

MÓDULO 4  
UNIDAD

3

# ERGONOMÍA AMBIENTAL



## Unidad 3

### Legislación básica

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (BOE de 10 de noviembre).
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y modificaciones posteriores (BOE de 31 de enero) y sus modificaciones posteriores.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (BOE de 23 de abril), anexos III y IV sobre condiciones ambientales e iluminación de los lugares de trabajo, respectivamente.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización de datos (BOE de 23 de abril).
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual (BOE de 12 de junio y corrección de errores de 18 de julio).
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (BOE de 11 de marzo y corrección de errores del 14 y 24 de marzo).
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro y sus modificaciones posteriores.
- Norma UNE-EN-ISO 9921:2003, «Ergonomía, Evaluación de la comunicación verbal».
- 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 local».

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		2

.../...

- Norma UNE 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 (Módulos M5-1, M5-4)».
- Criterios de Wisner y Beranek para la determinación del confort acústico.

## 1. INTRODUCCIÓN. FACTORES AMBIENTALES

El **ambiente de trabajo** es el conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos, sociales y culturales que rodean a la persona en su ambiente laboral (Norma UNE 81-425-91EX).

La **ergonomía ambiental** se ocupa del estudio de factores como la iluminación, el confort térmico, el ambiente sonoro, las vibraciones y la presencia de productos químicos molestos que puedan hallarse en el lugar de trabajo.

En consecuencia, bajo un punto de vista ergonómico, la concepción del ambiente de trabajo debe ser tal que los elementos mencionados no perturben la salud de las personas, ni sus capacidades, de forma que el trabajador no solo «esté bien, sino que, además, se sienta bien».

## 2. ILUMINACIÓN

### 2.1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Los principales factores que hay que tener en cuenta al escoger la iluminación para un fin determinado son:

- Actuación visual.
- Bienestar visual.
- Economía.

Debe tenerse en cuenta que la iluminación que se necesita es solamente uno de los aspectos que hay que considerar en toda instalación de luz.

### 2.2. ILUMINANCIAS RECOMENDADAS

#### 2.2.1. Intervalos adecuados

La **iluminancia** es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión, o densidad de flujo por unidad de superficie. La unidad de iluminación es el lux, que es la iluminación que produce un lumen uniformemente repartido sobre una superficie de un metro cuadrado.

Se sugiere que una iluminación de 200 lux es el mínimo valor aceptable para la iluminancia horizontal en interiores donde el trabajo es continuo. En interiores donde no se trabaja se considera que 20 lux es el valor de la mínima iluminancia.

Hay que asegurarse de que la iluminancia real sobre la tarea que se esté realizando no sea inferior a 0,8 del valor recomendado.

La iluminancia que se obtiene con cualquier tipo de instalación decrece gradualmente con el uso debido a la depreciación en lúmenes de la lámpara y a la acumulación de suciedad sobre las lámparas, luminarias y superficies del local.

En la mayor parte de lugares interiores de trabajo el plano de referencia representa el plano de trabajo, que es un plano horizontal de altura 0,85 m sobre el nivel del suelo para trabajadores de pie y 0,75 m para los que trabajan sentados. Deben indicarse aquellos casos en los que el plano de trabajo tenga que estar a diferente altura o con un determinado ángulo de inclinación.

### 2.2.2. Factores de modificación

En todas aquellas situaciones de trabajo en las que la reflectancia de los elementos de trabajo sea baja, o donde los contrastes sean pequeños, debe incrementarse la iluminancia recomendada. Esto también se aplica en aquellos casos en los que el trabajo es de precisión o donde la rectificación de errores es costosa. También se debe tener en cuenta la edad de los trabajadores.

Las áreas adyacentes con funciones diferentes no deben tener iluminancias cuya proporción de variación excede de 5:1.

## 2.3. PERCEPCIÓN Y RENDIMIENTO DE CONTRASTE DE LA TAREA

### 2.3.1. Aspectos visuales de la tarea

La actuación visual es esencialmente función de la facultad del trabajador para discriminar entre la iluminancia del detalle que hay que ver y la iluminancia de fondo. Esta discriminación de contraste es primordial, y es preciso tener en cuenta todos los factores locales de rendimiento de contraste que actúan sobre la tarea visual, es decir, la percepción del contraste. Estos factores incluyen el deslumbramiento directo, el deslumbramiento por reflexión en el entorno, el deslumbramiento por reflexión en el objeto, la no uniformidad de la iluminación, la difusión de la luz y el efecto de color.

Hay que considerar también otros factores de tipo subjetivo, tales como la calidad óptica del ojo del observador y todo el sistema visual informativo. También se debe tener en cuenta la edad, pues la capacidad óptica y fisiológica de los ojos se modifica en las personas mayores.

### 2.3.2. Factores que hay que considerar

#### 2.3.2.1. Deslumbramiento por reflexión en el entorno y deslumbramiento por reflexión en el objeto

Pueden surgir problemas visuales cuando la parte luminosa de una luminaria o ventana es reflejada hacia el ojo por una superficie bruñida. Pueden darse deslumbramientos por

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		4

reflexión en la tarea que hay que realizar y/o reflexiones perturbadoras y molestas adyacentes al trabajo.

Para prevenir tanto el deslumbramiento reflejado como las reflexiones, las medidas técnicas de prevención aconsejables son las siguientes:

- El sistema de iluminación respecto a las áreas de trabajo debe ser tal que ninguna parte de la tarea que se está realizando quede en el ángulo de reflexión o cerca de él, tanto para el ojo como para cualquier foco luminoso eléctrico o de luz natural.

En la práctica, se dispondrá el sistema de alumbrado de forma que la mayor parte de la iluminación incida sobre la labor en direcciones favorables. Es aconsejable evitar la colocación de luminarias que causen estos problemas en el mismo plano vertical de la línea de visión del observador.

- Es beneficioso el empleo de luminarias que tengan una amplia área superficial y baja luminancia.
- En la labor y en el lugar de trabajo, siempre que sea posible, deben reemplazar las superficies pulidas por superficies mates.
- El deslumbramiento por reflexión en el objeto puede reducirse empleando luminarias con distribución especial de luz, diseñadas para minimizar el flujo reflejado en la dirección de visión.

#### 2.3.2.2. Uniformidad de la iluminancia

Debe dotarse a todo el espacio de una iluminancia uniforme.

#### 2.3.2.3. Sombras

Generalmente las fuentes de luz deben ser convenientemente difusas para evitar que se produzca una sombra sobre o cerca de la tarea que se está realizando, lo cual ocasionaría una disminución de la luminancia del contraste.

#### 2.3.2.4. Efecto de la edad

Las facultades visuales decrecen con la edad. El cambio más importante en el ojo cansado es que el poder de acomodación para una determinada distancia es menor. Los trabajadores mayores también acusan una mayor sensibilidad al deslumbramiento perturbador que los jóvenes.

#### 2.3.2.5. Efectos de contraste de color

Además del contraste de luminancias, el campo visual contiene algunos contrastes de color que se pueden emplear para mejorar considerablemente la percepción, especialmente cuando los contrastes de luminancias son bajos.

## 2.4. DESLUMBRAMIENTO MOLESTO

### 2.4.1. Causas y efectos del deslumbramiento

El deslumbramiento puede adoptar dos formas que generalmente ocurren simultáneamente. La primera se conoce como **deslumbramiento perturbador** y empeora la visión de los objetos. La segunda se conoce con el nombre de **deslumbramiento molesto** y produce una sensación de malestar que tiende a aumentar a medida que pasa el tiempo. En la iluminación de interiores el deslumbramiento molesto presenta más problemas que el deslumbramiento perturbador.

El deslumbramiento se puede producir bien de forma directa, por focos luminosos, tales como lámparas, luminarias y ventanas, bien por reflexión en superficies de gran reflectancia, especialmente superficies especulares como las de metal pulido. Este efecto debería diferenciarse de otras formas de reflexión, como la reflexión molesta y perturbadora producida por una superficie pulida; por ejemplo, en un escritorio que difumina los contrastes del trabajo que se esté realizando.

### 2.4.2. Métodos prácticos para el control del deslumbramiento

#### 2.4.2.1. Control con materiales translúcidos

Este método controla la luminancia visible rodeando las lámparas con un material difusor o prismático.

Los factores que hay que tener en cuenta son la altura de montaje de las luminarias, las dimensiones de la habitación, el grado de control de deslumbramiento que se desea y en algunos casos la orientación de las luminarias.

#### 2.4.2.2. Control por apantallamiento

El método de apantallamiento asegura que la lámpara esté completamente oculta siempre que  $90^\circ - \gamma$  (ángulo de elevación de la fuente de deslumbramiento por encima de la línea horizontal de visión) sea menor que un predeterminado ángulo de apantallamiento controlado por la construcción mecánica de la luminaria. Esta forma de control se puede conseguir situando las lámparas detrás de partes que integran la estructuras de la construcción. Este método presupone que la tarea visual del trabajador no está generalmente situada por encima de la línea horizontal de visión.

## 2.5. PROYECTOS DE ALUMBRADO

### 2.5.1. Requisitos visuales

Los requisitos de una instalación de alumbrado dependen principalmente de la actividad que se va a realizar en el espacio considerado.

Los parámetros del diseño incluirán el propio espacio, los detalles de su construcción y finalidad, así como la naturaleza de la tarea visual.

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		6

En los lugares de trabajo, el factor más importante es proporcionar buenas condiciones de visión en el plano de trabajo, según la clase de tarea visual que se va a llevar a cabo. No obstante, debe considerarse todo el entorno visual, ya que puede tener una influencia positiva en la ejecución del trabajo y en el bienestar humano.

En los locales destinados al comercio o a la exposición de productos, el principal cometido de la iluminación es hacer resaltar los géneros de manera que los visitantes fijen su atención en ellos. En museos y galerías de arte, un requisito de la luz es conseguir el auténtico color de los objetos expuestos y tomar precauciones contra posibles pérdidas de color.

En locales residenciales y de recreo, los requisitos dominantes son los factores estéticos y el bienestar visual.

En zonas de circulación (pasillos, escaleras, etc.) la iluminación va encaminada a satisfacer las necesidades de orientación y seguridad.

## 2.5.2. Sistemas de alumbrado

Una vez que se conocen los requisitos generales de la instalación de luz y del lugar que se va a iluminar, un análisis de la tarea visual puede conducir a otros nuevos requisitos para la iluminación del lugar de trabajo. Esto determinará el sistema de iluminación que deba emplearse, así como el emplazamiento y la disposición de las luminarias.

### 2.5.2.1. Iluminación general

Se consigue mediante un determinado número de luminarias dispuestas simétricamente en todo el área del techo. El resultado es una iluminancia horizontal específica con una cierta uniformidad. En algunos casos es preferible una disposición más o menos asimétrica, de forma que la luz venga de una dirección; por ejemplo, en una oficina de delineación.

### 2.5.2.2. Iluminación general localizada

Como una alternativa a la disposición uniformemente espaciada de luminarias a veces se pueden encontrar ventajas de costo concentrando la luz sobre las áreas de trabajo.

### 2.5.2.3. Iluminación localizada

Este tipo de iluminación se puede realizar mediante luminarias adicionales situadas a poca distancia de la tarea visual que iluminen solo una zona limitada. Se recomienda para lugares de trabajo:

- Cuando el trabajo requiere tareas de gran fijeza.
- Cuando la apreciación de forma y contextura requiere luz altamente direccional.
- Cuando la iluminación general no penetra en ciertos lugares por existir obstáculos.
- Cuando son necesarias iluminancias mayores para personas con un rendimiento visual reducido.
- Cuando es necesario resolver problemas de reflexión en la propia tarea o en zonas adyacentes.

### 2.5.3. Técnicas especiales de alumbrado

Se puede mejorar el aspecto de interiores cuando sus características estructurales, los objetos y la gente dentro de ellos son iluminados de manera que la forma se revela con claridad y de manera agradable y las sombras se forman sin confusión. Esto sucede cuando la luz se propaga en una dirección más que en cualquier otra. Se emplea el término «modelado» para describir la manera en que las formas de los objetos tridimensionales se hacen resaltar por medio de la iluminación.

El modelado puede ser fuerte o débil. El grado más efectivo para cualquier interior depende del tipo de edificio, así como de las actividades que se van a realizar. Cuando la luz viene de muchas direcciones, el modelado será ligero y el interior podrá resultar poco interesante debido a la falta de contraste de luminancia. Por otro lado, si la componente direccional es muy fuerte, el modelado se considerará demasiado duro y las sombras producirán perturbaciones.

Una ventana o una gran luminaria pueden dar un buen modelado sin sombras duras, pero si la fuente de luz es demasiado grande con respecto a la distancia al objeto iluminado, el modelado se reducirá. Las sombras intensas que dan un contraste de luminancia indebido se pueden suavizar mediante un dispositivo adicional de focos de luz.

## 2.6. DISTRIBUCIÓN DE ILUMINANCIAS Y DECORACIÓN INTERIOR

Se define como **luminancia de una superficie en una dirección determinada**, la relación existente entre la intensidad lumínosa en dicha dirección y la superficie aparente. Su unidad es la candela por metro cuadrado.

### 2.6.1. Distribución de iluminancias en la zona de la tarea

La luminancia de las inmediaciones de la tarea debe ser, dentro de lo posible, inferior a la luminancia de la propia tarea, pero sin llegar a ser inferior a un tercio de este valor.

