

**TOMO V**

**ESPECIALIDAD  
DE  
HIGIENE INDUSTRIAL**

Este material ha sido obtenido del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, para impartir formación de Nivel Superior en Prevención de Riesgos Laborales con los contenidos correspondientes al Anexo VI del Reglamento de los Servicios de Prevención

Para obtener un óptimo aprovechamiento, debe de consultarse periódicamente la página web del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:

**<http://www.mtas.es/insht/index.htm>**

**SUMARIO DEL CURSO**  
**ESPECIALIDAD DE HIGIENE INDUSTRIAL**

<b>TEMA</b>	<b>Pág</b>
<b>1.1. SISTEMAS DE MEDIDA</b>	1
<b>1.2. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS</b>	21
<b>1.3. TRATAMIENTO DE DATOS</b>	47
<b>1.4. INFORMACIÓN DE RIESGO QUÍMICO</b>	57
<b>1.5. SISTEMAS DE CONTROL Y VENTILACIÓN</b>	67
<b>1.6. IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ACTIVIDADES ESPECÍFICAS</b>	117
<b>2. AGENTES BIOLÓGICOS</b>	155
<b>3.1. RUIDO</b>	171
<b>3.2. VIBRACIONES</b>	203
<b>3.3. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS</b>	235
<b>3.4. RADIACIONES ÓPTICAS</b>	269
<b>ANEXO I.- LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS</b>	
<b>ANEXO II.- FRASES R Y S ACTUALIZADAS</b>	



## 1.1. Sistemas de medida

### INTRODUCCIÓN

Como resultado de la evaluación de la exposición laboral, de acuerdo con la norma UNE EN 689, se ha podido llegar a la conclusión de que es necesario realizar una medición para determinar la presencia de una o varias sustancias químicas en el aire.

La exposición ocasionada por la presencia de contaminantes químicos en el medio ambiente laboral se expresa cuantitativamente mediante el valor de las concentraciones de dichas sustancias en el aire durante el tiempo de exposición. La medición de la exposición comporta, por tanto, la determinación de las concentraciones ambientales de los compuestos que la originan.

El grado de error que se puede admitir en las determinaciones viene dado por el motivo por el que se realizan las mismas (ver punto 2.3.9.). Si se quiere comprobar mediante una sencilla medición que los niveles de contaminante en aire están muy por encima o muy por debajo de los valores límite, se puede utilizar un procedimiento de medida que tenga una incertidumbre mayor, aunque conocida. Mientras que si se quiere determinar un nivel de concentración próximo al valor límite, hay que utilizar un procedimiento de medida con una incertidumbre menor.

Como estas concentraciones no suelen ser constantes a lo largo del tiempo, los valores que se determinen corresponderán en general a concentraciones medias referidas al periodo de tiempo en el que se ha efectuado la medición.

La medida de una exposición se expresa, mediante las concentraciones promediadas de unos contaminantes concretos, dadas en unidades de peso por volumen de aire o en partes por millón, ppm, en volumen si se trata de gases o vapores, referidas a un periodo de tiempo determinado, dado en minutos, horas u otra unidad de tiempo, por ejemplo 140 mg/m<sup>3</sup> de tolueno durante 8 horas, o, 75 ppm de metanol durante 15 minutos.

Las mediciones que haya que realizar dependerán de :

- características de los contaminantes químicos
- objeto de la medición
- disponibilidades técnicas

