

Bienestar térmico: criterios de diseño para ambientes térmicos confortables

Confort thermique. Critères de dessin par ambiances thermiques confortables.
Thermal comfort. Design criteria for comfortable thermal environment.

Redactora:

Ana Hernández Calleja
Licenciada en Ciencias Biológicas

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

Esta nota técnica actualiza las NTP 74 y 501, no tanto por lo que respecta a los conceptos y bases de la metodología en ellas planteados, sino por la filosofía de aplicación de la misma. En octubre de 2006 se publica la norma UNE-EN-ISO 7730 "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", que anula y sustituye a la anterior, del mismo número, publicada en julio de 1996. En esta nueva norma se establecen categorías de calidad con las que se trata de alcanzar un equilibrio entre el menor índice de insatisfechos posible y lo que en la práctica se puede obtener con la tecnología existente. Al igual que en otras normas referentes a ambientes interiores (UNE-EN 13799/2005 y PD CR 1752/1999), la decisión sobre qué categoría se desea para un determinado espacio debe ser tomada en la fase de diseño de un proyecto y debe ser consensuada entre el propietario del edificio y los colectivos técnicos implicados en el proyecto y construcción del mismo.

1. INTRODUCCIÓN

El ambiente interior comprende el ambiente térmico, la calidad del aire y el ambiente acústico. La calidad del ambiente interior puede ser expresada como el grado en el que se cumplen las exigencias humanas. Debido a las diferencias entre las personas, estas exigencias pueden variar de unos individuos a otros. Algunas personas son más sensitivas frente a un determinado ambiente y pueden ser difíciles de satisfacer, mientras que otras lo son en menor medida siendo, en consecuencia, más fáciles de satisfacer. Para hacer frente a estas diferencias individuales, la cuantificación de la "calidad" se expresa en forma de porcentaje de personas que encontrarían, en este caso, el ambiente inaceptable.

La metodología de valoración del ambiente térmico se basa en la respuesta humana a las diferentes situaciones provocadas por la combinación de las seis variables que definen el ambiente térmico, cuatro ambientales y dos ligadas al individuo, y que son las siguientes: la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la humedad relativa, la velocidad del aire, la actividad metabólica y el aislamiento del vestido.

La valoración final se expresa a través de dos índices: el índice PMV (del inglés *Predicted Mean Vote*) y el índice PPD (del inglés *Predicted Percentage of Dissatisfied*). El índice PMV daría la estimación de la sensación térmica, mientras que el PPD proporcionaría información sobre el grado de incomodidad.

Estos índices pueden ser utilizados para el diseño de ambientes térmicos confortables o para la evaluación de ambientes térmicos existentes. La norma UNE-EN-ISO 7730/2006 establece tres clases o categorías de calidad basadas en el equilibrio entre las posibilidades económicas y tecnológicas y el menor número de personas insatisfechas usuarias de dichos ambientes. Es en el mo-

mento del diseño de la instalación cuando se escoge una determinada categoría de ambiente térmico, pero es a lo largo de la vida útil de la misma cuando la metodología de valoración permite comprobar que los requisitos establecidos en la fase de diseño se mantienen en el tiempo.

2. ÍNDICES PMV Y PPD

Cualquier actividad que realice el cuerpo humano requiere el aporte de energía. De la energía que se moviliza solo una pequeña parte es invertida en la realización del trabajo, en tanto que el resto se transforma en calor. Una mínima fracción del calor generado se utiliza para mantener la temperatura interna del cuerpo en un valor constante (37 °C), mientras que el resto debe ser disipado al ambiente, sin olvidar que el flujo de transferencia de calor viene determinado por las características térmicas del mismo y que el calor fluye de las zonas más cálidas a las más frías.

Se denomina "Balance térmico" al equilibrio que se establece entre el organismo y el ambiente en el que el calor generado internamente y/o ganado del ambiente es igual a la cantidad de calor cedido al ambiente. Los mecanismos fisiológicos que propician los intercambios de calor están regidos por el sistema de termorregulación del cuerpo humano. En ambientes térmicos moderados, el trabajo de termorregulación es mínimo y es suficiente modificar la temperatura de la piel y la secreción del sudor para mantener el equilibrio térmico.

El índice PMV refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala psicofísica de siete niveles al ser sometidos a diferentes ambientes térmicos. El índice se obtiene de la ecuación del balance térmico y de los datos estadísticos de pruebas experimentales.

