un Plan de Control de Calidad ambiental en interiores.

La norma establece requisitos para garantizar un ambiente interior saludable, reduciendo la presencia de contaminantes y mejorando la calidad del aire. También proporciona una guía detallada para la elaboración e implementación de un Plan de Control de CAI, desde la identificación de los riesgos hasta la evaluación de la eficacia de las medidas adoptadas.

La versión de año 2024 deroga las partes 1 y 2 de la antigua norma 171330, y entre sus novedades está la inclusión de nuevos parámetros a monitorizar, como el CO<sub>2</sub> y el radón, para tener una visión más completa de la calidad del aire.

El campo de aplicación de la norma 171330 son los ambientes interiores de todo tipo de recintos, instalaciones y edificaciones, exceptuando aquellas que se destinan exclusivamente a la actividad desarrollada en procesos industriales y/o agrícolas.

Esta norma está diseñada para asegurar el bienestar y la salud de los usuarios de instalaciones, y no interfiere con el cumplimiento de los requisitos reglamentarios de prevención de riesgos laborales. Es aplicable a las áreas comunes de hospitales (hospitalización, consultas, zonas ambulatorias, etc.) pero no así a las salas de ambiente controlado (quirófanos, unidades de cuidados intensivos, habitaciones de aislados, etc.) que requieren niveles de calidad de aire más exigentes.

El control de la calidad ambiental en interiores en salas de ambiente controlado de hospitales, y centros sanitarios entra dentro del ámbito de aplicación de la Norma UNE 171340:2020 – Validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales.

El control de la calidad ambiental en interiores en establecimientos hoteleros entra dentro del campo de aplicación de la Norma UNE 171350:2016 – Calidad ambiental en interiores. Calidad ambiental en hostelería.

NORMA UNE-ISO 16000-40:2023 – Aire de interiores. Parte 40: Sistema de gestión de la calidad del aire de interiores.

Esta norma especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad del aire interior.

Es aplicable a cualquier organización que desee:

- a) establecer un sistema para la gestión de la calidad del aire interior;
- b) implantar, mantener y mejorar de manera continua el sistema de gestión de la calidad del aire interior;
- c) asegurarse de la conformidad del sistema de gestión de la calidad del aire interior;
- d) demostrar la conformidad con esa norma.

Es aplicable a los ambientes interiores de todo tipo de equipamientos, instalaciones y edificios, salvo aquellos que se dediquen exclusivamente a actividades agrícolas y/o industriales. Es aplicable a todo tipo de ambientes interiores ocupados por todo tipo de personas, incluidos usuarios habituales, clientes, trabajadores, etc.

Adicionalmente hay algunas normas referidas a buenas prácticas, como la NORMA UNE 171212:2008 – Calidad de aire interior – Buenas prácticas en las operaciones de limpieza.

También hay otras normas, como la NORMA UNE- EN 16798-1:2020 – Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 1: Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido.

Esta norma especifica requisitos para los parámetros del ambiente interior para el ambiente térmico, la calidad del aire interior, la iluminación y la acústica y especifica como establecer estos parámetros para el diseño de los sistemas del edificio y los cálculos de prestación energética.

Finalmente es interesante la NORMA UNE-EN 16798-3:2018 – Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 3: Para edificios no residenciales. Requisitos de eficiencia para los sistemas de ventilación y climatización.

Esta norma europea se aplica al diseño, eficiencia energética de los edificios e implementación de sistemas de ventilación, acondicionamiento de aire y climatización para edificios no residenciales sujetos a ocupación humana, excluyendo aplicaciones tales como procesos industriales. Se centra en las definiciones de los diversos parámetros que son aplicables para dichos sistemas.

#### **4. VENTILACIÓN EN AMBIENTES INTERIORES**

Respecto la **ventilación en ambientes interiores**, ventilar en su sentido más amplio significa renovar el aire, es decir, sustituir un aire de características no deseables (debido a su contenido de humedad, temperatura, presencia de agentes contaminantes u olor desagradable), por otro

cuyas características se consideren adecuadas para alcanzar unas condiciones ambientales determinadas.

