



Evaluación del Bienestar térmico en locales de trabajo cerrados mediante los índices térmicos PMV y PPD.

Pilar Armendáriz Pérez de Ciriza

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

ÍNDICE:

1. Introducción
2. El bienestar térmico
3. Evaluación del bienestar térmico
 - 3.1. Evaluación del bienestar térmico general del cuerpo
 - 3.1.1. Procedimientos para el cálculo de los índices PMV y PPD
 - 3.1.2. Valores recomendados de bienestar térmico global
 - 3.1.3. Restricciones en el uso de los índices PMV y PPD
 - 3.2. Requisitos para el bienestar térmico en lugares de trabajo donde se realicen actividades sedentarias tipo oficinas.
4. Disposiciones legales sobre el bienestar térmico en los locales de trabajo cerrado.

Bibliografía

1. INTRODUCCIÓN

En los locales cerrados, donde el trabajo que se realiza es de tipo sedentario o ligero, las condiciones termohigrométricas no suelen ser tan extremadas como para que los trabajadores puedan sufrir trastornos patológicos. Sin embargo, son muy frecuentes las situaciones de falta de confort o bienestar térmico debido a que hace calor, frío o a que el ambiente está demasiado seco o húmedo, lo que da lugar a muchas quejas.

El **REAL DECRETO 486/1997 de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo**, establece para los locales cerrados, donde se realicen trabajos ligeros y sedentarios, unos valores límite de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire **“a fin de evitar las molestias e incomodidades de los trabajadores”**, por lo que, cuando se hagan mediciones para evaluar el confort térmico, debe comprobarse su cumplimiento.

No obstante, existen otros factores objetivos (ajenos a las características individuales de cada trabajador), como la ropa que se lleve o la temperatura radiante media, no contemplados en el R.D. 486/97, que influyen también en los *efectos térmicos* sobre el individuo y que habría que tener en cuenta a la hora de adecuar las condiciones termohigrométricas de los locales de trabajo cerrados para que no causen incomodidades a los trabajadores.

Los índices térmicos PMV (Voto Medio Previsto o Voto Medio Estimado) y PPD (Porcentaje Previsto de Insatisfechos o Porcentaje Estimado de Insatisfechos) propuestos por Fanger y objeto de la norma técnica **UNE EN ISO 7730: 2006 Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local**, tienen en cuenta **todos los factores objetivos** que influyen en la **sensación térmica general del cuerpo**. Predicen la sensación térmica general que las personas pueden tener en el **interior de los edificios** y por ello son ampliamente usados en todo el mundo, tanto para el diseño de las condiciones térmicas de confort de lugares de trabajo tipo oficinas que se van a construir o a remodelar (y, en general, de los espacios de los edificios destinados a la ocupación humana), como en la evaluación del

bienestar térmico general del cuerpo (bienestar térmico global) de trabajadores y otros ocupantes de oficinas y edificios en uso.

A partir de la entrada en vigor del **REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios**, conocido como RITE, estos índices cobran una especial importancia, ya que dicho reglamento forma parte de la normativa legal en prevención de riesgos laborales, en virtud del artículo 1 de la **Ley 31/1995 de PRL**. Concretamente, en la Instrucción Técnica *IT 1.1.4.1 Exigencia de Calidad Térmica del Ambiente*, incluida en la *IT 1 DISEÑO Y DIMENSIONADO*, se dan los valores de consigna para diseñar las instalaciones térmicas de los edificios en función del índice PPD y de los parámetros que intervienen en su cálculo.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que, aunque las condiciones de trabajo sean adecuadas para el bienestar térmico general del cuerpo, puede haber partes del mismo sometidas a frío o calor molestos, lo que produce falta de bienestar térmico local (malestar térmico local), por ejemplo, por corrientes de aire, radiación térmica, etc.

