

# **HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO Volumen 2**

**Ing. Jorge Enrique Mangosio**

**AGENTES FISICOS  
RUIDOS Y VIBRACIONES  
CALOR Y FRIO  
RADIACIONES IONIZANTES**

## **CAPITULO VIII**

### **AGENTES FISICOS: Calor y del Frío**

#### **8.1 Efectos del Calor**

Contrariamente a lo que ocurre con otros agentes ambientales, el calor no actúa en forma específica sobre algún tejido o función determinada de la persona expuesta sino que, en forma compleja, sus variaciones afectan la fisiología total del organismo.

#### **Homotermia**

El hombre es un ser homotermo. Esta afirmación implica decir que posee los mecanismos compensatorios adecuados para mantener una constancia relativa de la temperatura interna, aún cuando varíen las condiciones climáticas exteriores que podrían potencialmente modificarla.

Los procesos físicos y químicos que constituyen la vida son muy susceptibles a las variaciones de temperatura. Pequeños cambios en la temperatura de los tejidos (del orden de 1°C) tienden a producir desequilibrios funcionales. Cambios mayores pueden alterar de tal modo procesos esenciales, que la vida es puesta en peligro.

El mantenimiento de la constancia de la temperatura, proporciona una ventaja especial a los seres homeotermos. Sus respuestas, resultantes de la acción de mecanismos receptores, integradores y efectores son independientes, dentro de amplios límites, de las condiciones ambientales, lo cual les permiten fijar libremente su propia actividad.

Se denomina "temperatura de] cuerpo" a un valor promedio de temperatura de la masa subyacente por debajo de la piel, excluidas las extremidades, que representa entre 70 y 80 % de la masa total.

La temperatura del cuerpo varía cíclicamente durante las horas del día y de acuerdo con la actividad física. En un momento dado los distintos órganos tienen temperaturas diferentes según su nivel de actividad metabólica y según el régimen de remoción del calor por la corriente sanguínea.

La "temperatura del cuerpo" resulta del equilibrio dinámico entre su producción de calor y el intercambio calórico con el ambiente por intermedio de las distintas vías posibles. El mantenimiento de un adecuado balance térmico es una necesidad fisiológica para el bienestar y la salud.

El sitio más indicado para la medición de la temperatura del cuerpo, en trabajos de investigación, es el canal auditivo, lo más próximo posible al tímpano

Otra medición más frecuente es la temperatura rectal.

Durante el trabajo físico la temperatura del cuerpo se eleva. Un valor promedio en reposo es 37° C.

La "temperatura superficial" varía dentro de límites relativamente amplios, puesto que la piel actúa como interfase entre el núcleo del cuerpo y el

ambiente. En condiciones habituales la temperatura media de la piel es de 3 a 5 C menor que la del cuerpo. En ambientes fríos puede descender hasta 20 C: en condiciones de calor riguroso, pero que permiten mantener el equilibrio térmico, es por lo menos 1 C menor que la temperatura del núcleo.

### **Carga térmica**

Las fuentes de calor que constituyen la carga térmica son:

- a) el calor generado en los procesos metabólicos, y
- b) el calor proveniente del ambiente, o carga térmica ambiental.

Las reacciones metabólicas son esencialmente exotérmicas.

Los diversos principios alimenticios portadores de energía, proteínas, grasas e hidratos de carbono, que forman los alimentos, están constituidos por moléculas relativamente complejas, que al ser degradadas en lo íntimo de los tejidos originan productos más simples, tales como anhídrido carbónico, agua y urea, con liberación de calor.

La cantidad de calor producido varía con la actividad del individuo desde un mínimo de 109 W hasta 18,76 W para breves períodos de intenso esfuerzo.

La producción total diaria oscila entre 1700 Kcal. (7113 J) para una persona en cama hasta 5000 Kcal. (20920 J) para un hombre que realiza trabajos pesados.

El calor metabólico se estima mediante el uso de tablas de acuerdo con la actividad, o bien por calorimetría indirecta o respiratoria, que determina el calor producido en función del oxígeno consumido en la respiración.

La carga térmica ambiental condiciona el régimen de intercambio de calor entre el individuo y el ambiente, y en consecuencia determina, juntamente con el calor metabólico, la facilidad o dificultad con que el cuerpo puede regular su temperatura.

Cuando las temperaturas del aire y de las paredes circundantes del ambiente son inferiores a las de la piel, el cuerpo pierde calor por convección y radiación. En el caso opuesto se gana calor. Cuando el calor pasa del ambiente al cuerpo por convección y radiación, la cantidad recibida más el calor metabólico deben ser eliminados por evaporación.

Si las condiciones térmicas del ambiente permiten la eliminación del calor metabólico por convección y radiación, no se produce sudoración sensible y la piel permanece relativamente seca. Cuando la temperatura ambiental se eleva se inicia la sudoración; la aparición de ésta se halla ligada a la temperatura de la superficie del cuerpo (que a su vez depende del ambiente) y al régimen del metabolismo. Cuanto mayor es la actividad física menor es la temperatura de la piel requerida para el comienzo de la sudoración.

Mientras la temperatura del aire es inferior a la de la piel el movimiento del aire facilita la pérdida de calor por convección y evaporación, pero cuando excede a la de la piel, si bien el movimiento del aire facilita la pérdida por evaporación aumenta al mismo tiempo el calor ganado por conducción - convección. Para

cada caso en que la temperatura del aire excede a la de la piel, existe un movimiento de aire óptimo, velocidades menores producen acumulación de sudor, velocidades mayores, al producirse una ganancia de calor por convección superior al incremento de la pérdida por evaporación, imponen una carga adicional y demandan un aumento de sudor compensatorio.

Se considera que existe carga térmica toda vez que deben entrar en funcionamiento los mecanismos fisiológicos destinados a posibilitar la pérdida de calor, como consecuencia de la demanda impuesta sobre el organismo.

Al trabajar en un ambiente a elevada temperatura, se requiere un mayor esfuerzo para mantener la temperatura del cuerpo a su nivel normal. Si el organismo fracasa en su esfuerzo, la temperatura del cuerpo sube y el equilibrio puede restablecerse a un nivel superior. El trabajo en estas condiciones se realiza con incomodidad y dificultad creciente.

## **8.2 Consecuencias fisiológicas de la carga térmica**

Hay dos tipos de respuestas a la carga térmica: la respuesta circulatoria y la sudoración.

### **Respuesta circulatoria**

La transferencia de calor desde los tejidos en los cuales se produce hasta la piel y el aparato respiratorio donde es disipado, depende de la circulación. Cuando la actividad física varía, las reacciones cardiovasculares siguen estrechamente dichos cambios.

El aparato circulatorio de una persona trabajando en un ambiente caluroso debe responder a una triple demanda, además a las necesidades usuales del metabolismo.

a) Una corriente sanguínea importante a los músculos activos para proveer oxígeno y alejar el exceso de calor que se produce.

b) Un flujo de sangre a la piel para enfriar la sangre y proveer agua a las glándulas sudoríparas.

c) Una corriente sanguínea al aparato digestivo para transferir agua a la piel y a las glándulas sudoríparas.

La sangre y los fluidos del cuerpo están compuestos principalmente de agua, por lo cual poseen un elevado calor específico y en consecuencia pueden transportar grandes cantidades de calor con pequeños cambios de temperatura,

La primera reacción es una vaso dilatación. La consecuencia inmediata es el aumento de circulación superficial y la elevación de temperatura de la piel, lo cual produce un incremento de la pérdida del calor por convección y radiación (o reducción del calor ganado por esas vías).

Al aumentar la circulación superficial, el gasto cardíaco debe también aumentar.

La vasoconstricción puede originar inconvenientes en las vísceras o en el cerebro (este último en posición desventajosa por la gravedad). La frecuencia cardíaca puede aumentar, pero si la sangre no retorna en cantidad suficiente, la compensación no es posible.

El riñón es una de las vísceras afectadas. La provisión de sangre se reduce, y disminuye la Filtración y el volumen de la orina.

### **Sudoración**

La segunda línea de defensa del organismo ante la carga térmica es la sudoración.

El mecanismo de sudoración produce la cantidad de sudor necesario para mantener el balance térmico. Su capacidad se reduce al prolongarse la exposición.

La efectividad del sudor para transferir calor depende de su evaporación. El hombre tiene una elevada capacidad de sudoración. En condiciones adecuadas puede sudarse con un régimen de 1 l/hora durante varias horas, lo que da una capacidad potencial de remoción de calor cercana a 600 Cal/hora.

### **Balance de agua y sal**

El balance de agua del cuerpo depende de la intensidad del sudor, de la cantidad de agua y de la función renal. El consumo de agua es regulado por la sed y la sed depende de la disminución del contenido de agua y del aumento de presión osmótica en las células.

La sudoración elimina agua y sal del organismo.

Las personas sin aclimatar, trabajando en ambientes calurosos, segregan grandes volúmenes de sudor conteniendo aproximadamente la misma concentración de sal que los fluidos del cuerpo que los originan.

Con la aclimatación el sudor se hace más diluido en cloruros. Un hombre aclimatado experimenta más sed para un déficit de agua dado y tiende a aumentar el balance de agua bebiendo voluntariamente.

### **Problemas debido a la carga térmica**

Convencionalmente las fallas originadas por la carga térmica se clasifican en la siguiente forma:

Agotamiento calórico o extenuación calórica  
Insolación o golpe de calor  
-Calambre calórico

### **Agotamiento o extenuación calórica**

La carga térmica produce vaso dilatación cutánea con el considerable aumento de circulación en la piel. En el caso de personas no aclimatadas, estas sufren trastornos cardíacos, pues el retorno de sangre al corazón puede resultar insuficiente. Ello da lugar a un aumento de la frecuencia cardiaca con debilitamiento del pulso y reducción de la presión sanguínea. El suministro de oxígeno al cerebro disminuye por la circulación insuficiente. Las consecuencias son debilidad y desfallecimiento. La temperatura del cuerpo puede ser normal.

### **Insolación o golpe de calor**

La segunda línea de defensa contra el calor es la sudoración.

Si la reposición de agua al organismo es Insuficiente o si la actividad de las glándulas sudoríparas es intensa y prolongada, la sudoración se reduce. La temperatura de la piel aumenta y la transferencia de calor disminuye. La circulación cutánea insuficiente puede contribuir a este aumento de temperatura. Al elevarse la temperatura corporal los tejidos producen más calor y aceleran el proceso. Una temperatura de 41°C en el cerebro, puede producir el colapso total del mecanismo de sudoración y anular esta vía de eliminación del calor.

### **Calambre calórico**

Se manifiesta por espasmos musculares que se originan por déficit de sal, como consecuencia de la sudoración prolongada, sin su adecuada reposición.

El déficit salino se refiere tanto al ClNa como al ClK.

## **8.3 Características higrotérmicas del ambiente. Instrumentos de medición**

### **El aire húmedo o atmosférico**

Es una mezcla de aire seco y vapor de agua, éste último en cantidades variables.

La composición aproximada del aire seco, en volumen, es 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno.

### **Hipótesis para el estudio de las propiedades del aire húmedo**

El aire húmedo es considerado como una mezcla homogénea de dos gases ideales, aire seco y vapor de agua. La teoría elaborada sobre esta base no difiere sensiblemente con los resultados experimentales, porque ambos componentes, a la presión atmosférica y a temperaturas normales, cumplen las leyes de los gases perfectos. De acuerdo a la Ley de Dalton en una mezcla de gases ideales, cada componente ocupa el volumen total y su temperatura es la de la mezcla y su presión será una fracción de la presión total P:

$$P = P_a + P_v \quad (1)$$

Siendo

P: presión total o atmosférica (mmHg)

P<sub>a</sub>: presión parcial del aire seco (mmHg)

P<sub>v</sub>: presión parcial del vapor de agua (mmHg)

Las presiones son funciones del volumen total y de la temperatura de la mezcla.

La temperatura del aire puede medirse con un termómetro común (termómetro de bulbo seco). Cuando existen fuentes de calor radiante el termómetro debe protegerse de la radiación.

El principio fundamental que gobierna la mezcla de los gases perfectos es que ningún componente resulta afectado por la presencia de los demás. En este caso, el comportamiento, del vapor de agua es independiente de la existencia del aire seco, y viceversa.

### **Humedad absoluta, grado de saturación y humedad relativa:**

La concentración de vapor de agua en la mezcla de aire húmedo define su humedad absoluta x, es decir, la relación de la masa de vapor de agua M<sub>v</sub> a la masa de aire seco M<sub>a</sub>:

$$x = \frac{M_v}{M_a} [Kg / Kg] \quad (2)$$

La humedad absoluta x, es la cantidad de vapor de agua por cada kilogramo de aire seco.

Puede indicarse la concentración como la cantidad de vapor por unidad de volumen o por unidad de peso de mezcla-, pero para una misma masa de aire, la evaporación y la condensación pueden variar la cantidad de vapor

contenido en la mezcla. Por esta razón se prefiere como referencia la unidad de peso del gas permanente.

Si se llama  $m_v$  y  $m_a$  a los kilogramos por mol de vapor y de aire y  $n_v$  y  $n_a$  a los moles presentes en la mezcla, es:

$$M_v \text{ (Kg)} = n_v \text{ (moles)} m_v \text{ (Kg/mol)}$$

$$M_a \text{ (Kg)} = n_a \text{ (moles)} m_a \text{ (Kg/mol)}$$

Reemplazando en (2) y teniendo presente la ecuación de estado de los gases perfectos:

$$x = \frac{n_v m_v}{n_a m_a} = \frac{m_v p_v}{m_a p_a} = \frac{m_v}{m_a} \frac{P_v}{P - P_v} = 0,622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (3)$$

Para una presión atmosférica  $P$  y una temperatura  $t$  la (3) expresa la relación entre la presión parcial del vapor de agua  $P_v$  y su concentración en la mezcla o humedad absoluta  $x$ .

Sí la presión del vapor fuera la máxima o de saturación  $P_{vs}$ , para la misma temperatura  $t$ , se define la humedad absoluta de saturación por la expresión:

$$x_s = 0,622 \frac{P_v}{P - P_{vs}} \quad (4)$$

El cociente de la fórmula (3) respecto a la fórmula (4) es el grado de saturación  $\phi_s$  Os del aire húmedo a la temperatura  $t$ , o sea la relación de la humedad absoluta presente a la humedad absoluta de saturación a la misma temperatura:

$$\phi_s = \frac{x}{x_s} = \frac{P_v}{P_{vs}} \frac{P - P_{vs}}{P - P_v} \quad (5)$$

El grado de saturación  $\phi_s$  suele expresarse en porcentaje.

Se conoce como humedad relativa  $H_r$  del aire húmedo a la relación entre la presión parcial del vapor de agua  $P_v$  a la temperatura  $t$  y la presión del vapor saturado  $P_{va}$  a la misma temperatura.

$$H_r = \frac{P_v}{P_{va}} \quad (6)$$

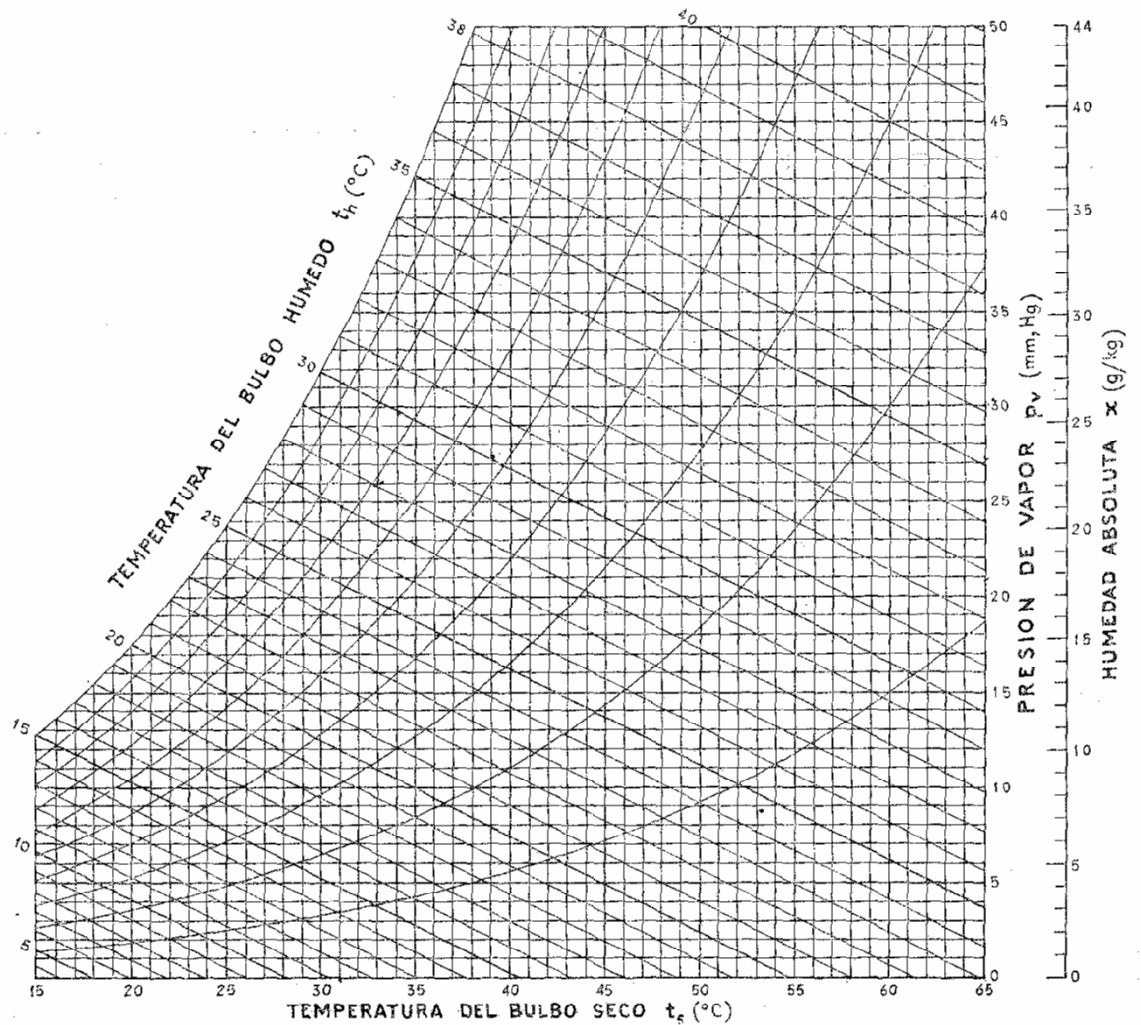
Generalmente  $H_r$  se indica en porcentaje. Reemplazando (6) en (5):

$$\phi_s = H_r \cdot \frac{P - P_{va}}{P - P_v} \quad (7)$$

Aún para temperaturas ambientales altas, del orden de 40 C a 50 C, el valor de la presión parcial del vapor es alrededor del 10 % de la presión **atmosférica**  $P$ , de manera que con suficiente aproximación resulta, por la (7):

$$\phi_s = Hr ; \text{ o bien } \frac{x}{x_s} = \frac{P_v}{P_{vs}}$$

Estas relaciones se grafican en el Diagrama Psicrométrico (ver Fig.1)



**Fig. 1 – Diagrama Psicrométrico**

#### 8.4 Instrumentos de medición

##### Medición de temperatura y humedad:

##### Termómetro de bulbo seco:

Es un termómetro común de vidrio, con mercurio o alcohol como líquido termométrico con un rango en la escala de -5 C a 50 C y una precisión de +/- 0,5 C.

Los termómetros empleados deben ser controlados periódicamente (Ver Fig.2).

##### \* Termómetro bulbo húmedo natural:

Consiste en un termómetro cuyo bulbo se encuentra recubierto por una tela de algodón blanca lo suficientemente larga para que su excedente se encuentre sumergido en un recipiente con agua destilada.

El bulbo humedecido y recubierto por la tela debe quedar libremente ventilado, no siendo necesaria protección para el calor radiante. (Ver Fig. 4.2).

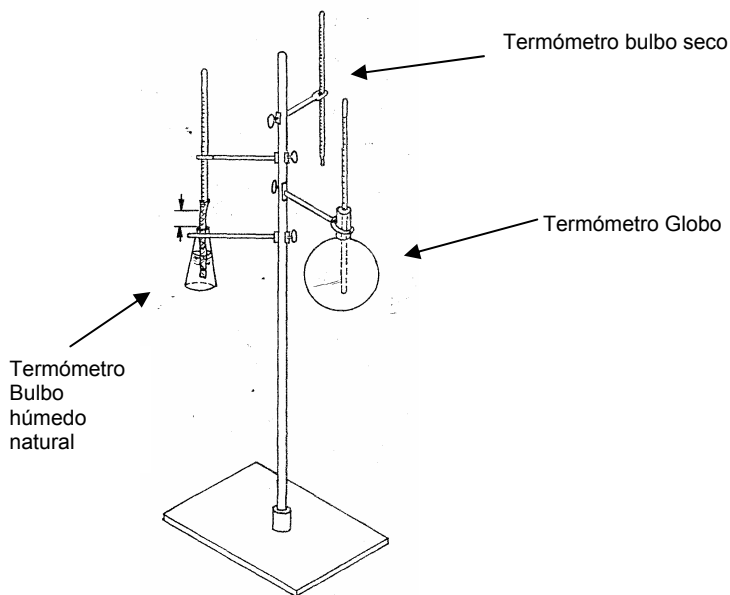
El termómetro debe ser de mercurio con un rango de escala de 5 C a 50 C y una precisión de +/- 0,5 C.