La ventilación de los lugares de trabajo puede realizarse por medios naturales, a través de ventanas, puertas o aberturas específicamente diseñadas, o por medios mecánicos, mediante sistemas que fuerzan el movimiento del aire. No existe una imposición sobre el tipo de sistema de ventilación que debe existir en los lugares de trabajo. Pero sí hay una exigencia y es que, sea cual sea el método escogido, este debe permitir garantizar siempre los caudales de aire de renovación mínimos establecidos en el Real Decreto 486/1997.

Teniendo en cuenta el objetivo general de "evitar el ambiente viciado y los olores desagradables", la ventilación general estará destinada, básicamente, al control de las sustancias generadas por los ocupantes de un espacio. Dichas sustancias, comúnmente denominadas "bioefluentes", son una mezcla compleja de compuestos químicos, partículas, microorganismos y vapor de agua. De todos ellos, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) emitido con el aire exhalado de los ocupantes del espacio de trabajo es el compuesto más importante y es el que sirve de base para el establecimiento del caudal de aire de ventilación requerido.

La concentración de un compuesto en un espacio cerrado estará determinada por el balance existente entre la emisión (generación) y la eliminación del compuesto. En las fases iniciales de generación del compuesto existe un rápido incremento de la concentración, produciéndose la acumulación del compuesto en el espacio; en estos momentos la eliminación todavía es baja. Con el tiempo y para un caudal de aire determinado, se alcanza el equilibrio durante el cual no existe incremento neto de concentración, es decir, se elimina tanto compuesto como se genera, por lo que la concentración en el ambiente se mantiene constante.

Finalmente, cuando cesa la generación, el equilibrio se desplaza claramente hacia la eliminación. Es durante la fase estacionaria o de equilibrio cuando se establecerá el caudal de aire requerido para, conocida la tasa de generación del compuesto, mantener una concentración constante, según la siguiente ecuación general del caudal:  $Q=G/C$ , donde:

- $Q$  ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ) es el caudal de aire requerido

- $G$  ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ) es la tasa de generación del compuesto

- $C$  (en tanto por 1) es la concentración que no se desea superar. Esta concentración será distinta según el objetivo especificado para la ventilación.

Por ejemplo: cuando se trata de controlar el riesgo de incendio y explosión, el valor utilizado como concentración segura es el límite inferior de inflamabilidad (LII); cuando el objetivo es el control de riesgos para la salud se utilizan los valores límites ambientales; y cuando el objetivo es el control de olores y crear ambientes confortables, se utilizan los criterios establecidos de bienestar, basados muchos de ellos en el control de los niveles de  $\text{CO}_2$ , compuesto utilizado como representativo de los emitidos por los ocupantes de un espacio.

## **5. BIENESTAR TÉRMICO. CONCEPTOS BÁSICOS**

Respecto al **bienestar térmico**, en muchos lugares de trabajo con ambientes de calor moderado en los que la actividad física no es intensa ni se trabaja con ropa de protección, o con ambientes de frío moderado, las condiciones ambientales, sin ser un peligro para la salud de las personas trabajadoras, pueden originar molestias o incomodidades que afecten a su bienestar, a la ejecución de las tareas y al rendimiento físico e intelectual.

El cuerpo humano es un organismo homeotermo, esto implica que las reacciones metabólicas requieren una temperatura interna constante ( $37 \pm 1$  °C) para desarrollarse. Esta temperatura interna sólo puede ser mantenida si existe un equilibrio entre el calor producido constantemente por el organismo y el cedido o disipado al ambiente. Los principales mecanismos de intercambio de calor entre la persona y el ambiente son: convección, conducción, radiación y evaporación. El mantenimiento de la temperatura corporal sólo es posible con un mecanismo de regulación del calor muy complejo (termorregulación), compensando las pérdidas y ganancias de calor.