Este documento expone el método de evaluación del ***bienestar térmico general del cuerpo***, por medio de los índices térmicos **PMV** y **PPD**, para los trabajos sedentarios, ligeros y moderados que se desarrollan **en lugares cerrados**. Los valores de PMV y PPD de referencia recomendados en estos casos, asegurarían ese nivel de bienestar al **90% de los trabajadores (de un grupo numeroso de trabajadores)**, que potencialmente trabajasen en idénticas condiciones ambientales, vistiesen de forma similar y realizasen la misma actividad física. **Se acepta que, si en cada evaluación realizada en la práctica, el resultado no excede los valores de referencia, el trabajador, cuyo puesto de trabajo se ha evaluado, trabaja en condiciones aceptables para el bienestar térmico global.**

Además, para el caso concreto del trabajo en oficinas, en este documento se dan los valores de todos los factores térmicos objetivos determinantes de la sensación térmica para garantizar el nivel deseado de bienestar térmico.

Completa este documento un ejemplo de evaluación del bienestar general del cuerpo con los índices PMV y PPD.

2. EL BIENESTAR TÉRMICO

Cuando las temperaturas son bastante más altas o bajas de lo habitual, los trabajadores suelen estar de acuerdo en que "*hace calor o hace frío*" en el local de trabajo. En cambio, en los ambientes interiores donde las condiciones ambientales son intermedias o moderadas hay bastantes discrepancias entre los ocupantes al respecto. En un mismo local y en un mismo momento, no es extraño encontrarse con trabajadores que sienten bienestar o "*se sienten a gusto*", mientras que otros, por el contrario, "*tienen calor o frío*". Situaciones así se dan con frecuencia en locales de trabajo cerrados donde existe aire acondicionado. Esto se explica por el hecho de que, en la **sensación térmica** de las personas, influyen también **factores subjetivos** (características fisiológicas y psicológicas de la persona), aunque lo que más influye es el **equilibrio térmico global del cuerpo**, que depende de los **factores objetivos**: condiciones termohigrométricas del ambiente, ropa del individuo y actividad física realizada.

Suele definirse como **bienestar térmico** a la sensación de satisfacción con el ambiente térmico expresada por las personas. La falta de bienestar térmico o sensación de insatisfacción térmica puede deberse a una sensación incómoda de frío o de calor en **todo el cuerpo**. Pero también puede estar causada por un enfriamiento o un calentamiento no deseado **de una parte del cuerpo**.

El **malestar térmico local** suele tener origen en las corrientes de aire, suelos demasiado calientes o fríos, diferencias notables de la temperatura del aire a la altura de las distintas partes del cuerpo, así como en las diferencias elevadas de la temperatura radiante o asimetría de radiación entre paredes opuestas, por un lado, y entre el techo y el suelo de los locales, por otro.

El malestar térmico, ya sea en el cuerpo como un todo o en alguna parte del mismo, afecta a los trabajadores de diversas formas, aumenta su fatiga, impide la correcta realización de las tareas, provoca insatisfacción y da lugar a muchas quejas.

3. EVALUACIÓN DEL BIENESTAR TÉRMICO

3.1. Evaluación del bienestar térmico general del cuerpo

Uno de los métodos más usados para evaluar si las condiciones termohigrométricas de los **locales cerrados** son confortables es el método de Fanger de evaluación del bienestar térmico global, en el que se basa la norma técnica **UNE EN ISO 7730:2006 Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local**.

El método de Fanger es un **método objetivo de evaluación** que permite el cálculo del valor numérico de unos índices térmicos, PMV y PPD, indicadores de la sensación de bienestar térmico global del cuerpo, a través de la medición de los 4 parámetros ambientales (temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad relativa), la estimación del aislamiento de la vestimenta y la determinación de la tasa metabólica del trabajo que se realiza.

Fanger desarrolló su método a partir de los experimentos que realizó con un grupo de más de 1300 personas, donde encontró las correlaciones matemáticas entre su sensación térmica general, expresada con un número de los comprendidos en una escala numérica de sensación térmica (véase figura 1) y los valores medidos o estimados de los 4 parámetros ambientales, la ropa y la actividad.