**\* Termómetro globo:**

Está constituido por una esfera de cobre hueca de 15 cm. de diámetro y de 0,60 mm. de espesor de pared, pintada de negro mate (lo que permite absorber la mayor cantidad posible de radiación infrarroja) con un termómetro de bulbo inserto en ella, de modo que el bulbo quede ubicado en el centro de la misma.

Se efectuará la lectura cuando la temperatura se haya estabilizado (después de alrededor de 20 minutos).

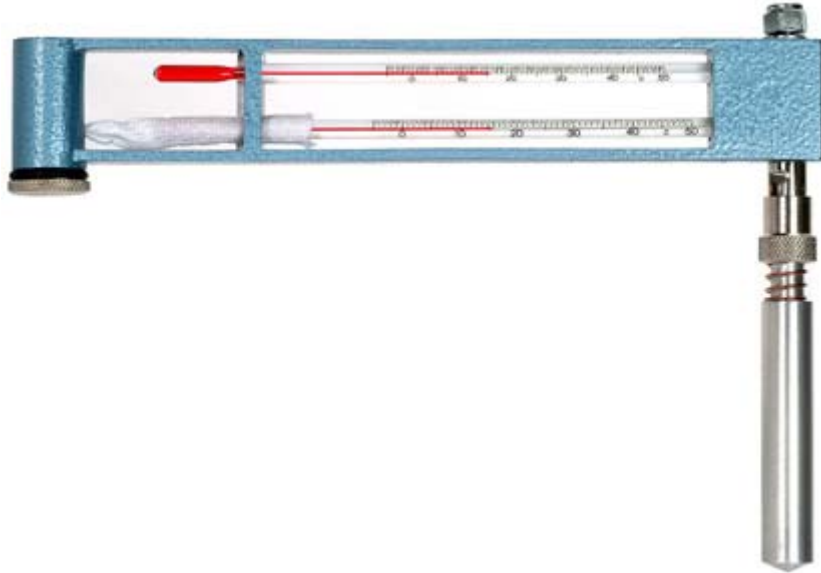
Si se emplea termómetro de vidrio y mercurio, deberá tener una escala de -5 C a 100 C de rango, con una precisión de +/- 0,5 C. (Ver Fig., 4.2).



**Fig. 2**

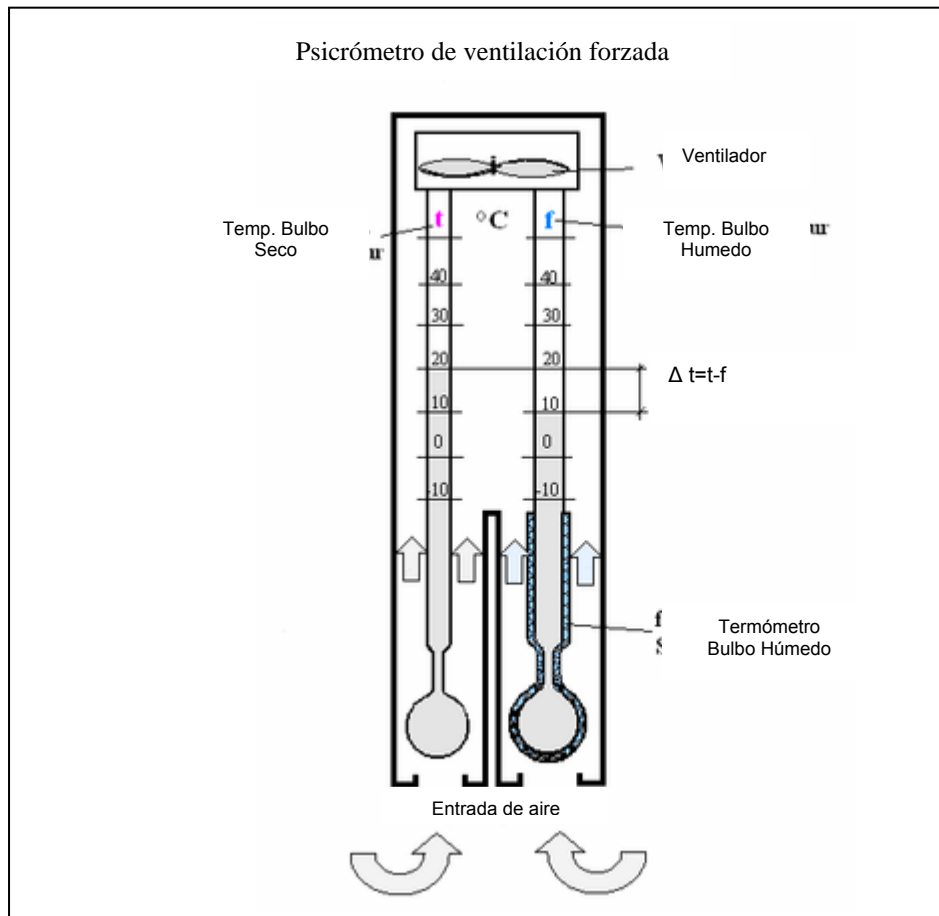
**\* Psicrómetro:**

Es un termómetro compuesto esencialmente por dos termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo, sobre los cuales el aire se hace circular. Existen los llamados de boleó:



**Fig. 3 – Psicrómetro de boleó**

y los denominados de ventilación forzada, que son los más modernos.



**Fig. 4 – Psicrómetro de Ventilación Forzada**

El termómetro de bulbo seco es un termómetro igual a los descritos anteriormente que se diferencia del de bulbo húmedo porque éste último posee el bulbo recubierto de una tela de algodón blanca humedecida con agua destilada.

En los psicrómetros con ventilador ambos termómetros están protegidos contra las radiaciones infrarrojas, teniendo además una velocidad de aire definida, lo que permite mediciones más precisas.

Con estas lecturas de temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo (psicrométrica) distinto de la temperatura de bulbo húmedo natural, se puede entrar en el Diagrama Psicrometrico. (Ver Fig. 3)

**Medición de la velocidad del aire.**

Los equipos para medir la velocidad de] aire se denominan anemómetros.

Es necesario medir esta variable cuando se requiere efectuar un estudio detallado de los factores que influyen en la carga térmica ambiental.

Los equipos más conocidos son: el anemómetro de hilo caliente, el termoanemómetro y el catatermoanemómetro. Otro equipo también usado es el anemómetro de paletas, que consiste en una especie de ventilador que es movido por las corrientes de aire.



**Fig. 5 – Anemómetro de Paletas**

Un sistema mecánico indica la velocidad del aire, anteriormente en forma directa y actualmente en forma electrónica.

**\* Anemómetro de hilo caliente:**

Se basa en el principio de la variación de la resistencia eléctrica de un hilo caliente con la temperatura. Si el hilo caliente forma parte de un sistema eléctrico, por ejemplo un puente Wheastone, la variación de la resistencia debida al efecto refrigerante del aire en movimiento, genera una variación de corriente eléctrica, que es registrada en un dial graduado en unidades de velocidad (m/s).

Este anemómetro posee una sonda sensora compuesta por dos espirales finos de níquel, que forma parte del puente Wheastone, el cual es alimentado por una batería.

Son instrumentos muy sensibles, y permiten obtener mediciones en un amplio rango de velocidades de aire, desde 0,05 m/s hasta 30 m/s aproximadamente, con una precisión del 2 %.

Su lectura es omnidireccional.

Este instrumento no debe emplearse en ambientes que contengan o puedan potencialmente producir gases o vapores inflamables.

**\* Termoanemómetro ( o anemómetro de termocupla)**

Es de funcionamiento análogo a los de hilo caliente, con la diferencia que la sonda está formada por una termocupla o par termoeléctrico, cuya velocidad de enfriamiento está directamente relacionada con la velocidad de la corriente de aire.

Si bien el instrumento es omnidireccional, hay que orientar la sonda hacia valores de máxima desviación del dial (lecturas máximas), a fin de obtener medidas más precisas.

Este instrumento tampoco debe emplearse en ambientes con gases o vapores inflamables o en aquellos que potencialmente los puedan contener.

Su rango de lectura está comprendido generalmente entre 0,05 m/s y 30 m/s.

**\* Catatermoanemómetro:**

En caso de existir ambientes con vapores potencialmente explosivos puede usarse un antiguo instrumento, el catatermoanemómetro.

El catatermoanemómetro es un termómetro de alcohol con un gran bulbo y un depósito en la parte superior. Presenta sólo dos marcas que se emplean para determinar el tiempo que transcurre (en segundos) en descender la columna termométrica desde la marca superior hasta la marca inferior.

Lo que se mide es el poder refrigerante del ambiente, el cual depende de la velocidad del aire, por lo que se puede determinar en forma indirecta la velocidad del aire

Es un instrumento omnidireccional y permite lecturas entre 0,05 m/s y 5 m/s. Para ambientes con fuentes de radiación infrarroja se utilizan los catatermoanemómetros de bulbo plateado.

**Determinación de la temperatura radiante media:**

La radiación emitida por un recinto puede ser directamente determinada si se conocen las dimensiones, características térmicas (temperatura, coeficiente de emisión) y la posición relativa del hombre respecto a las fuentes de calor dentro del local. En la práctica este método no es utilizable, salvo en casos muy particulares.

El concepto de temperatura radiante media permite la determinación indirecta de los intercambios por radiación entre el hombre y el recinto. La temperatura equivalente de radiación ha sido anteriormente definida como la temperatura de las paredes de un recinto virtual para el que:

- La temperatura de las paredes es uniforme.
- Las transferencias por radiación en este ambiente son iguales a las transferencias por radiación en el recinto real.

La temperatura radiante media solo podrá ser determinada por medio de dispositivos que permitan integrar en un valor medio, la radiación; generalmente heterogénea procedente de las paredes del recinto. Uno de tales dispositivos es el termómetro de globo.

La temperatura equivalente de radiación puede calcularse a partir de la siguiente ecuación aproximada:

$$\left[ \frac{T_m}{100} \right]^4 = 2,47v^{0,5}(t_g - t_a) + \left[ \frac{T_g}{100} \right]^4$$

La radiación de un recinto representa uno de los principales factores de carga térmica de un ambiente; una determinación incorrecta de la temperatura equivalente de radiación puede conducir a errores importantes del balance térmico.

En caso de radiación homogénea, el globo debe situarse en el lugar que normalmente ocupa el trabajador durante su tarea, y a la altura de su pecho.

Cuando la radiación es heterogénea, la radiación a considerar es balance térmico, es la medida ponderada de las radiaciones recibidas en diferentes partes del trabajador.

La ecuación general para el cálculo de la temperatura radiante media comprende un término relativo a la velocidad del aire. Dadas las dificultades de orden práctico para determinar la velocidad del aire a nivel del globo, puede ser origen de importantes errores.

Para superar los posibles errores debidos a las defectuosas medidas de la velocidad del aire, se ha propuesto un termómetro de globo negro con un sistema de ventilación artificial incorporado.

El tiempo de respuesta del termómetro de globo es bastante elevado, particularmente cuando se utiliza como elemento sensible un termómetro de vidrio de mercurio. A título orientativo puede indicarse que, aún en los equipos más sofisticados, el tiempo de respuesta no suele ser inferior a los 15 minutos.

### **8.5 Balance térmico hombre - ambiente:**

La ecuación del balance es:  $M \pm C \pm R - V - E - D = 0$

siendo:

M: producción de calor metabólico (Cal/h)

C, R, V y E: intercambios de calor entre el cuerpo y el ambiente por convección, radiación, ventilación pulmonar y evaporación (Cal/h)

D variación del contenido de calor del cuerpo (Cal/h)

Donde:

M es siempre positivo

D puede ser positivo o negativo según que el cuerpo almacene o pierda calor, con el consiguiente aumento o disminución de su temperatura

e: es negativo en todos los casos prácticos

C y R: son positivos cuando la temperatura de la superficie del cuerpo está por debajo de la del aire y de la de las paredes respectivamente; son negativos en caso contrario

E : es positivo en los casos de interés práctico, en que el punto de rocío del aire está por debajo de la temperatura de la piel

V: puede en general despreciarse. Para el estado de régimen en que el cuerpo mantiene constante su temperatura resulta  $D = 0$

Puede escribirse en consecuencia:

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

### **Índices de carga térmica o stress térmico**

La demanda fisiológica impuesta sobre las personas que desarrollan trabajos físicos en ambientes donde la carga térmica es elevada, está condicionada por múltiples factores ambientales e individuales. Para evaluar la influencia sobre el organismo de dichos factores se utilizan los "índices de carga térmica". Con ellos se busca cuantificar mediante un valor numérico simple, la influencia del ambiente y de la actividad física en cuantos causantes de un efecto fisiológico de adaptación al calor.

*A valores iguales de un índice de carga térmica, siendo diferentes las condiciones higrotérmicas del ambiente o de la tarea, debe corresponder igual esfuerzo fisiológico, para una misma persona.*

Si el índice de carga térmica varía en un cierto sentido, el esfuerzo fisiológico debe variar también en su sentido determinado.

Los índices de carga térmica pueden obtenerse por medio de distintos procedimientos. Una de las formas más corrientes consiste en partir de la medición de algunos parámetros ambientales o básicos tal como la temperatura, humedad y velocidad del aire y la radiación térmica incidente

sobre la persona expuesta, así como la estimación del calor generado por el metabolismo.

En algunos casos dichos datos son luego procesados aplicando principios físicos fundamentales referentes al intercambio térmico entre el hombre y el ambiente. Se obtienen entonces, índices llamados "racionales".

Los índices más conocidos son el de Belding & Hatch, el Índice de Temperatura efectiva, el Índice de Sudoración Básica en Cuatro horas y el Índice Temperatura Globo Bulbo Húmedo.

Siendo este un texto dirigido a estudiantes de grado de Facultades de Ingeniería o Ciencias, sólo se presentará el índice de temperatura globo bulbo húmedo, dado que el índice adoptado por la legislación argentina.

### **8.6 Índice Temperatura Globo Bulbo Húmedo -Índice de Estrés Térmico de Validez Legal (Resolución 295/03)**

La citada resolución modifica el cálculo del Índice de Temperatura Globo Bulbo húmedo establecido por el Decreto 351/79, tomando en forma directa y textual los cambios introducidos por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist)

Se requiere un proceso de toma de decisiones como el de la Figura A. La pauta dada en la Figura 1 y la documentación relacionada con este valor límite representan las condiciones bajo las cuales se cree que casi todos los trabajadores sanos, hidratados adecuadamente y sin medicación, pueden estar expuestos repetidamente sin sufrir efectos adversos para la salud. La pauta dada no es una línea definida entre los niveles seguros y peligrosos. Se requieren el juicio profesional y un programa de gestión del estrés térmico para asegurar la protección adecuada en cada situación.

**TABLA 1**  
**Adiciones a los valores TGBH (WBGT) medidos (°C)**  
**para algunos conjuntos de ropa**

<b>Tipo de ropa</b>	<b>Adición al TGBH •</b>
Uniforme de trabajo de verano	0
Buzos de tela (material tejido)	+3,5
Buzos de doble tela	+5

Estos valores no deben utilizarse para trajes herméticos o prendas que sean impermeables o altamente resistentes al vapor de agua o al aire en movimiento de las fábricas.

TGBH: índice de temperatura de temperatura globo bulbo húmedo

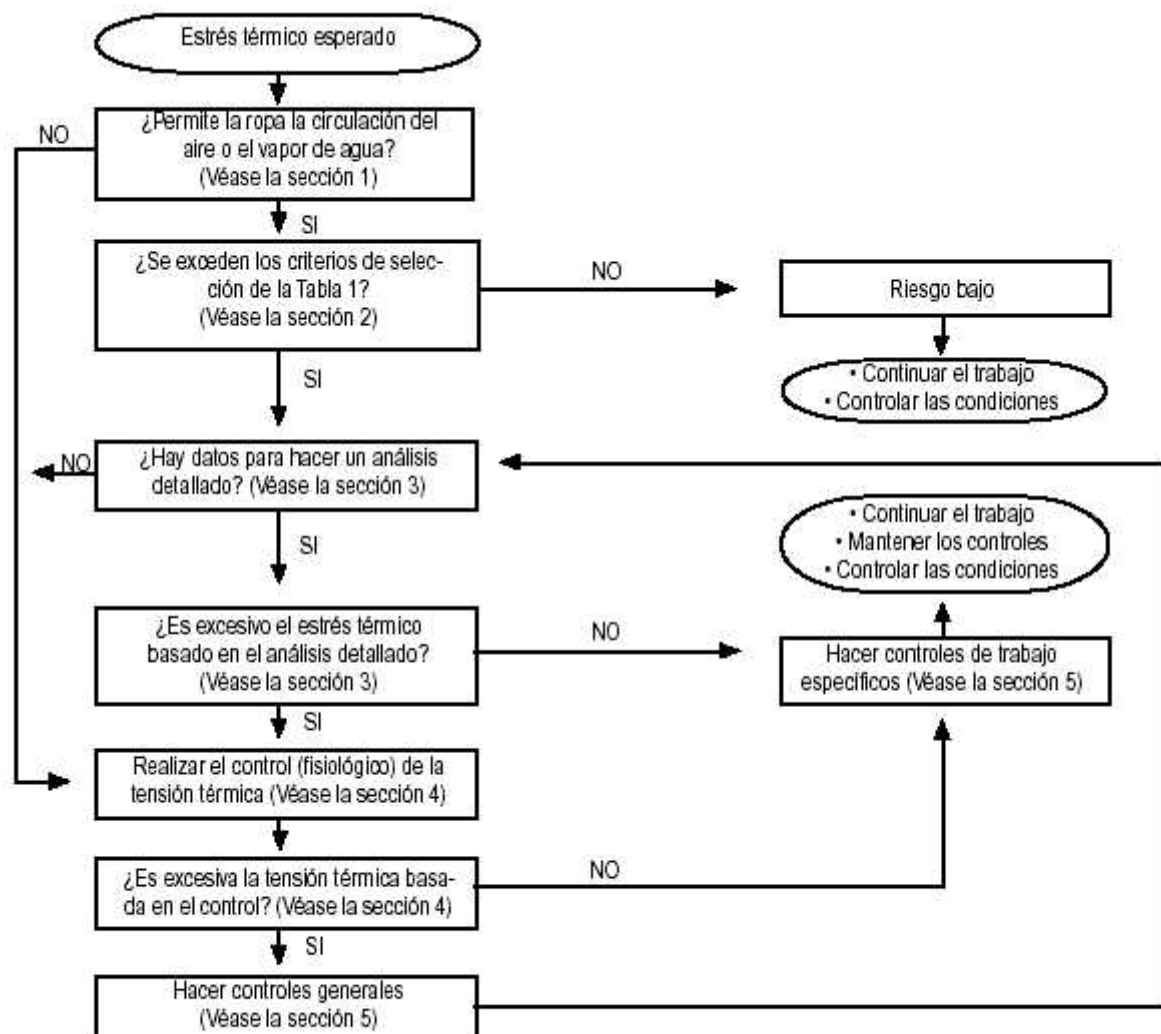
El estrés térmico es la carga neta de calor a la que un trabajador puede estar expuesto como consecuencia de las contribuciones combinadas del gasto energético del trabajo, de los factores ambientales (es decir, la temperatura del aire, la humedad, el movimiento del aire y el intercambio del calor radiante) y de los requisitos de la ropa.

Un estrés térmico medio o moderado puede causar malestar y puede afectar de forma adversa a la realización del trabajo y la seguridad, pero no es perjudicial para la salud. A medida que el estrés térmico se aproxima a los límites de tolerancia humana, aumenta el riesgo de los trastornos relacionados con el calor.

La tensión térmica es la respuesta fisiológica global resultante del estrés térmico. Los ajustes fisiológicos se dedican a disipar el exceso de calor del cuerpo.

La aclimatación es la adaptación fisiológica gradual que mejora la habilidad del individuo a tolerar el estrés térmico.

El proceso de la toma de decisión debe iniciarse si hay informes o malestar debidos al estrés térmico o cuando el juicio profesional lo indique.



## Fig. 6 – Estrés Térmico

### Sección 1: Ropa.

Idealmente, la circulación del aire frío y seco sobre la superficie de la piel potencia la eliminación del calor por evaporación y por convección. La evaporación del sudor de la piel es generalmente el mecanismo predominante de eliminación del calor.

La ropa impermeable al vapor de agua y al aire y térmicamente aislante, así como los trajes herméticos y de capas múltiples de tela restringen fuertemente la eliminación del calor. Con el impedimento de la eliminación del calor por la ropa, el calor metabólico puede ser una amenaza de tensión térmica aun cuando las condiciones ambientales se consideren frías.

La Fig. 6 lleva implícita una toma de decisión sobre la ropa y de cómo puede afectar a la pérdida de calor.

La evaluación de la exposición al calor basada en el índice TGBH se desarrolló para un uniforme de trabajo tradicional con camisa de mangas largas y pantalones.