### OBJETIVOS

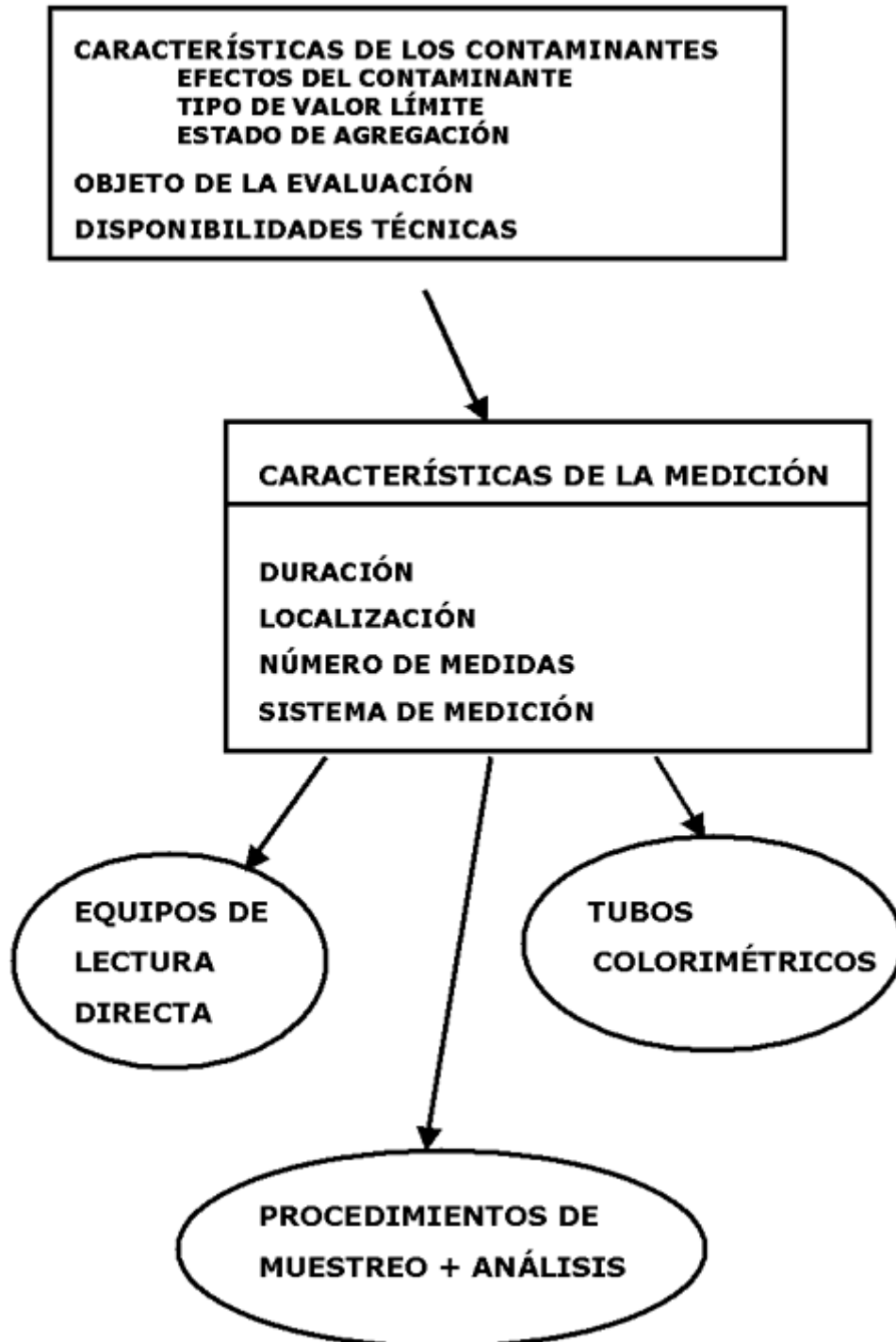
#### Objetivo general

Con esta unidad se pretende familiarizar al alumno con los distintos sistemas de medida de agentes químicos en el ambiente, así como con los criterios generales para decidir, en cada caso, cual es el más adecuado.