PUNTUACIÓN	SENSACIÓN TÉRMICA
+3	Mucho calor
+2	Bastante calor
+1	Algo de calor
0	Neutra
-1	Algo de frío
-2	Bastante frío
-3	Mucho frío

Figura 1 - Escala numérica de sensación térmica usada por Fanger

El índice PMV (siglas en inglés de *Predicted Mean Vote*) refleja el **valor medio de los votos** (puntuaciones) **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 llevarsen una ropa similar.

El índice PPD (siglas en inglés de *Predicted Percentage of Dissatisfied*) está relacionado con el índice PMV (véase fig. 2) y representa el porcentaje de personas insatisfechas térmicamente para un valor determinado de PMV. Fanger lo estableció cuantificando el porcentaje de personas del grupo de 1300, que, al puntuar su sensación térmica para obtener el PMV, sentían incomodidad térmica por calor o por frío (dieron puntuaciones positivas a partir de +2 y negativas a partir de -2).

El índice PMV puede alcanzar un valor numérico comprendido entre +3 y -3, valor que predeciría una sensación térmica de distinta intensidad de calor (en caso de ser positivo), distinta intensidad de frío (en caso de ser negativo) o la neutralidad térmica (si fuese cero). Para cada valor el PMV, el índice PPD predeciría el % de personas insatisfechas térmicamente **dentro de grupo de muchas personas**.

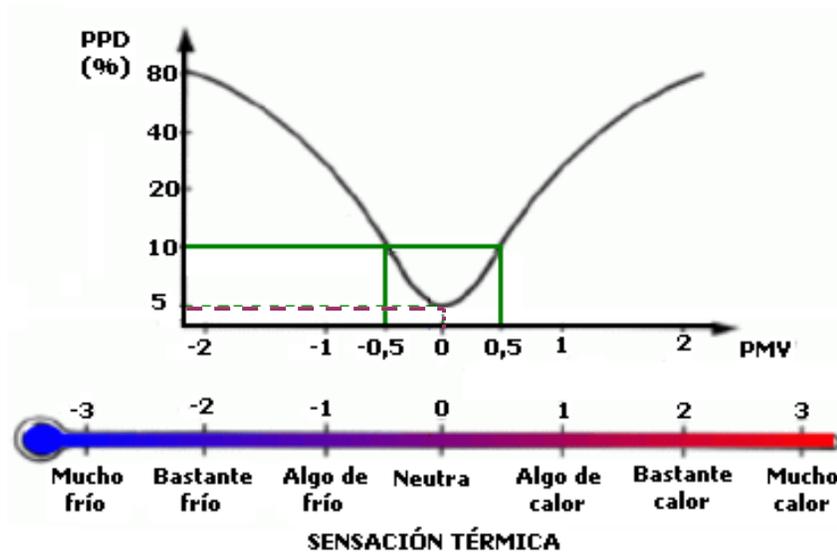


Figura 2 – Porcentaje previsto de insatisfechos (PPD) en relación con el Voto medio previsto (PMV)¹.

Como muestra la fig. 2, incluso aunque el índice PMV sea 0, lo que correspondería a una sensación térmica neutra (ni frío ni calor), hay un PPD = 5%; es decir, un 5% de las personas sienten el ambiente térmico como no confortable. De ello se puede extraer la siguiente conclusión:

*No es posible especificar ni conseguir unas condiciones termohigrométricas que satisfagan a **todas las personas** debido a sus características individuales. Lo que **sí es posible conseguir es que dichas condiciones satisfagan a un gran porcentaje de personas.***

3.1.1. Procedimientos para el cálculo de los índices PMV y PPD

El índice **PMV** para el puesto de trabajo cuyas condiciones de bienestar térmico se quiera evaluar se calcula a partir de mediciones de la **temperatura del aire**, la **temperatura radiante media**, la **humedad relativa del aire** y la **velocidad del aire** realizadas en el lugar de trabajo, además de la estimación de la **tasa metabólica**

¹ Los criterios de confort recomendados vienen señalados en verde. Obsérvese que **siempre hay un 5 % de personas insatisfechas** con las condiciones termohigrométricas, incluso en condiciones de neutralidad térmica

correspondiente a la actividad física que se realice y de la estimación del **aislamiento de la ropa** que lleve el trabajador.