### 2.6.2. Reflectancia de techos, paredes y suelos

En interiores de altura normal (aproximadamente 3 m), la reflectancia del techo debe ser tan alta como sea posible, sobre todo si se emplean luminarias empotradas, para evitar el riesgo de ambas clases de deslumbramiento (molesto y reflejado).

Una reflectancia alta en la pared de la ventana, paredes salientes a los lados de las ventanas y barrotes antideslumbrantes ayudan a reducir el contraste con el cielo de día, pero aumentan el contraste por la noche, a menos que se utilicen cortinas.

Las paredes con alta reflectancia pueden ocasionar malestar por la noche, sobre todo cuando la iluminancia es superior a 500 lux.

La reflectancia del suelo debe calcularse teniendo en cuenta las posibles obstrucciones de su superficie debido a la colocación de muebles por debajo del plano de referencia.

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		8

### 2.6.3. Iluminancia de paredes

Deben satisfacerse los siguientes requisitos:

- La iluminancia de la pared no debe, normalmente, exceder de los 750 lux. Sin embargo, en aquellos lugares donde las paredes estén cubiertas con objetos que tengan que verse con claridad, puede necesitarse una iluminancia mayor.
- La luminancia de la pared no debe exceder a la luminancia del área de trabajo.
- Los límites inferiores de la luminancia e iluminación de la pared dependen de varias circunstancias. Las paredes pintadas totalmente no deberán ser oscuras.

Cuando es necesario alcanzar valores de iluminancia superiores a los que se obtienen de las luminarias seleccionadas para una iluminación general, se pueden emplear fuentes de luz adicionales para iluminar las paredes.

## 2.7. ILUMINACIÓN CON LUZ NATURAL

### 2.7.1. Niveles de uniformidad

Los niveles que se aconsejan de iluminación natural difieren no solo según el fin al que va a ser destinado el local, sino también atendiendo al método de admisión de la luz natural y al clima, a fin de tener en consideración los efectos térmicos de la radiación natural y el deslumbramiento.

En los interiores con ventanas laterales, la luz natural disponible decrece rápidamente en función de la distancia a las ventanas; en determinadas oficinas se acepta esta falta de uniformidad. Las claraboyas pueden producir una iluminación uniforme, pero se deben diseñar cuidadosamente para evitar la radiación solar y el deslumbramiento.

### 2.7.2. Contacto con el exterior

La posición óptima, la forma y las dimensiones de las ventanas dependerán en parte de la naturaleza de la parte exterior circundante. Reducir el tamaño de las ventanas tiene efecto sobre el deslumbramiento producido por el cielo solo en la medida en que ello impide que se vean los cielos luminosos o las fachadas deslumbrantes de los edificios de enfrente. Mientras que existan áreas apreciables de cielo luminoso dentro del campo de visión se debe esperar algo de deslumbramiento, ya sea molesto o perturbador. Por tanto, es esencial evitar zonas de trabajo en posición de cara a la ventana. Si esto no es posible, debe emplearse algún procedimiento para reducir el posible deslumbramiento producido por el cielo.

### 2.7.3. Distribución de luminancias: deslumbramiento por el sol o el cielo

En todos los puestos de trabajo se debe evitar, siempre que sea posible, la luz directa del sol, al menos sobre la superficie del trabajo.

Los medios de evitar la radiación directa del sol son una orientación adecuada de las ventanas y de los lucernarios, o el empleo de cortinas, visillos, persianas o toldos. Otras técnicas son:

- El empleo de vidrios de color de baja transmitancia.
- Paredes salientes a los lados de las ventanas con acabados altamente reflectantes.
- Disposición para que caiga la luz sobre la superficie de la pared adyacente a las ventanas.

#### 2.7.4. Locales sin ventanas

En el diseño del alumbrado eléctrico para locales sin ventanas será más sencillo producir buenas relaciones de luminancia. Las iluminancias que se escojan requerirán especial consideración por dos razones:

- Para compensar la falta del efecto estimulante que se produce en los locales con luz de día puede que los niveles diseñados tengan que ser más altos que la cifra correspondiente a la labor que se va a hacer.
- Para facilitar la adaptación de las personas que entran en el local viniendo de la luz del día y para hacer que el local parezca atractivo para los que están adaptados a los niveles de la luz natural.

### 2.8. DEPRECIACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### 2.8.1. Consecuencias de la depreciación de la luz

Las iluminancias que produce una instalación de alumbrado decrecen progresivamente. Las consecuencias que se producen son:

- Iluminaciones que son sustancialmente inferiores a las requeridas.
- Un rendimiento económico muy pobre de la inversión hecha para la instalación de alumbrado y gastos de funcionamiento.
- Apariencia de descuido.

A fin de tener en cuenta los factores que entran en juego, el proyecto debe proveer una iluminancia inicial superior a la mínima requerida en el trabajo. La relación entre la iluminancia mínima requerida y la inicial se conoce con el nombre de «factor de pérdida de luz».

#### 2.8.2. Causas de pérdida de luz

Las principales causas son:

- **Depreciación del flujo de la lámpara.** El flujo luminoso de todas las lámparas disminuye con el tiempo, pero la proporción de decrecimiento varía ampliamente de unos tipos de lámparas a otros. Por tanto, los cálculos de alumbrado deben tener en cuenta la depreciación específica del flujo luminoso de la lámpara. La información técnica sobre la depreciación del flujo de una lámpara debe obtenerse en los datos que publica el fabricante.

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		10

- **Mortalidad de las lámparas.** La «vida media» de una lámpara es el mínimo de horas de encendido cuando el 50% de las lámparas se han fundido. Se pueden reemplazar las lámparas individualmente o cambiar la instalación completa.
- **Depreciación por la suciedad de las luminarias.** La cantidad mayor de pérdida de luz proviene generalmente de la suciedad que se adhiere a las lámparas y a las superficies que modifican la luz de las lámparas. La velocidad de depreciación causada por la suciedad depositada sobre la superficie de control viene afectada por el ángulo de inclinación, el acabado y la temperatura de estas superficies, el grado de ventilación o la calidad de cierre al polvo de las luminarias y por el grado de contaminación de la atmósfera que rodea a las luminarias. Las luminarias abiertas por abajo y cerradas por encima recogen la suciedad en mayor cantidad que las que están ventiladas. En atmósferas con un alto grado de contaminación es preferible emplear luminarias estancas al polvo.
- **Deterioro de luminarias.** El flujo que sale de las luminarias decrece gradualmente debido al deterioro de las superficies reflectantes y a los materiales de transmisión. A la hora de escoger el material se deben tener en cuenta los factores que intervienen y prestar consideración a las temperaturas a las que operan.
- **Suciedad en las superficies del local.** Una acumulación de suciedad en los techos y paredes reduce el valor de su reflectancia y, por consiguiente, la cantidad de luz reflejada.
- **Envejecimiento de las superficies del local.** Existirá una disminución gradual en los factores de reflectancia en la mayor parte de las superficies de los locales de uso común.

### 3. CONFORT TÉRMICO. MÉTODO DE FANGER PARA SU EVALUACIÓN

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El interés por la valoración del nivel de confort térmico nació como consecuencia de la aparición de las técnicas de acondicionamiento de aire, cuyo fin era justamente lograr que las personas se sintieran confortables y, para ello, precisaban de métodos que permitieran mostrar en qué medida se alcanzaba este objetivo de confort. El más conocido de sus índices de evaluación del confort fue la «temperatura efectiva», desarrollado por Yaglou y sus colaboradores en 1923. Desde entonces han aparecido muchos otros índices, pero la mayoría de ellos no engloban variables que en un ambiente industrial son de gran importancia, como la presencia de calor radiante, la intensidad de trabajo, etc., por lo que su utilidad en el campo laboral es muy limitada.

En este panorama, la aparición en 1970 de la obra *Thermal comfort*, de Fanger, representó un avance sustancial al incluir en el método de valoración propuesto la práctica totalidad de las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-medio ambiente y que, por tanto, contribuyen a la sensación de confort; estas variables son el nivel de actividad, las características del vestido, la temperatura seca, la humedad relativa, la temperatura radiante media y la velocidad del aire.

Por otra parte, la presentación del resultado, expresándolo como porcentaje de personas que se sentirán incómodas en un ambiente determinado, resulta de gran interés no solo cuando se trata de evaluar una situación, sino también cuando se pretende proyectar o modificar un ambiente térmico.

### 3.2. REQUERIMIENTOS PARA EL CONFORT TÉRMICO

La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo.

El equilibrio térmico está, sin embargo, lejos de proporcionar sensación de confort. En efecto, el organismo es capaz de conseguir satisfacer el balance térmico en una amplísima gama de situaciones ambientales y tasas de actividad, pero solo una estrecha franja de las mismas conduce a situaciones que el propio sujeto califica de confortables. La experiencia ha demostrado que para que se dé la sensación de confort debe cumplirse, además del equilibrio térmico, que tanto la temperatura de la piel como la cantidad de sudor secretado (y evaporado) deben estar comprendidos dentro de ciertos límites.

Los estudios de Fanger han demostrado que los valores de la temperatura de la piel y de la cantidad de sudor secretado, en las situaciones confortables, dependen del nivel de actividad a través de relaciones lineales. La temperatura de la piel es linealmente decreciente con el consumo metabólico, mientras que la cantidad de sudor evaporado crece linealmente con la actividad, siempre en el supuesto de hallarnos en situaciones confortables.

La introducción de las relaciones anteriores en la ecuación del balance térmico conduce a una expresión que Fanger llama la «ecuación del confort», que establece la relación que, en situaciones de confort, debe cumplirse entre tres tipos de variables:

- a) Características del vestido (aislamiento y área total del mismo).
- b) Características del tipo de trabajo (carga térmica metabólica y velocidad del aire).
- c) Características del ambiente (temperatura seca, temperatura radiante media, presión parcial del vapor de agua en el aire y velocidad del aire).

La inclusión de la velocidad del aire en los apartados b) y c) se debe al hecho de considerar que la velocidad efectiva del aire respecto al cuerpo tiene dos componentes: uno, la velocidad que tendría el aire respecto al cuerpo si este estuviera quieto, y otro, la velocidad debida al movimiento del cuerpo respecto a aire tranquilo. La suma de ambos valores es lo que llamaremos «velocidad relativa del aire respecto al cuerpo».

### 3.3. ÍNDICE DE VALORACIÓN MEDIO

Para estudiar la calificación que grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuyen a su grado de confort, Fanger emplea la siguiente escala numérica de sensaciones:

- – 3 (muy frío).
- – 2 (frío).
- – 1 (ligeramente frío).
- 0 [neutro (comfortable)].
- + 1 (ligeramente caluroso).
- + 2 (caluroso).
- + 3 (muy caluroso).

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		12

Cuando un conjunto de individuos es expuesto a una determinada situación, se denomina **índice de valoración medio** (IMV) al promedio de las respectivas calificaciones atribuidas a dicha situación de acuerdo con la escala anterior. La tabla 1 (véanse págs. 16 a 23) da los valores correspondientes de IMV para distintos valores del nivel de actividad medido, como la carga térmica metabólica total, la temperatura seca, la velocidad relativa del aire respecto al cuerpo y el tipo de vestido. Este valor ha de corregirse cuando la humedad relativa del aire es distinta del 50% y cuando la temperatura radiante media difiere de la temperatura seca. La corrección habrá de efectuarse de acuerdo con la expresión:

$$\text{IMV}_C = \text{IMV} + F_H (\text{Hr} - 50) + F_R (\text{TRM} - \text{TS})$$

donde:

- $F_H$  = Factor de corrección, según la humedad.  
 $Hr$  = Humedad relativa.  
 $F_R$  = Factor de corrección, según la temperatura ambiente.  
 $TRM$  = Temperatura radiante.  
 $TS$  = Temperatura seca.

### 3.3.1. Influencia del vestido

Las características térmicas del vestido se miden en la unidad denominada «clo» [del inglés *clothing* (vestido)], equivalente a una resistencia térmica de  $0,18 \text{ m}^2 \text{ Hr } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ; a continuación se indican, para los tipos más usuales de vestido, los correspondientes valores de la resistencia en clo:

- Desnudo: 0 clo.
- Ligero: 0,5 clo (similar a un atuendo típico de verano, comprendiendo ropa interior de algodón, pantalón y camisa abierta).
- Medio: 1,0 clo (traje completo).
- Pesado: 1,5 clo (uniforme militar de invierno).

### 3.3.2. Influencia de la humedad relativa

Los valores de la tabla 1 (véanse págs. 16 a 23) presuponen una humedad relativa del 50% y que las temperaturas radiante media y seca son iguales. Cuando la humedad difiere de dicho valor, su influencia en el IMV se tiene en cuenta mediante el empleo de los gráficos incluidos en la figura 2 (véase pág. 14), donde se da el factor de corrección por humedad  $F_H$ , en función del nivel de actividad, del tipo de vestido y de la velocidad relativa del aire. Si, por ejemplo, la humedad relativa es del 30%, de la figura 2 se obtiene que, para personas sedentarias con vestido de 0,5 clo y velocidad relativa 0,2 m/s, el  $F_H$  vale 0,0095. La corrección a añadir al valor IMV, leído de la tabla 1, será  $0,0095 (30 - 50) = -0,19$ . La corrección es negativa, ya que un ambiente con el 30% de humedad será, a igualdad de las demás variables, ligeramente más frío que uno con el 50%.