Si la ropa que se va a utilizar está adecuadamente descrita por alguno de los conjuntos de la Tabla 1, entonces debe seguirse la línea del SI del esquema de la Fig. 6.

Si los trabajadores necesitan llevar ropa que no está descrita por ningún conjunto de la Tabla 1, entonces debe seguirse la línea del NO del esquema de la Fig. 6. Esta decisión se aplica especialmente para conjuntos de ropa que sean 1) barreras para el vapor de agua o a la circulación del aire, 2) trajes herméticos, o 3) trajes de capas múltiples. Para este tipo de conjuntos, la Tabla 2 no es un método de selección útil para determinar un umbral en las acciones de gestión del estrés térmico, y deben asumirse algunos riesgos. Debe seguirse un control fisiológico y de comportamiento como el que se describe en la Sección 4 y en la Tabla 3 para evaluar la exposición, a menos que se disponga de un método de análisis detallado adecuado a los requisitos de la ropa.

### Sección 2: Umbral de selección basado en la Temperatura húmeda - Temperatura de globo (TGBH).

La medida TGBH proporciona un índice útil del primer orden de la contribución ambiental del estrés térmico. Esta medida se ve afectada por la temperatura del aire, el calor radiante y la humedad. Como aproximación que es, no tiene en cuenta la totalidad de las interacciones entre una persona y el medio ambiente y no puede considerar condiciones especiales como el calentamiento producido por una fuente de radiofrecuencia/microondas.

Los valores TGBH (índice temperatura globo y bulbo húmedo) se calculan utilizando una de las ecuaciones siguientes:

- Con exposición directa al sol (para lugares exteriores con carga solar):

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,2 TG + 0,1 TBS$$

- Sin exposición directa al sol (para lugares interiores o exteriores sin carga solar)

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG$$

En donde:

TBH = temperatura húmeda (a veces llamada, temperatura natural del termómetro del bulbo húmedo).

TG = temperatura de globo (a veces llamada, temperatura del termómetro de globo)

TBS = temperatura del aire seco (a veces llamada, temperatura del termómetro del bulbo seco)

Dado que la medida TGBH es solamente un índice del medio ambiente, los criterios de selección han de ajustarse a las contribuciones de las demandas del trabajo continuo y a la ropa así como al estado de aclimatación.

En la Tabla 2 se dan los criterios TGBH adecuados con fines de selección.

Para los conjuntos de ropa listados en la Tabla 1, puede utilizarse la Tabla 2 cuando se hayan añadido los factores de ajuste de ropa al índice TGBH.

La aclimatación es un conjunto de adaptaciones fisiológicas, la aclimatación completa al calor requiere hasta 3 semanas de actividad física continua en condiciones de estrés térmico similares a las esperadas en el trabajo. Esta aclimatación se empieza a perder cuando la actividad en esas condiciones de estrés térmico es discontinua, teniendo lugar una pérdida evidente después de 4 días. Con el fin de aplicar los criterios de la Tabla 2, a un trabajador se le considera aclimatado cuando tiene un historial de exposiciones recientes al estrés térmico (p.e., 5 días en los últimos 7 días).

Para determinar el grado de exposición al estrés térmico deben considerarse como es el trabajo y las demandas. Si el trabajo (y el descanso) se distribuye en más de una de las situaciones que se dan en la Tabla 2, entonces se pueden utilizar los valores límites indicados en ella para comparar con el valor medio ponderado TGBH calculado.

A medida que aumenta el gasto energético, es decir, aumenta la demanda de trabajo, los valores de criterio de la tabla disminuyen, para asegurar que la mayoría de los trabajadores no sufrirán temperaturas corporales internas superiores a los 38° C. De la misma importancia es la valoración correcta del ritmo de trabajo para la evaluación medioambiental del estrés térmico.

En la Tabla 4 se dan unas pautas amplias para seleccionar la categoría del ritmo de trabajo y utilizarlas en la Tabla 2. Frecuentemente hay interrupciones de descanso naturales o recomendadas dentro de un horario de trabajo y en la Tabla 2 se dan criterios de selección para tres situaciones de trabajo y descanso.

En la Tabla 2 se dan los criterios para los valores TGBH basados en el estado de aclimatación, del gasto energético debido al trabajo y la proporción aproximada de trabajo dentro de un horario. El índice TGBH medido ponderado en el tiempo conforme a la ropa utilizada, es inferior al valor tabulado, hay que seguir la línea del NO en la Fig. 6, existiendo de esta forma poco riesgo de exposición al estrés térmico. No obstante, si se observan síntomas de trastornos relacionados con el calor como fatiga, náuseas, vértigo y mareos, entonces se debe reconsiderar el análisis.

Si las condiciones de trabajo están por encima de los criterios de la Tabla 2, entonces hay que hacer otro análisis siguiendo la línea del SI.

### **Sección 3: Análisis Detallado.**

La Tabla 2 debe utilizarse como etapa de selección. Es posible que una situación determinada pueda estar por encima de los criterios dados en la Tabla 2 y no represente una exposición inaceptable. Para resolver esta situación hay que hacer un análisis detallado.

Siempre que se disponga de la información adecuada de la ropa que se requiere para evitar los efectos del estrés térmico, el primer nivel del análisis detallado es un análisis de la tarea, que incluye el índice TGBH medio ponderado en el tiempo y el gasto energético. En la Tabla 1 se sugieren los factores de corrección para algunos tipos de ropa.

Para el segundo nivel del análisis detallado podría seguirse el modelo racional de estrés térmico de la tasa de sudoración específica (ISO 7933, 1987), de la Organización Internacional de Normalización (International Standards Organization; ISO).

Aunque un método racional (frente a los límites TGBH derivados empíricamente) es más difícil de calcular, sin embargo, permite conocer mejor las fuentes del estrés térmico, siendo a su vez un medio para valorar los beneficios de las modificaciones propuestas.

Los criterios de selección requieren un conjunto mínimo de datos para hacer una determinación. Los análisis detallados requieren más datos sobre las exposiciones.

La pregunta siguiente, de acuerdo con el esquema de la Fig. 6, es sobre la disponibilidad de los datos para el análisis detallado. Si no los hay, la línea del NO conduce a la evaluación del grado de estrés térmico a través del control fisiológico.

Si se dispone de datos, la etapa siguiente de la Figura 1 es el análisis detallado.

**TABLA 2 - Criterios de selección para la exposición al estrés térmico (Valores TGBH en C°)**

Exigencias de Trabajo	Aclimatado				Sin aclimatar			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado
<b>100% trabajo</b>	29,5	27,5	26		27,5	25	22,5	
<b>75% trabajo 25% descanso</b>	30,5	28,5	27,5		29	26,5	24,5	
<b>50% trabajo 50% descanso</b>	31,5	29,5	28,5	27,5	30	28	26,5	25
<b>25% trabajo 75% descanso</b>	32,5	31	30	29,5	31	29	28	26,5

Notas:

- Véase la tabla 3
- Los valores TGBH están expresados en °C y representan los umbrales próximos al límite superior de la categoría del gasto energético.
- Si los ambientes en las zonas de trabajo y descanso son diferentes, se debe calcular y utilizar el tiempo medio horario ponderado. Este debe usarse también para cuando hay variación en las demandas de trabajo entre horas.
- Los valores tabulados se aplican en relación con la sección de "régimen de trabajo - descanso", asimilándose 8 horas de trabajo al día en 5 días a la semana con descansos convencionales.
- No se dan valores de criterio para el trabajo continuo y para el trabajo con hasta un 25% de descanso en una hora, porque la tensión fisiológica asociada con el trabajo "muy pesado" para los trabajadores menos acostumbrados es independiente del índice TGBH. No se recomiendan criterios de selección y se debe realizar un análisis detallado y/o control fisiológico.

**TABLA 3. Ejemplos de actividades  
dentro de las categorías de gasto energético**

Categorías	Ejemplos de actividades
Reposada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sentado sosegadamente.</li> <li>- Sentado con movimiento moderado de los brazos.</li> </ul>
Ligera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sentado con movimientos moderados de brazos y piernas.</li> <li>- De pie, con un trabajo ligero o moderado en una máquina o mesa utilizando principalmente los brazos.</li> <li>- Utilizando una sierra de mesa.</li> <li>- De pie, con trabajo ligero o moderado en una máquina o banco y algún movimiento a su alrededor.</li> </ul>
Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar estando de pie.</li> <li>- Levantar o empujar moderadamente estando en movimiento.</li> <li>- Andar en llano a 6 Km/h llevando 3 Kg de peso.</li> </ul>
Pesada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carpintero aserrando a mano.</li> <li>- Mover con una pala tierra seca.</li> <li>- Trabajo fuerte de montaje discontinuo.</li> <li>- Levantamiento fuerte intermitente empujando o tirando (p.e. trabajo con pico y pala).</li> </ul>
Muy pesada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mover con una pala tierra mojada</li> </ul>

Si la exposición no excede los criterios para el análisis detallado oportuno (p.e. análisis del TGBH, otro método empírico o un método racional), entonces se puede seguir la línea del NO. Los controles generales del estrés térmico son adecuados para cuando se han superado los criterios de la Tabla 2.

Los controles generales incluyen el entrenamiento de los trabajadores y supervisores, prácticas de higiene del estrés térmico y la vigilancia médica. Si la exposición excede los límites en el análisis detallado, la línea del SI conduce al control fisiológico como única alternativa para demostrar que se ha proporcionado la protección adecuada.

#### **TABLA 4. Pautas para restringir la tensión térmica.**

*El control de los signos y síntomas de los trabajadores estresados por el calor es una buena práctica de la higiene industrial, especialmente cuando la ropa de trabajo puede disminuir la eliminación del calor significativamente. Con fines de vigilancia, cuando un prototipo de trabajadores excede los límites, es un índice de la necesidad de controlar las exposiciones. Sobre una base individual, los límites representan el tiempo de cese de una exposición hasta que la recuperación es completa.*

*La tensión térmica excesiva puede estar marcada por una o más de las medidas siguientes, debiendo suspenderse la exposición individual a ésta cuando ocurra alguna de las situaciones que se indican:*

- *Mantenimiento (durante varios minutos) del pulso cardíaco por encima de 180 pulsaciones por minuto, restada la edad en años del individuo (180 - edad) para personas con una valoración normal de la función cardíaca, o*
- *La temperatura corporal interna sea superior a los 38,5°C (101,3°F) para el personal seleccionado médicamente y aclimatado o superior a los 38°C (100,4°F) para los trabajadores no seleccionados y sin aclimatar, o*
- *La recuperación del pulso cardíaco en un minuto después de un trabajo con esfuerzo máximo es superior a las 110 pulsaciones por minuto, o*
- *Hay síntomas de fatiga fuerte y repentina, náuseas, vértigo o mareos.*

*Un individuo puede estar en mayor riesgo si:*

- *Mantiene una sudoración profusa durante horas, o*
- *La pérdida de peso en una jornada laboral es superior al 1,5% del peso corporal, o*
- *La excreción urinaria de sodio en 24 horas es inferior a 50 mmoles.*

*Si un trabajador parece estar desorientado o confuso, o sufre una irritabilidad inexplicable, malestar o síntomas parecidos al de la gripe, debe ser retirado a un lugar de descanso fresco con circulación rápida de aire y permanecer en observaciones por personal cualificado. Puede ser necesario una atención inmediata de emergencia. Si la sudoración se interrumpe y la piel se vuelve caliente y seca, es esencial una atención de emergencia inmediata, seguida de la hospitalización.*

**Sección 4: Tensión Térmica.** El riesgo y la severidad de la tensión térmica excesiva varía ampliamente entre las personas aún en condiciones idénticas de estrés térmico. Las respuestas fisiológicas normales al estrés térmico dan la oportunidad para controlar la tensión térmica entre los trabajadores y para

utilizar esta información para valorar el nivel de la tensión térmica presente en el personal, para controlar las exposiciones y para valorar la eficacia de los controles implantados.

En la Tabla 4 se dan las pautas de los límites aceptables para la tensión térmica.

Con niveles aceptables de tensión térmica se sigue la línea del NO en la Figura 1. No obstante, los controles generales son necesarios aunque la tensión térmica entre los trabajadores se considere aceptable en el tiempo. Además, debe continuarse con el control fisiológico periódico para asegurar niveles aceptables de la tensión térmica.

Si durante la evaluación fisiológica se encuentra restricción a la tensión térmica, entonces se puede seguir la línea del SI. Esto significa que debe considerarse los controles de trabajo específicos adecuados y realizarse con amplitud suficiente el control de la tensión térmica. Los controles de trabajo específico incluyen los de ingeniería, los administrativos y los de protección personal.

Después de realizar los controles de trabajo específicos, es necesario evaluar su eficiencia y ajustarlos si fuera necesario. El árbol de decisiones de la Figura 1 vuelve a la etapa del análisis detallado y en ausencia de información detallada el único método que asegura la protección es volver al control fisiológico.

Sección 5: Gestión del estrés térmico y controles. El requisito para iniciar un programa de gestión del estrés térmico está marcado por 1) los niveles del estrés térmico que excedan los criterios de la Tabla 2 ó 2) los conjuntos de ropa de trabajo que restrinjan la eliminación del calor. En cualquier caso, los trabajadores deben estar cubiertos por los controles generales (Véase Tabla 5).

Las prácticas de higiene del estrés térmico son particularmente importantes porque reducen el riesgo de que un individuo pueda sufrir alteraciones relacionadas con el calor. Los elementos clave son la reposición del líquido, la autodeterminación de las exposiciones, el control del estado de salud, el mantenimiento de un estilo de vida saludable y el ajuste de las expectativas basado en el estado de aclimatación. Las prácticas de higiene requieren la plena cooperación de la supervisión y de los trabajadores.

Además de los controles generales, frecuentemente se requieren los controles de trabajo específicos adecuados para proporcionar la protección adecuada.

En la consideración de los controles de trabajo específicos, la Tabla 2, junto con las Tablas 1 y 3, proporcionan la estructura para apreciar las interacciones entre el estado de aclimatación, el gasto energético, los ciclos de trabajo/descanso y la ropa de trabajo.

Entre los controles administrativos, la Tabla 4 da los límites fisiológicos y de comportamientos aceptables. La mezcla de los controles de trabajo específico sólo pueden seleccionarse y realizarse después de una revisión de las demandas y restricciones de cada situación en particular. Una vez realizados, debe confirmarse su eficiencia y mantener los controles.

En todos los casos, el objetivo principal de la gestión del estrés térmico es prevenir el golpe de calor, que es una amenaza para la vida y la alteración más grave relacionada con el calor.

La víctima del golpe de calor suele ser maníaca, está desorientada, despistada, delirante o inconsciente. La piel de la víctima está caliente y seca, el sudor ha cesado y la temperatura es superior a los 40° C (104° F). Si se manifiestan los signos del golpe de calor son esenciales la asistencia

de urgencia adecuada y la hospitalización. El tratamiento rápido de otras alteraciones relacionadas con el calor, generalmente da lugar a la recuperación total, aunque se debería solicitar el consejo médico para el tratamiento y vuelta a las tareas del trabajo. Vale la pena hacer notar que la posibilidad de accidentes y lesiones aumentan con el nivel del estrés térmico.

El aumento prolongado de la temperatura corporal interna y las exposiciones crónicas a niveles elevados de estrés térmico, están asociadas con otras alteraciones tales como la infertilidad temporal (para hombres y mujeres), elevado pulso cardíaco, perturbación del sueño, fatiga e irritabilidad. Durante el primer trimestre de embarazo, mantener una temperatura corporal superior a los 39° C puede poner en peligro al feto.

#### **TABLA 5. Pautas para gestionar el estrés térmico**

Controlar el estrés térmico (por ejemplo con los criterios de selección del TGBH) y la tensión (Tabla 5) para confirmar que el control es adecuado.

##### **Controles Generales**

- Dar instrucciones verbales y escritas exactas, programas de adiestramiento frecuentes y demás información acerca del estrés térmico y la tensión térmica.
- Fomentar beber pequeños volúmenes (aproximadamente un vaso) de agua fría, paladeándola, cada 20 minutos.
- Permitir la autolimitación de las exposiciones y fomentar la observación, con la participación del trabajador, de la detección de los signos y síntomas de la tensión térmica en los demás.
- Aconsejar y controlar a aquellos trabajadores que estén con medicación que pueda afectar a la normalidad cardiovascular, a la tensión sanguínea, a la regulación de la temperatura corporal, a las funciones renal o de las glándulas sudoríparas, y a aquellos que abusen o estén recuperándose del abuso del alcohol o de otras intoxicaciones.
- Fomentar estilos de vida sana, peso corporal ideal y el equilibrio de los electrolitos.
- Modificar las expectativas para aquellos que vuelven al trabajo después de no haber estado expuestos al calor, y fomentar el consumo de alimentos salados (con la aprobación del médico en caso de estar con una dieta restringida en sal).
- Considerar previamente la selección médica para identificar a los que sean susceptibles al daño sistémico por el calor.

##### **Controles de trabajo específicos**

- Considerar entre otros, los controles de ingeniería que reducen el gasto energético, proporcionan la circulación general del aire, reducen los procesos de calor y de liberación del vapor de agua y apantallan las fuentes de calor radiante.
- Considerar los controles administrativos que den tiempos de exposición aceptables, permitir la recuperación suficiente y limitar la tensión fisiológica.
- Considerar la protección personal que está demostrado que es eficaz para las prácticas del trabajo y las condiciones de ubicación.
- No desatender NUNCA los signos o síntomas de las alteraciones relacionadas con el calor.

#### **Protecciones de Ingeniería para control del Calor**

Los siguientes procedimientos son aplicables al control ambiental con el fin de reducir la carga de calor:

- \* Reducción de la emisión de las fuentes mediante la aislación o pintado de superficies calientes (calderas, hornos, cañerías de vapor, etc.).

- \* Ventilación local por extracción natural o forzada sobre cuerpos calientes (reducen sólo la transmisión de calor por convección) o sobre procesos que agregan vapor de agua al aire. Ingreso localizado de aire fresco sobre el personal.

- \* Uso de pantallas reflectoras (generalmente de aluminio) o pantallas absorbentes para proteger a los operarios del calor radiante. Estas últimas se construyen en chapas múltiples de acero, separadas por aire o refrigeradas por agua.

- \* Ventilación general: el aire fresco que ingresa debe alcanzar a las personas antes de entrar en contacto con cuerpos calientes.

Aislación de operarios en cabinas ventiladas o refrigeradas

Uso de ropas reflectoras de aluminio, y para cortas exposiciones, uso de trajes de aluminio y amianto, o ventilados.

La refrigeración general de ambientes industriales no es, en general, económicamente factible. Tampoco lo es la reducción del grado de humedad; deben si, evitarse las fugas de vapor en los procesos que puedan liberarlo. El aumento de la velocidad del aire directamente sobre las personas, puede ser contraproducente, por requerir una mayor demanda fisiológica, al aumentar el calor por convección cuando la temperatura del aire es superior a la de la piel; si además, todo el sudor producido es evaporado, no se obtiene beneficio con el aumento de la capacidad [potencia] de vaporización.

El control de las personas expuestas puede realizarse mediante la medición de índices fisiológicos. El método de recuperación del pulso es de aplicación práctica y el mantenimiento del balance de agua y de sal es imprescindible. Otros aspectos de importancia son el entrenamiento, y la adopción de horarios de trabajo adecuados.

## 8.7 Efectos del Frío sobre el Hombre -Estrés por frío

Los valores límite (TLVs) para el estrés por frío están destinados a proteger a los trabajadores de los efectos más graves tanto del estrés por frío (hipotermia) como de las lesiones causadas por el frío, y a describir las condiciones de trabajo con frío por debajo de las cuales se cree que se pueden exponer repetidamente a casi todos los trabajadores sin efectos adversos para la salud. El objetivo de los valores límite es impedir que la temperatura interna del cuerpo descienda por debajo de los 36°C (96,8°F) y prevenir las lesiones por frío en las extremidades del cuerpo. La temperatura interna del cuerpo es la temperatura determinada mediante mediciones de la temperatura rectal con métodos convencionales. Para una sola exposición ocasional a un ambiente frío, se debe permitir un descenso de la temperatura interna hasta 35°C (95°F) solamente. Además de las previsiones para la protección total del cuerpo, el objetivo de los valores límite es proteger a todas las partes del cuerpo y, en especial, las manos, los pies y la cabeza de las lesiones por frío.

Entre los trabajadores, las exposiciones fatales al frío han sido casi siempre el resultado de exposiciones accidentales, incluyendo aquellos casos en que no se puedan evadir de las bajas temperaturas ambientales o de las de la inmersión en agua a baja temperatura. El único aspecto más importante de la hipotermia que constituye una amenaza para la vida, es el descenso de la temperatura interna del cuerpo. En la Tabla 1 se indican los síntomas clínicos que presentan las víctimas de hipotermia. A los trabajadores se les debe proteger de la exposición al frío con objeto de que la temperatura interna no descienda por debajo de los 36° C (96,8° F). Es muy probable que las temperaturas corporales inferiores tengan por resultado la reducción de la actividad mental, una menor capacidad para la toma racional de decisiones, o la pérdida de la consciencia, con la amenaza de fatales consecuencias.