#### Objetivos específicos

- Familiarizar al alumno con la evaluación de agentes químicos
- Determinar la necesidad o no de realizar un muestreo.
- Conocer los principales sistemas de medida
- Dar a conocer los criterios generales que permiten decidir sobre la utilización de uno u otro sistema de medida en función de :
  - Efectos del contaminante
  - Naturaleza del contaminante
  - Motivo de la medición
  - Tipo de valor límite con el que se quiere comparar
  - Concentración ambiental
- Deducir el número necesario de muestras a tomar

ESQUEMA DE LA UNIDAD



## CAPÍTULO 1: EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

De acuerdo con la definición dada en la Directiva 98/24/CE del Consejo, de 7/4/98. DOL 131 de 5/5/98 (pag 11), se considera **agente químico** todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no.

Como **exposición** se entiende la situación en la que un agente químico en el aire inhalado por una persona. (Norma EN 1540:1998)

Por último, se considera **zona de respiración**, el espacio que rodea la cara del trabajador en el cual respira. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente : hemisferio (generalmente de 0,3 m de radio) que se extiende delante de la cara de la persona, centrado en el punto medio de la línea que une las orejas. La base del hemisferio es el plano que pasa por esta línea, la parte más superior de la cabeza y la laringe. (Norma EN 1540:1998)

La exposición se cuantifica en términos de concentración del agente obtenida de las mediciones de exposición, referida al mismo periodo de referencia que el utilizado para el valor límite aplicable. En consecuencia, se pueden definir dos tipos de exposición.

Exposición de larga duración (exposición diaria), **ED**, es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.

Referir la concentración media a dicha jornada estándar implica considerar el conjunto de las distintas exposiciones del trabajador a lo largo de la jornada real de trabajo, cada una con su correspondiente duración, como equivalente a una única exposición uniforme de 8 horas. Así pues, la **ED** puede calcularse matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$ED = \frac{\sum c_i \cdot t_i}{8}$$

siendo :

$c_i$  la concentración i-ésima

$t_i$  el tiempo de exposición, en horas, asociado a cada valor  $c_i$

A efectos del cálculo de la **ED** de cualquier jornada laboral, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en el numerador de la fórmula anterior será igual a la duración real de la jornada en cuestión, expresada en horas.

La exposición de larga duración (exposición diaria), **ED**, se compara con el **valor límite ambiental de exposición diaria, VLA-ED**, definido de acuerdo con la publicación del INSHT, Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 1999. Este valor límite de exposición diaria es equivalente al **TLV-TWA** de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

Exposición de corta duración, **EC**, es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral.

Lo habitual es determinar las **EC** de interés, es decir, las del período o períodos de máxima exposición, tomando muestras de 15 minutos de duración en cada uno de ellos. De esta forma, las concentraciones muestrales obtenidas coincidirán con las **EC** buscadas.

No obstante, si el método de medición empleado, por ejemplo basado en un instrumento de lectura directa, proporciona varias concentraciones dentro de cada período de 15 minutos, la **EC** correspondiente se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$EC = \frac{\sum c_i \cdot t_i}{15}$$

siendo

$c_i$  la concentración i-ésima dentro de cada período de 15 min.

$t_i$  el tiempo de exposición, en minutos, asociado a cada valor  $c_i$ .

La suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en la fórmula anterior será igual a 15 minutos.

La exposición de corta duración, **EC**, se compara con el **valor límite ambiental de exposición de corta duración, VLA-EC**, definido de acuerdo con la publicación del INSHT mencionada más arriba. Este valor límite de exposición diaria es comparable con el **TLV-C** y con el **TLV-STEL** de la ACGIH.

El **VLA-EC** no debe ser superado por ninguna **EC** a lo largo de la jornada laboral.

Para aquellos agentes químicos que tienen efectos agudos reconocidos, pero cuyos principales efectos tóxicos son de naturaleza crónica, el **VLA-EC** constituye un complemento del **VLA-ED** y, por tanto, la exposición a estos agentes habrá de valorarse en relación con ambos límites.

En cambio, a los agentes químicos de efectos principalmente agudos como, por ejemplo, los irritantes, sólo se les asigna para su valoración un **VLA-EC**.

## CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS

Las principales características de los contaminantes químicos que pueden estar presentes en un ambiente laboral, se refieren a :

- naturaleza química variada : en un ambiente laboral se pueden encontrar desde gases permanentes como CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, etc. hasta metales o partículas sólidas tales como polvo o fibras minerales. Eso afecta al sistema de medición que tenemos que emplear
- distinto estado de agregación en el que se pueden encontrar los contaminantes, como
  - gases, compuestos que se encuentran en forma de gas en condiciones normales de presión y temperatura
  - vapores, compuestos que debido a su presión de vapor pueden coexistir en estado líquido y de gas en condiciones normales de presión y temperatura
  - niebla (mist), suspensión en el aire de gotículas líquidas no apreciables a simple vista
  - humo (fume), suspensión en el aire de partículas esféricas procedentes de una condensación incompleta
  - humo (smoke), suspensión en el aire de partículas esféricas procedentes de una combustión incompleta
  - bruma (fog), suspensión en el aire de gotículas líquidas visibles a simple vista
  - polvo, dispersión de partículas sólidas en el aire
  - fibras, aquellas partículas cuya relación longitud/diámetro es superior a tres



- normalmente los compuestos no se encuentran aislados, sino en forma de mezclas. Esto, unido a que no existe un sistema de medición específico para cada contaminante, hace necesario conocer de antemano la posible presencia de otros compuestos en el ambiente a medir, aunque no interese su cuantificación, ya que pueden constituir una interferencia, haciéndonos llegar a resultados erróneos, que pueden ser por defecto o por exceso, dependiendo de la interferencia. Hay que tener en cuenta que en cualquier ambiente laboral hay presentes dos compuestos, que se encuentran en mayor cantidad que los contaminantes a medir y que, en determinadas circunstancias pueden constituir una interferencia. Estos compuestos son el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua.
- por último, casi siempre es necesario realizar un análisis cuantitativo, lo que, unido a que los contaminantes se encuentran en pequeñas cantidades en el ambiente, constituye un inconveniente, ya que en muchos casos, se trabaja en condiciones próximas al límite de cuantificación del procedimiento de medida que se utilice, lo que aumenta la incertidumbre del resultado obtenido.

### **CAPÍTULO 3: OBJETO DE LA MEDICIÓN**

El objeto de la medición, si se trata de comprobar que se está lejos del valor límite o bien nos encontramos cerca del mismo, determina la incertidumbre relativa aceptable del procedimiento de medida que se puede utilizar (ver punto 2.3.9 'Requisitos para su utilización en las determinaciones ambientales).

Por otra parte, el tipo de valor límite con el que se quieren comparar los resultados obtenidos, si es de corta o de larga duración, determina el tiempo de muestreo, ya que si se trata de un límite de corta duración, el tiempo de muestreo no puede ser superior a 15 min.

### **CAPÍTULO 4: DISPONIBILIDADES TÉCNICAS**

En muchas ocasiones, la medición supone dos etapas, una de muestreo y otra el posterior análisis. Los procedimientos de medida que se pueden utilizar estarán, por tanto, limitados por las disponibilidades técnicas del laboratorio. Los procedimientos de análisis del laboratorio se pueden dividir en :

- Análisis clásico
  - volumetrías
  - gravimetrías
  - potenciometrías
- Técnicas instrumentales
  - cromatográficas
  - espectrométricas
  - microscópicas

### **CAPÍTULO 5: PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA**

Como se dijo ya en otra unidad didáctica la Estrategia de muestreo tiene como objetivo asegurar la representatividad al menor coste posible. Esta estrategia consta de dos fases:

- Evaluación de la exposición laboral
- Mediciones periódicas

En la evaluación, lo que se hace es comparar la exposición con el valor límite, para saber si hay o no conformidad con dicho valor. Para realizar esta evaluación de la exposición laboral la norma UNE EN 689 no impone ningún esquema formal de trabajo, sino que se deja al criterio profesional la interpretación y la aplicación de la norma.