### 3.3.3. Influencia de la temperatura radiante media

En la figura 3 (véase pág. 15) se muestra también el factor de corrección ( $F_R$ ) a emplear cuando la temperatura radiante media difiere de la seca. Su utilización es similar a la del factor

$F_H$ . La temperatura radiante media se calcula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, de la temperatura de globo y de la velocidad relativa del aire, mediante la siguiente fórmula:

$$TRM = TG + 1,9 \sqrt{v} (TG - TS)$$

donde:

TRM = Temperatura radiante media (°C).

TG = Temperatura de globo (°C).

TS = Temperatura seca (°C).

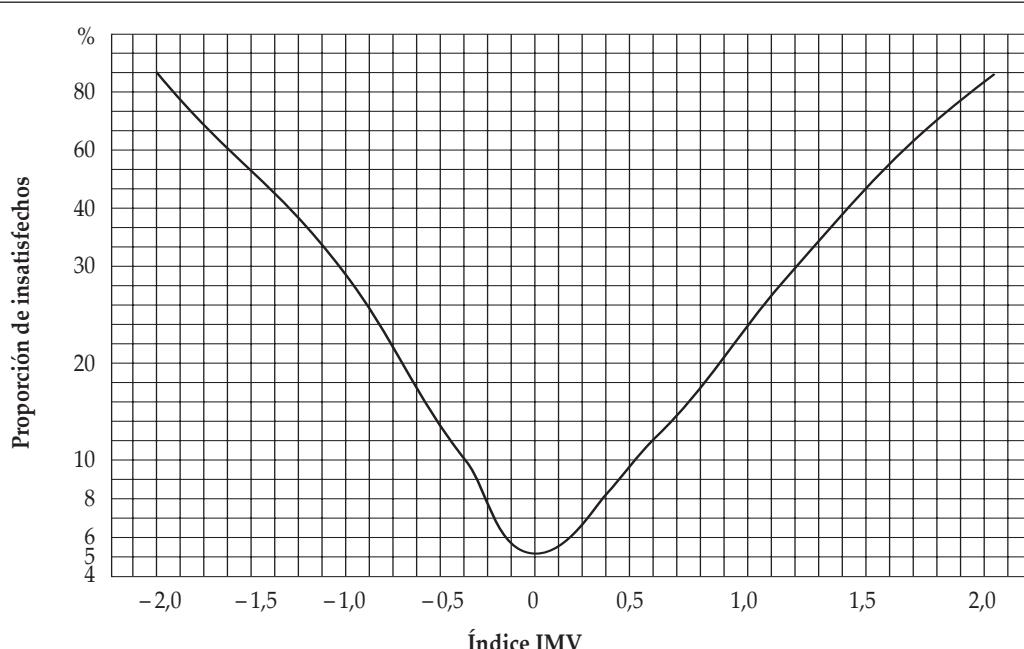
v = Velocidad relativa del aire (m/s).

### 3.4. PROPORCIÓN DE INSATISFECHOS

Aunque el IMV resuelve el problema de cuantificar el grado de confort de una situación dada, su utilidad práctica sería reducida si no fuera posible correlacionar sus valores con el porcentaje de personas que, para cada valor del índice, expresan su conformidad o disconformidad con el ambiente en cuestión. Tal correlación ha sido establecida por Fanger a partir del estudio estadístico de los resultados obtenidos con 1.296 personas expuestas durante 3 h a un ambiente determinado.

En la figura 1 se indican los resultados de Fanger, que se expresan como el porcentaje de personas que se sienten insatisfechas para cada valor del IMV; se observa cómo en ambientes neutros, donde el IMV es cero, existe aún un 5% de insatisfacciones, lo que confirma el hecho bien conocido de que en cualquier situación, por sofisticado que sea el sistema de acondicionamiento térmico del local, hay cierta proporción de insatisfacciones. Este método de valoración desarrollado por Fanger es actualmente norma armonizada UNE.

Figura 1. Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor del IMV



Fuente: Fanger.

### 3.5. ANEXO

Figura 2. Factor de corrección del IMV en función de la humedad

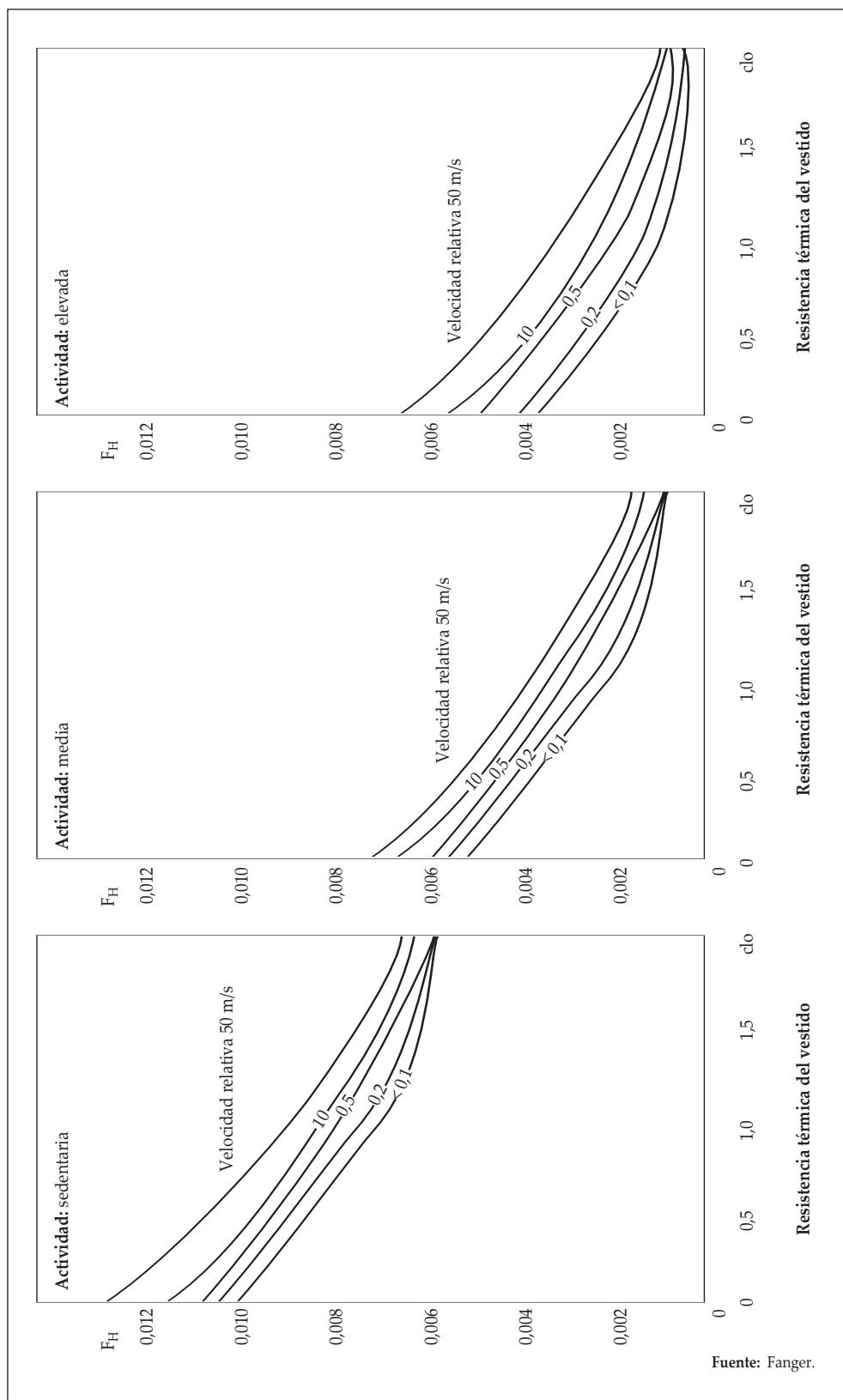
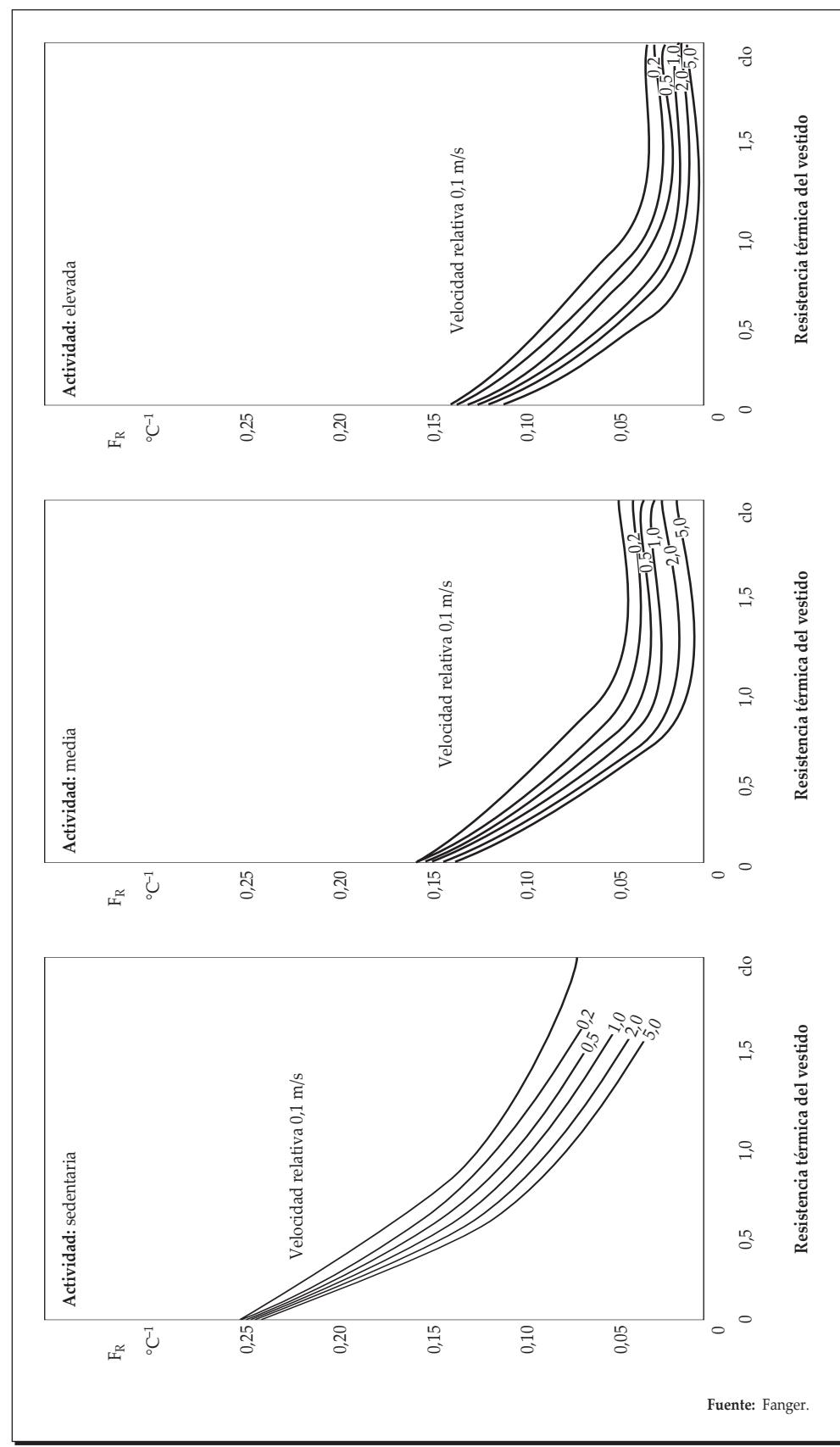


Figura 3. Factor de corrección del IMV en función de la temperatura radiante media



ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		16

Tabla 1. IMV

		Nivel de actividad 90 kcal/h								
Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	26	-1,62	-1,62	-1,96	-2,34					
	27	-1,00	-1,00	-1,36	-1,69					
	28	-0,39	-0,42	-0,76	-1,05					
	29	0,21	0,13	-0,15	-0,39					
	30	0,80	0,68	0,45	0,26					
	31	1,39	1,25	1,08	0,94					
	32	1,96	1,83	1,71	1,61					
	33	2,5	2,41	2,34	2,29					
0,25	24	-1,52	-1,52	-1,80	-2,06	-2,47				
	25	-1,05	-1,05	-1,33	-1,57	-1,94	-2,24	-2,48		
	26	-0,58	-0,61	-0,87	-1,08	-1,41	-1,67	-1,89	-2,66	
	27	-0,12	-0,17	-0,40	-0,58	-0,87	-1,10	-1,29	-1,97	-2,41
	28	0,34	0,27	0,07	-0,09	-0,34	-0,53	-0,70	-1,28	-1,66
	29	0,80	0,71	0,54	0,41	0,20	0,04	-0,10	-0,58	-0,90
	30	1,25	1,15	1,02	0,91	0,74	0,61	0,50	0,11	-0,14
	31	1,71	1,61	1,51	1,43	1,30	1,20	1,12	0,83	0,63
0,50	23	-1,10	-1,10	-1,33	-1,51	-1,78	-1,99	-2,16		
	24	-0,72	-0,74	-0,95	-1,11	-1,36	-1,55	-1,70	-2,22	
	25	-0,34	-0,38	-0,56	-0,71	-0,94	-1,11	-1,25	-1,71	-1,99
	26	0,04	-0,01	-0,18	-0,31	-0,51	-0,66	-0,79	-1,19	-1,44
	27	0,42	0,35	0,20	0,09	-0,08	-0,22	-0,33	-0,68	-0,90
	28	0,80	0,72	0,59	0,49	0,34	0,23	0,14	-0,17	-0,36
	29	1,17	1,08	0,98	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34	0,19
	30	1,54	1,45	1,37	1,30	1,20	1,13	1,06	0,86	0,73
0,75	21	-1,11	-1,11	-1,30	-1,44	-1,66	-1,82	-1,95	-2,35	-2,60
	22	-0,79	-0,81	-0,98	-1,11	-1,31	-1,46	-1,58	-1,95	-2,17
	23	-0,47	-0,50	-0,66	-0,78	-0,96	-1,09	-1,20	-1,55	-1,75
	24	-0,15	-0,19	-0,33	-0,44	-0,61	-0,73	-0,83	-1,14	-1,33
	25	0,17	0,12	-0,01	-0,11	-0,26	-0,37	-0,46	-0,74	-0,90
	26	0,49	0,43	0,31	0,23	0,09	0,00	-0,08	-0,33	-0,48
	27	0,81	0,74	0,64	0,56	0,45	0,36	0,29	0,08	-0,05
	28	1,12	1,05	0,96	0,90	0,80	0,73	0,67	0,48	0,37
1,00	20	-0,85	-0,87	-1,02	-1,13	-1,29	-1,41	-1,51	-1,81	-1,98
	21	-0,57	-0,60	-0,74	-0,84	-0,99	-1,11	-1,19	-1,47	-1,63
	22	-0,30	-0,33	-0,46	-0,55	-0,69	-0,80	-0,88	-1,13	-1,28
	23	-0,02	-0,07	-0,18	-0,27	-0,39	-0,49	-0,56	-0,79	-0,93
	24	0,26	0,20	0,10	0,02	-0,09	-0,18	-0,25	-0,46	-0,58
	25	0,53	0,48	0,38	0,31	0,21	0,13	0,07	-0,12	-0,23
	26	0,81	0,75	0,66	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22	0,13
	27	1,08	1,02	0,95	0,89	0,81	0,75	0,71	0,56	0,48
1,25	16	-1,37	-1,37	-1,51	-1,62	-1,78	-1,89	-1,98	-2,26	-2,41
	18	-0,89	-0,91	-1,04	-1,14	-1,28	-1,38	-1,46	-1,70	-1,84
	20	-0,42	-0,46	-0,57	-0,65	-0,77	-0,86	-0,93	-1,14	-1,26
	22	0,07	0,02	-0,07	-0,14	-0,25	-0,32	-0,38	-0,56	-0,66
	24	0,56	0,50	0,43	0,37	0,28	0,22	0,17	0,02	-0,06
	26	1,04	0,99	0,93	0,88	0,81	0,76	0,72	0,61	0,54
	28	1,53	1,48	1,43	1,40	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14
	30	2,01	1,97	1,93	1,91	1,88	1,85	1,83	1,77	1,74
1,50	14	-1,36	-1,36	-1,49	-1,58	-1,72	-1,82	-1,89	-2,12	-2,25
	16	-0,94	-0,95	-1,07	-1,15	-1,27	-1,36	-1,43	-1,63	-1,75
	18	-0,52	-0,54	-0,64	-0,72	-0,82	-0,90	-0,96	-1,14	-1,24
	20	-0,09	-0,13	-0,22	-0,28	-0,37	-0,44	-0,49	-0,65	-0,74
	22	0,35	0,30	0,23	0,18	0,10	0,04	0,00	-0,14	-0,21
	24	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,52	0,49	0,37	0,31
	26	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	1,01	0,98	0,89	0,84
	28	1,67	1,62	1,58	1,56	1,52	1,49	1,47	1,40	1,37

.../...

..../...

**Nivel de actividad 110 kcal/h**

<b>Vestido clo</b>	<b>Temp. seca °C</b>	<b>Velocidad relativa (m/s)</b>								
		<b>&lt;0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	<b>0,40</b>	<b>0,50</b>	<b>1,00</b>	<b>1,50</b>
0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92					
	26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40					
	27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88					
	28	0,15	0,12	-0,14	-0,36					
	29	0,63	0,56	0,35	0,17					
	30	1,10	1,01	0,84	0,69					
	31	1,57	1,47	1,34	1,24					
	32	2,03	1,93	1,85	1,78					
	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25			
	24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
0,25	25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21	
	26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65	-2,04
	27	0,33	0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09	-1,43
	28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54	-0,82
	29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,02	-0,22
	30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58	0,39
	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	-2,46
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	-1,59
0,50	26	0,44	0,39	0,26	0,16	0,01	-0,11	-0,21	-0,52	-0,71
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	0,31	0,16
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	1,04
	32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	1,95
	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49			
	18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45	
	20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82	-2,02
	22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17	-1,34
	24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51	-0,65
	26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14	0,03
0,75	28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80	0,72
	30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	1,41
	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	-2,29
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	-1,75
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	-1,20
	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	-0,64
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	-0,07
	26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57	0,50
	28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	1,06
	30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	1,63
1,00	14	-1,12	-1,12	-1,24	-1,34	-1,48	-1,58	-1,66	-1,90	-2,04
	16	-0,74	-0,75	-0,86	-0,95	-1,07	-1,16	-1,23	-1,45	-1,57
	18	-0,36	-0,38	-0,48	-0,55	-0,66	-0,74	-0,81	-1,00	-1,11
	20	0,02	-0,01	-0,10	-0,16	-0,26	-0,33	-0,38	-0,55	-0,64
	22	0,42	0,38	0,31	0,25	0,17	0,11	0,07	-0,08	-0,16
	24	0,81	0,77	0,71	0,66	0,60	0,55	0,51	0,39	0,33
	26	1,21	1,16	1,11	1,08	1,03	0,99	0,96	0,87	0,82
	28	1,60	1,56	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41	1,34	1,30
	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	-1,86
	14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	-1,45
1,25	16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96	-1,05
	18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56	-0,64
	20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	-0,23
	22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	0,19
	24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	0,62
	26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08	1,05

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		18

.../...

Nivel de actividad 125 kcal/h

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	24	- 1,14	- 1,14	- 1,35	- 1,65					
	25	- 0,72	- 0,72	- 0,95	- 1,21					
	26	- 0,30	- 0,30	- 0,54	- 0,78					
	27	0,11	0,11	- 0,14	- 0,34					
	28	0,52	0,48	0,27	0,10					
	29	0,92	0,85	0,69	0,54					
	30	1,31	1,23	1,10	0,99					
	31	1,71	1,62	1,52	1,45					
0,25	22	- 0,95	- 0,95	- 1,12	- 1,33	- 1,64	- 1,90	- 2,11		
	23	- 0,63	- 0,63	- 0,81	- 0,99	- 1,28	- 1,51	- 1,71	- 2,38	
	24	- 0,31	- 0,31	- 0,50	- 0,66	- 0,92	- 1,13	- 1,31	- 1,91	- 2,31
	25	0,01	0,00	- 0,18	- 0,33	- 0,56	- 0,75	- 0,90	- 1,45	- 1,80
	26	0,33	0,30	0,14	0,01	- 0,20	- 0,36	- 0,50	- 0,98	- 1,29
	27	0,64	0,59	0,45	0,34	0,16	0,02	- 0,10	- 0,51	- 0,78
	28	0,95	0,89	0,77	0,68	0,53	0,41	0,31	- 0,04	- 0,27
	29	1,26	1,19	1,09	1,02	0,89	0,80	0,72	0,43	0,24
0,50	18	- 1,36	- 1,36	- 1,49	- 1,66	- 1,93	- 2,12	- 2,29		
	20	- 0,85	- 0,85	- 1,00	- 1,14	- 1,37	- 1,54	- 1,68	- 2,15	- 2,43
	22	- 0,33	- 0,33	- 0,48	- 0,61	- 0,80	- 0,95	- 1,06	- 1,46	- 1,70
	24	0,19	0,17	0,04	- 0,07	- 0,22	- 0,34	- 0,44	- 0,76	- 0,96
	26	0,71	0,66	0,56	0,48	0,35	0,26	0,18	- 0,07	- 0,23
	28	1,22	1,16	1,09	1,03	0,94	0,87	0,81	0,63	0,51
	30	1,72	1,66	1,62	1,58	1,52	1,48	1,44	1,33	1,25
	32	2,23	2,19	2,17	2,16	2,13	2,11	2,10	2,05	2,02
0,75	16	- 1,17	- 1,17	- 1,29	- 1,42	- 1,62	- 1,77	- 1,88	- 2,26	- 2,48
	18	- 0,75	- 0,75	- 0,87	- 0,99	- 1,16	- 1,29	- 1,39	- 1,72	- 1,92
	20	- 0,33	- 0,33	- 0,45	- 0,55	- 0,70	- 0,82	- 0,91	- 1,19	- 1,36
	22	0,11	0,09	- 0,02	- 0,10	- 0,23	- 0,32	- 0,40	- 0,64	- 0,78
	24	0,55	0,51	0,42	0,35	0,25	0,17	0,11	- 0,09	- 0,20
	26	0,98	0,94	0,87	0,81	0,73	0,67	0,62	0,47	0,37
	28	1,41	1,36	1,31	1,27	1,21	1,17	1,13	1,02	0,95
	30	1,84	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,65	1,58	1,53
1,00	14	- 1,05	- 1,05	- 1,16	- 1,26	- 1,42	- 1,53	- 1,62	- 1,91	- 2,07
	16	- 0,69	- 0,69	- 0,80	- 0,89	- 1,03	- 1,13	- 1,21	- 1,46	- 1,61
	18	- 0,32	- 0,32	- 0,43	- 0,52	- 0,64	- 0,73	- 0,80	- 1,02	- 1,15
	20	0,04	0,03	- 0,07	- 0,14	- 0,25	- 0,32	- 0,38	- 0,38	- 0,69
	22	0,42	0,39	0,31	0,25	0,16	0,10	0,05	- 0,12	- 0,21
	24	0,80	0,76	0,70	0,65	0,57	0,52	0,48	0,35	0,27
	26	1,18	1,13	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,81	0,75
	28	1,55	1,51	1,47	1,44	1,40	1,37	1,35	1,27	1,23
1,25	12	- 0,97	- 0,97	- 1,06	- 1,15	- 1,28	- 1,37	- 1,45	- 1,67	- 1,80
	14	- 0,65	- 0,65	- 0,75	- 0,82	- 0,94	- 1,02	- 1,09	- 1,29	- 1,40
	16	- 0,33	- 0,33	- 0,43	- 0,50	- 0,60	- 0,67	- 0,73	- 0,91	- 1,01
	18	- 0,01	- 0,02	- 0,10	- 0,17	- 0,26	- 0,32	- 0,37	- 0,53	- 0,52
	20	0,32	0,29	0,22	0,17	0,09	0,03	- 0,01	- 0,15	- 0,22
	22	0,65	0,62	0,56	0,52	0,45	0,40	0,36	0,25	0,18
	24	0,99	0,95	0,90	0,87	0,81	0,77	0,74	0,65	0,59
	26	1,32	1,28	1,25	1,22	1,18	1,14	1,72	1,05	1,00
1,50	10	- 0,91	- 0,91	- 1,00	- 1,08	- 1,18	- 1,26	- 1,32	- 1,51	- 1,61
	12	- 0,63	- 0,63	- 0,71	- 0,78	- 0,88	- 0,95	- 1,01	- 1,17	- 1,27
	14	- 0,34	- 0,34	- 0,43	- 0,49	- 0,58	- 0,64	- 0,69	- 0,84	- 0,92
	16	- 0,05	- 0,06	- 0,14	- 0,19	- 0,27	- 0,33	- 0,37	- 0,50	- 0,58
	18	0,24	0,22	0,15	0,11	0,04	- 0,01	- 0,05	- 0,17	- 0,23
	20	0,53	0,50	0,45	0,40	0,34	0,30	0,27	0,17	0,11
	22	0,83	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,60	0,52	0,47
	24	1,13	1,10	1,06	1,03	0,99	0,96	0,94	0,87	0,83

.../...