Sentir dolor en las extremidades puede ser el primer síntoma o aviso de peligro ante el estrés por frío. Durante la exposición al frío, se tiritita al máximo cuando la temperatura del cuerpo ha descendido a 35°C (95°F), lo cual hay que tomarlo como señal de peligro para los trabajadores, debiendo ponerse término de inmediato a la exposición al frío de todos los trabajadores cuando sea evidente que comienzan a tiritar. El trabajo físico o mental útil está limitado cuando se tiritita fuertemente. Cuando la exposición prolongada al aire frío o a la inmersión en agua fría a temperaturas muy por encima del punto de congelación pueda conducir a la peligrosa hipotermia, hay que proteger todo el cuerpo.

TABLA 1

Situaciones clínicas progresivas de la hipotermia\*

Temperatura interna		
°C	°F	Síntomas clínicos
37,6	99,6	Temperatura rectal normal.
37	98,6	Temperatura oral normal.
36	96,8	La relación metabólica aumenta en un intento de compensar la pérdida de calor.
35	95,0	Tiritones de intensidad máxima.
34	93,2	La víctima se encuentra consciente y responde; tiene la presión arterial normal.
33	91,4	Fuerte hipotermia por debajo de esta temperatura.
32	89,6	Consciencia disminuida; la tensión arterial se hace difícil determinar; las pupilas están dilatadas aunque reaccionan a la luz; se deja de tiritar.
31	87,8	
30	86,0	Pérdida progresiva de la consciencia; aumenta la rigidez muscular; resulta difícil determinar el pulso y la presión arterial; disminuye la frecuencia respiratoria.
29	84,2	
28	82,4	Possible fibrilación ventricular con irritabilidad miocárdica.
27	80,6	Cesa el movimiento voluntario; las pupilas no reaccionan a la luz; ausencia de reflejos tendinosos profundos y superficiales.
26	78,8	La víctima está consciente en pocos momentos.
25	77,0	Se puede producir fibrilación ventricular espontáneamente.
24	75,2	Edema pulmonar.
22	71,6	Riesgo máximo de fibrilación ventricular
21	69,8	
20	68,0	Parada cardíaca.
18	64,4	Hipotermia accidental más baja para recuperar a la víctima.
17	62,6	Electroencefalograma isoelectrico.
9	48,2	Hipotermia más baja simulada por enfriamiento para recuperar al paciente.

1. Hay que proveer a los trabajadores de ropa aislante seca adecuada para mantener la temperatura del cuerpo por encima de los 36°C (96,8°F) si el trabajo se realiza a temperaturas del aire inferiores a 4°C (40°F). Son factores críticos la relación de enfriamiento y el poder de refrigeración del aire. La relación de enfriamiento del aire se define como la pérdida de calor del cuerpo expresados en vatios por metro cuadrado y es una función de la temperatura del aire y de la velocidad del viento sobre el cuerpo expuesto. Cuanto mayor sea la velocidad del viento y menor la temperatura del área de trabajo, mayor será el valor de aislamiento de la ropa protectora exigida. En la Tabla 2 se da una gráfica de temperaturas equivalentes de enfriamiento en la que se relacionan la temperatura del aire medida con termómetro de bulbo seco y de la velocidad del viento. La temperatura equivalente de enfriamiento se debe usar al estimar el efecto combinado de refrigeración del viento y de las bajas temperaturas del aire sobre la piel expuesta o al determinar los requisitos de aislamiento de la ropa para mantener la temperatura interna del cuerpo.

2. Salvo que concurren circunstancias excepcionales o extenuantes, no es probable que, sin la aparición de los síntomas iniciales de la hipotermia, se produzcan lesiones por el frío en otras partes del cuerpo que no sean las manos, los pies o la cabeza. Los trabajadores de más edad o aquellos que tienen problemas circulatorios, requieren especial protección preventiva contra las lesiones por frío. Entre las precauciones especiales que se deben tomar en consideración, figuran el uso de ropa aislante adicional y/o la reducción de la duración del período de exposición. Las medidas preventivas a tomar dependerán del estado físico del trabajador, debiendo

determinárselas con el asesoramiento de un médico que conozca los factores de estrés por frío y el estado clínico del trabajador.

### Evaluación y control

En cuanto a la piel, no se debe permitir una exposición continua cuando la velocidad del viento y la temperatura den por resultado una temperatura equivalente de enfriamiento de  $-32^{\circ}\text{C}$  ( $25,6^{\circ}\text{F}$ ). La congelación superficial o profunda de los tejidos locales se producirá solamente a temperaturas inferiores a  $-1^{\circ}\text{C}$  ( $30,2^{\circ}\text{F}$ ), con independencia de la velocidad del viento. A temperaturas del aire de  $2^{\circ}\text{C}$  ( $35,6^{\circ}\text{F}$ ) o menos, es imperativo que a los trabajadores que lleguen a estar sumergidos en agua o cuya ropa se mojó, se les permita cambiarse de ropa inmediatamente y se les trate de hipotermia.

**TABLA 2**  
**Poder de enfriamiento del viento sobre el cuerpo expuesto**  
**expresado como temperatura equivalente**  
**(en condiciones de calma)\***

Velocidad estimada del viento (Km/h)	Lectura de la temperatura real ( $^{\circ}\text{C}$ )											
	10	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40	-46	-51
TEMPERATURA EQUIVALENTE DE ENFRIAMIENTO ( $^{\circ}\text{C}$ )												
en calma	10	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40	-46	-51
8	9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-38	-44	-49	-56
16	4	-2	-9	-16	-23	-31	-36	-43	-50	-57	-64	-71
24	2	-6	-13	-21	-28	-36	-43	-50	-58	-65	-73	-80
32	0	-8	-16	-23	-32	-39	-47	-55	-63	-71	-79	-85
40	-1	-9	-18	-26	-34	-42	-51	-59	-67	-76	-83	-92
48	-2	-11	-19	-28	-36	-44	-53	-61	-70	-78	-87	-96
56	-3	-12	-20	-29	-37	-46	-55	-63	-72	-81	-89	-98
64	-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-65	-73	-82	-91	-100
(Las velocidades del viento superiores a 64 Km/h tienen pocos efectos adicionales.)	<b>POCO PELIGROSO</b>				<b>PELIGRO CRECIENTE</b>				<b>GRAN PELIGRO</b>			
	En < horas con la piel seca. Peligro máximo de fasa sensación de seguridad.				peligro de que el cuerpo expuesto se congele en un minuto.				El cuerpo se puede congelar en 30 segundos.			
En cualquier punto de este gráfico se pueden producir el pie de trinchera y el pie de inmersión.												

\* Desarrollado por el Instituto de Investigación de Medicina del Medio Ambiente del Ejército de los EEUU, de Natick, MA.

Temperatura equivalente de enfriamiento que requiere ropa seca para mantener la temperatura del cuerpo por encima de  $36^{\circ}\text{C}$  ( $96,8^{\circ}\text{F}$ ) por TLV del estrés por frío.

En la Tabla 3 se indican los límites recomendados para trabajadores vestidos de manera apropiada durante períodos de trabajo a temperaturas por debajo del punto de congelación.

Para conservar la destreza manual para prevenir accidentes, se requiere una protección especial de las manos.

1. Si hay que realizar trabajo de precisión con las manos al descubierto durante más de 10-20 minutos en un ambiente por debajo de los  $16^{\circ}\text{C}$  ( $60,8^{\circ}\text{F}$ ), se deberán tomar medidas especiales para que los trabajadores puedan mantener las manos calientes, pudiendo utilizarse para este fin chorros de aire caliente, aparatos de calefacción de calor radiante (quemadores de fuel-oil o radiadores eléctricos) o placas de contacto calientes. A temperaturas por debajo de  $-1^{\circ}\text{C}$  ( $30,2^{\circ}\text{F}$ ), los mangos metálicos de las herramientas y las barras de control se recubrirán de material aislante térmico.

2. Si la temperatura del aire desciende por debajo de los  $16^{\circ}\text{C}$  ( $60,8^{\circ}\text{F}$ ) para trabajo sedentario,  $4^{\circ}\text{C}$  ( $39,2^{\circ}\text{F}$ ) para trabajo ligero y  $-7^{\circ}\text{C}$  ( $19,4^{\circ}\text{F}$ ) para trabajo moderado, sin que se requiera destreza manual, los trabajadores usarán guantes.

Para impedir la congelación por contacto, los trabajadores deben llevar guantes anticontacto.

1. Cuando estén al alcance de la mano superficies frías a una temperatura por debajo de los  $-7^{\circ}\text{C}$  ( $19,4^{\circ}\text{F}$ ), el supervisor deberá avisar a cada trabajador para que evite que la piel al descubierto entre en contacto con esas superficies de manera inadvertida.

2. Si la temperatura del aire es  $-17,5^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ) o inferior, las manos se deben proteger con manoplas. Los mandos de las máquinas y las herramientas para uso en condiciones de frío deben estar diseñadas de manera que se puedan manejar o manipular sin quitarse las manoplas.

Si el trabajo se realiza en un medio ambiente a o por debajo de  $4^{\circ}\text{C}$  ( $39,2^{\circ}\text{F}$ ), hay que proveer protección corporal total o adicional. Los trabajadores llevarán ropa protectora adecuada para el nivel de frío y la actividad física cuando:

1. Si la velocidad del aire en el lugar del trabajo aumenta por el viento, corrientes o equipo de ventilación artificial, el efecto de enfriamiento por el viento se reducirá protegiendo (apantallando) la zona de trabajo o bien usando una prenda exterior de capas cortaviento fácil de quitar.

2. Si el trabajo en cuestión solamente es ligero y la ropa que lleva puesta el trabajador puede mojarse en el lugar de trabajo, la capa exterior de la ropa que se use puede ser de un tipo impermeable al agua. Con trabajo más fuerte en tales condiciones, la capa exterior debe ser hidrófuga, debiendo el trabajador cambiarse de ropa exterior cuando ésta se moje. Las prendas exteriores han de permitir una fácil ventilación con el fin de impedir que las capas internas se mojen con el sudor. Si se realiza trabajo a temperaturas normales o en un medio ambiente caluroso antes de entrar en la zona fría, el empleado se asegurará de que las ropas no están húmedas a consecuencia del sudor. Si tiene la ropa húmeda, el empleado se deberá cambiar y ponerse ropa seca antes de entrar en la zona fría. Los trabajadores se cambiarán a intervalos diarios regulares de medias y de todas las plantillas de fieltro que se puedan quitar, o bien usarán botas impermeables que eviten la absorción de la humedad. La frecuencia óptima de cambio de ropa se determinará de manera empírica, variando con el individuo y según el tipo de calzado que se use y la cantidad de sudoración de los pies del individuo.

3. Si no es posible proteger suficientemente las áreas expuestas del cuerpo para impedir la sensación de frío excesivo o congelación, se deben proporcionar artículos de protección provistos de calor auxiliar.

4. Si la ropa de que se dispone no dispensa protección adecuada para impedir la hipotermia o la congelación, el trabajo se modificará o suspenderá hasta que se proporcione ropa adecuada o mejoren las condiciones meteorológicas.

5. Los trabajadores que manipulen líquidos evaporables (gasolina, alcohol o fluidos limpiadores) a temperaturas del aire por debajo de los  $4^{\circ}\text{C}$  ( $39,2^{\circ}\text{F}$ ), adoptarán precauciones especiales para evitar que la ropa o los guantes se empapen de esos líquidos, por el peligro adicional, de lesiones por frío debidas al enfriamiento por evaporación. De manera especial, se debe tomar nota de los efectos particularmente agudos de las salpicaduras de "fluidos criogénicos" o de aquellos líquidos que tienen el punto de ebullición justamente por encima de la temperatura ambiente.

**TABLA 3. TLVs para el plan de trabajo/calentamiento para un turno de cuatro horas\***

Temperatura del aire Cielo despejado		Sin viento apreciable		Viento de 8 km/h.		Viento de 16 km/h.		Viento de 24 km/h.		Viento de 32 km/h.	
°C (aprox.)	°F (aprox.)	Período de trabajo máximo	N.º de interrupciones	Período de trabajo máximo	N.º de interrupciones	Período de trabajo máximo	N.º de interrupciones	Período de trabajo máximo	N.º de interrupciones	Período de trabajo máximo	N.º de interrupciones
De -26° a -28°	De -15° a -19°	(Interrupciones normales)	1	(Interrupciones normales)	1	75 minutos	2	55 minutos	3	40 minutos	4
De -29° a -31°	De -20° a -24°	(Interrupciones normales)	1	75 minutos	2	55 minutos	3	40 minutos	4	30 minutos	5
De -32° a -34°	De -25° a -29°	75 minutos	2	55 minutos	3	40 minutos	4	30 minutos	5	El trabajo que no sea de emergencia, deberá cesar	
De -35° a -37°	De -30° a -34°	55 minutos	3	40 minutos	4	30 minutos	3	El trabajo que no sea de emergencia, deberá cesar			
De -38° a -39°	De -35° a -39°	40 minutos	4	30 minutos	5	El trabajo que no sea de emergencia, deberá cesar					
De -40° a -42°	De -40° a -44°	30 minutos	5	El trabajo que no sea de emergencia, deberá cesar							
-43° e inferior	-45° e inferior	El trabajo que no sea de emergencia, deberá cesar		↓		↓		↓		↓	

\* Adaptado de la División de Seguridad e Higiene en el Trabajo, del Departamento de Trabajo de Saskatchewan.

### *Notas respecto a la Tabla 3*

1. El plan se aplica a cualquier jornada de trabajo de 4 horas con una actividad de moderada a fuerte, con períodos de reanimación de diez (10) minutos en lugares templados y con períodos de interrupción prorrogados (p.e. tiempo de comida) al final de la jornada de 4 horas en los lugares templados. Para trabajo entre ligero y moderado (movimiento físico limitado), se debe aplicar el plan en un escalón inferior. Así, por ejemplo, a  $-35^{\circ}\text{C}$  ( $-30^{\circ}\text{F}$ ) sin viento apreciable (etapa 4), el trabajador que se encuentre realizando una tarea con poco movimiento físico debe tener un período máximo de trabajo de 40 minutos con 4 interrupciones en un período de 4 horas (etapa 5).

2. Si no se dispone de información precisa se sugiere lo siguiente a título de guía para estimar la velocidad del viento:

8 km/h: se mueve una bandera liviana.

16 km/h: bandera liviana, plenamente extendida.

24 km/h: levanta una hoja de periódico.

32 km/h: el viento amontona nieve.

3. Si solamente se conoce el índice de refrigeración por enfriamiento por el viento, una regla empírica aproximada para aplicarla en lugar de los factores de temperatura y velocidad del viento expresado anteriormente sería: 1) al producirse un enfriamiento por el viento de  $1.750\text{ W/m}^2$ , aproximadamente, se deben iniciar interrupciones especiales para que los trabajadores se calienten; 2) al producirse o antes de producirse un enfriamiento por el viento de  $2.250\text{ W/m}^2$ , debe haber cesado todo el trabajo que no sea de emergencia. En general, el plan o programa de calentamiento que antecede compensa ligeramente por defecto el viento a temperaturas más calurosas, dando por supuestos la aclimatación y el uso de ropa apropiada para trabajar en invierno. Por otro lado, el cuadro compensa ligeramente por exceso las temperaturas reales en las escalas más frías, porque raramente predomina el viento a temperaturas extremadamente bajas.

4. Los valores límite son aplicables solamente para trabajadores con ropa seca.

### **Régimen de calentamiento en el trabajo**

Si el trabajo se realiza a la intemperie de manera continuada a una temperatura equivalente de enfriamiento (TEE) de o por debajo de  $-7^{\circ}\text{C}$  ( $19,4^{\circ}\text{F}$ ), en las proximidades se dispondrán refugios de calentamiento provistos de calefacción (tiendas de campaña, cabañas o cabinas, salas de descanso, etc.) y a los trabajadores se les deberá animar a usar estos refugios a intervalos regulares, dependiendo su frecuencia del grado de intensidad de la exposición ambiental. El empezar a tiritar fuertemente, la congelación en menor grado (principio de congelación), la sensación de fatiga excesiva, la somnolencia, la irritabilidad o la euforia, son indicios de que se debe volver al refugio inmediatamente. Al entrar al refugio provisto de calefacción, los trabajadores deberán quitarse las prendas exteriores y aflojarse el resto de la ropa para permitir la evaporación del sudor; en caso contrario, deberán cambiarse y ponerse ropa de trabajo seca. Cuando sea

necesario, se preverá que los trabajadores se cambien de ropa poniéndose otras prendas de trabajo secas con el objeto de que vuelvan al trabajo con ropa húmeda. La deshidratación o la pérdida de fluidos del cuerpo se producen insidiosamente en el medio ambiente frío y pueden aumentar la susceptibilidad del trabajador a las lesiones por frío como consecuencia de un cambio significativo en el flujo de sangre que va a las extremidades. En el lugar de trabajo se debe proporcionar sopas y bebidas dulces calientes para procurar la admisión calórica y el volumen de fluidos. Por sus efectos diuréticos y circulatorios, se debe limitar la toma de café.

Para los trabajos a una temperatura equivalente de enfriamiento (TEE) de o por debajo de  $-12^{\circ}\text{C}$  ( $10,4^{\circ}\text{F}$ ) se aplicará lo siguiente:

1. El trabajador estará constantemente en observación a efectos de protección (sistema de parejas o supervisión).
2. El ritmo de trabajo no debe ser tan elevado que haga sudar fuertemente, lo que daría lugar a que la ropa se humedeciera. Si hay que hacer un trabajo pesado, deben establecerse períodos de descanso en refugios provistos de calefacción, dando a los trabajadores oportunidad para que se cambien y pongan ropa seca.
3. A los empleados de nuevo ingreso no se les exigirá, en los primeros días, que trabajen la jornada completa expuestos al frío hasta que se acostumbren a las condiciones de trabajo y la vestimenta protectora que se requiera.
4. Al calcular el rendimiento laboral exigido y los pesos que deberá levantar el trabajador, se incluirán el peso y el volumen de la ropa.
5. El trabajo se dispondrá de tal manera que la permanencia de pie o sentando completamente quieto se reduzca al mínimo. No se usarán sillas metálicas con asientos desprovistos de protección. Al trabajador se le debe proteger de las corrientes cuanto sea posible.
6. A los trabajadores se les instruirá en los procedimientos de seguridad y sanidad. El programa de formación incluirá, como mínimo, instrucción en:
  - a) Procedimientos apropiados de entrada en calor de nuevo y tratamiento adecuado de primeros auxilios.
  - b) Uso de ropa adecuada.
  - c) Hábitos apropiados de comidas y bebidas.
  - d) Reconocimiento de la congelación, inminente.
  - e) Reconocimiento de las señales y los síntomas de hipotermia inminente o enfriamiento excesivo del cuerpo, aun cuando no se llegue a tiritar.
  - f) Prácticas de trabajo seguro

### **Recomendaciones especiales sobre el lugar de trabajo**

Los requisitos especiales de diseño de las cámaras frigoríficas incluyen lo siguiente:

- 1) En las cámaras frigoríficas, la velocidad del aire se debe minimizar cuando sea posible, no sobrepasando el valor de 1 metro/segundo (200fpm) en el lugar de trabajo, lo cual se puede conseguir mediante sistemas de distribución de aire diseñados de manera apropiada.
- 2) Se proveerá ropa especial de protección contra el viento, sobre la base de velocidades del aire a que estén expuestos los trabajadores.

Al trabajar sustancias tóxicas y cuando los trabajadores estén expuestos a vibración, se deberá tomar precauciones especiales. La exposición al frío puede exigir unos límites de exposición más bajos.

A los trabajadores que realicen su trabajo a la intemperie en terreno cubierto de nieve y/o hielo, se les proporcionará protección para los ojos. Cuando haya una gran extensión de terreno cubierto por la nieve y que origine un

riesgo potencial de exposición ocular, se requerirán elementos - anteojos especiales de seguridad para protegerse de la luz ultravioleta y el resplandor (que pueden producir conjuntivitis y/o pérdida de visión temporales), así como de los cristales de hielo.

Se requiere que el lugar de trabajo se supervise de la siguiente manera:

1. En todo lugar de trabajo en el que la temperatura ambiental esté por debajo de los 16°C (60,8°F), se deberá disponer de termometría adecuada para hacer posible el cumplimiento general de los requisitos de que se mantengan los valores límite.
2. Siempre que la temperatura del aire en un lugar de trabajo descienda por debajo de -1°C (30,2°F), cada 4 horas, por lo menos, se deberá medir y registrar la temperatura del bulbo seco.
3. En lugares de trabajo cerrados se debe registrar la velocidad del viento, por lo menos cada 4 horas, siempre que la velocidad de movimiento del aire sobrepase los 2 metros por segundo (8 km/h).
4. En situaciones de trabajo en el exterior, se debe medir y registrar la velocidad del viento junto con la temperatura del aire, siempre que ésta esté por debajo de -1°C (30,2°F).
5. En todos los casos en que se requieran mediciones del movimiento del aire, la temperatura equivalente de enfriamiento se obtendrá consultando la Tabla 2, registrándola con los demás datos siempre que la temperatura de enfriamiento esté por debajo de -7° C (19,4°F).