Las ecuaciones desarrolladas por Fanger para el cálculo del PMV a partir de los parámetros citados resultan demasiado engorrosas de aplicar en la práctica, por lo que la norma UNE EN ISO 7730 propone:

- a) Usar un programa informático para resolver las ecuaciones. La norma contiene un programa en BASIC para ello.
- b) Utilizar tablas de valores de PMV, realizadas a partir de diversas combinaciones de actividad física, vestimenta, temperatura operativa y velocidad relativa del aire. (Véase la tabla A.1 del Anexo)
- c) Determinarlo directamente con un equipo provisto de un sensor integrador. (El sensor integra el valor de las variables ambientales; los valores del aislamiento de la ropa y la tasa metabólica habría que introducirlos manualmente en el instrumento)

El índice PPD se calcula fácilmente a partir del PMV por medio de una ecuación o a partir de la gráfica representada en la figura 2.

3.1.2. Valores recomendados de bienestar térmico global

Los valores recomendados para proporcionar bienestar térmico global al 90% de los trabajadores según la norma UNE ENE ISO 7730: 2006 son:

UNE ENE ISO 7730:2006
Valores de referencia para el bienestar térmico global
- 0,5 < PMV < + 0,5 ó PPD < 10 %

Es decir, se **consideran aceptables para el bienestar térmico global de los trabajadores** unas condiciones ambientales de los locales cerrados, que para la actividad física que desarrollen y la ropa que lleven, den lugar a:

- **una sensación térmica neutra** (PMV = 0),
- **una sensación térmica de “un poco de frío”** (PMV entre 0 y - 0,5) y
- **una sensación térmica de “algo de calor”** (PMV entre 0 y + 0,5).

3.1.3. Restricciones en el uso de los índices PMV y PPD

Se recomienda usar el índice PMV para evaluar el bienestar térmico **únicamente cuando su valor esté comprendido entre +2 y -2**, y, además, los valores de los seis parámetros principales estén comprendidos en los intervalos siguientes:

$$M = 46 \text{ W/m}^2 \text{ a } 232 \text{ W/m}^2 \text{ (0,8 a 4 met)}$$

$$I_{cl} = 0 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W a } 0,310 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W (0 clo a 2 clo)}$$

$$t_a = 10 \text{ °C a } 30 \text{ °C}$$

$$\bar{t}_r = 10 \text{ °C a } 40 \text{ °C}$$

$$V_{ar} = 0 \text{ m/s a } 1 \text{ m/s}$$

3.1.4. Determinación del índice PMV a partir de tablas de valores de PMV

Las tablas de valores de PMV (véase como ejemplo la tabla A.1) son tablas confeccionadas a partir de diversas combinaciones de valores de las variables implicadas en dicho índice térmico. Permiten calcular de una manera sencilla el PMV del puesto de trabajo (en adelante, PMV_{pT}) a partir de las mediciones y estimaciones realizadas en el lugar y puesto de trabajo. Las tablas se han obtenido para una humedad relativa del 50% y cada una de ellas corresponde a un nivel de actividad

(tasa metabólica) determinado, que viene señalado en el encabezamiento de las mismas.