..../

Nivel de actividad 145 kcal/h

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	23	-1,12	-1,12	-1,29	-1,57					
	24	-0,74	-0,74	-0,93	-1,18					
	25	-0,36	-0,36	-0,57	-0,79					
	26	0,01	0,01	-0,20	-0,40					
	27	0,38	0,37	0,17	0,00					
	28	0,75	0,70	0,53	0,39					
	29	1,11	1,04	0,90	0,79					
	30	1,46	1,38	1,27	1,19					
	16	-2,29	-2,29	-2,36	-2,62					
	18	-1,72	-1,72	-1,83	-2,06	-2,42				
0,25	20	-1,15	-1,15	-1,29	-1,49	-1,80	-2,05	-2,26		
	22	-0,58	-0,58	-0,73	-0,90	-1,17	-1,38	-1,55	-2,17	-2,58
	24	-0,01	-0,01	-0,17	-0,31	-0,53	-0,70	-0,84	-1,35	-1,68
	26	0,56	0,53	0,39	0,29	0,12	-0,02	-0,13	-0,52	-0,78
	28	1,12	1,06	0,96	0,89	0,77	0,67	0,59	0,31	0,12
	30	1,66	1,60	1,54	1,49	1,42	1,36	1,31	1,14	1,02
	14	-1,85	-1,85	-1,94	-2,12	-2,40				
	16	-1,40	-1,40	-1,30	-1,67	-1,92	-2,11	-2,26		
	18	-0,95	-0,95	-1,07	-1,21	-1,43	-1,59	-1,73	-2,18	-2,46
	20	-0,49	0,49	-0,62	-0,75	-0,94	-1,08	-1,20	-1,59	-1,82
0,50	22	-0,03	-0,03	-0,16	-0,27	-0,43	-0,55	-0,65	-0,98	-1,18
	24	0,43	0,41	0,30	0,21	0,08	-0,02	-0,10	-0,37	-0,53
	26	0,89	0,85	0,76	0,70	0,60	0,52	0,46	0,25	0,12
	28	1,34	1,29	1,23	1,18	1,11	1,06	1,01	0,86	0,77
	14	-1,16	-1,16	-1,26	-1,38	-1,57	-1,71	-1,82	-2,17	-2,38
	16	-0,79	-0,79	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	-1,88
	18	-0,41	-0,41	-0,52	-0,62	-0,76	-0,87	-0,96	-1,23	-1,39
	20	-0,04	-0,04	-0,15	-0,23	-0,36	-0,45	-0,52	-0,76	-0,90
	22	0,35	0,33	0,24	0,17	0,07	-0,01	-0,07	-0,27	-0,39
	24	0,74	0,71	0,63	0,58	0,49	0,43	0,38	0,21	0,12
0,75	26	1,12	1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,83	0,70	0,62
	28	1,51	1,46	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14
	14	-1,16	-1,16	-1,26	-1,38	-1,57	-1,71	-1,82	-2,17	-2,38
	16	-0,79	-0,79	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	-1,88
	18	-0,41	-0,41	-0,52	-0,62	-0,76	-0,87	-0,96	-1,23	-1,39
	20	-0,04	-0,04	-0,15	-0,23	-0,36	-0,45	-0,52	-0,76	-0,90
	22	0,35	0,33	0,24	0,17	0,07	-0,01	-0,07	-0,27	-0,39
	24	0,74	0,71	0,63	0,58	0,49	0,43	0,38	0,21	0,12
	26	1,12	1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,83	0,70	0,62
	28	1,51	1,46	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14
1,00	12	-1,01	-1,01	-1,10	-1,19	-1,34	-1,45	-1,53	-1,79	-1,94
	14	0,68	-0,68	-0,78	-0,87	-1,00	-1,09	-1,17	-1,40	-1,54
	16	0,36	-0,36	-0,46	-0,53	-0,65	-0,74	-0,80	-1,01	-1,13
	18	0,04	-0,04	-0,13	-0,20	-0,30	-0,38	-0,44	-0,62	-0,73
	20	0,28	0,27	0,19	0,13	0,04	-0,02	-0,07	-0,23	-0,32
	22	0,62	0,59	0,53	0,48	0,41	0,35	0,31	0,17	0,10
	24	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,73	0,69	0,58	0,52
	26	1,29	1,25	1,21	1,18	1,14	1,10	1,07	0,99	0,94
	10	-0,90	-0,90	-0,98	-1,06	-1,18	-1,27	-1,33	-1,54	-1,66
	12	-0,62	-0,62	-0,70	-0,77	-0,88	-0,96	-1,02	-1,21	-1,31
1,25	14	-0,33	-0,33	-0,42	-0,48	-0,58	-0,65	-0,70	-0,87	-0,97
	16	-0,05	-0,05	-0,13	-0,19	-0,28	-0,34	-0,39	-0,54	-0,62
	18	0,24	0,22	0,15	0,10	0,03	-0,03	-0,07	-0,20	-0,28
	20	0,52	0,50	0,44	0,40	0,33	0,29	0,25	0,14	0,07
	22	0,82	0,79	0,74	0,71	0,65	0,61	0,58	0,49	0,43
	24	1,12	1,09	1,05	1,02	0,97	0,94	0,92	0,84	0,79
	8	-0,82	-0,82	-0,89	-0,96	-1,06	-1,13	-1,19	-1,36	-1,45
	10	-0,57	-0,57	-0,65	-0,71	-0,80	-0,86	-0,92	-1,07	-1,16
	12	-0,32	-0,32	-0,39	-0,45	-0,53	-0,59	-0,64	-0,78	-0,85
	14	-0,06	-0,07	-0,14	-0,19	-0,26	-0,31	-0,36	-0,48	-0,55
1,50	16	0,19	0,18	0,12	0,07	0,01	-0,04	-0,07	-0,19	-0,25
	18	0,45	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,21	0,11	0,05
	20	0,71	0,68	0,64	0,60	0,55	0,52	0,49	0,41	0,36
	22	0,97	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,79	0,72	0,68

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		20

.../...

Nivel de actividad 160 kcal/h

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	22	-1,05	-1,05	-1,19	-1,46					
	23	-0,70	-0,70	-0,86	-1,11					
	24	-0,36	-0,36	-0,53	-0,75					
	25	-0,01	-0,01	-0,20	-0,40					
	26	0,32	0,32	0,13	-0,04					
	27	0,66	0,63	0,46	0,32					
	28	0,99	0,94	0,80	0,68					
	29	1,31	1,25	1,13	1,04					
	16	-1,79	-1,79	-1,86	-2,09	-2,46				
0,25	18	-1,28	-1,28	-1,38	-1,58	-1,90	-2,16	-2,37		
	20	-0,76	-0,76	-0,89	-1,06	-1,34	-1,56	-1,75	-2,39	-2,82
	22	-0,24	-0,24	-0,38	-0,63	-0,76	-0,95	-1,10	-1,65	-2,01
	24	0,28	0,28	0,13	0,01	-0,18	-0,33	-0,46	-0,90	-1,19
	26	0,79	0,76	0,64	0,55	0,40	0,29	0,19	-0,15	-0,38
	28	1,29	1,24	1,16	1,10	0,99	0,91	0,84	0,60	0,44
	30	1,79	1,73	1,68	1,65	1,59	1,54	1,50	1,36	1,27
	14	-1,42	-1,42	-1,50	-1,66	-1,91	-2,10	-2,25		
	16	-1,01	-1,01	-1,10	-1,25	-1,47	-1,64	-1,77	-2,23	-2,51
0,50	18	-0,59	-0,59	-0,70	-0,83	-1,02	-1,17	-1,29	-1,69	-1,94
	20	-0,18	-0,18	-0,30	-0,41	-0,58	-0,71	-0,81	-1,15	-1,36
	22	0,24	0,23	0,12	0,02	-0,12	-0,22	-0,31	-0,60	-0,78
	24	0,66	0,63	0,54	0,46	0,35	0,26	0,19	-0,04	-0,19
	26	1,07	1,03	0,96	0,90	0,82	0,75	0,69	0,51	0,40
	28	1,48	1,44	1,39	1,35	1,29	1,24	1,20	1,07	1,00
	12	-1,15	-1,15	-1,23	-1,35	-1,53	-1,67	-1,78	-2,13	-2,33
	14	-0,81	-0,81	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	-1,89
	16	-0,46	-0,46	-0,56	-0,66	-0,80	-0,91	-1,00	-1,28	-1,44
0,75	18	-0,12	-0,12	-0,22	-0,31	-0,43	-0,53	-0,61	-0,85	-0,99
	20	0,22	0,21	0,12	0,04	-0,07	-0,15	-0,21	-0,42	-0,55
	22	0,57	0,55	0,47	0,41	0,32	0,25	0,20	0,02	-0,09
	24	0,92	0,89	0,83	0,78	0,71	0,65	0,60	0,46	0,38
	26	1,28	1,24	1,19	1,15	1,09	1,05	1,02	0,91	0,84
	10	-0,97	-0,97	-1,04	-1,14	-1,28	-1,39	-1,47	-1,73	-1,88
	12	-0,68	-0,68	-0,76	-0,84	-0,97	-1,07	-1,14	-1,38	-1,51
	14	-0,38	-0,38	-0,46	-0,54	-0,66	-0,74	-0,81	-1,02	-1,14
	16	-0,09	-0,09	-0,17	-0,24	-0,35	-0,42	-0,48	-0,67	-0,78
1,00	18	0,21	0,20	0,12	0,06	-0,03	-0,10	-0,15	-0,31	-0,41
	20	0,50	0,48	0,42	0,36	0,29	0,23	0,18	0,04	-0,04
	22	0,81	0,78	0,73	0,68	0,62	0,57	0,53	0,41	0,35
	24	1,11	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,88	0,78	0,73
	8	-0,84	-0,84	-0,91	-0,99	-1,10	-1,19	-1,25	-1,46	-1,57
	10	-0,59	-0,59	-0,66	-0,73	-0,84	-0,91	-0,97	-1,16	-1,26
	12	-0,33	-0,33	-0,40	-0,47	-0,56	-0,63	-0,69	-0,86	-0,95
	14	-0,07	-0,07	-0,14	-0,20	-0,29	-0,35	-0,40	-0,55	-0,63
	16	0,19	0,18	0,12	0,06	-0,01	-0,07	-0,11	-0,24	-0,32
1,25	18	0,45	0,44	0,38	0,33	0,26	0,22	0,18	0,06	0,00
	20	0,71	0,69	0,64	0,60	0,54	0,50	0,47	0,37	0,31
	22	0,98	0,96	0,91	0,88	0,83	0,80	0,77	0,69	0,64
	8	-1,63	-1,63	-1,68	-1,77	-1,90	-2,00	-2,07	-2,29	-2,41
	10	-1,19	-1,19	-1,25	-1,33	-1,44	-1,52	-1,58	-1,78	-1,88
	12	-0,74	-0,74	-0,80	-0,87	-0,97	-1,04	-1,09	-1,26	-1,35
	14	0,17	0,17	0,11	0,06	-0,01	-0,05	-0,09	-0,20	-0,26
	16	0,64	0,62	0,57	0,54	0,49	0,45	0,42	0,34	0,29
	18	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,95	0,89	0,85
1,50	20	1,61	1,58	1,56	1,55	1,52	1,51	1,50	1,46	1,44

.../...

..../...

Nivel de actividad 180 kcal/h

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	18		- 2,00	- 2,02	- 2,35					
	20		- 1,35	- 1,43	- 1,72					
	22		- 0,69	- 0,82	- 1,06					
	24		- 0,04	- 0,21	- 0,41					
	26		0,59	0,41	0,26					
	28		1,16	1,03	0,93					
	30		1,73	1,66	1,60					
0,25	32		2,33	2,32	2,31					
	16		- 1,41	- 1,48	- 1,69	- 2,02	- 2,29	- 2,51		
	18		- 0,93	- 1,03	- 1,21	- 1,50	- 1,74	- 1,93	- 2,61	
	20		- 0,45	- 0,57	- 0,73	- 0,98	- 1,18	- 1,35	- 1,93	- 2,32
	22		0,04	- 0,09	- 0,23	- 0,44	- 0,61	- 0,75	- 1,24	- 1,56
	24		0,52	0,38	0,28	0,10	- 0,03	- 0,14	- 0,54	- 0,80
	26		0,97	0,86	0,78	0,65	0,55	0,46	0,16	- 0,04
0,50	28		1,42	1,35	1,29	1,20	1,13	1,07	0,86	0,72
	30		1,88	1,84	1,81	1,76	1,72	1,68	1,57	1,49
	14		- 1,08	- 1,16	- 1,31	- 1,53	- 1,71	- 1,85	- 2,32	
	16		- 0,69	- 0,79	- 0,92	- 1,12	- 1,27	- 1,40	- 1,82	- 2,07
	18		- 0,31	- 0,41	- 0,53	- 0,70	- 0,84	- 0,95	- 1,31	- 1,54
	20		0,07	- 0,04	- 0,14	- 0,29	- 0,40	- 0,50	- 0,81	- 1,00
	22		0,46	0,35	0,27	0,15	0,05	- 0,03	- 0,29	- 0,45
0,75	24		0,83	0,75	0,68	0,58	0,50	0,44	0,23	0,10
	26		1,21	1,15	1,10	1,02	0,96	0,91	0,75	0,65
	28		1,59	1,55	1,51	1,46	1,42	1,38	1,27	1,21
	10		- 1,16	- 1,23	- 1,35	- 1,54	- 1,67	- 1,78	- 2,14	- 2,34
	12		- 0,84	- 0,92	- 1,03	- 1,20	- 1,32	- 1,42	- 1,74	- 1,93
	14		- 0,52	- 0,60	- 0,70	- 0,85	- 0,97	- 1,06	- 1,34	- 1,51
	16		- 0,20	- 0,29	- 0,38	- 0,51	- 0,61	- 0,69	- 0,95	- 1,10
1,00	18		0,12	0,03	- 0,05	- 0,17	- 0,26	- 0,32	- 0,55	- 0,68
	20		0,43	0,34	0,28	0,18	0,10	0,04	- 0,15	- 0,26
	22		0,75	0,68	0,62	0,54	0,48	0,43	0,27	0,17
	24		1,07	1,01	0,97	0,90	0,85	0,81	0,68	0,61
	8		- 0,95	- 1,02	- 1,11	- 1,26	- 1,36	- 1,45	- 1,71	- 1,86
	10		- 0,68	- 0,75	- 0,84	- 0,97	- 1,07	- 1,15	- 1,38	- 1,52
	12		- 0,41	- 0,48	- 0,56	- 0,68	- 0,77	- 0,84	- 1,05	- 1,18
1,25	14		- 0,13	- 0,21	- 0,28	- 0,39	- 0,47	- 0,53	- 0,72	- 0,83
	16		0,14	0,06	0,00	- 0,10	- 0,16	- 0,22	- 0,39	- 0,49
	18		0,41	0,34	0,28	0,20	0,14	0,09	- 0,06	- 0,14
	20		0,68	0,61	0,57	0,50	0,44	0,40	0,28	0,20
	22		0,96	0,91	0,87	0,81	0,76	0,73	0,62	0,56
	- 2		- 1,74	- 1,77	- 1,88	- 2,04	- 2,15	- 2,24	- 2,51	- 2,66
	2		- 1,27	- 1,32	- 1,42	- 1,55	- 1,65	- 1,73	- 1,97	- 2,10
1,50	6		- 0,80	- 0,86	- 0,94	- 1,06	- 1,14	- 1,21	- 1,41	- 1,53
	10		- 0,33	- 0,40	- 0,47	- 0,56	- 0,64	- 0,69	- 0,86	- 0,96
	14		0,15	0,08	0,03	- 0,05	- 0,11	- 0,15	- 0,29	- 0,37
	18		0,63	0,57	0,53	0,47	0,42	0,39	0,28	0,22
	22		1,11	1,08	1,05	1,00	0,97	0,95	0,87	0,83
	26		1,62	1,60	1,58	1,55	1,53	1,52	1,47	1,45
	- 4		- 1,52	- 1,56	- 1,65	- 1,78	- 1,87	- 1,95	- 2,16	- 2,28
	0		- 1,11	- 1,16	- 1,24	- 1,35	- 1,44	- 1,50	- 1,69	- 1,79
	4		- 0,69	- 0,75	- 0,82	- 0,92	- 0,99	- 1,04	- 1,20	- 1,29
	8		- 0,27	- 0,33	- 0,39	- 0,47	- 0,53	- 0,58	- 0,72	- 0,79
	12		0,15	0,09	0,05	- 0,02	- 0,07	- 0,11	- 0,22	- 0,29
	16		0,58	0,53	0,49	0,44	0,40	0,37	0,28	0,23
	20		1,01	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,79	0,75
	24		1,47	1,44	1,43	1,40	1,38	1,36	1,32	1,29