## **6. ECUACIÓN DEL BALANCE TÉRMICO. NORMATIVA APLICABLE**

El equilibrio térmico se puede expresar mediante la **ecuación del balance térmico**, es una ecuación matemática en la que las diferentes formas de intercambio de calor del organismo adquieren valores en función de las variables de las que dependen. Cada uno de estos términos es el valor del flujo energético perdido (-) o ganado (+) por el organismo:

$$S = M \pm K \pm C \pm R \pm C_{\text{res}} \pm E_{\text{res}} - E$$

Donde:

S: potencia calorífica que se gana (si su valor es positivo) o se pierde (si su valor es negativo) netamente durante el trabajo.

M: generación de energía metabólica por unidad de tiempo. Depende de la actividad física del trabajo.

K: potencia ganada o perdida por conducción. Depende de la temperatura de la piel y de los objetos en contacto con el individuo.

C: intercambio por convección. Depende de la temperatura del aire, de la piel, la velocidad del aire y la resistencia térmica del vestido.

R: intercambio de calor por radiación que se produce entre superficies a diferente temperatura, sin estar en contacto entre ellas. Depende de la temperatura de la piel, de la temperatura radiante media y de la resistencia térmica del vestido.

$C_{\text{res}}$ ,  $E_{\text{res}}$ : potencia intercambiada a través del aire de la respiración.  $C_{\text{res}}$  es función de la diferencia de temperaturas entre el aire inspirado y el espirado y  $E_{\text{res}}$  depende de la diferencia de humedad de ambos.

E: evaporación del sudor. Es función de la presión parcial del vapor de agua en el aire ambiente, de la presión del vapor de agua en la saturación a la temperatura del aire, de la velocidad del

aire y de la resistencia térmica del vestido. Es un mecanismo de eliminación de calor exclusivamente.

En la práctica se pueden despreciar los intercambios por respiración y por conducción, de manera que la ecuación práctica de balance térmico quedaría como sigue:

$$S = M \pm C \pm R - E$$

Por lo tanto, las magnitudes ambientales, junto con el aislamiento proporcionado por la vestimenta y el metabolismo son los factores que influyen en el balance térmico.

El estrés térmico no está causado por las condiciones ambientales extremas, sino por la carga térmica que soporta la persona trabajadora y que resulta de la interacción entre las condiciones ambientales, el calor metabólico del trabajo y la vestimenta. El calor metabólico que se genera al realizar la actividad laboral puede llegar a estimarse mediante la determinación de la tasa metabólica.

A parte del estrés térmico, puede haber otros problemas asociados a la inadecuación entre la temperatura ambiente y la actividad. La ergonomía se enfoca en ambientes térmicos moderados, un objetivo por cumplir es conseguir el bienestar térmico. Se puede definir el bienestar/confort térmico como aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente, evaluado de forma subjetiva.

Un ambiente térmico inadecuado puede causar una reducción del rendimiento, tanto físico como intelectual, y, por lo tanto, de la productividad. Asimismo, puede provocar irritabilidad, incremento de la agresividad, incomodidad y malestar.

## **7. LOS ÍNDICES PMV Y PPD**

El método más utilizado para valorar los ambientes térmicos moderados es el recogido en la norma UNE EN ISO 7730:2006 – Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico total".

Este método se emplea para la valoración de ambientes térmicos moderados. Es aplicable a trabajadores sanos, expuestos a ambientes interiores en los que el bienestar térmico es deseable, pero en donde tienen lugar desviaciones moderadas de este bienestar térmico, estando indicada para el diseño de ambientes nuevos o para la valoración de los ya existentes.