Vestimenta Clo ⁽¹⁾	Temperatura operativa ⁽²⁾ °C	Velocidad relativa del aire m/s								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,0	
0,5	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	
1,0	32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	
	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
	26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58	
28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12		
30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67		

(1) clo: resistencia térmica del vestido. (1 clo= 0,155 m²ΣK/W)

(2) Temperatura operativa: temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme. A efectos prácticos se puede calcular como el valor medio entre la temperatura radiante media y la temperatura del aire.

(3) Velocidad relativa del aire: velocidad del aire relativa al ocupante incluyendo los movimientos del cuerpo.
 $[v_{ar} = 0,3 \sum (M - 1), M \text{ expresado en met, siendo } 1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2]$

Tabla 1. Nivel de actividad 69,6 W/m² (1,2 met – 108,7 Kcal/hora)

El índice PMV se puede obtener mediante la utilización de un equipo de medida directa, utilizando el programa informático proporcionado en la norma UNE o bien de las tablas, incluidas en la norma, que proporcionan valores de PMV para diferentes combinaciones de actividad, vestimenta, temperatura operativa y velocidad relativa del aire. En la tabla 1 se muestran, a título de ejemplo, los valores de PMV correspondientes a una actividad sedentaria, para la indumentaria típica de verano y de invierno y para diferentes valores de temperatura operativa y velocidad relativa del aire.

Como se ha mencionado anteriormente, el índice PMV 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 permite predecir de forma cuantitativa el porcentaje de insatisfechos. En la figura 1 se muestra la gráfica que relaciona los índices PMV y PPD.

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 dema-

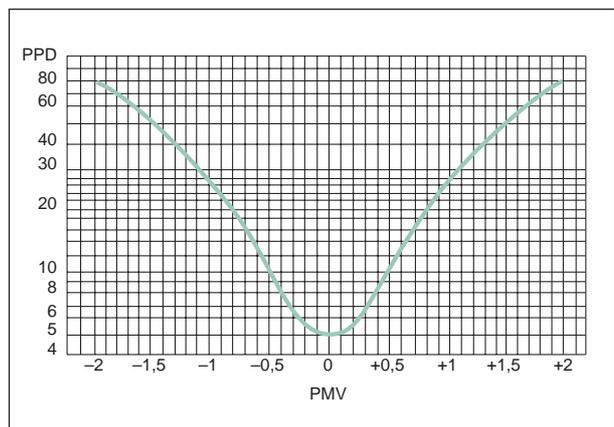


Figura 1. PPD en función del PMV

siado calientes o fríos, a asimetrías de temperatura radiante elevadas entre planos opuestos o a diferencias de temperatura entre tobillos y cabeza excesivas. El grado de incomodidad que producen estas situaciones se expresa como porcentaje de insatisfechos (PD, del inglés *Percentage of Dissatisfied*). En la nota técnica 501 "Ambiente térmico e inconfort térmico local", se desarrollan más ampliamente los conceptos que explican estos aspectos, asimismo contiene los valores recomendados por la UNE-EN-ISO 7730/1996 para obtener determinados porcentajes de insatisfechos. La nueva norma propone tres categorías de calidad también para los cuatros factores que inciden en la incomodidad térmica local.

3. CATEGORÍAS DE AMBIENTE TÉRMICO

El establecimiento de categorías de calidad de ambiente térmico pretende dar respuesta a las distintas necesidades que pueden tener los países en cuanto a desarrollo técnico, prioridades nacionales o, incluso, a diferencias climáticas, de forma que los índices PMV, PPD y PD permitan establecer diferentes rangos de parámetros ambientales que faciliten el diseño de las instalaciones, así como la evaluación del bienestar térmico. En la tabla 2 se muestran las tres categorías de calidad de ambiente térmico correspondientes a los índices PMV y PPD relativos a la sensación térmica del conjunto del cuerpo y el grado de insatisfacción que la situación térmica provocaría en los ocupantes.

CATEGORÍA	ESTADO TÉRMICO DEL CUERPO EN SU CONJUNTO	
	PMV	PPD (%)
A	-0,2 < PMV < +0,2	< 6
B	-0,5 < PMV < +0,5	< 10
C	-0,7 < PMV < +0,7	< 15

Tabla 2. Categorías de ambiente térmico. Índices PMV y PPD

En la tabla 3 se recogen las categorías de ambiente térmico que corresponden a los porcentajes de insatisfechos debidos a los diferentes factores de malestar térmico localizado considerados.