Variables necesarias para la determinación del PMV_{pT} a través de tablas de PMV

- a) Tasa metabólica, **M**
- b) Índice de aislamiento de la vestimenta, **I_{cl}**
- c) Velocidad relativa del aire, **v_{ar}**

Se obtiene a partir de la velocidad del aire y la tasa metabólica, con dos ecuaciones distintas según sean las unidades de M;

1)
$$v_{ar} = v_a + 0,0052 (M - 58)$$

siendo: v_a = velocidad del aire en m/s
 M = tasa metabólica en W/m²

2)
$$v_{ar} = v_a + 0,3 (M - 1)$$

siendo: M = tasa metabólica en met

- d) Temperatura operativa, **t_o**

$$t_o = A t_a + (1-A) \bar{t}_r$$

siendo: t_a = temperatura del aire
 \bar{t}_r = temperatura radiante media
 A = cte que depende de v_{ar}

v_{ar} (m/s)	<0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Procedimiento:

- 1º Elegir la tabla de PMV correspondiente al nivel de actividad del puesto de trabajo
- 2º Entrar en la tabla por la columna de la velocidad relativa del aire.
- 3º Seleccionar las filas correspondientes al I_{cl} de la ropa del trabajador
- 4º Avanzar por la fila de la temperatura operativa. El valor donde confluye la fila de la temperatura con la columna de la velocidad relativa será el valor del PMV (pt). A partir de éste, se puede obtener el PPD (pt) correspondiente utilizando la fig. 2.

Aunque este procedimiento es menos exacto que el uso de las ecuaciones, ya que la humedad relativa del lugar de trabajo puede no ser del 50%, hay que tener en cuenta que **la influencia de la humedad en la sensación térmica es escasa a temperaturas moderadas cercanas al bienestar** y, por ello, se acepta su utilización.

3.2. Requisitos para el bienestar térmico en lugares de trabajo donde se realicen actividades sedentarias tipo oficina.

En la tabla 1 se muestran los valores de varios parámetros ambientales recomendados por la norma UNE EN ISO 7730:2006 para conseguir un **bienestar térmico global correspondiente a un PPD < 10% de insatisfechos** y un **bienestar térmico local de entre <5% y <10 % de insatisfechos** (PD, del inglés *Percentage of Dissatisfied*) por incomodidad térmica local causada por diferencias de la temperatura del aire a la altura de los tobillos y la cabeza, suelos calientes o fríos y asimetrías de temperatura radiante.

En general, el margen de valores considerados aceptables para el bienestar térmico es relativamente estrecho, dada la relación que existe entre las variables. Así por ejemplo, un ligero aumento en la velocidad del aire puede desencadenar una serie de quejas aunque la temperatura se mantenga dentro de los límites aceptables.

Tabla 1 – Recomendaciones para el bienestar térmico en oficinas

LOCALES CERRADOS, TRABAJOS SEDENTARIOS		
1. PARA CONSEGUIR UN BIENESTAR TÉRMICO GLOBAL CON UN PPD < 10%		
Temperatura operativa	Invierno (época calefacción)	20 °C - 24 °C (si se lleva ropa de 1 clo)
	Verano (época refrigeración)	23 °C - 26 °C (si se lleva ropa de 0,5 clo)
Velocidad del aire		< 0,1 m/s
2. PARA CONSEGUIR BIENESTAR LOCAL CON UN PD < 5% (apartados a y c) Y UN PD < 10% (apartado b)		
a.	Diferencia entre la temperatura del aire a la altura de la cabeza (1,1 m del suelo) y a la de los tobillos (0,1 m del suelo)	< 3 °C
b.	Rango de temperatura del suelo	De 19 °C a 29 °C
c.	Asimetría de Temperatura radiante	Debida a un techo caliente < 5 °C
	Debida a una pared/ventana fría	< 10 °C
	Debida a un techo frío	< 14 °C
	Debida a una pared/ventana caliente	< 23 °C
3. PARA EL BIENESTAR TÉRMICO Y PARA EVITAR LA EXCESIVA HUMEDAD DE LA PIEL Y LA SEQUEDAD DE LA PIEL Y LAS MUCOSAS		
Humedad relativa del aire		30% - 70%