Del trabajo con exposición al frío a una temperatura de -1°C (30,2°F) o inferior, se excluirá a los empleados que padezcan enfermedades o estén tomando medicación que entorpezca la regulación normal de la temperatura corporal o reduzca la tolerancia del trabajo en ambientes fríos. A los trabajadores que estén habitualmente expuestos a temperaturas por debajo de los -24°C (-11,2°F) con velocidades del viento inferiores a 8 km/h, o temperaturas del aire por debajo de los -18°C (0°F) con velocidades del viento superiores a 8km/h, se les debe expedir certificado médico por el que se les declare aptos para tales exposiciones.

El trauma sufrido en condiciones de congelación, o bajo cero, exige atención especial porque el trabajador afectado tiene predisposición a sufrir lesiones por frío. Además de prever la prestación de primeros auxilios, hay que tomar medidas especiales para prevenir la hipotermia y la congelación de los tejidos dañados.

## **8.8 Bibliografía**

- (1)Duran, Julio -Riesgos Laborales debido a la Carga Térmica Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería Sanitaria U.B.A. (1979).
- (2)Landsberg, Helmut E. -El Tiempo y La Salud -EUDEBA (1972).
- (3)Lerthead, C. S. - Linet, A. R.- Heat Stress and Heat Disorders F. A. Davis Company, Philadelphia (1964),
- (4)ACGIH TVL's (2002)
- (5) Enciclopedia OIT – Capítulo 42 – Calor y Frío –



<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/tomo2.htm#p6>

(6) Notas Técnicas de Prevención – INHST – España.

NTP 462: Estrés por frío: evaluación de las exposiciones laborales

NTP 350: Evaluación del estrés térmico. Índice de sudoración requerida

NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT

## CAPITULO IX

### AGENTES FISICOS: Ruidos

#### 9.1 Física del Sonido

##### Onda sonora:

El sonido es un fenómeno oscilatorio que consiste en la propagación a través de un medio (sólido, líquido o gaseoso) de ondas sonoras.

En este texto, interesa la propagación del sonido en el aire.

Una onda es una perturbación física que se traslada de un punto a otro del espacio en condiciones predecibles, según las características del medio.

##### Propagación del sonido:

##### Descripción cualitativa:

Si a una lámina metálica encastrada rígidamente en una extremidad (Fig. 1 ) se la aleja de su posición de reposo y después se la suelta, comienza a vibrar. Si está en un medio elástico, como el aire, también el medio comenzará a vibrar. Las partículas del medio que son golpeadas por la lámina entran a vibración, y hacen entrar a vibración a las partículas contiguas.

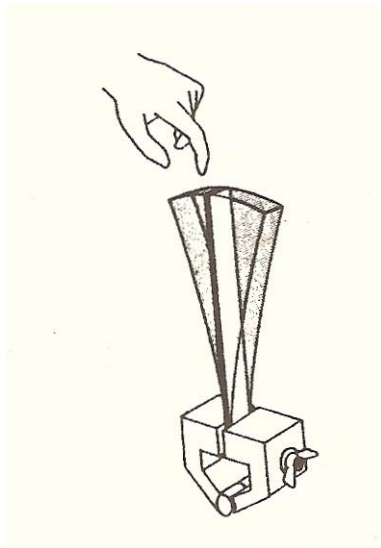
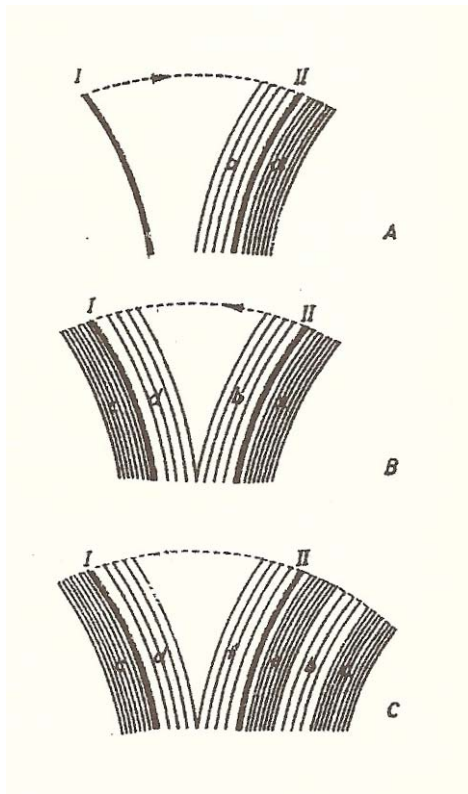


Fig. 1



Si consideramos el instante en el cual la lámina comienza a moverse de la posición 1 a la posición 11 (Fig. 2A), ella golpea, y por consiguiente comprime el aire que encuentra por delante dejando por detrás una zona enrarecida. Se tendrá entonces, una zona de aire comprimido adelante de la lámina, y una zona de aire enrarecido por detrás de la misma.

Prosiguiendo con su movimiento oscilatorio, la lámina, de la posición 11 retorna a la posición 1, creando una zona de aire comprimido, e, y una zona de aire enrarecido, d, (Fig. 2B). Al retornar nuevamente a 11 origina las zonas d y f (Fig. 2C), y así sucesivamente. En el aire se forman pues, zonas alternadas de compresión y enrarecimiento. Se tiene entonces la propagación de una onda de compresión y enrarecimiento del aire.

En las zonas comprimidas, las partículas tienen además de sus velocidades aleatorias una cantidad de movimiento que les ha dado la lámina vibrante. Estas partículas, a su vez, golpean a sus vecinas, y así sucesivamente. De esta manera, mediante sucesivas colisiones, la fuerza creada por la compresión original puede ser transferida a partes distantes del aire.

Estas ondas se llaman longitudinales y causan una variación de presión que llegando a las membranas del tímpano del oído, indican al mismo una vibración que dará origen a la sensación auditiva

En los puntos de la onda en que el aumento de presión es máximo, el desplazamiento de las partículas es cero y viceversa. o sea, la presión y el desplazamiento de las partículas están fuera de fase en  $90^\circ$  y la presión y la velocidad de las partículas, en fase.

Si la compresión de un gas es lenta, es isotérmica, si es rápida, es adiabática.

Las ondas acústicas, son esencialmente alteraciones adiabáticas del medio. De acuerdo a lo expuesto, se puede concluir que existen parámetros medibles en cualquier punto de la masa gaseosa; a saber: presión, velocidad, densidad y temperatura.

### **Onda plana:**

En una onda plana, todos los puntos de un plano perpendicular a la dirección de propagación vibran en fase, además, la presión sonora,  $p$  y la velocidad de desplazamiento de la partícula,  $Y$ , están en fase, y se cumple que:

$$I = p \cdot v$$

Téngase en cuenta que  $v$  es la velocidad de desplazamiento de la partícula alrededor de un punto de equilibrio y no la velocidad de propagación de la onda  $c$ .

La propagación de la onda se puede realizar en una sola **dirección** (por ejemplo, dentro de un tubo), y se llaman ondas lineales; en una superficie plana (por ejemplo, en el agua), y se llaman ondas superficiales o circulares, pero en general se propagan en todas las direcciones en un medio homogéneo.

Se llama superficie de onda, en un instante dado, a la superficie formada por todos los puntos de espacio perturbado por la onda en el mismo instante.

Si el medio es homogéneo, la superficie de las ondas son esféricas, y se llaman ondas esféricas.

Si la fuente es muy lejana, la superficie esférica puede asimilarse a un plano, y las ondas se llaman ondas planas.

Puede demostrarse que la intensidad sonora  $I [W / m^2]$  en una onda plana es:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$$

Donde:

$P$  presión sonora  $N / m$   
 $\rho$  densidad de] medio  
 $c$  velocidad de propagación del sonido

La frecuencia  $f [s^{-1}]$  son las veces por segundo que una partícula pasa por un punto de equilibrio.

El período  $T$  es el inverso de la frecuencia:

$$T = \frac{1}{f}$$

Una onda tiene una velocidad de propagación  $c$  y una longitud de onda

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

La velocidad  $c$  de propagación del sonido esta dada por la expresión:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$$

Donde  $p$ : presión  $[N / m^2]$   
 $\rho$ : densidad  $Kg / m^3$   
 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  (igual a 1,41 en aire)

Considerando el aire como un gas ideal:

$$C = 20,05 \times T \text{ [metros min.]}$$

donde T = temperatura absoluta del aire

## Magnitudes físicas - El decibel

### Principales magnitudes físicas

**Potencia sonora [ W ]:** El nivel de potencia sonora es una característica de la fuente; si la fuente es puntual, el flujo de energía se propaga sin direcciones preferenciales. La unidad es el Watt.

La potencia sonora de referencia es:

$$W = 10^{-12} [W]$$

**Intensidad sonora [W / m<sup>2</sup>]:** Es la energía por unidad de tiempo y superficie. La intensidad sonora de referencia es:

$$I_0 = 10^{-12} [W / m^2]$$

**Presión sonora [N / m<sup>2</sup>]:** Es la presión producida por el sonido, y resulta ser la diferencia entre la presión estática y la presión existente.

La presión sonora de referencia es:

$$p_0 = 2.10^{-5} [N / m^2]$$

Dónde  $p_0$  corresponde al umbral de audibilidad  $2.10^{-5} [Pa]$ , para una frecuencia de 1000 Hz.

### Decibel:

Dado el gran intervalo de intensidades entre las cuales es sensible el oído (  $10^{12}$  a 1, y su respuesta logarítmica), es conveniente usar una escala logarítmica. Se tiene entonces el nivel de intensidad sonora

$$NIS = 10 \log I / I_0$$

y el nivel de potencia sonora

$$N \text{ Pot S} = 10 \log W / W_0$$

El nivel de presión sonora, es lo que se determina habitualmente con el decibelímetro. Se puede hacer una escala que relacione niveles de presión sonora con distintos lugares (ver la Tabla I).

**Tabla I**

NPS	Situación
120	Umbral sensación dolorosa .(cerca de turbinas da avión, etc)
95	Subterráneo
70	Calle
50	Oficina
20	Conversación en voz baja
0	Umbral de sensación sonora

Para una onda plana

$$I = p.v$$

donde p = presión sonora

v = velocidad de desplazamiento de la partícula

$$\frac{p}{v} = \rho c$$

donde P= impedancia acústica  $[kg / m^2 s]$

$\rho$  = densidad del medio  $[kg / m^3]$

c = velocidad de propagación de la onda en ese medio  $[m / s]$

En el caso del aire

$$\rho = 1,2 [kg / m^3]$$

$$c=344 [m / s]$$

$$\rho c = 400 [kg / m^2 s]$$

Dado que  $I = p.v$

$$I = p \cdot \frac{p}{\rho c} = \frac{p^2}{\rho c}$$

y para el caso del aire:

$$I = \frac{p^2}{400}$$

Los niveles de referencia para la intensidad y la presión se eligen de modo que los respectivos niveles sean iguales.

Para que la intensidad y la presión acústica sean iguales, debe darse que:

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$NPS = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{p^2}{p_0^2}$$

Resulta entonces que:

$$I_0 = \frac{I}{p^2} p_0^2$$

y dado que

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

Resulta:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{(2 \cdot 10^{-5})^2}{400} = 10^{-12} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Se puede también calcular el valor de la presión atmosférica en dB, adó que si

$$p = 101325 Pa \cong 10^5 Pa :$$

resulta:

$$NPS = 20 \log \frac{10^5}{2 \cdot 10^{-5}} = 194 dB$$

### Suma de decibeles

Dado que son magnitudes logarítmicas, no pueden ser sumadas en forma directa. Si un equipo emite un ruido de 80 dB y otro cercano también, el nivel resultante no es de 160 dB, sino de 83 dB. En efecto:

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$\frac{p_T^2}{\rho c} = \frac{p_1^2}{\rho c} + \frac{p_2^2}{\rho c}$$

$$p_T^2 = p_1^2 + p_2^2$$

$$NPS_T = 10 \log \frac{p_T^2}{p_0^2} = 10 \log \frac{p_1^2 + p_2^2}{p_0^2}$$

Si  $p_1 = p_2$

$$NPS_T = 10 \log \frac{2p_T^2}{p_0^2} = 10 \log 2 + 10 \log \frac{p_T^2}{p_0^2} = NPS_1 + 3$$

O sea, si se tienen dos sonidos de igual NPS, se deben sumar 3dB para obtener el Nivel de Presión Sonora Total.

Para cualquier otra diferencia de niveles de presión sonora, se le suma al nivel mayor, una cantidad especificada en la Tabla II - Suma de decibeles.

Debe destacarse que para diferencias mayores a 10 dB entre una fuente y otra, la fuente de menor nivel de NPS es prácticamente despreciable.

Esto es de gran importancia al hacer un relevamiento de las fuentes sonoras de un local.

La justificación matemática de esta Tabla, es la siguiente:

$$NIS_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$NIS_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0}$$

$$NIS_T = NIS_1 + NIS_2 = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \left( 1 + \frac{I_2}{I_1} \right) = NIS_1 + \log \left( 1 + \frac{I_2}{I_1} \right) = NPS_1 + \Delta$$

En forma genérica, si  $N_1 > N_2$

$$N_T = N_1 + 10 \log \left( 1 + \frac{X_2}{X_1} \right) = N_1 + \Delta$$

N = nivel en dB

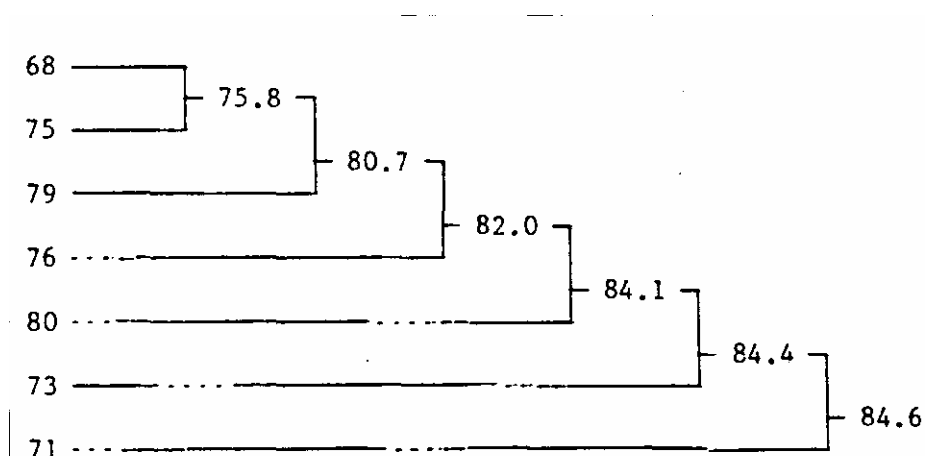
$X_1, X_2$  = magnitudes ;

$\Delta$  = cantidad a sumar

TABLAII – Suma de Decibeles

$N_1 - N_2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta$	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,7	0,6	0,5

Un ejemplo de utilización de esta tabla es el siguiente:



### Características del sonido y del ruido:

Se entiende por sonido a la sensación producida en el órgano auditivo por el movimiento vibratorio de los cuerpos transmitido por un medio elástico, como el aire. Según el diccionario (Ref. 4), ruido, es un sonido inarticulado y confuso.

Desde el punto de vista físico se distinguen sonidos puros y sonidos compuestos. Sonido puro, es una señal acústica de forma senoidal de una sola frecuencia. Sonido compuesto, es la suma de varios sonidos puros.

En la industria, la mayoría de los sonidos son compuestos.

La definición de ruido es subjetiva puesto que lo que para algunas personas es ruido, para otras es música.

Desde el punto de vista de la teoría de la información el ruido es una señal indeseada.

Físicamente puede definirse al ruido como un sonido formado por un gran número de componentes cuyas frecuencias no guardan relaciones simples entre sí, por lo tanto, no se produce una sensación de tonalidad definida.

Tono, es la sensación subjetiva que permite distinguir si un sonido es grave o agudo.

Graves, son los sonidos de frecuencias bajas, agudos, son los sonidos de frecuencias altas.

El rango de frecuencia que percibe el oído humano depende de las características del individuo, tales como edad, sexo, enfermedades, etc.

Se puede tomar como zona audible a la comprendida entre 20 Hz y 20000 Hz.

### **Distribución espectral y distribución temporal del ruido:**

Los sonidos, generalmente no son puros, o sea que presentan un espectro de frecuencias. Dado que los instrumentos de medidas del ruido no son completamente exactos, se deben medir bandas de frecuencias.

Los instrumentos miden generalmente en bandas de octavas y tercios de octavas. Se entiende por octava, a un intervalo de frecuencia tal que la frecuencia superior  $f_2$  es igual al doble de la frecuencia inferior  $f_1$ , es decir:

$$f_2 = 2f_1$$

Para el caso de media octava:

$$f_2 = \sqrt{2}f_1$$

Para tercios de octava:

$$f_2 = \sqrt{3}f_1$$

Los sonidos presentan espectros continuos y discontinuos.

### **Distribución temporal del ruido:**

Con respecto al tiempo, los ruidos se dividen en continuos, discontinuos y fluctuantes.

Entre los discontinuos, deben estudiarse los ruidos de impacto y los ruidos impulsivos.

Los ruidos de impacto son aquellos que tienen un crecimiento casi instantáneo, una frecuencia de repetición menor de 10 por segundo y un decrecimiento exponencial, los ruidos impulsivos son aquellos que tienen un crecimiento casi instantáneo y una duración menor a 50 ms. (Ref. 5).

## **5.2. El Oído Humano**

### **Funciones del sistema auditivo**

Las funciones del sistema auditivo son dos:

- a) Captar la señal acústica transformarla y transmitirla al cerebro a través del oído externo, medio e interno.
- b) Contribuir al equilibrio del cuerpo mediante los canales circulares.

Una de las características notables del sistema auditivo es el amplio rango de presión sonora que puede captar (entre  $1 \cdot 10^{12}$  ).

Puede adaptarse a distintos rangos de presión sonora y analizar el ruido por frecuencias; por ejemplo, al seguir un instrumento dentro del conjunto de sonidos de una orquesta.

## **5.2.2. Anatomía y fisiología del oído**

El oído consta de tres partes: el oído externo, el oído medio y el oído interno (ver Fig. 5.3).

### **5.2.2.1. El oído externo**

El oído externo comprende el pabellón de la oreja y el conducto auditivo.

El conducto auditivo tiene unos 3 cm. de longitud, y 0,7 cm. de diámetro; comienza en el pabellón auditivo y termina en el tímpano.

El conducto auditivo contiene células secretoras de cerumen, tiene forma de S y se deforma al hablar, masticar, etc.

El pabellón acústico actúa como una bocina que dirige las ondas sonoras a través del canal auditivo, de modo que lleguen al tímpano.

El tímpano es una membrana que separa el oído externo del oído interno; al vibrar por acción del sonido, transmite las vibraciones al oído medio.

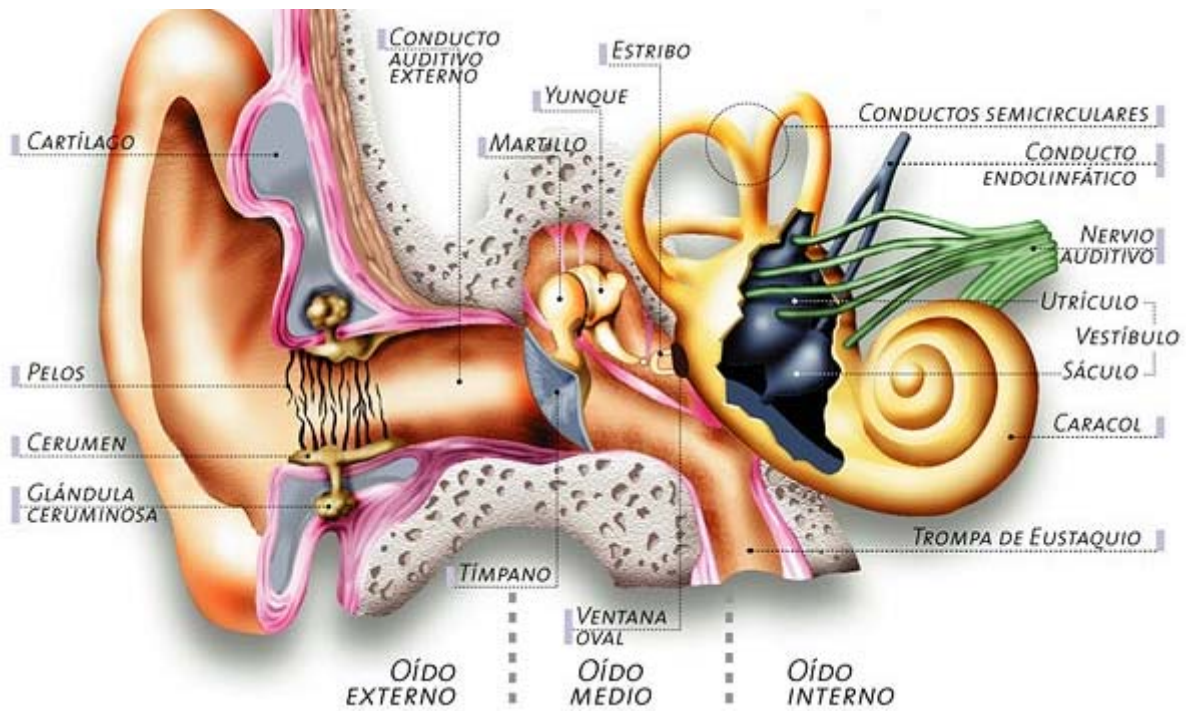


Fig. 3Fig. 5.3

### El oído medio

El oído medio es una pequeña cavidad en el hueso temporal dentro de la cual existe una cadena de huesillos que transmiten las vibraciones provenientes del tímpano, La cadena es la siguiente: sonido - tímpano - martillo - yunque - estribo - ventana oval

La ventana oval, junto con la ventana redonda, separa el oído medio del oído interno.