4. CRITERIOS DE DISEÑO

Un ambiente interior viene definido fundamentalmente por la calidad del aire que se proporciona a los ocupantes de un espacio, por el clima que se crea en ese espacio, por el ambiente lumínico y acústico y por el entorno visual en el que se desarrollará la actividad. Buena parte de esos aspectos está directamente relacionado con el sistema de ventilación y de acondicionamiento del aire que se suministra a los locales. Ello hace que sea una de las instalaciones más importantes de un edificio. De su correcto diseño, montaje y funcionamiento dependerá que se obtengan ambientes interiores que puedan ser calificados por los ocupantes como de calidad. De las fases antes indicadas es la del diseño de la instalación la que mayor importancia reviste. Es en esta fase en la que se deben fijar las condiciones y asumir los supuestos en los que se basará el diseño de la instalación y que permitirán alcanzar los criterios de calidad escogidos.

A título de ejemplo, a continuación se indican algunos de los aspectos más directamente relacionados con el am-

biente térmico que se deben tomar en consideración en la fase de diseño del sistema del que dependerá, en buena parte, la calidad del ambiente interior:

- Uso al que está destinado el espacio.
- Especificación de la zona ocupada.
- Número de ocupantes (trabajadores y máxima ocupación previsible si hay atención al público).
- Datos sobre el clima exterior (valores máximos y mínimos correspondientes a un determinado porcentaje de un año normal).
- Área de la superficie acristalada.
- La carga térmica originada por las personas, equipos, iluminación, radiación solar, etc.
- El posible uso de elementos de apantallamiento solar.
- La incorporación de ventanas practicables.

Tanto los propietarios como los usuarios deben ser conscientes de que los cambios en aspectos tales como la carga térmica o el número de ocupantes que se puedan producir con el tiempo significan una desviación del diseño original del sistema y, en consecuencia, es posible que ya no se cumplan los criterios de bienestar inicialmente especificados.

Intervalo de temperatura operativa

Para un espacio dado en el que se desarrolla una cierta actividad física y se viste una ropa determinada existe una temperatura operativa óptima que corresponde a la sensación térmica neutra, es decir, a un índice PMV igual a cero. Los límites de bienestar térmico alrededor de la temperatura operativa se establecen a partir del PMV fijado en el diseño. En las figuras 2, 3 y 4 se muestran dichos límites para cada una de las categorías de calidad de ambiente térmico.

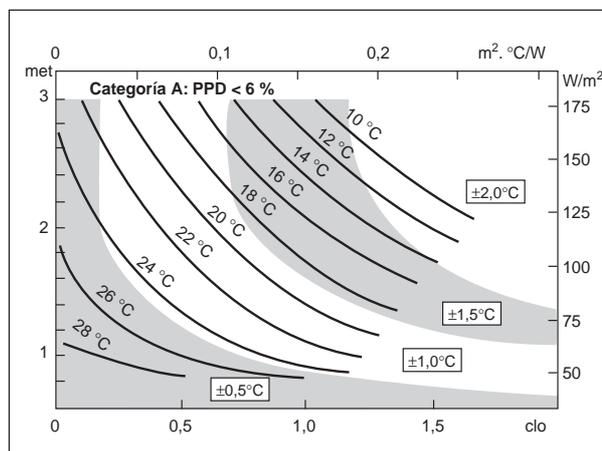


Figura 2. Límites de bienestar térmico: categoría A: PPD < 6%

CATEGORÍA	INCOMODIDAD TÉRMICA LOCAL			
	PD (%)			
	Corrientes de aire (DR)*	Diferencia vertical de la temperatura del aire	Suelos calientes y fríos	Asimetría de temperatura radiante
A	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 30	< 10	< 15	< 10

DR*: del inglés Draught rate

Tabla 3. Categorías de ambiente térmico. PD debidos a incomodidad térmica local

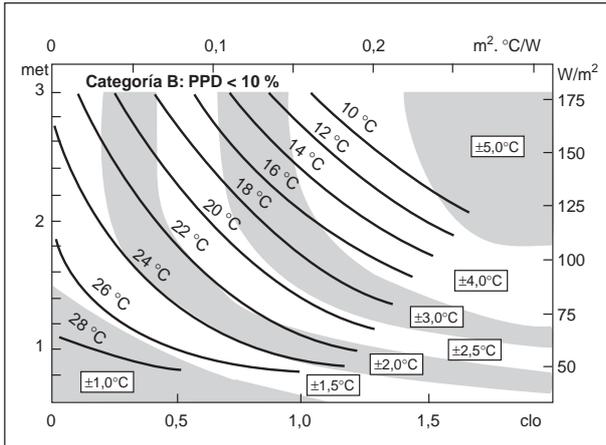


Figura 3. Límites de bienestar térmico: categoría B: PPD < 10%

Las curvas muestran la temperatura operativa óptima, por lo tanto son las mismas en las tres gráficas, mientras que los límites varían en función de la tolerancia que establece cada categoría.