4. DISPOSICIONES LEGALES SOBRE EL BIENESTAR TÉRMICO EN LOS LOCALES DE TRABAJO CERRADOS

Las disposiciones legales relativas al bienestar térmico en los locales de trabajo se muestran en la tabla 2. Vienen recogidas en los siguientes reales decretos:

1. Real Decreto 486/1997 de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo

En su **Anexo III, en los apartados 3, 4 y 6**, contiene disposiciones mínimas para que las condiciones termohigrométricas de los locales de trabajo cerrados (incluidos los locales de descanso, primeros auxilios, comedores, servicios, etc.) no causen molestias a los trabajadores.

2. Real Decreto 1751/1998 de 31 de julio. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE

En la **IT 02.2.1 Bienestar térmico (IT 02 Diseño/ IT 02.2 Condiciones interiores)** señala las condiciones interiores de diseño, de las instalaciones térmicas destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas de los edificios construidos o reformados a partir de su entrada en vigor, las cuales, señala, " *han fijarse en función de la actividad metabólica de las personas y su grado de vestimenta*".

3. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

En la **IT 1.1.4.1 Exigencia de calidad térmica del ambiente (IT 1 Diseño y dimensionado/ IT 1.1 Exigencia de bienestar e higiene/ IT. 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene)** da las condiciones interiores de diseño de las instalaciones térmicas destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas de los edificios construidos o reformados a partir de su entrada en vigor para obtener

un PPD < 10% cuando la actividad física es de 1,2 met y se lleva ropa de 0,5 clo en verano y de 1 clo en invierno.

Tabla 2 – Disposiciones mínimas sobre bienestar térmico en la legislación de prevención de riesgos laborales

	R.D. 486/97 L.T. <i>(Condiciones ambientales de locales cerrados)</i>	R.D. 1751/1998 RITE <i>(Condiciones de diseño de las instalaciones térmicas)</i>	R.D. 1027/2007 RITE <i>(Condiciones de diseño de las instalaciones térmicas)</i>
Humedad relativa (%)	30 - 70 <i>Con electricidad estática:</i> 50 - 70	40 - 60	Verano: 45 - 60 Invierno: 40 - 50
Temperatura (°C)	<i>Trabajos sedentarios:</i> 17 - 27 (*) <i>Trabajos ligeros:</i> 14 - 25	-	-
Temperatura operativa (°C)	-	Verano: 23 - 25 Invierno: 20 - 23	<i>Para PPD < 10%; M = 1,2 met; una ropa de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno:</i> Verano 23 - 25 Invierno 21 - 23
Velocidad del aire (m/s)	<i>Trabajos sedentarios:</i> Amb.calurosos: ≤ 0,5 Amb. no calurosos: ≤ 0,25 <i>Trabajos no sedentarios:</i> Amb.calurosos: ≤ 0,75 A. acondicionado: ≤ 0,35	Verano: 0,18 - 0,24 Invierno: 0,15 - 0,20	<i>Calcular en función de la temperatura del aire, la intensidad de turbulencia y tipo de difusión del aire</i>

(*) La Guía Técnica del INSHT sobre lugares de trabajo recomienda mantener la temperatura **entre 17 °C y 24 °C en invierno y entre 23 °C y 27 °C en verano.**

BIBLIOGRAFÍA

- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE nº 97, de 23 de abril.
- Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios" (RITE). Boletín Oficial del Estado, 2007, n 207, pp. 35931- 35984.
- ISO 7730: 2005 *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*
- 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 local
- INSHT (1999). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo*. Madrid. INSHT
- Armendáriz, P. (2001) *Curso de Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales. Ergonomía y Psicología Aplicada. U.D. 5: Evaluación del bienestar térmico en locales de trabajo cerrados mediante los índices térmicos PMV y PPD y su relación con la normativa sobre prevención de riesgos laborales*. Madrid. INSHT.