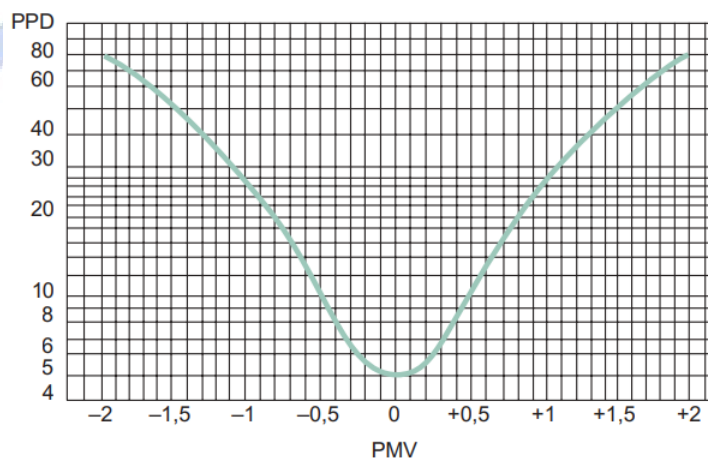
Fue desarrollado por Fanger a partir de experimentos realizados con un grupo de más de 1.300 personas expuestas a distintos ambientes térmicos y a los que se les solicitaba su opinión subjetiva sobre su percepción térmica para una actividad metabólica y una vestimenta determinada. De esta forma, Fanger encontró correlaciones matemáticas entre la sensación térmica y los valores medidos o estimados de los parámetros ambientales, la ropa y la actividad.

El índice PMV refleja el valor medio de los votos sobre la sensación térmica general que emitiría un grupo numeroso de personas en caso de que estuviesen expuestas a las mismas condiciones térmicas ambientales, realizasen la misma actividad física y llevasen ropa similar. Permite

predecir el valor promedio de la sensación térmica que produciría un determinado ambiente en un grupo numeroso de personas. El análisis del voto individual permitiría comprobar la dispersión de los votos emitidos alrededor del valor medio. El número de votos más alejados del valor medio serían una indicación del grado de insatisfacción frente al ambiente térmico, es decir, indicarían cuantas personas estarían insatisfechas por sentir demasiado calor o demasiado frío.

El índice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*, porcentaje estimado de insatisfechos) permite predecir de forma cuantitativa el porcentaje de insatisfechos. Suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado.

En la figura se muestra la gráfica que relaciona los índices PMV y PPD:



El grado de incomodidad que producen estas situaciones se expresa como porcentaje de insatisfechos (PD, del inglés *Percentage of Dissatisfied*). Observando la gráfica, aunque la sensación térmica sea neutra ( $PMV=0$ ), siempre habrá un porcentaje de personas insatisfechas ya que el valor mínimo de PPD es el 4%.

Los índices PMV y PPD expresan la sensación térmica y el grado de insatisfacción para el conjunto del cuerpo. Sin embargo, la insatisfacción puede, asimismo, ser debida al calentamiento o enfriamiento no deseado de una zona del cuerpo. Este tipo de incomodidad suele ser debida a la existencia de corrientes de aire, sobre todo aquellas que inciden en nuca y tobillos, a suelos demasiado calientes o fríos, a asimetrías de temperatura radiante elevadas entre planos opuestos o a diferencias de temperatura entre tobillos y cabeza excesivas.

Como ventajas que ofrece, el PMV puede utilizarse para comprobar si un ambiente térmico determinado satisface los criterios de bienestar, y también incluye un método para la evaluación a largo plazo, así como información acerca del bienestar térmico local, condiciones y adaptación para estado no estacionario y un anexo indicando cómo pueden ser expresados los requisitos de bienestar térmico en diferentes categorías.

Sus limitaciones son que el índice PMV ha sido establecido para condiciones estacionarias, pero puede aplicarse con una buena aproximación, en presencia de pequeñas fluctuaciones de las

variables, a condición de que se consideren los valores medios ponderados en el tiempo que arrojen tales variables durante la hora precedente. También sólo debería utilizarse para valores de PMV comprendidos entre -2 y +2, debiendo estar los valores de los seis parámetros fundamentales comprendidos en los intervalos siguientes:

- $0,8 \text{ met} \leq M \leq 4 \text{ met}$
- $0 \text{ clo} \leq I_{cl} \leq 2 \text{ clo}$
- $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_r \leq 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $0 \text{ m/s} \leq V_{ar} \leq 1 \text{ m/s}$

## **8. LAS CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DE LOS LUGARES DE TRABAJO; CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO**

La última parte de este tema está dedicada a las **condiciones de iluminación de los lugares de trabajo y los criterios para su evaluación y acondicionamiento**.