Existen en el oído medio dos músculos, el tensor del tímpano y el músculo del estribo.

Cuando hay ruidos intensos, estos músculos tiran hacia adentro al tímpano y al estribo, aumentando la resistencia al movimiento de la cadena de huesillos.

Otra característica importante del oído medio es la comunicación que establece con la cavidad bucal, la denominada "Trompa de Eustaquio", cuya función es equilibrar las presiones entre el oído medio y el exterior, a través de la boca.

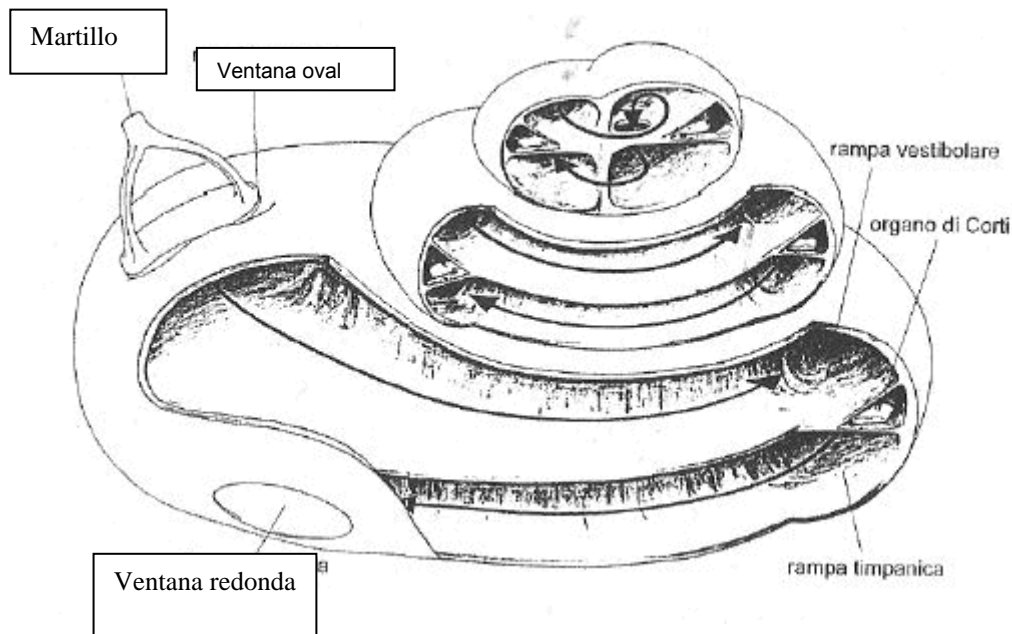
Por esta razón, se debe tragar aire cuando se asciende o desciende de una montaña.

Por otra parte, la trompa de Eustaquio posibilita la penetración de gérmenes al oído interno, y por eso son comunes las otitis medias.

### El oído interno

El oído interno, consiste en un canal o cóclea que está relacionado con el oído medio a través de la ventana oval y de la ventana redonda (ver Fig. 3).

La cóclea está dividida en dos mediante una partición, o sea, que contiene la membrana basilar (ver Fig. 4 a y b).

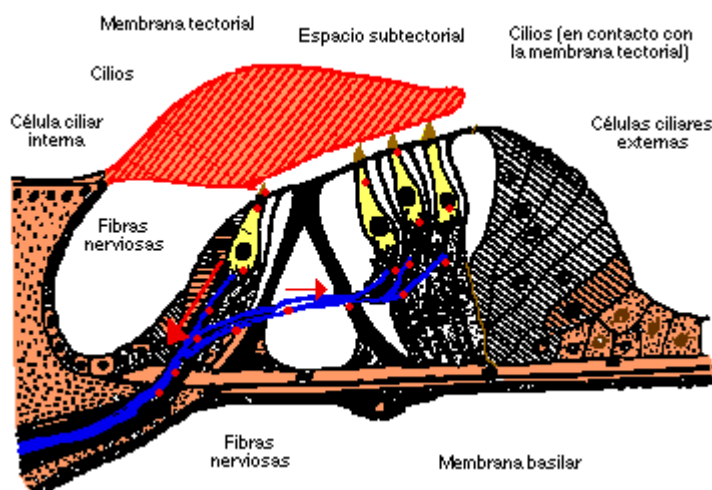


**Fig. 4.a**

La cóclea tiene forma de caracol, con dos vueltas y media alrededor de un eje central.

Este eje es tejido óseo esponjoso, que sirve de sostén a ramificaciones del nervio coclear y vasos sanguíneos.

El desplazamiento de los extremos libres de las células ciliadas (Organo de Corti) producen impulsos nerviosos que el nervio auditivo conduce al cerebro. Estas células son activadas selectivamente según la frecuencia de la onda.



Ventana oval

**Fig. 4.b**

El trayecto de las ondas en el oído interno es el siguiente:

**ventana oval - rampa vestibular - rampa media - rampa timpánica - ventana redonda**

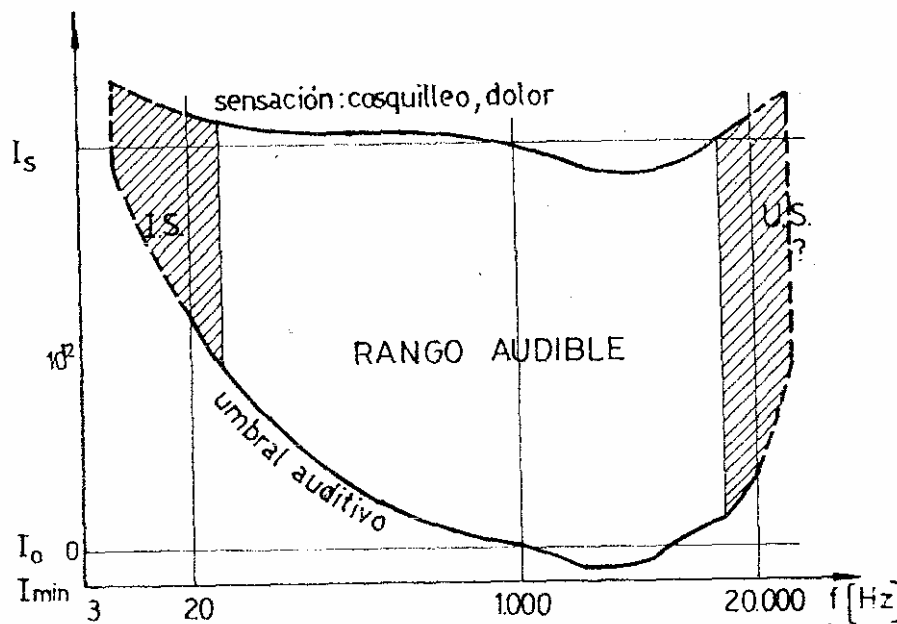
Dentro del oído interno, se encuentran los canales semicirculares, que están dispuestos en planos octogonales entre si, su función es contribuir al equilibrio del cuerpo.

### **Cuantificación de las sensaciones auditivas**

Todo lo referente a acústica fisiológica y psicológica es el resultado estadístico de numerosas mediciones y encuestas realizadas bajo requisitos y condiciones especificadas.

El umbral de audibilidad es la presión sonora mínima que produce la sensación de audición. Generalmente se distingue entre monoaural y binaural.

Las curvas que se obtienen son similares a las de la Fig. 5.5.



**Fig 5**

A medida que aumenta el nivel de presión sonora disminuye la sensibilidad a las frecuencias.

La sensibilidad del oído decae con la edad.

### **5.3. Efectos Biológicos del Ruido**

## **Introducción**

Las consecuencias de la exposición al ruido, pueden clasificarse de la siguiente forma:

1. Efectos sobre el aparato auditivo, con pérdida de la audición.
2. Efectos fisiológicos no relacionados con la audición.
3. Efectos psicológicos.
4. Interferencia en la comunicación hablada.

## **Disfunciones auditivas:**

Las disfunciones del aparato auditivo, pueden agruparse en las siguientes clases, de acuerdo con el lugar en que se producen:

1. Desarreglos en el aparato de conducción del sonido, oído externo y oído medio. Se llaman sorderas de transmisión y obedecen a causas diversas.
2. Desórdenes del aparato receptor: oído interno, cóclea y nervio auditivo. Se denominan sorderas de percepción. El ruido es una de sus causas principales.
3. Sorderas por perturbaciones en el sistema nervioso central.

**Sorderas de transmisión:** pueden originarse debido a algunas de las siguientes causas:

a) Obstrucción del conducto auditivo: exceso de cerumen o cuerpos extraños, infecciones (bacterias u hongos).

b) Por perturbaciones del movimiento del tímpano y huesillos. Estas perturbaciones pueden deberse a:

- \* dislocamiento del tímpano y huesillos por cambios bruscos de presión, estando obstruida la Trompa de Eustaquio.
- presencia de fluido, pus o tejido fibroso en el oído medio.
- otoesclerosis (osificación del ligamento y fijación del estribo). e) Por lesiones del tímpano y huesillos, debido a explosiones, golpes, infecciones, etc.

## **Sorderas de percepción:**

Pueden originarse por:

a) Funcionamiento anormal de la cóclea, debido a:

- factores hereditarios.
- enfermedades infecciosas efectos de agentes tóxicos o drogas
- lesiones mecánicas debido a explosiones o golpes

- presbiacusia (degeneración progresiva de las células ciliadas y terminales nerviosas, debido al envejecimiento)
- exposición a ruidos

b) Lesiones del nervio auditivo, causadas generalmente por tumores

### **Sorderas por perturbaciones en el sistema nervioso central:**

Pueden deberse a cambios orgánicos (arterioesclerosis, tumores cerebrales, etc.) y a veces, a causas psíquicas (sin daño en el sistema nervioso central).

### **Efectos del ruido sobre el aparato auditivo:**

#### **Trauma acústico:**

Una explosión que produzca un ruido breve, pero muy intenso, del orden de 140 dB, puede causar la rotura del tímpano, si no hay infección y la lesión no es grave, la recuperación es total.

En otros casos, luego de la curación, persiste la sordera para frecuencias altas (superiores a 9000 Hz). Una explosión, también puede dañar las estructuras del oído medio e interno, provocando el dislocamiento de la membrana basilar y del Organó de Corti.

En general, se denomina "trauma acústico" a la lesión inmediata debida a una explosión intensa.

Los ruidos comprendidos entre 120 y 150 dB, pueden producir sordera temporaria.

#### **Desplazamiento transitorio del umbral (DTU):**

Según la definición de la I.S.O., "el DTU es una elevación del nivel del umbral auditivo debida a la exposición al ruido, en la que se aprecia un retorno progresivo al nivel anterior a la exposición, con recuperación total en menos de 10 días".

A este fenómeno, también se lo denomina fatiga auditiva.

Por sordera temporaria, se entiende la pérdida de la audición causada por la exposición al ruido, seguida por recuperación al día siguiente.

Las investigaciones indican que la exposición a niveles y espectros sonoros determinados, producen DTU de frecuencias e intensidades predecibles. Generalmente el desplazamiento del umbral ocurre a una frecuencia de media, a una octava mayor que la del ruido causante.

Los ruidos de alta frecuencia, a igualdad de intensidad, producen mayor DTU, que los de baja.

En general, el desplazamiento se produce durante la primera hora de exposición.

La pérdida de audición es menor si el ruido es intermitente, por lo que conviene establecer en las fábricas períodos de reposo o rotación de tareas. Un ruido de 4000 Hz que se oye cada dos minutos, produce la mitad del DTU que produciría si fuera continuo.

Si el DTU es inferior a 50 dB, la recuperación se produce en unas 16 horas, pero para recuperarse de una pérdida de 60 dB, se pueden requerir varios días. La recuperación es más lenta para frecuencias de 4000 Hz.

En la exposición laboral, el intervalo del fin de semana puede resultar insuficiente para recuperar la audición normal.

La pérdida de audición, se extiende luego paulatinamente a las frecuencias adyacentes.

Si la exposición permanece constante, la pérdida auditiva a 4000 Hz alcanza un máximo en aproximadamente 10 años.

No ocurre lo mismo con las frecuencias menores a 3000 Hz., para las cuales el umbral auditivo continúa aumentando si la exposición subsiste.

La pérdida auditiva permanente se relaciona con el DTU.

Un ruido que no provoca pérdida auditiva, tampoco produce sordera permanente.

Las reducciones iniciales de la capacidad auditiva en la exposición al ruido industrial, no son habitualmente reconocidas por el individuo, y pueden detectarse solamente por audiometría de tonos puros, Ello se debe a que ocurre en frecuencias determinadas que no afectan la capacidad auditiva para la palabra hablada. Si la exposición continúa, las pérdidas comienzan a aparecer a 2000, 1000, y finalmente a 500 Hz. Cuando la reducción de la capacidad auditiva a esta frecuencia es elevada, se manifiestan dificultades en la conversación.

Cuando la exposición cesa, se recupera una cierta parte de la sensibilidad en menos de una semana.

La recuperación es mayor si el tiempo de exposición ha sido corto y es pequeña si la exposición ha sido prolongada

### **Sordera profesional**

La evolución de la sordera profesional es la siguiente:

a) Instalaciones del déficit permanente:

Dura no más de un mes y corresponde a la adaptación progresiva del oído al ruido intenso y prolongado, si éste se repite a diario, el déficit alcanza rápidamente los 50 dB a la frecuencia de 4000 Hz. Inicialmente hay recuperación al final de la jornada, pero a la brevedad el déficit se vuelve permanente debido a lesiones cocleares irreversibles. La deficiencia no pasa de los 40 dB, pese a la pérdida inicial más elevada.

b) Fase de latencia total:

Al déficit inicial, se añade una progresión muy lenta de la sordera. La voz susurrada se sigue percibiendo. El déficit ocupa, a la frecuencia de 4000 Hz, una octava y media o dos. Se ha observado en este período déficits de hasta 70 dB, pero en promedio, se mantiene entre los 20 y los 40 dB.

c) Fase de latencia subtotal:

Aquí, la sordera, es todavía latente, ya que la conversación es normalmente percibida, pero ya no se percibe la voz susurrada a una distancia de 2,50 mts. El déficit a 4000 Hz, varía entre 45 y 85 dB, afectando a dos o tres octavas, la hipoacusia se extiende hasta 3000 Hz y aún a 1000 Cruz. El déficit, puede estabilizarse a este nivel.

d) Sordera manifiesta:

Fase terminal, en la cual la conversación normal ya no es percibida; el déficit alcanza o baja a los 500 Hz. La reducción promedio es de

20 dB a 500 Hz  
30 dB a 1000 Hz  
60 dB a 2000 Hz  
90 dB a 4000 Hz  
desprec. a 8000 Hz

### **Efectos fisiológicos no relacionados con la audición**

1 ) Efectos psicológicos:

En general, al aumentar el ruido, queda notablemente disminuida la capacidad de concentración, alargándose los tiempos de reacción. En ciertos casos, la limitación de las funciones nerviosas debidas a ruidos de gran intensidad, desaparece al cabo de pocas horas, es decir que existe una adaptación del sistema nervioso central a la acción de ruidos.

En todas las personas, el ruido determina una sensación molesta y desagradable y la ejecución de trabajos difíciles se realiza con un mayor estado de tensión y un mayor esfuerzo de la voluntad (aunque no existen variaciones objetivamente controlables). El ruido, representa en consecuencia, una carga nerviosa, siendo importante su papel en la producción de la fatiga, la intensidad de dicha carga depende, entre otros, de los siguientes factores:

\* La intensidad del ruido que provoca molestias depende de varios factores. Los ruidos de 50 60 dB molestan en trabajos delicados, en tanto que los trabajos simples, con máquinas ruidosas, pueden realizarse sin perturbaciones con ruidos de 85 dB.

\* Los ruidos agudos molestan más que los graves.

\* El ruido inesperado y discontinuo molesta más que un ruido regular.

\* Un trabajo en el que participa el órgano del oído, comunicaciones verbales, control de máquinas mediante el oído, etc., resulta más perturbador que otros.

## 2) Interferencias en la comunicación hablada:

Para la percepción de la palabra, son importantes las frecuencias comprendidas entre 200 y 6000 Hz. Las vocales están por debajo de los 1500 Hz, y las consonantes por sobre esta cifra.

La intensidad de la conversación normal es de alrededor de 65 dB a un metro de distancia, con variación de 20 dB,

Las consonantes, que llevan la mayor parte del contenido informativo del habla, son de menor intensidad.

El ruido interfiere con la conversación, puesto que desfigura los sonidos del habla, aún a niveles relativamente bajos. Beránek expresa el nivel de interferencia del ruido con el habla (Speech Interference Level, SIL), mediante el promedio de los niveles de la presión sonora, en decibeles, en las octavas normalizado 500, 1000, 2000. Este nivel, indica el grado en que un ruido perturba la conversación de dos personas. Hay tablas que indican la máxima distancia a la cual es inteligible una conversación.

### TABLA III

#### Nivel de Interferencia del Ruido con la Conversación SIL (dB)

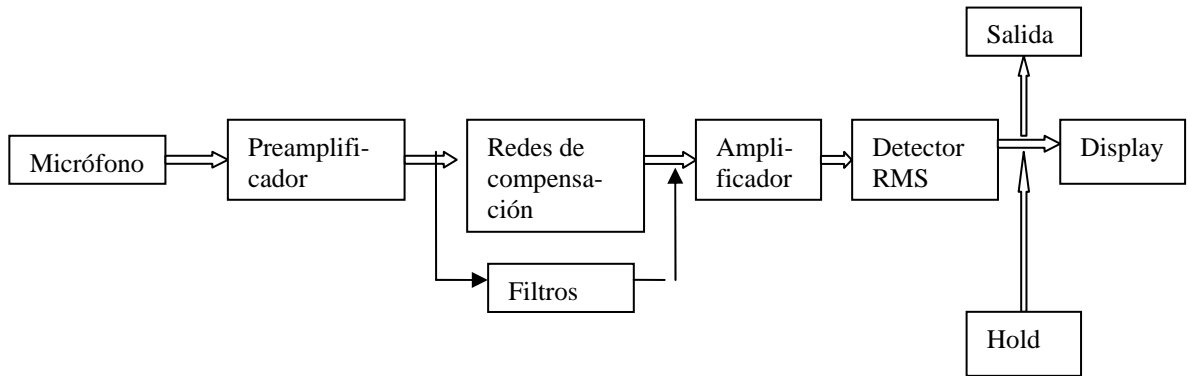
(Promedio de los niveles de presión sonora de las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz)

Distancia (m)	Voz normal	Voz alta	Voz muy alta	Gritos
0,15	76	82	88	94
0,30	70	76	82	88
0,60	64	70	76	82
0,90	60	66	72	78
1,20	58	64	70	76
1,50	56	62	68	74
1,80	54	60	66	72
3,60	48	54	60	66

## 5.4 Evaluación de la exposición a ruidos

### Medidor de nivel sonoro (decibelímetro)

El medidor de nivel sonoro es un instrumento diseñado para responder al sonido de la misma manera que el oído humano, y dar medidas objetivas y reproducibles de los niveles de presión sonora. Existen muchos tipos, los más comunes consisten en un micrófono, una sección de procesamiento y una unidad de lectura (ver Fig.6).