.../...

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		22

.../...

Nivel de actividad 215 kcal/h

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	16			-1,88	-2,22					
	18			-1,34	-1,63					
	20			-0,79	-1,05					
	22			-0,23	-0,44					
	24			0,34	0,17					
	26			0,91	0,78					
	28			1,49	1,40					
	30			2,07	2,03					
0,25	14			-1,31	-1,52	-1,85	-2,12	-2,34		
	16			-0,89	-1,08	-1,37	-1,61	-1,81	-2,49	
	18			-0,47	-0,63	-0,89	-1,10	-1,27	-1,87	-2,26
	20			-0,05	-0,19	-0,41	-0,58	-0,73	-1,24	-1,58
	22			0,39	0,28	0,09	-0,05	-0,17	-0,60	-0,88
	24			0,84	0,74	0,60	0,48	0,39	0,05	-0,17
	26			1,28	1,22	1,11	1,02	0,95	0,70	0,53
	28			1,73	1,69	1,62	1,56	1,51	1,35	1,24
0,50	12			-0,97	-1,11	-1,34	-1,51	-1,65	-2,12	-2,40
	14			-0,62	-0,76	-0,96	-1,11	-1,24	-1,65	-1,91
	16			-0,28	-0,40	-0,58	-0,71	-0,82	-1,19	-1,42
	18			0,07	-0,03	-0,19	-0,31	-0,41	-0,73	-0,92
	20			0,42	0,33	0,20	0,10	0,01	-0,26	-0,43
	22			0,78	0,71	0,60	0,52	0,45	0,22	0,08
	24			1,15	1,09	1,00	0,94	0,88	0,70	0,59
	26			1,52	1,47	1,41	1,36	1,32	1,19	1,11
0,75	10			0,71	-0,82	-0,99	-1,11	-1,21	-1,53	-1,71
	12			-0,42	-0,52	-0,67	-0,79	-0,88	-1,16	-1,33
	14			-0,13	-0,22	-0,36	-0,46	-0,54	-0,79	-0,94
	16			0,16	0,08	-0,04	-0,13	-0,20	-0,42	-0,56
	18			0,45	0,38	0,28	0,20	0,14	-0,05	-0,17
	20			0,75	0,69	0,60	0,54	0,49	0,32	0,22
	22			1,06	1,01	0,94	0,88	0,84	0,70	0,62
	24			1,37	1,33	1,27	1,23	1,20	1,09	1,02
1,00	6			-0,78	-0,87	-1,01	-1,12	-1,20	-1,45	-1,60
	8			-0,54	-0,62	-0,75	-0,85	-0,92	-1,15	-1,29
	10			-0,29	-0,37	-0,49	-0,57	-0,64	-0,86	-0,98
	12			-0,04	-0,11	-0,22	-0,29	-0,36	-0,55	-0,66
	14			0,21	0,15	0,06	-0,01	-0,07	-0,24	-0,34
	16			0,47	0,41	0,33	0,27	0,22	0,07	-0,02
	18			0,73	0,68	0,60	0,55	0,51	0,38	0,30
	20			0,98	0,94	0,88	0,84	0,80	0,69	0,62
1,25	-4			-1,46	-1,56	-1,72	-1,83	-1,91	-2,17	-2,32
	0			-1,05	-1,14	-1,27	-1,37	-1,44	-1,67	-1,80
	4			-0,62	-0,70	-0,81	-0,90	-0,96	-1,16	-1,27
	8			-0,19	-0,26	-0,35	-0,42	-0,48	-0,64	-0,74
	12			0,25	0,20	0,12	0,06	0,02	-0,12	-0,20
	16			0,70	0,66	0,60	0,55	0,52	0,41	0,35
	20			1,16	1,13	1,08	1,05	1,02	0,94	0,90
	24			1,65	1,63	1,60	1,57	1,56	1,51	1,48
1,50	-8			-1,44	-1,53	-1,67	-1,76	-1,83	-2,05	-2,17
	-4			-1,07	-1,15	-1,27	-1,35	-1,42	-1,61	-1,72
	0			-0,70	-0,77	-0,87	-0,94	-1,00	-1,17	-1,27
	4			-0,31	-0,37	-0,46	-0,53	-0,57	-0,72	-0,80
	8			0,07	0,02	-0,05	-0,10	-0,14	-0,27	-0,34
	12			0,47	0,43	0,37	0,33	0,29	0,19	0,14
	16			0,88	0,85	0,80	0,77	0,74	0,66	0,62
	20			1,29	1,27	1,24	1,21	1,19	1,13	1,10

.../...

..../...

**Nivel de actividad 270 kcal/h**

<b>Vestido clo</b>	<b>Temp. seca °C</b>	<b>Velocidad relativa (m/s)</b>								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	14				-1,92	2,49				
	16				-1,36	1,87				
	18				0,80	1,24				
	20				-0,24	0,61				
	22				0,34	0,04				
	24				0,91	0,70				
	26				1,52	1,36				
	28				2,12	2,02				
0,25	12				-1,19	-1,53	1,80	2,02		
	14				-0,77	-1,07	-1,31	-1,51	-2,21	
	16				-0,35	-0,61	-0,82	1,00	-1,61	-2,02
	18				0,08	-0,15	-0,33	0,48	-1,01	-1,36
	20				0,51	0,32	0,17	0,04	0,41	-0,71
	22				0,96	0,80	0,68	0,57	0,21	-0,03
	24				1,41	1,29	1,19	1,11	0,83	0,64
	26				1,87	1,78	1,71	1,65	1,45	1,32
0,50	10				-0,78	-1,00	1,18	1,32	1,79	2,07
	12				-0,43	-0,64	0,79	0,92	-1,34	1,60
	14				-0,09	-0,27	0,41	0,52	0,90	1,13
	16				0,26	0,10	-0,02	0,12	0,45	0,65
	18				0,61	0,47	0,37	0,28	0,00	0,18
	20				0,96	0,85	0,76	0,68	0,45	0,30
	22				1,33	1,24	1,16	1,10	0,91	0,79
	24				1,70	1,63	1,57	1,53	1,38	1,28
0,75	6				-0,75	0,93	-1,07	1,18	1,52	1,72
	8				-0,47	-0,64	-0,76	-0,86	1,18	1,36
	10				-0,19	0,34	0,45	0,54	0,83	1,00
	12				0,10	0,03	0,14	-0,22	0,48	0,63
	14				0,39	0,27	0,18	0,11	0,12	0,26
	16				0,69	0,58	0,50	0,44	0,24	0,12
	18				0,98	0,89	0,82	0,77	0,59	0,49
	20				1,28	1,20	1,14	1,10	0,95	0,87
1,00	-6				-1,68	-1,88	-2,03	2,14	2,50	2,70
	-2				-1,22	-1,39	-1,52	1,62	1,94	2,12
	2				-0,74	0,90	-1,01	1,10	1,37	1,53
	6				-0,26	0,39	-0,49	0,56	0,80	0,93
	10				0,22	0,12	0,04	0,02	0,22	0,33
	14				0,73	0,64	0,58	0,53	0,38	0,29
	18				1,24	1,18	1,13	1,09	0,97	0,91
	22				1,77	1,73	1,69	1,67	1,59	1,54
1,25	-8				1,36	-1,52	1,64	-1,73	2,00	2,15
	-4				-0,95	-1,10	-1,20	1,28	-1,52	1,65
	0				0,54	0,66	0,75	-0,82	1,03	1,15
	4				0,12	0,22	0,30	0,36	0,54	0,64
	8				0,31	0,22	0,16	0,11	-0,04	0,13
	12				0,75	0,68	0,63	0,59	0,47	0,40
	16				1,20	1,15	1,11	1,08	0,98	0,93
	20				1,66	1,62	1,59	1,57	1,50	1,46
1,50	-10				1,13	1,26	1,35	-1,42	-1,64	-1,76
	-6				0,76	-0,87	-0,96	1,02	-1,21	1,32
	-2				-0,39	-0,49	-0,56	-0,62	-0,79	0,88
	2				-0,01	0,10	-0,16	-0,21	-0,36	0,44
	6				0,38	0,30	0,25	0,21	0,08	0,01
	10				0,76	0,70	0,66	0,62	0,52	0,46
	14				1,17	1,12	1,09	1,06	0,98	0,93
	18				1,58	1,54	1,52	1,50	1,44	1,40

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		24

## 4. EL AMBIENTE SONORO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El estudio del ambiente sonoro dentro de la ergonomía ambiental resulta interesante a causa de los distintos matices que hay que considerar. El fenómeno medible en este caso es el sonido (nivel de presión acústica).

Desde el punto de vista físico, el **sonido** es una vibración mecánica transmitida por el aire, capaz de ser percibida por el órgano auditivo. Para ello, y considerando individuos normales, se deben dar dos condiciones:

- Alcanzar una amplitud mínima o umbral, que depende de la entidad del factor que desencadena el fenómeno.
- Que su frecuencia se encuentre comprendida entre 20 y 20.000 ciclos/s o hercios (Hz).

En las industrias no es fácil que se produzcan sonidos puros a frecuencias determinadas, sino una multitud de sonidos simultáneos. Consideremos una máquina en funcionamiento. Se producen distintos sonidos por cada uno de sus engranajes y sus distintas piezas en movimiento. Todo ello supone que lo que oímos es un conjunto de sonidos a distintas frecuencias. Si, como es normal, la distribución de estos niveles y frecuencias no se ajusta a una ley predeterminada o armónica, lo que percibimos se denomina ruido. Si representamos en coordenadas niveles sonoros en función de frecuencias, obtendremos el espectro del ruido. Por lo tanto, el ruido está caracterizado por su espectro y la calidad de este depende de los intervalos de frecuencia que se elijan. Si el intervalo es 1 Hz, se obtendrá un espectro que informa perfectamente del tipo de ruido presente, pero en el plano práctico sería costoso obtenerlo y solo se justificaría en estudios de investigación. En la práctica se utilizan intervalos (bandas) más amplios: de octava o de tercio de octava.

Otro elemento presente en el ambiente sonoro son las señales. Estas se caracterizan, además del espectro sonoro, por la información que transmiten. En realidad, en una señal, el sonido es el vehículo de una información que es posible, normalmente, cuando se da una condición predeterminada. Generalmente, es importante en la relación hombre-máquina.

También la palabra hablada es un elemento sónico que hay que considerar en ergonomía, por su alto contenido informativo, el más importante en la relación hombre-hombre.

### 4.2. EFECTOS EN LA PERSONA

#### 4.2.1. La percepción

El elemento sonoro incide en el oído, desencadenando el proceso de percepción: el oído interno actúa de traductor, transformando la señal física (mecánica) en señal fisiológica (nerviosa), la cual se transmite por medio del nervio auditivo al córtex auditivo, donde se produce la integración e interpretación de dichas señales.