El acondicionamiento de la iluminación en los puestos de trabajo tiene por objeto favorecer la percepción visual con el fin de asegurar la correcta ejecución de las tareas y la seguridad y bienestar de quienes las realizan.

Una iluminación deficiente puede conllevar varios efectos negativos tales como problemas para la salud visual, para la seguridad, o afectar psicológicamente a las personas expuestas:

- Efectos en la salud:
  - Problemas visuales:
    - Fatiga visual.
    - Visión borrosa.
    - Sensación de tener un velo delante de los ojos.
    - Dificultad para enfocar.
    - Irritación conjuntiva.
    - Picor de ojos.
    - Pesadez en los párpados.
  - Problemas generales:
    - Dolor de cabeza.
    - Cansancio.
    - Alteración de ritmos circadianos.
    - Adopción de posturas inadecuadas.
- Efectos en la seguridad:
  - Accidentes al no percibir bien objetos o señales.
  - Errores.
- Efectos psicosociales:
  - Alteración del estado de ánimo.
  - Aparición de estrés.
  - Falta de concentración.

En algunas ocasiones, el acondicionamiento de la iluminación se limita al aspecto cuantitativo (nivel de iluminación) sin tener en cuenta otros requisitos importantes referidos a su calidad. Tanto la [Ley 31/1995](#), de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, como el [Real Decreto 486/1997](#), hacen referencia a que las condiciones ambientales no deben suponer una fuente de incomodidad o molestia para la plantilla.

El [Real Decreto 486/2010](#), de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales, es de aplicación a fuentes luminosas que puedan ser nocivas para la piel o los ojos. Este no es el caso de los sistemas de iluminación, que, además de ser aptos para su uso laboral, emplean lámparas que también son apropiadas para su uso por el público en general, por lo que los valores de radiación que emiten no son preocupantes.

Si se utilizan lámparas cuya finalidad no sea la iluminación, por ejemplo, lámparas infrarrojas para calentar o lámparas ultravioletas para desinfectar, se debe consultar el RD 486/2010 para proteger a las personas trabajadoras de sus riesgos para los ojos o la piel. Si este no es el caso, procede realizar una evaluación ergonómica de las condiciones de iluminación, por ejemplo, utilizando un cuestionario al respecto, como el que ha publicado en INSST, que incluye primero un cuestionario subjetivo, para constatar cómo se encuentra la persona respecto la iluminación, y después viene un test de iluminación, que permite determinar los factores de riesgo presentes.

El RD 486/97 dedica a la iluminación su Anexo IV:

*"1. La iluminación de cada zona o parte de un lugar de trabajo deberá adaptarse a las características de la actividad que se efectúe en ella, teniendo en cuenta:*

*a) Los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores dependientes de las condiciones de visibilidad.*

*b) Las exigencias visuales de las tareas desarrolladas.*

*2. Siempre que sea posible los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural, que deberá complementarse con una iluminación artificial cuando la primera, por sí sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas. En tales casos, se utilizará preferentemente la iluminación artificial general, complementada a su vez con una localizada cuando en zonas concretas se requieran niveles de iluminación elevados.*

*3. Los niveles mínimos de iluminación de los lugares de trabajo serán los establecidos en la siguiente tabla:*

| <i>Zona o parte del lugar de trabajo (*)</i> | <i>Nivel mínimo de iluminación (lux)</i> |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|
|----------------------------------------------|------------------------------------------|

*Zonas donde se ejecuten tareas con:*

|                                                  |              |
|--------------------------------------------------|--------------|
| <i>1ª Bajas exigencias visuales.....</i>         | <i>100</i>   |
| <i>2ª Exigencias visuales moderadas.....</i>     | <i>200</i>   |
| <i>3ª Exigencias visuales altas.....</i>         | <i>500</i>   |
| <i>4ª Exigencias visuales muy altas.....</i>     | <i>1.000</i> |
| <i>Áreas o locales de uso ocasional.....</i>     | <i>50</i>    |
| <i>Áreas o locales de uso habitual.....</i>      | <i>100</i>   |
| <i>Vías de circulación de uso ocasional.....</i> | <i>25</i>    |
| <i>Vías de circulación de uso habitual.....</i>  | <i>50</i>    |