Las áreas sombreadas indican los intervalos de temperatura alrededor de la óptima dentro de los cuales se cumple el valor del PMV establecido en cada categoría.

En el cálculo de los límites de bienestar se considerado una humedad relativa del 50% y una velocidad del aire inferior a 0,1 m/s.

Corrientes de aire

Una corriente de aire se puede definir como un enfriamiento no deseado de una parte del cuerpo debido al movimiento del aire y a la temperatura. En la NTP 501 se describen más ampliamente los conceptos básicos de este factor de incomodidad.

En la tabla 3 se establecen los porcentajes de insatisfechos para las tres categorías de calidad de ambiente térmico ligadas a la incomodidad térmica local y entre ellas la debida a la presencia de corrientes de aire. La figura 5 muestra las gráficas de las que se puede deducir la máxima velocidad media del aire en función de la temperatura y de la intensidad de la turbulencia para cada una de las categorías establecidas.

La intensidad de la turbulencia se exprese en tanto por ciento y corresponde a la relación entre la desviación

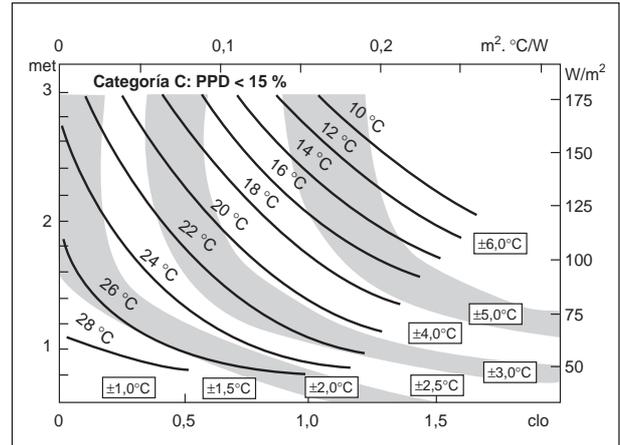


Figura 4. Límites de bienestar térmico: categoría C: PPD < 15%

estándar de la velocidad instantánea del aire y la velocidad media del aire. El valor de la intensidad de turbulencia puede variar entre el 30% y el 60% en espacios en los que la ventilación es por mezcla. En esos casos el objetivo es que el aire de impulsión se mezcle con el aire del interior del local alcanzando todos los puntos del mismo y, en especial, la zona respiratoria.

En los casos en que la ventilación es por desplazamiento del aire, el objetivo es que el aire de impulsión se mezcle lo menos posible con el aire del local. El aire tratado va desplazando el aire interior hacia la extracción. En esa situación la intensidad de turbulencia puede ser menor.

Otros factores de incomodidad térmica local

En este apartado se incluyen los valores de los parámetros físicos que definen los demás factores considerados como susceptibles de causar incomodidad térmica local. Dichos parámetros corresponden a: la temperatura del aire que permite verificar la cuantía de la diferencia vertical de temperaturas, la temperatura del suelo que permite determinar la incomodidad por suelos demasiado fríos o calientes y la temperatura de planos radiantes que permite calcular la asimetría de temperatura radiante. En la tabla 4 se resumen los valores permitidos de estos parámetros para cada una de las categorías de calidad establecidas.