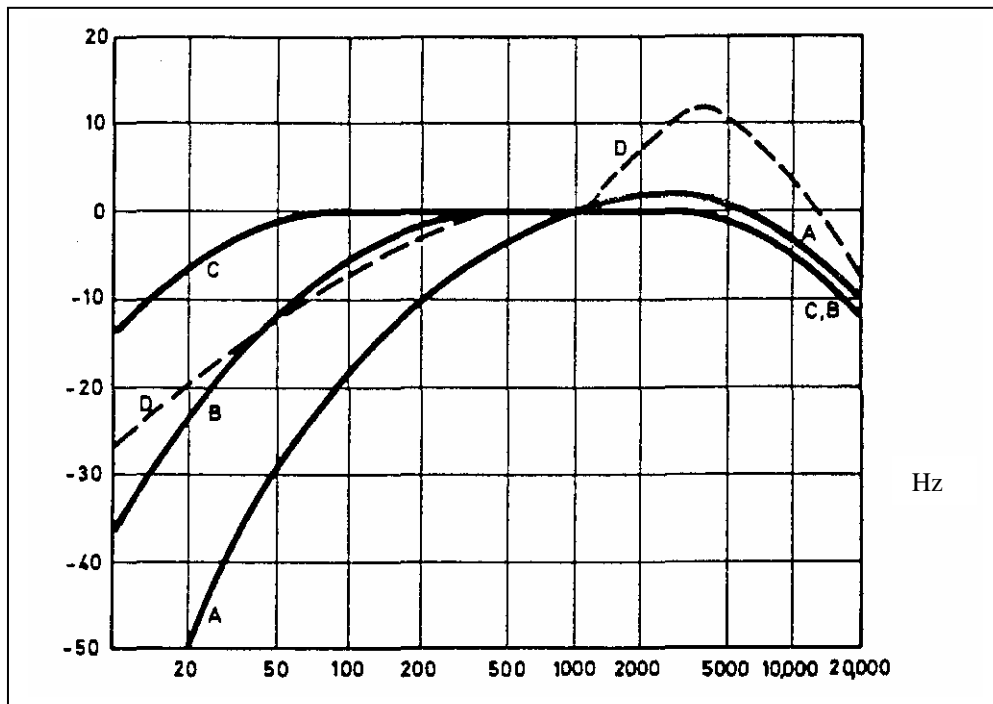
**Fig.6**

El micrófono, convierte la señal de sonido en una señal eléctrica (es un transductor). El micrófono más adecuado, es el micrófono de condensador.

La señal eléctrica producida por el micrófono es bastante pequeña y necesita ser amplificada por un preamplificador, generalmente se dispone de un atenuador para tomar una fracción determinada de la tensión generada por el micrófono, debido a la presión sonora.

La entrada amplificada se reduce en intervalos de 10 dB; de esta manera, es posible medir un amplio rango de niveles sonoros.

Hay varios tipos de procesamiento de la señal: mediante redes de compensación y filtros. Las redes de compensación pueden ser A, B, C y también Linear L. (ver Fig, 7).



**Fig. 7**

Cuando se requiere información más detallada acerca de un ruido complejo, el rango de frecuencias puede definirse en bandas, esto se hace con filtros electrónicos que refuerzan todos los sonidos con frecuencias fuera de la banda seleccionada. Estas bandas de medición de sonido tienen generalmente un ancho de una octava o un tercio de octava.

Este proceso de dividir un sonido complejo se llama análisis de frecuencia; los resultados se presentan en un gráfico llamado espectrograma.

Después que la señal fue procesada, se amplifica, y el valor de presión acústica eficaz (RMS: Root Mean Square) se mide en el Detector RMS.

El valor

$$P_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

permite obtener una medida del efecto conjunto de las compresiones y refracciones del medio, por efecto de la onda sonora.

No puede usarse el valor medio, porque evidentemente es cero porque en el fenómeno acústico hay tantos valores positivos (compresión) como negativos (decompresión)

$$P_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = 0$$

Finalmente, se tiene la unidad de lectura y salidas para otros instrumentos como grabadores y otros tipos de procesadores.

### ***Respuesta del Detector:***

La mayoría de los sonidos, varía de nivel con el tiempo. Si un sonido varía demasiado rápido, un medidor analógico (como una bobina) no lo seguiría. Por esta razón, se han estandarizado dos tipos de respuestas:

#### **F (fast) y S (slow)**

La constante de tiempo para F es de 125 ms., permite seguir sonidos que fluctúan rápidamente,

La constante de tiempo para S es de 1 seg., esto permite promediar fluctuaciones muy rápidas en el indicador, y así, medir sonidos que serían imposibles de medir con constante F.

Los medidores digitales superan este problema indicando la Peff en el segundo previo. Si el sonido a medir consiste en impulsos aislados o contiene ruidos de impacto, las respuestas F y S no son suficientemente cortas como para dar una medida representativa de la respuesta de oído humano. Por esta razón, algunos medidores de nivel de presión sonora, incluyen un circuito para medir valores pico. Estos equipos son capaces de medir sonidos impulsivos.

### **Medición del ruido en ambientes de trabajo:**

El objetivo de la medición de ruido en los ambientes de trabajo, es el de evaluar el riesgo de daño del aparato auditivo de la persona expuesta, aunque en rigor, la exposición debiera computarse durante las 24 horas del día.

La cuantificación de la exposición a ruidos de cada trabajador, es función de:

- los niveles sonoros existentes en los lugares de trabajo.
- las características temporales de los ruidos.
- la composición espectral del sonido.
- las características espaciales del campo sonoro.

La medición puede realizarse usando un medidor de nivel sonoro. Las determinaciones se efectuarán con el micrófono ubicado a la altura del oído del trabajador, pero en ausencia de éste.

Para evaluar la exposición a ruidos de nivel o duración variable se han desarrollado dosímetros, que permiten determinar el Nivel Sonoro Continuo Equivalente. Hay dosímetros de tipo personal, que son llevados por el trabajador en sus movimientos por los lugares de trabajo.

## Nivel sonoro continuo equivalente -Criterio de igual energía y Criterio de igual efecto

Para tomar en cuenta la variabilidad temporal de ruidos fluctuantes e intermitentes se introduce el concepto de nivel sonoro continuo equivalente (NSCE).

Sea un lapso cualquiera T en que una persona está expuesta a un nivel sonoro variable en función del tiempo. Se denomina NSCE a un nivel sonoro constante para el cual se acepta que la exposición al mismo durante el tiempo T produciría un efecto equivalente al de la exposición real, en cuanto al deterioro permanente de la capacidad auditiva en la exposición laboral prolongada.

### Cálculo del nivel sonoro continuo equivalente (NSCE)

Se define NSCE de la siguiente forma:

$$NSCE = 10 \log \frac{I_m}{I_0}$$

Siendo  $I_m$ : la intensidad media

$I_0$ : la intensidad de referencia

Para un intervalo de tiempo  $\Delta t_i$

$$NIS_i = 10 \log \frac{I_i}{I_0}$$

$$I_i = I_0 10^{\frac{NIS_i}{10}}$$

La energía total es:

$$\sum_{i=1}^n I_i \Delta t_i = \sum_{i=1}^n I_0 10^{NIS_i/10} \Delta t_i$$

La intensidad media es:

$$I_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_0 10^{NIS_i/10} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}$$

El Nivel Sonoro continuo Equivalente NSCE es:

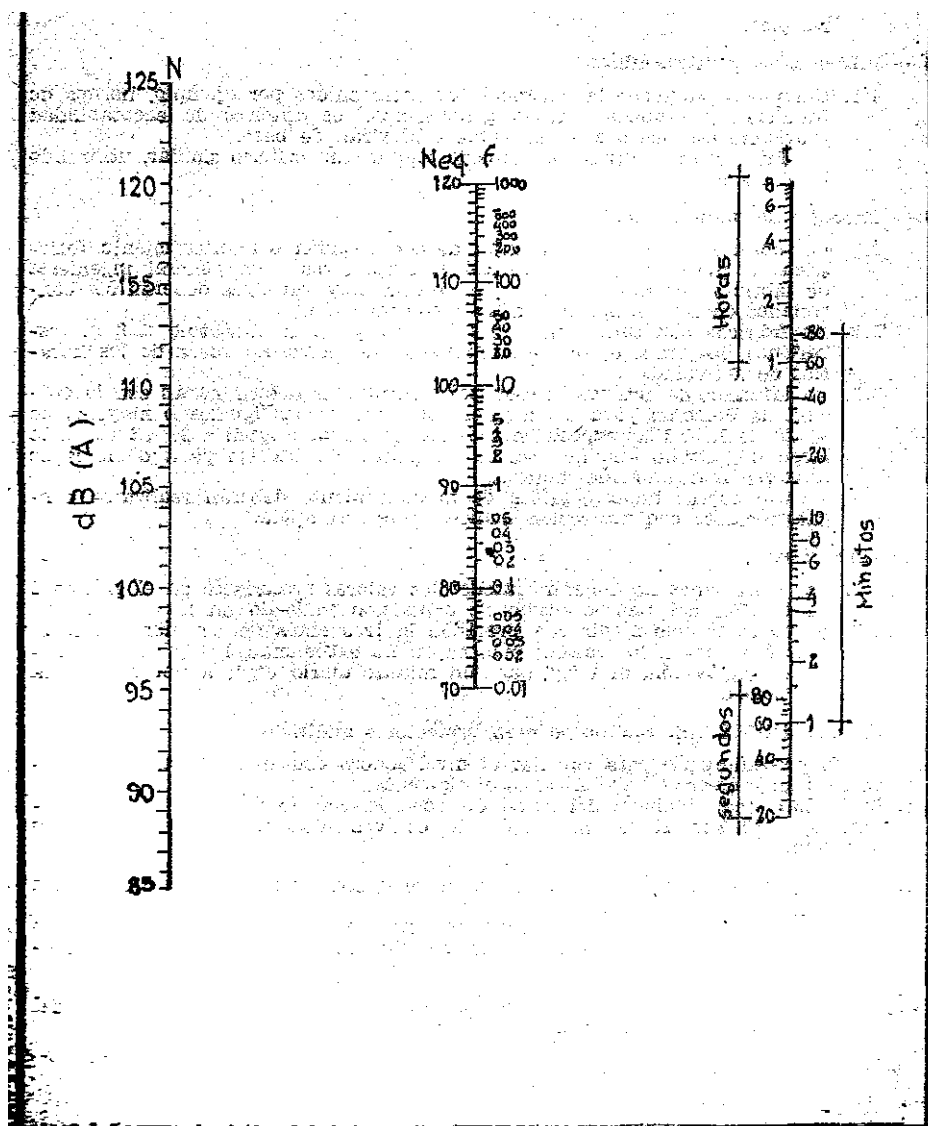
$$NSCE = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n I_0 10^{NISI/10} \Delta t_i}{I_0 \sum_{i=1}^n \Delta t_i}$$

i=1

O sea, NSCE puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$NSCE = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n 10^{NISI/10} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}$$

El Dec. 351/79 presentaba ábacos para el cálculo del NSCE (Neq)



## Medición de ruido de acuerdo a la Resolución N° 295/2003.

La nueva resolución avanza sobre el Dec. 351/79, cambiando las formas de medición, y estableciendo los límites (TLV) de acuerdo a la Conferencia Americana de Higienistas Industriales (ACGIH). Debe conocerse lo que la ACGIH informa sobre dichos Límites (se transcribe).

“Estos TLVs se refieren a los niveles de presión acústica y duraciones de exposición que representan las condiciones en las que se cree que casi todos [los trabajadores] pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos sobre su capacidad para oír y comprender una conversación normal. Antes de 1979, la profesión médica consideraba deterioro de la audición, cuando el promedio del umbral de audición a 500, 1.000 y 2000 Hz superaba los 25 dB (ANSI-83.6-1969). Los límites que aquí se indican han sido establecidos para prevenir la pérdida de audición a frecuencias elevadas tales como 3.000 y 4.000 Hz. Estos valores deben utilizarse como guía en el control de la exposición al ruido y, debido a la susceptibilidad individual, no se los debe considerar como límites definidos entre niveles seguros y peligrosos.

El TLV deberá proteger a la media de la población de una pérdida auditiva

—promediada a 0,5, 1,2 y 3 kHz— superior a 2 dB, inducida por el ruido tras 40 años de exposición laboral al mismo.

Es preciso reconocer que la aplicación del valor TLV para el ruido no protegerá a todos los trabajadores de los efectos adversos a la exposición de este agente.

Cuando los trabajadores estén expuestos al ruido a niveles iguales o superiores a los valores TLV, es necesario un programa completo de conservación de la audición que incluya pruebas audiométricas.”

En cuanto al *Ruido continuo o intermitente* la Res. 295/03 establece que el nivel de presión acústica se debe determinar por medio de un sonómetro o dosímetro que se ajusten, como mínimo, a los requisitos de la especificación de las normas nacionales o internacionales. El sonómetro deberá disponer de filtro de ponderación frecuencial A y respuesta lenta. La duración de la exposición no deberá exceder de los valores que se dan en la Tabla IV.

Estos valores son de aplicación a la duración total de la exposición por día de trabajo, con independencia de si se trata de una exposición continua o de varias exposiciones de corta duración.

Cuando la exposición diaria al ruido se compone de dos o más períodos de exposición a distintos niveles de ruidos, se debe tomar en consideración el efecto global, en lugar del efecto individual de cada período. Si la suma de las fracciones siguientes:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

es mayor que la unidad, entonces se debe considerar que la exposición global sobrepasa el valor límite umbral. C1 indica la duración total de la exposición a un nivel específico de ruido y T1 indica la duración total de la exposición permitida a ese nivel. En los cálculos citados, se usarán todas las exposiciones al ruido en el

lugar de trabajo que alcancen o sean superiores a los 80 dBA. Esta fórmula se debe aplicar cuando se utilicen los sonómetros para sonidos con niveles estables de por lo menos 3 segundos. Para sonidos que no cumplan esta condición, se debe utilizar un dosímetro o sonómetro de integración. El límite se excede cuando la dosis es mayor de 100%, medida en un dosímetro fijado para un índice de conversión de 3 dB y un nivel de 85 dBA como criterio para las 8 horas.

Utilizando el sonómetro de integración el valor límite se excede cuando el nivel medio de sonido supere los valores de la Tabla IV.

**Tabla IV**

Valores límite PARA EL RUIDO <sup>o</sup>		
	Duración por día	Nivel de presión acústica dBA*
Horas	24	80
	16	82
	8	85
	4	88
	2	91
	1	94
Minutos	30	97
	15	100
	7,50 Δ	103
	3,75 Δ	106
	1,88 Δ	109
	0,94 Δ	112
Segundos Δ	28,12	115
	14,06	118
	7,03	121
	3,52	124

**TABLA**

Valores límite PARA EL RUIDO <sup>o</sup>		
	Duración por día	Nivel de presión acústica dBA*
	1,76	127
	0,88	130
	0,44	133
	0,22	136
	0,11	139

<sup>o</sup> No ha de haber exposiciones a ruido continuo, intermitente o de impacto por encima de un nivel pico C ponderado de 140 dB.

\* El nivel de presión acústica en decibeles (o decibelios) se mide con un sonómetro, usando el filtro de ponderación frecuencial A y respuesta lenta.

Δ Limitado por la fuente de ruido, no por control administrativo. También se recomienda utilizar un dosímetro o medidor de integración de nivel sonoro para sonidos por encima de 120 decibeles.

En cuanto a los *Ruidos de impulso o de impacto*, se establece que la medida del ruido de impulso o de impacto estará en el rango de 80 y 140 dBA y el rango del pulso debe ser por lo menos de 63 dB. No se permitirán exposiciones sin protección auditiva por encima de un nivel pico C ponderado de presión acústica de 140 dB.

Si no se dispone de la instrumentación para medir un pico C ponderado, se puede utilizar la medida de un pico no ponderado por debajo de 140 dB para suponer que el pico C ponderado está por debajo de ese valor.

### **Infrasonido y sonido de baja frecuencia**

Estos límites representan las exposiciones al sonido a los que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos para la audición.

Excepto para el sonido de impulsos de banda de un tercio de octava, con duración inferior a 2 segundos, los niveles para frecuencias entre 1 y 80 Hz de nivel de presión sonora (NPS), no deben exceder el valor techo de 145 dB. Además, el NPS global no ponderado no debe exceder el valor techo de 150 dB.

No hay tiempo límite para estas exposiciones. Sin embargo, la aplicación de los valores límite para el Ruido y el Ultrasonido, recomendados para prevenir la pérdida de audición por el ruido, puede proporcionar un nivel reducido aceptable en el tiempo.

Una alternativa que puede utilizarse, pero con un criterio ligeramente más restrictivo, es cuando el pico NPS medido con la escala de frecuencias, del sonómetro en lineal o no ponderada, no exceda de 145 dB para situaciones de sonido sin impulsos.

La resonancia en el pecho de los sonidos de baja frecuencia en el intervalo aproximado de 50 Hz a 60 Hz puede causar vibración del cuerpo entero. Este efecto puede causar molestias e incomodidad, hasta hacerse necesario reducir el NPS de este sonido a un nivel al que desaparezca el problema.

Las mediciones de la exposición al ruido se deberán ajustar a las prescripciones establecidas por las normas nacionales e internacionales.

### **Ultrasonido**

Estos valores límite representan las condiciones bajo las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin deteriorarse su capacidad para oír y escuchar una conversación normal.

Los valores límite establecidos para las frecuencias de 10 kilohercios (kHz) a 20 kHz, para prevenir los efectos subjetivos, se indican en la Tabla 1 con uno o dos asteriscos como notas de advertencia al pie de la tabla. Los valores sonoros de la media ponderada en el tiempo de 8 horas son una ampliación del valor límite para el ruido que es una media ponderada en el tiempo para 8 horas de 85 dBA.

**TABLA 1**

Valores limite para el ultrasonido  
Nivel de la banda de un tercio de octava

Frecuencia central de la banda de un tercio de octava (kHz)	Medida en el aire En dB re: 20µPa; con la cabeza en el aire	Medida en el agua en dB re: 1µPa; con la cabeza en el agua	Valores techo
	Valores techo	Media ponderada en el tiempo de 8h	
10	105*	88*	167
12,5	105*	89*	167
16	105*	92*	167
20	105*	94*	167
25	110**	—	172
31,5	115**	—	177
40	115**	—	177
50	115**	—	177
63	115**	—	177
80	115**	—	177
100	115**	—	177

\* Pueden darse molestias y malestar subjetivos en algunos individuos a niveles entre 75 y 105 dB para las frecuencias desde 10 kHz, especialmente si son de naturaleza tonal. Para prevenir los efectos subjetivos puede ser necesaria la protección auditiva o reducir a 80 dB los sonidos tonales de frecuencias por debajo de 10 kHz.

\*\* En estos valores se asume que existe acoplamiento humano con el agua u otro sustrato. Cuando no hay posibilidad de que el ultrasonido pueda acoplarse con el cuerpo en contacto con el agua o algún otro medio, estos valores umbrales pueden aumentarse en 30 dB. (Los valores de esta tabla no se aplican cuando la fuente de ultrasonido está en contacto directo con el cuerpo. Se debe utilizar el nivel de vibración en el hueso mastoideo).

Se deben evitar los valores de la aceleración de 15 dB por encima de la referencia de 1 g.v.c.m., reduciendo la exposición o aislando el cuerpo de la fuente de acoplamiento (g = aceleración debida a la fuerza de la gravedad, 9,80665 m/s; v.c.m.= valor cuadrático medio).

## 5.5. Control de Ruidos

El primer paso en cualquier problema de control de ruidos es asegurarse de contar con la información adecuada. Deben realizarse mediciones por bandas de octavas y debe conocerse el lugar por el cual se propaga el sonido.

Luego, deben compararse los niveles de ruido con los criterios de aceptación (ver punto 4, Res 291/03)

De esto, surgirá el nivel de reducción de ruido requerido.

Los métodos preferidos por el higienista, son los métodos de Control de Ingeniería como:

- reducción de la fuente sonora
- uso de barreras

- absorción del ruido o montaje aislante de las máquinas

Sin embargo, esto ¡lo siempre es posible, debiendo recurrirse a equipos de protección personal, limitación del tiempo de exposición, o un uso combinado de ambos recursos.

Debe tenerse muy en cuenta que cuando hay varias fuentes sonoras, debe reducirse la más intensa.

Otro ítem importante, es que el sonido procedente de una fuente, puede seguir más de un camino hasta el punto donde provoca molestias.

Los diagramas de flujo del ruido son de gran importancia, por ejemplo, permiten expresar cómo un sonido generado en un cerramiento puede llegar al exterior por:

- radiación directa a través de las aberturas.
- radiación desde la superficie del cerramiento originado en la vibración y transmitido a través de la estructura.
- radiación indirecta desde el cerramiento, es decir, transmisión salida a través de la pared y finalmente radiación sonora al medio exterior

El problema es determinar que ruido lleva más energía, y obtener el método más apropiado para solucionar el mismo.

### Campo sonoro

Campo sonoro, es el espacio por el cual se propaga una onda sonora.

Considerando una fuente sonora en un ambiente sin obstáculos, por ejemplo, suspendida en el aire, y realizando mediciones se encontrará que, por cada duplicación de la distancia el NPS disminuye 6 dB (ver Fig.8)

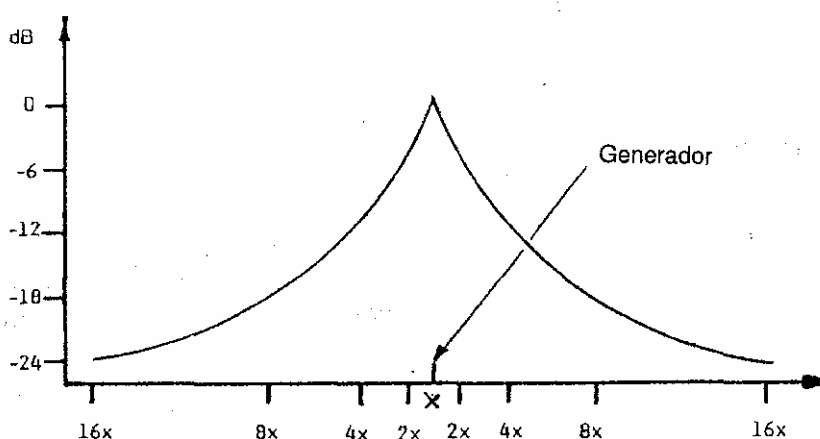


Fig.8

En efecto:

$$NPS = \frac{NPotS}{4\pi r^2}$$

Cuando una fuente sonora emite ondas en un medio homogéneo e ilimitado, o sino en un medio con paredes a distancia "infinita", tenemos un campo libre como en el caso anterior.