*(\*) El nivel de iluminación de una zona en la que se ejecute una tarea se medirá a la altura donde ésta se realice; en el caso de zonas de uso general a 85 cm. del suelo y en el de las vías de circulación a nivel del suelo.*

*Estos niveles mínimos deberán duplicarse cuando concurren las siguientes circunstancias:*

*a) En las áreas o locales de uso general y en las vías de circulación, cuando por sus características, estado u ocupación, existan riesgos apreciables de caídas, choques u otros accidentes.*

*b) En las zonas donde se efectúen tareas, cuando un error de apreciación visual durante la realización de las mismas pueda suponer un peligro para el trabajador que las ejecuta o para terceros o cuando el contraste de luminancias o de color entre el objeto a visualizar y el fondo sobre el que se encuentra sea muy débil.*

*No obstante lo señalado en los párrafos anteriores, estos límites no serán aplicables en aquellas actividades cuya naturaleza lo impida."*

Hay que tener en cuenta que los niveles de iluminación están dirigidos a las tareas, por lo que, al realizar la evaluación de riesgos, no se considera un puesto de trabajo sin ir asociado a la tarea y la persona que la realiza. Un mismo puesto de trabajo puede conllevar varias tareas, precisando niveles diferentes.

*"4. La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir, además, en cuanto a su distribución y otras características, las siguientes condiciones:*

*a) La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible.*

*b) Se procurará mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre ésta y sus alrededores.*

*c) Se evitarán los deslumbramientos directos producidos por la luz solar o por fuentes de luz artificial de alta luminancia. En ningún caso éstas se colocarán sin protección en el campo visual del trabajador.*

*d) Se evitarán, asimismo, los deslumbramientos indirectos producidos por superficies reflectantes situadas en la zona de operación o sus proximidades.*

*e) No se utilizarán sistemas o fuentes de luz que perjudiquen la percepción de los contrastes, de la profundidad o de la distancia entre objetos en la zona de trabajo, que produzcan una impresión visual de intermitencia o que puedan dar lugar a efectos estroboscópicos.*

*5. Los lugares de trabajo, o parte de los mismos, en los que un fallo del alumbrado normal suponga un riesgo para la seguridad de los trabajadores dispondrán de un alumbrado de emergencia de evacuación y de seguridad.*

*6. Los sistemas de iluminación utilizados no deben originar riesgos eléctricos, de incendio o de explosión, cumpliendo, a tal efecto, lo dispuesto en la normativa específica vigente."*

Respecto a los criterios para la evaluación y acondicionamiento relativos a las condiciones de iluminación, además de en el ya desglosado RD 486/97, hay otros RD que hacen referencia a ellas, como el [Real Decreto 488/1997, de 14 de abril](#), sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. Este RD hace incidencia en las características del sistema de iluminación que pueden ser fuente de riesgos al trabajar con pantallas.

El [Real Decreto 485/1997, de 14 de abril](#), sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, indica que la señalización tiene que estar bien iluminada

El [Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio](#), por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo., también menciona que la iluminación debe ser la apropiada para utilizar los equipos de trabajo.

## **9. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL**

Finalmente, respecto las **medidas preventivas y de control**, es conveniente recordar que para implantar las medidas apropiadas se precisa la colaboración de los diferentes integrantes de la empresa: dirección, comité de seguridad y salud, departamento de compras, mantenimiento, departamento de producción y procesos, servicio de prevención, delegados/as de prevención y, obviamente, las personas trabajadoras. Conseguir una iluminación apropiada depende de la implicación y compromiso activo de todos ellos, y esto es posible gracias a una buena integración de la prevención de riesgos laborales en la estructura de la empresa.