Esta concatenación de fenómenos de distinta naturaleza implica, para su estudio, aspectos de física, medicina y psicología entre otras disciplinas. Esta coincidencia es común en el estudio de los distintos factores que constituyen la ergonomía.

#### 4.2.2. Efectos extraauditivos

Las vías auditivas del sistema nervioso central no solo corresponden a las vías directas que unen el oído interno con el centro nervioso de la audición, sino que existen conexiones indirectas con el sistema de activación de la formación reticular y también con otros sistemas como el límbico, con el neuroendocrino y con el sistema nervioso autónomo.

Ello sugiere que las reacciones al ruido pueden ser similares a las que provocan otros factores de la carga física o la psicosocial. El hecho de que el ruido pueda provocar reacciones fisiológicas de «estrés» parece ampliamente admitido, pero no se ha establecido todavía que estas reacciones puedan producir efectos patológicos.

Un análisis de 115 publicaciones referentes a los efectos extrauditivos indica que los más importantes son:

- Modificaciones del sistema cardiovascular: tensión y frecuencias cardíacas.
- Influencia sobre la tonicidad muscular.
- Alteraciones del aparato digestivo.
- Alteraciones de la función visual.
- Alteraciones sobre el metabolismo.

Las diferencias constatadas en las reacciones endocrinas son debidas, probablemente, a las diferentes situaciones y a las características de las personas estudiadas, con sus reacciones, sus ritmos circadianos y sus motivaciones particulares. Esto abre un abanico de posibilidades que complica la medición directa del fenómeno, pero que habrán de ser tenidas en cuenta para la evaluación global de la fatiga.

#### 4.2.3. Efectos auditivos

Los efectos auditivos son la lesión del oído y la dificultad de la comprensión del lenguaje. El primero de ellos es estudiado por la higiene industrial y se halla regulado a través del Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores, contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

##### 4.2.3.1. Efecto sobre la detección de señales

Las **señales** son sonidos que transmiten mensajes. Estas pueden darse de forma espontánea; por ejemplo, el deterioro de un mecanismo; o pueden aparecer según una secuencia o circunstancia determinada; por ejemplo, que se active una alarma.

Esta es una forma de comunicación entre el hombre y la máquina, imprescindible cuando la otra forma de comunicación, la visual, no es posible o está deteriorada.

Al margen de los contenidos de información, las señales se perciben mejor cuando son de banda ancha y se deben diseñar con una duración de, al menos, 0,5 s.

En general, Murrell recomienda que, en un ambiente silencioso, una señal de 40 a 50 dB por encima del nivel umbral sería suficiente, y, para ambientes ruidosos, el valor se debería situar entre el nivel de enmascaramiento y 110 dB.

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		26

#### 4.2.3.2. Comprensión de la palabra

En un ambiente donde la comprensión de la palabra resulte difícil es muy probable que existan dificultades, que se traducirán en malestar para el trabajador y deterioro del trabajo.

La palabra hablada es un elemento sónico con alto contenido informativo, por lo que el proceso de percepción vendrá determinado por los fenómenos acústicos ya mencionados y por la especial interpretación del mensaje transmitido mediante la palabra. En todo ello influirá:

- La estructura de la palabra desde el punto de vista acústico.
- El ruido de fondo.
- El conocimiento generalizado de los vocablos empleados.
- La forma de construir las frases.

Como puede verse, existen aspectos puramente acústicos, pero también aspectos culturales. No basta con percibir los tonos puros de la palabra, es necesario comprender el mensaje, y ello exige por parte del oído una capacidad de discriminación muy particular, en la que la inteligencia individual y la familiaridad con la lengua oída tendrán un papel decisivo. No obstante, existen métodos de evaluación de la inteligibilidad de la palabra, basados en los estudios de Kryter, en los que se define el índice de articulación (IA).

Este índice intenta valorar de alguna forma la diferencia existente entre un espectro estándar del habla de 65 dB y el del ruido existente en el ambiente, siendo los intervalos de frecuencia en tercios de octava. En el cálculo se ponderan más las bandas de frecuencia conversacionales, es decir, las que van desde 500 hasta 4.000 Hz. El procedimiento sería el siguiente:

- Determinar el espectro del ruido de fondo.
- Establecer las diferencias existentes de nivel sonoro entre el ruido de fondo y el espectro estándar en cada banda.
- Multiplicar cada diferencia obtenida por el coeficiente de ponderación de cada banda.
- Sumar cada uno de los productos.

Tabla 2. Ejemplo de aplicación de cálculo del índice de articulación

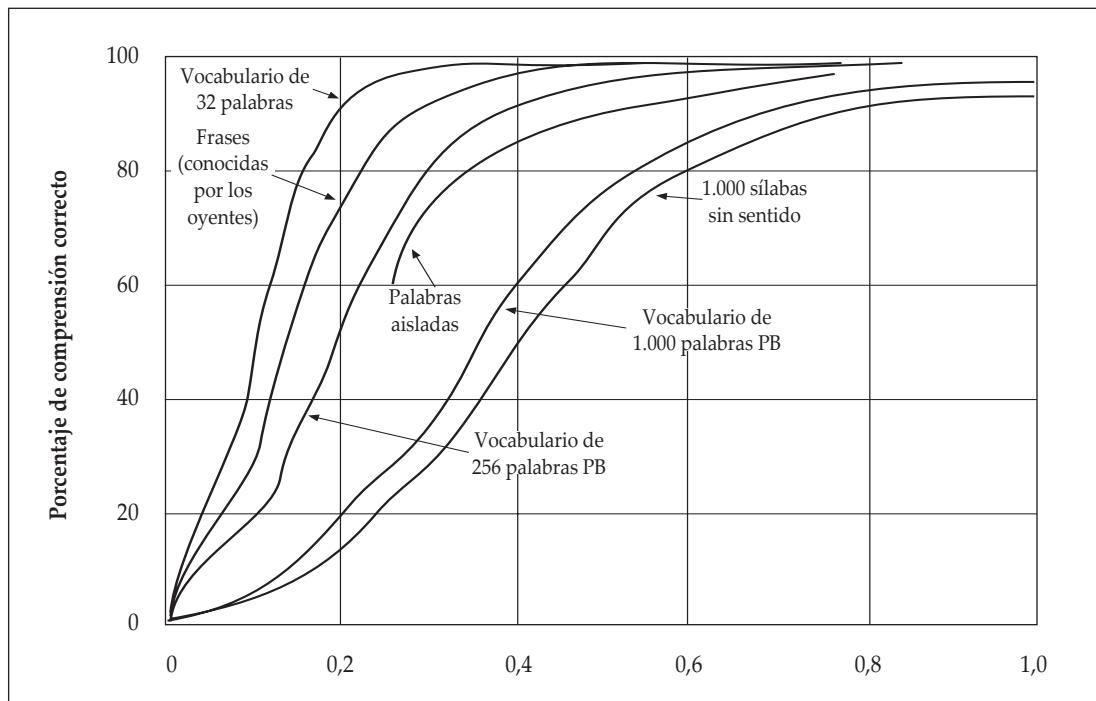
Datos para el cálculo del IA			
1. Banda	2. V – R (dB)	3. Peso	4. C2 × C3
200	30	0,0004	0,0120
250	26	0,0010	0,0260
315	27	0,0010	0,0270
400	28	0,0014	0,0392
500	26	0,0014	0,0364
630	22	0,0020	0,0440
800	16	0,0020	0,0320
1.000	8	0,0024	0,0192
1.250	3	0,0030	0,0090
.../...			

Datos para el cálculo del IA			
1. Banda	2. V – R (dB)	3. Peso	4. C <sub>2</sub> × C <sub>3</sub>
.../...			
1.600	0	0,0037	0,0000
2.000	0	0,0038	0,0000
2.500	12	0,0034	0,0408
3.150	22	0,0034	0,0758
4.000	26	0,0024	0,0624
5.000	25	0,0020	0,0500
Índice de articulación			0,4738

Como es natural, a medida que el IA es mayor, el promedio de comprensión de la palabra crece. El gráfico de la figura 4 (Kryter y French y Steinberg, presentado por McCormick) ofrece la posibilidad de evaluar la comprensión correcta, en función del IA, para diversas posibilidades de riqueza de lenguaje.

De acuerdo con el ejemplo de la tabla 2, para un IA obtenido de 0,4738, el porcentaje de comprensión de una conversación de frases conocidas por los oyentes sería aproximadamente del 95 %.

Figura 4. Curvas de evaluación del IA



Un concepto más sencillo para evaluar el ruido en un ambiente ruidoso, en los casos de comunicación directa, con respecto a su efecto sobre la inteligibilidad verbal, es el **nivel de interferencia verbal** o **SIL** (*speech interference level*). Para calcular el nivel de ruido de interferencia verbal ( $L_{SIL}$ ), deben determinarse los niveles de presión sonora en las bandas, medidas en octavas, cuyo centro de frecuencias son 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz, con nivel de ponderación lenta (*slow*) del

equipo de medida, en la posición del oyente y en las condiciones de ruido existentes durante la comunicación.  $L_{SIL}$  es la media aritmética de dichos niveles. La práctica corriente considera solo las bandas de octava 500, 1.000 y 2.000 Hz, por lo que es importante, al manejar estos datos, conocer con qué criterio han sido tomados, puesto que la diferencia puede suponer aproximadamente 5 dB.

El nivel de la señal verbal (LS) se obtiene midiendo la presión sonora ponderada A medida a 1 m del hablante. El SIL viene dado por la diferencia entre el  $L_S$  y el  $L_{SIL}$ . Cuando dicha diferencia es superior o igual a 10 dB se considera que la intelecibilidad de la comunicación verbal es suficiente.

Una conversación puede considerarse satisfactoriamente inteligible cuando, al menos, se entienden el 95 % de las frases expresadas. Basándose en estos conceptos, la derogada ISO/TR-3352:1974, que ha sido sustituida por la norma UNE-EN-ISO 9921:2003, «Ergonomía, Evaluación de la comunicación verbal», contenía una tabla que relacionaba el nivel de interferencia en la conversación y la máxima distancia en la que una conversación normal se considera satisfactoriamente inteligible. A continuación se expone un extracto de esta tabla.

Tabla 3. Valores indicativos del índice SIL

Nivel de interferencia en la conversación SIL (dB)	Máxima distancia en conversación normal (m)	Máxima distancia en conversación en voz alta (m)
35	7,5	15
40	4,2	8,4
45	2,3	4,6
50	1,3	2,6
55	0,75	1,5
60	0,42	0,85
65	0,25	0,50
70	0,13	0,26

#### 4.3. CONFORT ACÚSTICO

En una encuesta practicada por Nemeck y Grandjean a un grupo de empleados de oficina, una de las preguntas era «¿qué tipo de ruido les incomoda más?». La respuesta más numerosa fue «las conversaciones». En este caso no era tanto el carácter bullicioso de estas lo que más molestaba, sino la percepción de su contenido. Muy probablemente, si esta encuesta se hubiera efectuado en otros ámbitos, por ejemplo, en una fábrica de montaje, la contestación no hubiera sido la misma. Esto indica que cada tipo de trabajo tendrá una consideración distinta. Queda, pues, planteado el problema en ambientes que implican contenidos de trabajo distintos.

En la consideración por parte de la persona de si un ruido sin contenido informativo es molesto o no, se tendrán en cuenta diversos aspectos, como pueden ser el condicionamiento de la persona respecto al ruido, la oportunidad de dicho ruido, la intermitencia, su carácter inesperado y la reverberación.

En todo caso, se puede generalizar que, a igual intensidad, los ruidos más agudos de 1.500 Hz son más molestos que los de inferior frecuencia. Ruidos más graves de 256 Hz también son causa de molestias. Parece que la influencia de la frecuencia, según estos datos, se concreta en una molestia mínima en el entorno de frecuencias de 200-1.200 Hz.

En cuanto a niveles sonoros, los ruidos en trabajos manuales empiezan a ser molestos a partir de los 80-90 dB, coincidiendo con los niveles a partir de los cuales pueden ya suponer riesgo de hipoacusia o sordera profesional.