Las mediciones periódicas sirven para comprobar regularmente si las condiciones de la exposición han cambiado. La frecuencia con la que se realizarán las mediciones periódicas dependerá de los resultados obtenidos en la fase anterior (evaluación de la exposición laboral).

Cuando se sospeche que los niveles de exposición son claramente inferiores o superiores a los valores límites, la confirmación de estas situaciones pueden realizarse mediante el uso de técnicas que se aplican fácilmente y que pueden no ser muy precisas.

Si por el contrario, se sospecha que las exposiciones están próximas a los valores límites, será necesario realizar una investigación más precisa. Ésto, normalmente, implica toma de muestra y posterior envío de las mismas al laboratorio para su análisis. Es decir en función de la situación que encontremos deberemos de tomar o no un tipo determinado de muestras, siempre teniendo claro lo que queremos demostrar.

## CAPÍTULO 6: ATRIBUTOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA

La norma 482 define como "Procedimiento de medida : Procedimiento utilizado para el muestreo y el análisis de uno o de varios agentes químicos en el aire, y que incluye el almacenamiento y el transporte de la muestra"

A continuación se definen algunos términos que se utilizan cuando se habla de procedimientos de medida:

- **Valor verdadero:** valor verdadero o aceptado es la concentración del agente químico
- **Sesgo:** es la desviación o diferencia de los resultados obtenidos aplicando un procedimiento de medida con respecto al valor aceptado como referencia o valor verdadero. El sesgo es una expresión de la inexactitud del método y representa el error sistemático total.
- **Precisión:** es el grado de concordancia entre los resultados obtenidos aplicando el método repetidas veces, bajo condiciones determinadas. La precisión sólo depende de la distribución de errores aleatorios.
- **Intervalo de medida:** es el intervalo de concentraciones para las cuales el sesgo y la precisión de un procedimiento de medida están dentro de los límites especificados.
- **Validación:** es el proceso para evaluar las características de funcionamiento de un procedimiento de medida y verificar que se cumplen los criterios exigidos a los datos.
- **Repetibilidad (r)**
  - Cualitativamente: es el grado de concordancia entre resultados sucesivos obtenidos con el mismo método sobre una materia idéntica sometida al ensayo, en las mismas condiciones.
  - Cuantitativamente: es el valor por debajo del cual está situado, con una probabilidad especificada, el valor absoluto de la diferencia entre dos resultados individuales obtenidos en las condiciones anteriormente expuestas. En ausencia de otra indicación, la probabilidad es de 95%.
- **Reproducibilidad (R)**
  - Cualitativamente es el grado de concordancia entre dos resultados individuales obtenidos con el mismo método sobre una materia idéntica sometida al ensayo, pero en condiciones diferentes (operadores distintos, aparatos diferentes, distintos laboratorios y/o épocas diferentes).
  - Cuantitativamente: es el valor por debajo del cual está situado, con una probabilidad especificada, el valor absoluto de la diferencia entre dos resultados individuales obtenidos en las condiciones anteriormente expuestas. En ausencia de otra indicación, la probabilidad es de 95%.
- **Límite de detección:** es la menor cantidad de analito que puede ser detectada y diferenciada de un blanco, pero no necesariamente cuantificada con un nivel aceptable de exactitud y precisión.
- **Límite de cuantificación:** es la cantidad o concentración mínima que puede determinarse con un nivel aceptable de exactitud y precisión.
- **Incertidumbre de la medida:** estimación que caracteriza el intervalo de valores en el que se sitúa generalmente con una determinada probabilidad, el valor verdadero de la magnitud medida.
- **Incertidumbre global:** es una cantidad utilizada para caracterizar, como un todo, la incertidumbre del resultado dado por un equipo o un procedimiento de medida.. Se

expresa, en porcentaje, por una combinación del sesgo y de la precisión, generalmente de acuerdo con la fórmula :

$$\frac{|\bar{X} - X_{\text{ref}}| + 2s}{X_{\text{ref}}} \times 100$$

Donde

- $\bar{X}$  . . . . es el valor medio de los resultados de un número n de mediciones
- $X_{\text{ref}}$  . . es el valor de referencia aceptado o verdadero
- $s$  . . . . es la desviación típica (estándar) de las n mediciones