Desglosando según los factores de riesgo:

-Sistema de alumbrado y método de iluminación existente:

Si bien el RD486/97 indica que siempre que sea posible los lugares de trabajo tendrán iluminación natural, el uso de esta luz para iluminar tareas tiene tanto ventajas como limitaciones. La luz natural es la de mayor calidad, y, aunque varía a lo largo del día, se considera que su reproducción del color es excelente. También, produce sensación de bienestar, y las ventanas aportan contacto con el mundo exterior. Por otra parte, la luz natural puede producir deslumbramientos y calentar demasiado, además de no ser siempre igual.

Los puestos de trabajo no deben ser iluminados únicamente con iluminación localizada, ésta debe ser usada sólo para complementar la iluminación general en aquellas tareas que tengan mayores exigencias visuales y en los casos en los que la persona trabajadora necesite mayor nivel de iluminación, debido a sus características o limitaciones de la capacidad visual.

Lo ideal es que la luz tenga componentes de radiación difusa y directa, cuya resultante produzca sombras suaves que permiten percibir la forma y posición de los objetos.

Medidas de prevención apropiadas serían:

- Ubicar los puestos de trabajo en zonas con luz natural.
- En los lugares donde sea posible disponer de luz natural, mantener limpios y libres de obstáculos las ventanas, los lucernarios y las claraboyas.
- Retirar los obstáculos que puedan obstruir el paso de la luz procedente de ventanas o luminarias.
- Proporcionar iluminación localizada.
- Colocar las luminarias lo más alto posible para no provocar situaciones de peligro, evitando así riesgos para las personas por choques o riesgos eléctricos. Además, así se disminuye el riesgo de deslumbramiento y mejora el reparto de la luz en el lugar de trabajo.
- Si la iluminación general es insuficiente en el emplazamiento de las señales, se empleará una iluminación adicional o se utilizarán colores fosforescentes o materiales fluorescentes

**-Niveles de iluminación y homogeneidad:**

- Si hay falta de luz incrementar la reflectancia de techos y paredes utilizando pinturas o recubrimientos más claros.
- Instalar toldos, persianas o cortinas que permitan regular la luz natural en función de la hora del día, y apantallar la luz que incide directamente en las zonas donde sea necesario.
- Rediseñar el sistema de iluminación instalando nuevas luminarias.
- Sustituir las luminarias por otras que tengan una distribución del flujo más adecuada, de tipo "extensivo".
- Reducir la separación entre luminarias, o intercalar nuevas.
- En trabajos con pantallas de visualización es habitual que se simultaneen tareas de lectura y de escritura, tanto en el papel como en la pantalla. En estos casos el nivel de iluminación confortable está en el rango de 300 lux a 500 lux.

**-Deslumbramientos, reflejos molestos y sombras:**

- Utilizar cobertores que permitan regular la luz diurna en función de la hora del día. Las cortinas y las persianas de lamas resultan muy apropiadas para este fin.
- Utilizar luminarias dotadas de pantallas difusoras de gran superficie.
- Localizar las fuentes que causan deslumbramientos o reflejos y actuar sobre ellas mediante su apantallamiento o cambio de situación.
- Utilizar luminarias provistas de difusores o rejillas que impidan ver el cuerpo brillante de las lámparas desde la posición normal de trabajo.
- Situar las lámparas fuera del campo visual de la persona trabajadora.
- Reorientar el puesto de trabajo:
  - De forma que la persona trabajadora no quede situada frente ni de espaldas a las ventanas o fuentes de luz.
  - De forma que la luz llegue lateralmente, por ambos lados.
- Aumentar la proporción de luz indirecta usando colores claros para el techo y las paredes.
- Cambiar las superficies reflectantes para que tengan aspecto mate, bien sustituyéndolas, pintándolas o recubriéndolas.
- En trabajos con pantalla de visualización:
  - Emplear luminarias de baja luminancia.
  - Orientar el puesto de manera que las ventanas no produzcan reflejos en la pantalla ni deslumbramiento directo al usuario.