Esta condición se realiza solo para cuerpos suspendidos en el aire o en una cámara anecoica (en la cual no hay reflexiones).

Así mismo, el coeficiente de direccionalidad es

$$Q=1$$

En la práctica, si la fuente sonora se ubica en un ambiente cerrado con paredes, cuando la onda golpea las paredes hay fenómenos de transmisión, absorción y reflexión M sonido (ver Fig. 5.9), cuando ésto ocurre, parte de la energía reflejada, se sumará a la energía transferida directamente, dando lugar a un incremento de la presión sonora que recibe la persona.

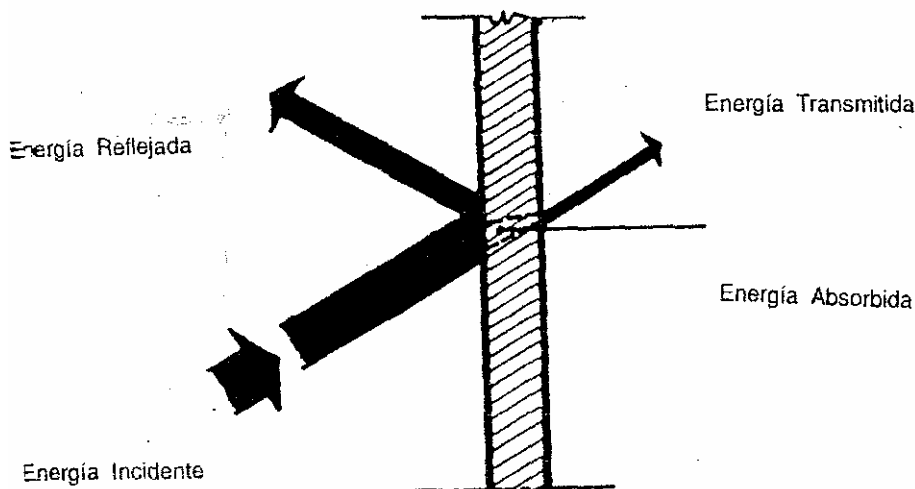


Fig. 9

Un campo sonoro, en el que hay reflexión de las ondas sonoras de la fuente, es un campo reverberante. Si la fuente sonora cesa su emisión, el sonido no desaparece inmediatamente (ver Tiempo de reverberación), debido a las ondas reflejadas.

En la práctica, se tienen combinaciones de campo libre y campo reverberante, esto crea notables dificultades si se desea medir el sonido de una fuente, pues se pueden cometer errores.

Si la medición se realiza muy vecina a la fuente, el valor de la presión sonora puede variar notablemente variando poco la posición del medidor de presión sonora. Esto puede suceder, cuando la distancia a la cual se realiza la medición, es inferior a la longitud de onda de la frecuencia más baja de la fuente o al doble de las dimensiones de la fuente. Esto constituye el campo vecino.

Otros errores pueden darse, si las mediciones se realizan muy lejos de la fuente (ver Fig. 10. En efecto, las reflexiones provenientes de la fuente o de otros objetos, se superponen al sonido directo y se suman a él. Esto constituye el campo reverberante, y en el mismo tampoco se pueden realizar mediciones correctas.

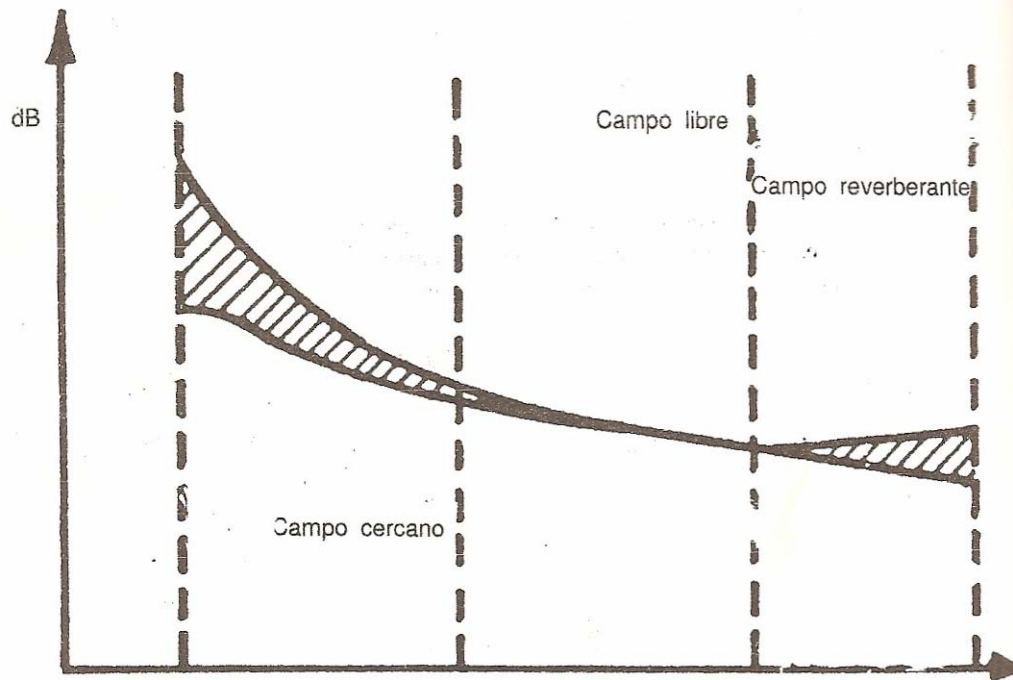


Fig. 10

Entre el campo reverberante y el campo vecino, tenemos el campo libre, caracterizado, como se ha visto, por una reducción del nivel de presión sonora de 6 dB por cada duplicación de distancia de la fuente.

Si las mediciones deben realizarse en este campo, debe tenerse en cuenta que es posible que el local sea tan reverberante o tan pequeño que no exista campo libre en su interior

### Relación entre potencia e intensidad sonora

#### Coeficiente de direccionalidad

Si la fuente no es direccional, y está en un espacio abierto (campo libre), la energía se distribuye con la misma intensidad en todos los puntos de una esfera, variando inversamente con el cuadrado de la distancia.

En un caso ideal, como el analizado, no existe una relación directa entre la potencia sonora de la fuente y la intensidad producida.

Haciendo una analogía, la iluminación producida por una lámpara depende, de la potencia irradiada, de la distancia, de la mayor o menor reflexión de las paredes y objetos, como también de la dirección.

En nuestro caso, la intensidad producida depende de la potencia, pero además de la distancia, de las características del ambiente (reflexiones múltiples en las paredes, etc.), y de la direccionalidad de la fuente.

La relación entre los niveles respectivos es:

$$NPS = NPotS + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

El nivel de potencia sonora para las fuentes más comunes se obtiene de la bibliografía en función de las frecuencias.

### **Coefficiente de direccionalidad de la fuente:**

Para una fuente no direccional y en campo libre:

$$Q = 1$$

$$Q = \frac{I_d}{I_m}$$

Donde:

$I_d$  intensidad de una dirección dada

$I_m$  intensidad media

Si suponemos que la fuente no es direccional, pero por ejemplo, está en el piso de un local resulta (ver Fig. 11):

$$Q = 2$$

Si está en un ángulo:

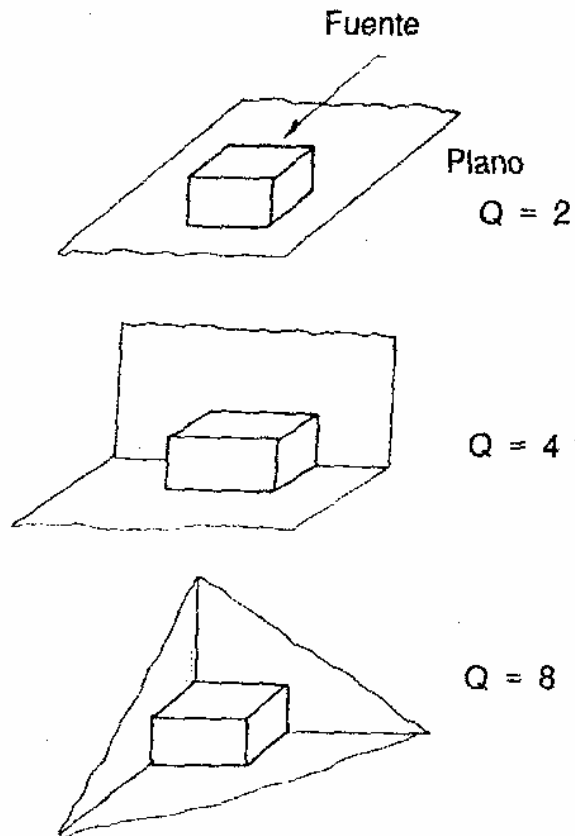
$$Q = 4$$

Si está en una esquina:

$$Q = 8$$

El factor R resume las características acústicas del ambiente, y se llama constante del local.

En un campo libre, se percibe solo el sonido directo. En realidad, el sonido percibido en un punto es una superposición entre el sonido directo y el reflejado.



En muchos casos, si la fuente emite en forma continua, el sonido reflejado puede ser mucho más importante que el sonido directo.

La constante R, depende de la superficie envolvente del local y de las características de absorción acústica de las paredes del mismo.

Resumiendo:

*Q es una característica de la fuente*  
*R es una característica del local*

### **Absorción Acústica**

El sonido incidente se refleja parcialmente y pone en vibración a la pared, que lo transmite al otro lado.

$$\alpha = \frac{I_a}{I_i}$$

Donde:

$I_a$  = intensidad no reflejada

$$I_a = I_i - I_r = \frac{I_i - I_r}{I_i}$$

Físicamente, con esta definición, una ventana abierta tiene:

$$\alpha = 1$$

$I_a$  es la energía que no vuelve al local (no interesando si salió del local, o se perdió en la pared).

El coeficiente de absorción  $\alpha$  no es fijo para un determinado material, sino que depende de la frecuencia de la onda sonora. Por ejemplo:

Paneles de Fibra de vidrio					
f	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	32	32	60	95	100

Esto remarca la importancia del análisis de bandas en un problema de ruidos, pues la composición del ruido influye en la elección del material más adecuado.

Al existir paredes de distintos materiales, consideramos:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_i S_i + \sum A_j}{\sum S_i}$$

Donde:  $A_j$  = absorción máquinas, personas, etc.

Si consideramos la absorción del aire:

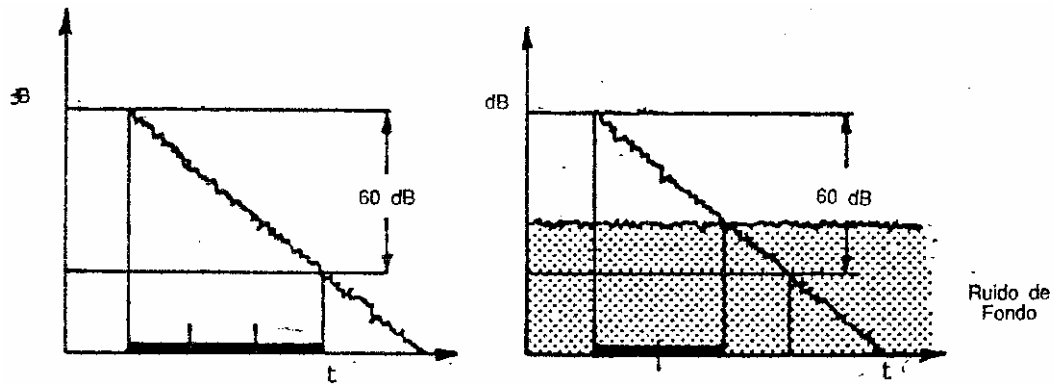
$$\bar{\alpha}_t = \bar{\alpha} + 4m \frac{V}{S}$$

Donde:  $m$  = constante de atenuación.

Existe una relación:

$$R = \frac{S \bar{\alpha}_t}{1 - \bar{\alpha}_t}$$

Normalmente, en un local Industrial esta relación se hace bastante difícil de determinar, por lo que la expresión anterior se aplica generalmente a locales chicos. Existe otro método para evaluar esta relación, adecuado para un local industrial, que es mediante su relación con el tiempo de reverberación (ver Fig.12).



**Fig. 12**

El tiempo de reverberación  $T(s)$ , es el tiempo que tardaría la intensidad sonora en reducirse a la millonésima parte de su valor, al cesar de emitir la fuente sonora. Si  $T(s)$  es pequeño, las paredes son absorbentes. Si  $T(s)$  es grande, las paredes son reflectoras. Esta definición, equivale a decir que el nivel de intensidad sonora cae 60 dB. La relación de Sabine, vincula  $T(s)$  con el volumen y la superficie del local y con  $t$ :

$$T_{(s)} = \frac{0,161V}{tS}$$

El tiempo de reverberación se mide para cada banda de octava.

### Aislación Acústica

Interesa este concepto, si la fuente se halla fuera del recinto. Se define al coeficiente de aislación de la pared como:

$$\tau = \frac{I_t}{I_i}$$

La pared, estimulada por la fuente sonora, actúa como fuente condicional para el otro recinto. Este coeficiente se expresa en dB, denominándose, "pérdida de transmisión de la pared":

$$Pt = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

### Reducción del ruido

La diferencia efectiva de nivel sonoro que se produce al interponer una pared es:

$$RR = NPS1 - NPS2$$

La reducción del ruido  $RR$ , es función de la  $Pt$  y de las características acústicas del ambiente receptor.

$$RR = Pt - 10 \log. (1/4 + Sp/R)$$

Donde:  $R$  = constante del local receptor

$S_p$  = superficie de la pared

## **Metodología del Control de Ruidos**

Un plan de control de ruidos, tiene las siguientes etapas:

I Planeamiento de la planta.

II Substitución

1. Uso de equipos silenciosos.
2. Uso de procesos silenciosos.
3. Uso de materiales silenciosos.

III Modificación de la fuente de ruidos:

a. Reducir la fuerza impulsora en la superficie vibrante:

1. Mantener el balance dinámico.
2. Minimizar la velocidad de rotación.
3. Incrementar la duración del ciclo de trabajo.
4. Desacoplar la fuerza impulsora.

b. Reducir la respuesta de la superficie vibrante:

1. Usar amortiguación.
2. Incrementar los apoyos.
3. Incrementar la rigidez.
4. Incrementar la masa,
5. Cambiar la frecuencia de resonancia.

c. Reducir el arca de la superficie vibrante:

1. Reducir dimensiones totales.
2. Perforarla superficie.

d, Usar la direccionalidad de la fuente.

e. Reducir la velocidad del fluido.

f. Reducir la turbulencia.

IV Modificación de la onda sonora:

- a. Confinamiento de la onda sonora.
- b. Absorción de la onda sonora:
  - 1. Absorción dentro del cerramiento.
  - 2, Absorción en su recorrido.
- e. Usar fenómeno de resonancia.

## **I. Planeamiento de la planta:**

El primer paso, es seleccionar equipos con bajo nivel de emisión de ruidos. Frecuentemente, es necesario realizar determinaciones, dado que se desconocen los datos sobre las características de los ruidos. Luego de este paso, es de fundamental importancia el Ley Out.

Muchas veces, la aislación geográfica de máquinas ruidosas reduce el problema.

Una máquina simple, puede ponerse dentro de un cerramiento. Otras veces, cuando hay máquinas ruidosas, es necesario poner cabinas aislantes para el personal.

## **II Substitución:**

### *1. Uso de equipos más silenciosos:*

Suele suceder que no se considera el problema de ruido cuando se compran equipos. Esto trae graves problemas a posteriori: descenso del nivel auditivo de los obreros, quejas, juicios, intentos de control del nivel de ruido, pago de indemnizaciones, etc.

Es más económico obtener de entrada equipos y máquinas más silenciosas. Debe tenerse en cuenta, por ejemplo, en ventiladores y sopladoras, que el ruido crece con la velocidad de rotación, por lo cual, son recomendables aquellos de menor velocidad. Otro caso a considerar en la elección de herramientas: las neumáticas son más ruidosas que las eléctricas.

### *2. Uso de procesos más silenciosos*

Hay muchos ejemplos:

Sustituir remachado por soldadura.

Sustituir procesos de triturado por procesos de picado.

### *Uso de materiales silenciosos:*

Por ejemplo, el uso de goma y de plástico, Muchas veces se utiliza goma para aislar partes en vibración,

### III. Modificación de la fuente de ruidos:

Las fuentes de ruido industrial, pueden clasificarse en dos clases:

Clase A: Fuentes de ruidos en que las ondas sonoras se originan en la vibración de superficies sólidas o líquidas.

Clase B: Fuentes sonoras resultantes de turbulencias en un medio gaseoso, resultantes de la interacción de un gas que fluye a alta velocidad y el aire.

Cualquier fuente de sonido de la clase A, consiste en una fuente de movimiento vibratorio acoplado a una superficie. El control en la fuente consiste generalmente en la reducción de la fuerza impulsora, reducción de la respuesta de la superficie a las fuerzas impulsoras y a la reducción de la eficiencia de radiación de las superficies generadoras de ruido. Las fuerzas impulsoras, son generalmente fuerzas mecánicas repetitivas, o fuerzas de impacto no repetitivas.

#### *a. Reducir la fuerza impulsora en la superficie vibrante,*

Las fuerzas repetitivas, a menudo son resultado de desbalances en un eje, se incrementan con la velocidad de giro, por lo tanto, el balanceo, como la reducción de velocidad son factores principales en la reducción de ruidos. Las fuerzas de impacto, generalmente se encuentran en operaciones mecánicas: punzado, forjado, nivelado. Debido a la corta duración de la mayoría de las fuerzas de impacto, el ruido depende de la máxima amplitud de la fuerza. El mismo trabajo, puede ser llevado a cabo por una fuerza menor distribuida sobre un periodo de tiempo más largo. A veces, es posible desacoplar la fuerza impulsora de la superficie.

#### *b. Reducir la respuesta de la superficie vibrante,*

Puede hacerse mediante amortiguación. Un buen soporte de la superficie vibrante puede reducir la amplitud de la vibración. También, puede reducirse incrementando la masa y la rigidez, lo cual, en condiciones de resonancia, puede bajar la frecuencia de resonancia, y reducir la amplitud de la vibración.

#### *c. Reducir el área de la superficie vibrante:*

Por ejemplo, mediante reducción del área, o perforación.

#### *d. Usar la direccionalidad de la fuente.*

Por ejemplo, las chimeneas pueden hacerse por arriba de la zona de influencia de la población vecina.

#### *e. Reducir la velocidad del.fluído.*

Cuando se descarga un gas al ambiente, hay dos tipos de problemas.

El primer problema tiene lugar, cuando la presión estática de la mezcla o abertura, no es más que dos veces la presión aguas abajo. En estas condiciones, el sonido del chorro (jet) varía con la sexta u octava potencia de la velocidad del gas y directamente con el área de salida y la densidad del gas.

Estos ruidos pueden reducirse con silenciadores. Los silenciadores son dispositivos que reducen la velocidad mediante la dispersión del flujo en un área más grande. Los silenciadores disipativos modifican la onda sonora, más que la fuente sonora en sí. También puede reducirse la velocidad y evitar así el uso de silenciadores.

*f. Reducir la turbulencia:*

Si se reduce la velocidad, puede obtenerse una reducción adicional del ruido disminuyendo la turbulencia.

**IV. Modificación de la onda sonora:**

*a. Confinamiento de la onda sonora:*

Cuando no es posible la reducción del sonido en la fuente, puede intentarse la reducción del ruido que se transmite por el aire mediante una barrera.

*b. Absorción de la onda sonora:*

1 . Absorción dentro de un cerramiento:

Se puede lograr usando materiales absorbentes.

2. Absorción en su recorrido:

Por ejemplo. los conductos de ventilación pueden revestirse para que absorban ruidos. Los silenciadores disipativos actúan absorbiendo el ruido.

*c. Usar el fenómeno de la resonancia:*

El fenómeno de resonancia, consiste en que dos tonos de la misma frecuencia tienden a cancelarse. Los absorbentes reactivos usan el fenómeno de resonancia.

**5.6. Bibliografía**

- (1) Dr. Ingeniero Marco Vigone -"Il rumore" - Igiene del lavoro ed inquinamento industriale -C. S. A. O. (Turín).
- (2) Beranek -Acústica. HASA.
- (4) Decreto 351 /79, Reglamento de la Ley 19.587.
- (5) Houssay. Bernardo A. y colaboradores  
Fisiología Humana  
El Ateneo ( 1983)  
I.S.B.N. 950-02-0062-7  
Buenos Aires
- (6) Behar, Alberto -El Ruido y su Control  
Editorial Arbo ( 1977)

- (7) AIHA - Industrial Noise Control Manual -  
2nd Edition
- (8) Brüel & Kjaer - Noise Control -  
ISBN 87 87355 09 4