A veces se refiere a ella como incertidumbre relativa, ya que se expresa en porcentaje

- **Material de referencia:** es un material o sustancia en la cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y están bien definidas para permitir utilizarlos para la calibración de un instrumento, la evaluación de un procedimiento de medida o la asignación de valores a sus materiales (Guía ISO 30:1992)
- **Materiales de referencia certificados:** aquellos materiales de referencia acompañados de un certificado, en el cual uno o más valores de sus propiedades están certificados por un procedimiento que establece su trazabilidad con una realización exacta de la unidad en la que se expresan los valores de la propiedad y para la cual cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con la indicación de un nivel de confianza (Guía ISO 30:1992)
- **Selectividad** es la capacidad de un procedimiento de medida para determinar únicamente los componentes que se pretenden medir. La falta de selectividad se llama inespecificidad.
- **Sensibilidad** es la pendiente de la recta de calibración que se obtiene cuando el resultado (o señal) de la medida o una función de la misma se representa frente a la cantidad o concentración del analito.

En resumen : todo procedimiento de medida tiene que estar validado, para que al aplicarlo obtengamos un alto grado de confianza en el mismo y de credibilidad en los resultados obtenidos al aplicarlo.

## CAPÍTULO 7: CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE SU OBJETIVO

La norma 689 no hace una clasificación de los procedimientos de medida, sino que cita la norma UNE-EN 482 en la que figura la siguiente tabla donde se recogen los requerimientos de los procedimientos de medida en función del objetivo de la medición.

La norma especifica los requisitos generales de funcionamiento para los procedimientos que se utilizan en la determinación de la concentración de los agentes químicos en el aire en el lugar de trabajo. Estos requisitos se aplican a todos los procedimientos de medida, cualquiera que sea la naturaleza química o estado físico (gas, vapor, materia en suspensión) del agente e independientemente del método de muestreo o de análisis utilizado.

Esta norma (482) es aplicable a todas las etapas del procedimiento de medida, incluyéndose el transporte y el almacenamiento de la muestra. También es aplicable a los procedimientos de medida con etapas separadas de muestreo y análisis, y a los equipos de lectura directa.

La norma 482 define Procedimiento de medida como : Procedimiento utilizado para el muestreo y el análisis de uno o de varios agentes químicos en el aire, y que incluye el almacenamiento y el transporte de la muestra.

Si nos fijamos en la tabla los procedimientos de medida se clasifican según sus objetivos:

- Procedimiento de medida aproximada del TWA.
- Procedimiento de medida aproximada de la variación de la concentración con :
  - a) El tiempo
  - b) El espacio
- Medidas en la fuente de emisión.
- Conformidad con el valor límite.
- Mediciones periódicas

**ESPECIFICACIONES DE LOS REQUISITOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA EN FUNCIÓN DEL OBJETO DE LA MEDICIÓN (UNE - EN 482)**