#### 4.4. EFECTIVIDAD

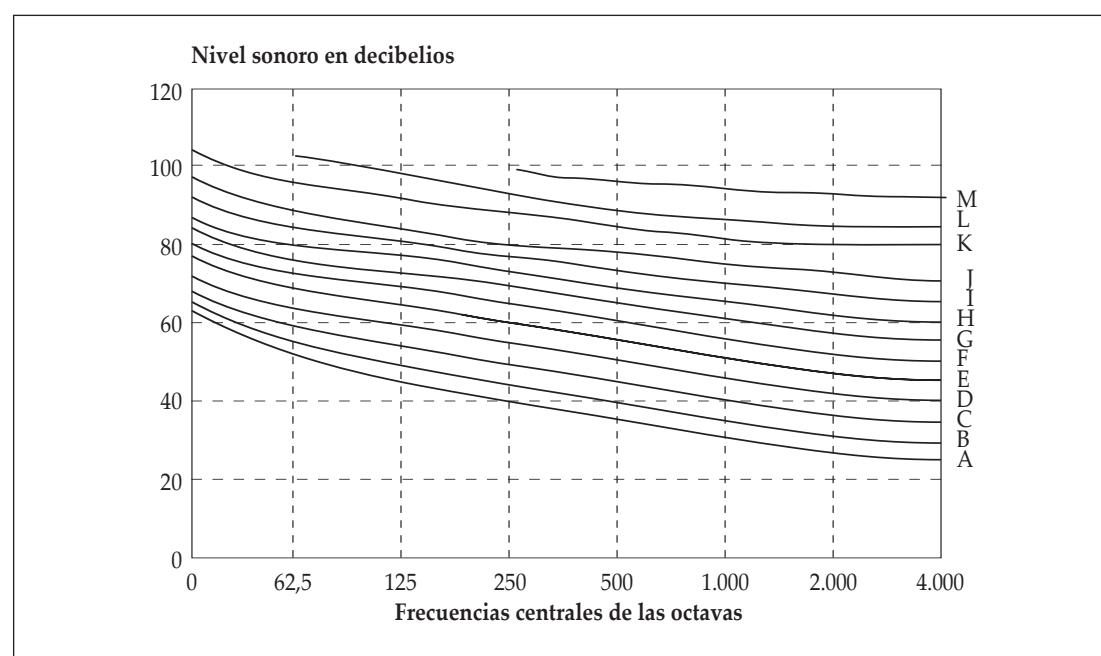
El ruido puede alterar la eficiencia de un trabajador, disminuyendo su rendimiento e incrementando los errores y los accidentes. Es singular el hecho de que un ruido frente a dos trabajos con contenidos distintos puede ser molesto para el trabajador, en un caso, y estimulante, en otro, perjudicando o mejorando el rendimiento del trabajo según el caso. En un trabajo que requiera concentración en un ambiente bullicioso, con elementos que puedan distraer, es posible mejorar el rendimiento introduciendo un ruido con una intensidad sonora que domine a las demás.

En general, un ruido continuo, si es de banda ancha, puede producir un efecto relacionado con su intensidad. Si es de banda estrecha y frecuencias altas, puede causar irritación y, de forma indirecta, ineficacia. Esto no está necesariamente relacionado con su intensidad.

Si el ruido es intermitente y regular, puede tener efectos que difieran poco de los ruidos continuos, pero, si son irregulares e inesperados, pueden causar sobresaltos o reacciones de alarma y desencadenar los efectos extrauditivos ya mencionados. Este fenómeno parece ser vestigio de las primitivas reacciones a los peligros de la naturaleza salvaje detectados por el oído humano. No sobre pasando los niveles aconsejados para prevenir la pérdida auditiva, estos efectos son mínimos, salvo que el trabajo requiera alto contenido de concentración. Para evaluar cómo afecta el ambiente sonoro al trabajo, es necesario considerar el nivel de atención que requiere la tarea y el espectro del ruido de fondo.

Beranek estableció un índice de incomodidad que consiste en la definición de curvas (espectros), denominadas desde la letra A hasta la M. Cada curva es el límite superior de una zona del espectro, dentro de la cual se puede desarrollar adecuadamente una determinada tarea (véase figura 5).

Figura 5. Índice de incomodidad de Beranek



ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		30

En las zonas A, B y C, el trabajo intelectual complejo no se trastorna de manera apreciable, pero en C la estancia cesa de ser agradable. En las zonas D, E y F, el trabajo intelectual complejo es penoso y el trabajo corriente administrativo o comercial no es totalmente molesto, pero tampoco será agradable para el trabajador. En las zonas G, H e I, el trabajo intelectual es extremadamente penoso, el trabajo administrativo corriente es difícil y el trabajo en el taller no es molesto de manera apreciable. De las zonas K en adelante nos encontramos en la región en la que una exposición breve provoca fatiga auditiva y una exposición prolongada determina la sordera profesional.

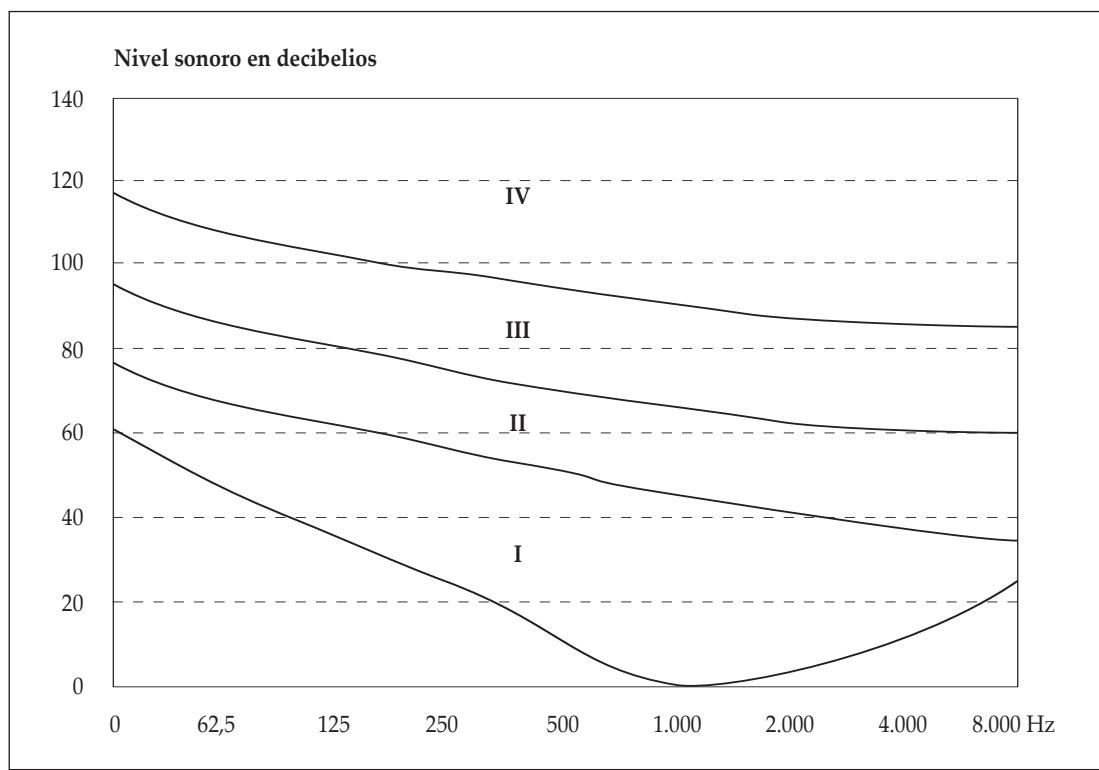
El procedimiento sería el siguiente:

- 1.<sup>º</sup> Determinar el espectro del ruido de fondo, para lo cual se obtendrá el nivel sonoro en decibelios en cada banda de octava.
- 2.<sup>º</sup> Situar la curva obtenida en el gráfico de curvas antes mencionadas.
- 3.<sup>º</sup> Determinar el índice de malestar con la letra de la primera curva que deja por debajo todo el espectro del ruido de fondo, por ejemplo, H.
- 4.<sup>º</sup> Establecer el índice de malestar que está en coherencia con el nivel de atención que requiere la tarea. Por ejemplo, si se trata de un trabajo de taller, esta situación no sería molesta de forma apreciable.

Este criterio debe tomarse como orientativo, pero su utilización práctica es interesante.

Wisner presenta un procedimiento parecido que supone una simplificación del gráfico de Beranek (véase figura 6).

Figura 6. Índice de malestar según Wisner



El significado de las diferentes zonas es el siguiente:

- **Zona I.** El sueño y el trabajo intelectual complejo no están perjudicados de forma apreciable.
- **Zona II.** El trabajo intelectual complejo es difícil. El trabajo corriente administrativo o comercial no está claramente perturbado.
- **Zona III.** El trabajo intelectual resulta penoso. El trabajo administrativo corriente se hace difícil.
- **Zona IV.** Una exposición prolongada puede provocar sordera profesional.

## 5. VIBRACIONES

### 5.1. PRINCIPIOS BÁSICOS

La vibración puede producir ruido y, cuando se transmite al cuerpo, puede causar incomodidad, dificultades para operar con los equipos, enfermedades y lesiones. Las vibraciones pueden producirse bien en el cuerpo entero o en la mano y el brazo. Los efectos se acumulan a lo largo del tiempo en ambos tipos de exposición. Las resonancias del cuerpo (amplificación de ciertas frecuencias impuestas) pueden incrementar la probabilidad del daño en el cuerpo.

Bajo el punto de vista de riesgo higiénico, están regulados por el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

### 5.2. LOS EFECTOS DE UN AMBIENTE CON VIBRACIONES

En niveles bajos, la vibración del cuerpo entero dificulta el control de los movimientos, reduce la facilidad de visualización de los *displays*, puede producir mareos, aumenta la fatiga del esfuerzo muscular empleado para controlar los movimientos del cuerpo, provoca dificultad para respirar e incrementa el riesgo de dolor y las lesiones de espalda. En niveles altos, puede causar daños a los órganos internos e incrementa el riesgo de caídas y de lesiones por colisión. La vibración de la mano y el brazo produce hormigueo en los dedos y entumecimiento y provoca el «síndrome del dedo blanco», cuyos efectos son amplificados por el frío.

Los efectos fisiológicos ocurren en varias frecuencias. El cuerpo es más sensible a la vibración en dirección vertical. Debe reducirse la vibración en la gama de frecuencias de 1-4 Hz para reducir interferencias con la respiración; de 4-10 Hz, para reducir el daño interno, el dolor de pecho y abdominal y las reacciones musculares; hasta 12 Hz, para reducir tensiones de espalda; la cabeza es afectada con 25 Hz y los ojos con 80 Hz.

Para reducir la vibración pueden adoptarse medidas correctoras, tales como incrementar la masa en las frecuencias más bajas, introducir aislamientos para separar los mangos o el componente vibratorio del resto de la máquina o herramienta, hacer más rígidos los componentes que vibran, mejorar el equilibrado, incrementar la amortiguación o flexibilizar las uniones. En general, estas soluciones requieren altos niveles de mantenimiento.

ERGONOMÍA	ERGONOMÍA AMBIENTAL	UNIDAD 3
		32

## 6. CALIDAD DE AIRE INTERIOR

La calidad del aire interior de un edificio o espacio de trabajo, no industrial, puede ser una fuente de problemas para la salud y causa del desconfort de sus ocupantes. Desde un punto de vista ergonómico, sin considerar las condiciones termohigrométricas que han sido tratadas, en parte, en el epígrafe 3 de esta Unidad, tal vez la presencia de malos olores sea la causa de mayores molestias e incomodidad, una vez que el humo de tabaco ha sido erradicado de dichos espacios. Los malos olores pueden proceder de diferentes fuentes contaminantes, unas externas y otras internas. Los contaminantes externos generalmente proceden de actividades desarrolladas en edificios vecinos que deben ser controlados mediante la normativa medioambiental.

Por su parte, la presencia de contaminantes internos pueden deberse a:

- Esporádicamente ciertas actividades de mantenimiento que provocan emanaciones de los disolventes de pinturas o adhesivos,
- Otros productos utilizados en otras actividades que se realizan regularmente como la limpieza, sanitación o desinfección.
- Emanaciones del mobiliario, sobre todo cuando es nuevo, y de los productos textiles decorativos,
- La presencia de moho o humedades,
- Los bioefluentes de los propios ocupantes.

Todas estas fuentes pueden emitir múltiples contaminantes del aire interior aunque aquí solamente nos ocuparemos de aquellos que pueden ocasionar molestias a sus ocupantes, principalmente los que ocasionan los malos olores. Entre ellos se encuentran diferentes tipos de compuestos orgánicos que comúnmente denominamos (COV), siendo una de sus principales características su volatilidad. Su presencia por encima de ciertos niveles se puede asociar con la presencia de olores desagradables.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es otro parámetro que se suele utilizar para valorar la calidad de aire interior, y en ambientes poco contaminados como son los edificios no industriales, es un indicador de la eficacia de la ventilación general del espacio de trabajo y del nivel de ocupación que la Guía Técnica del INSST para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de lugares de trabajo ha establecido en 1000 ppm. Aunque solamente a muy elevadas concentraciones (> 30.000 ppm) empiezan a aparecer las primeras molestias como mareos o falta de concentración.

La presencia de partículas suspendidas en el aire, a bajas concentraciones, puede provocar molestias en la vista que podrían llegar a ocasionar conjuntivitis, por dicho motivo.

La contaminación biológica se produce de forma natural y en parte puede proceder del exterior por diferentes medios de transmisión, generalmente a través de las entradas del aire exterior. En el interior de los edificios, los hongos pueden encontrar reservorios como la humedad de condensaciones debidas a una alta humedad relativa o pérdidas de agua, donde existen nutrientes que permiten el desarrollo de esporas que pueden provocar alergias en sus ocupantes, además de malos olores. También las bacterias forman parte de esta contaminación biológica en el interior de los edificios ocupados por personas, pues precisamente estas son la fuente principal de dicha contaminación.

El medio más eficaz de mejorar la calidad de aire interior es disponer de un buen sistema de ventilación que renueve el aire frecuentemente y disponga de una buena filtración, apoyado en controles periódicos.

La norma UNE 171330-2:2014, «Calidad ambiental en interiores. Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior» proporciona unos criterios de confort del aire interior que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4. Criterios de confort (UNE 171330-2:2014)

Contaminante	Criterio de confort
COV	< 200 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de carbono	< 500 ppm
Partículas en suspensión	< 20 µg/m <sup>3</sup>
Bacterias	< 600 ufc/m <sup>3</sup>
Hongos	< 200 ufc/m <sup>3</sup>