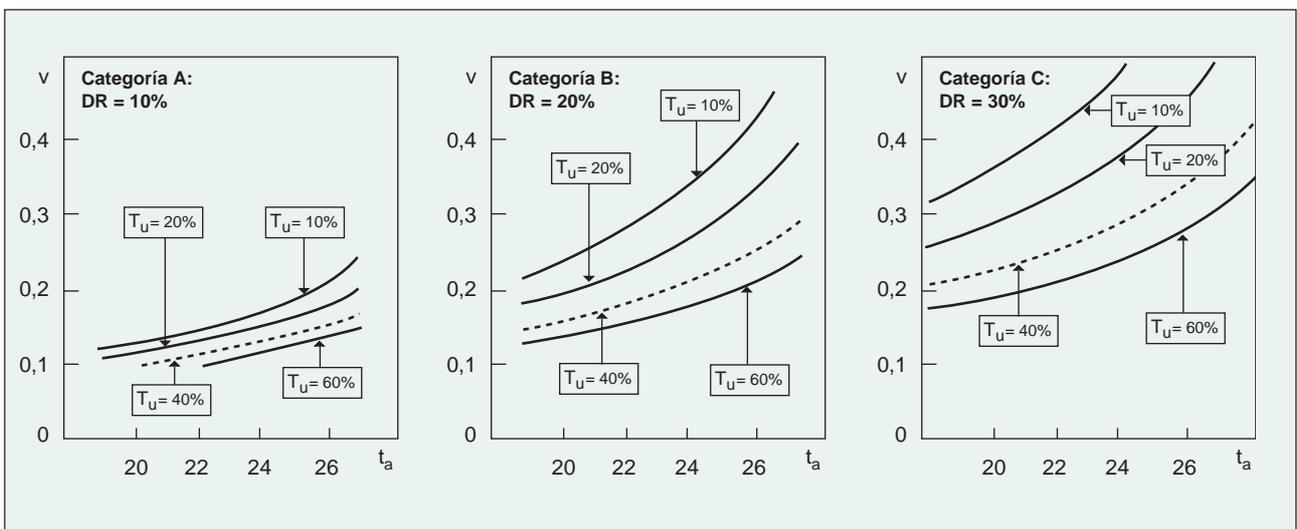


Figura 5. Velocidad media del aire permisible en función de la temperatura del aire y de la intensidad de la turbulencia.

	Diferencia vertical de temperatura	Temperatura del suelo	Asimetría de temperatura radiante			
			Techo caliente	Pared fría	Techo frío	Pared caliente
A	PD: < 3%	PD: < 10%	PD: < 5%			
	< 2°C	19 a 29 °C	< 5°C	< 10°C	< 14°C	< 23°C
B	PD: < 5%	PD: < 10%	PD: < 5%			
	< 3°C	19 a 29 °C	< 5°C	< 10°C	< 14°C	< 23°C
C	PD: < 10%	PD: < 15%	PD: < 10%			
	< 4°C	17 a 31 °C	< 7°C	< 13°C	< 18°C	< 35°C

Tabla 4. Otros factores de incomodidad térmica local

Criterios de diseño para diferentes espacios en distintos edificios

En la tabla 5 se indican los criterios de diseño para algunos espacios y para los que se han asumido ciertas hipótesis. Para el ambiente térmico, los valores de temperatura operativa están basados en los niveles de actividad típicos para la tarea que se desarrolla en dichos es-

pacios y que normalmente se corresponde con una actividad sedentaria teniendo en cuenta una indumentaria de 0,5 clo durante el verano (período de funcionamiento de la refrigeración) temperatura y de 1 clo durante el invierno (período de funcionamiento de la calefacción).

Los valores de velocidad media del aire son válidos para una intensidad de turbulencia de aproximadamente el 40%.

Tipo de edificio/espacio	Actividad metabólica W/m ²	Categoría de calidad	Temperatura operativa °C		Máxima velocidad media del aire ⁽¹⁾ m/s	
			Verano	Invierno	Verano	Invierno
Despacho individual Oficina diáfana Sala de conferencias Sala de actos Cafetería/restaurante Aula	70	A	24,5±1,0	22,0±1,0	0,12	0,10
B		24,5±1,5	22,0±2,0	0,19	0,16	
C		24,5±2,5	22,0±3,0	0,24	0,21 ⁽²⁾	

(1) La máxima velocidad media del aire está basada en una intensidad de turbulencia del 40% y la temperatura del aire es igual a la temperatura operativa. La humedad relativa considerada es del 60% en verano y del 40% en invierno. Para determinar la máxima velocidad media del aire se toma la temperatura más baja del rango.

(2) Cuando la temperatura es inferior a 20 °C, la máxima velocidad media del aire se determina de la figura 5

Tabla 5. Criterios de diseño para diferentes espacios

BIBLIOGRAFÍA

- (1) MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES.
Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, (BOE de 23 de abril de 1997) por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- (2) MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES.
Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- (3) MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA.
Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, (BOE de 5 de agosto de 1998), por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).
- (4) AENOR
Norma Española UNE-EN-ISO 7730, de octubre de 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.

- (5) P.O.FANGER
Thermal Comfort.
Mc Graw Hill, New York, 1972.
- (6) CASTEJÓN, E.
NTP nº 74. Confort térmico. Método Fanger para su evaluación.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 1983.
- (7) HERNÁNDEZ, A.
NTP nº 501. Ambiente térmico e inconfort térmico local.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 1998.