- Utilizar la regulación de la pantalla para evitar reflejos molestos.
- Emplear modelos de pantalla con tratamiento antirreflejo o, en su defecto, incorporar filtros antirreflejos.
- En ocasiones, se puede conseguir una mejora del contraste y de la visualización de la pantalla colocando un suplemento en el monitor, a modo de capota o visera que impida la incidencia de la luz directa en la pantalla.

**-Desequilibrios de luminancia**

- Aumentar o reducir, según el caso, las reflectancias de las superficies demasiado claras o demasiado oscuras. Por ejemplo, para la lectura de documentos en papel impreso, utilizar mesas con superficie de tonos claros o neutros.
- Variar la reflectancia de las paredes, techos y otras superficies del entorno de manera que su luminancia no sea muy diferente a la de la tarea.
- En los trabajos con pantalla de visualización, emplear pantallas con polaridad positiva (caracteres oscuros sobre fondo claro).

**-Color**

- Aumentar el aporte de luz natural.
- Sustituir el tipo de lámpara por otro con mejor capacidad de reproducción cromática:
  - Con un espectro de emisión más continuo.
  - Con una tonalidad más cercana a la luz natural.
- En entornos donde se precisa relajación los colores aconsejables para el ambiente son colores cálidos, en lugares de trabajo donde es preciso estar alerta y despierto, los colores recomendables son en tonos fríos.
- El color que aparenta la luz emitida se cuantifica según su temperatura de color correlacionada ( $T_{CP}$ ). Las lámparas tienen una temperatura de color característica, lo apropiado es utilizar para la iluminación de entornos donde se precise estar alerta y activo la iluminación con una apariencia fría, o intermedia, y si lo que se precisa es la relajación o concentración, cálida, o intermedia.

**-Contraste de la tarea**

- Aumentar o reducir, según el caso, la reflectancia de la superficie que constituye el fondo sobre el que contrastan los detalles u objetos que hay que visualizar.
- Emplear fondos con una superficie homogénea, sin dibujos o tramas que puedan distraer la atención o perturbar la visualización de los elementos de la tarea.
- En caso de trabajar con pantallas de visualización:
  - Ajustar el brillo de la pantalla al nivel de iluminación.
  - Disminuir el nivel de iluminación.

**-Artefactos luminosos temporales (TLA)**

- El parpadeo puede ser causado por la electrónica de accionamiento interna de las lámparas y luminarias, así como por cualquier equipo de control asociado, como los circuitos de regulación. Además, los TLA pueden ser el resultado de fluctuaciones y transitorios en la tensión de alimentación de CA. Formas de solucionar esto son:
  - Emplear luminarias en "montaje compensado" (conexión de las lámparas de cada luminaria a las tres fases de la red eléctrica).
  - Utilizar balastos electrónicos de alta frecuencia.
  - Comprobar posibles averías del circuito de alimentación.
- Iluminar los órganos giratorios de las máquinas mediante un sistema auxiliar que utilice lámparas incandescentes, o balastos electrónicos de alta frecuencia, de forma que su velocidad de giro no se sincronice con la frecuencia de la fluctuación del flujo lumínico.

- Emplear una iluminación localizada complementaria a base de lámparas incandescentes.

-Campo visual

- Rediseñar el puesto para que los elementos visualizados frecuentemente se encuentren dentro de los ángulos indicados.
- Rediseñar el puesto de forma que no existan obstáculos en la línea de visión.
- Si los obstáculos son elementos de la propia tarea (por ejemplo, en tareas de montaje), utilizar soportes cuya inclinación y giro se puedan regular a voluntad.

-Mantenimiento

- Implantar un programa de mantenimiento que incluya:
  - Limpieza periódica de luminarias, ventanas, lucernarios, claraboyas y lámparas.
  - Sustitución de las lámparas al final de su vida útil, antes de que se fundan o funcionen de manera deficiente.
  - Revisión periódica del estado de los toldos, persianas, cortinas apantallamientos, difusores y demás elementos auxiliares.
- Sustitución de las lámparas en caso de avería o deterioro.
- Reparación de los elementos deteriorados.