OBJETIVO	INCERTIDUMBRE RELATIVA	RANGO DE MEDIDA EXIGIBLE	TIEMPO DE MUESTREO	NOTAS
PROCEDIMIENTO DE MEDIDA APROXIMADA DEL TWA	≤ 50 %	0,1-5 VL	≤ 8 h	1
PROCEDIMIENTO DE MEDIDA APROXIMADA DE LA VARIACION DE LA CONCENTRACION CON a) EL TIEMPO b) EL ESPACIO	≤ 20 % ≤ 40 %	RD ≥ 10:1 RD ≥ 10:1	≤ 5 min ≤ 15 min	2 1,3
MEDIDAS EN LA FUENTE DE EMISION	≤ 50 %	0,5-10 VL	depende de la fuente	1
CONFORMIDAD CON EL VALOR LIMITE	≤ 50 % ≤ 30 %	0,1-0,5 VL 0,5-2 VL	≤ 8 h	1
MEDICIONES PERIODICAS	≤ 50 % ≤ 30 %	0,1-0,5 VL 0,5-2 VL	≤ 8 h	1

VL = VALOR LIMITE  
RD = RANGO DINAMICO

- **Procedimiento de medida aproximada del TWA.** Estas mediciones se llevan a cabo para obtener información semicuantitativa sobre el nivel de exposición, para decidir si existe o no riesgo y, caso de que exista, evaluar su posible gravedad. Este procedimiento también puede utilizarse para determinar si la exposición está claramente por debajo o por encima del valor límite. Pero nunca se debe utilizar este procedimiento para determinar conformidad con el valor límite.
- **Procedimiento de medida aproximada de la variación de la concentración con respecto al espacio y al tiempo.** Este procedimiento se utiliza cuando queremos realizar mediciones para
  - proporcionar información de los probables perfiles de concentración de los agentes químicos.
  - establecer la duración y frecuencia de muestreo de las mediciones para comparar con los valores límite.
  - localizar fuentes de emisión
  - estimar la eficacia de la ventilación o de otras medidas técnicas.
  - identificar emplazamientos y períodos de elevada exposición.
- **Medidas en la fuente de emisión.** Esta medición proporciona información sobre la localización y la intensidad de la fuente. En combinación con otras informaciones, pueden permitir la eliminación de la contribución significativa a la exposición de una fuente sospechosa.
- **Conformidad con el valor límite.** Estas mediciones proporcionan información exacta y fiable sobre la concentración media ponderada en el tiempo de un agente químico específico en el aire que puede ser inhalado, o bien permiten su predicción.
- **Mediciones periódicas.** Estas mediciones se utilizan para determinar si las condiciones de exposición han cambiado desde su comparación con los valores límite, o bien para comprobar si las medidas de control continúan siendo eficaces.

Los dos primeros (medida aproximada del TWA y medida aproximada de la variación de la concentración) son procedimientos de 'screening', que conviene recordar que se utilizan para :

- identificar momentos dentro de un proceso en los que la exposición sea mayor cuando el trabajo varía a lo largo de la jornada, es decir no es homogéneo
- identificar lugares en los que la exposición sea mayor.

## **CAPÍTULO 8: REQUISITOS PARA SU UTILIZACIÓN EN LAS DETERMINACIONES AMBIENTALES**

En la tabla, para cada procedimiento de medida se fija la incertidumbre relativa y el rango de medida exigible, como han sido definidos en el apartado 2.3.7, y el tiempo de muestreo:

- **Tiempo de muestreo** es el tiempo que tiene que durar el procedimiento de medida, y dependerá del tipo del valor límite con el que vamos a comparar los resultados.

Si nos fijamos en la tabla, en el apartado de conformidad con el valor límite figuran dos incertidumbres relativas. Cuando el rango de concentraciones es de 0.5-2 VL, es decir cerca del valor límite, el error tendrá que ser pequeño. Si, por el contrario, el rango de concentraciones está entre 0.1-0.5 VL, es decir más bajas, el error puede ser mayor, hasta un 50%.

Cuando queremos realizar medidas aproximadas de la variación de la concentración con respecto al tiempo o el espacio, la tabla no especifica ningún rango de medida exigible, ya que puede ser decidido para cada aplicación. Sí especifica una amplitud mínima entre los límites superior e inferior del intervalo de medida de la concentración.

Las notas que figuran en la tabla son las siguientes:

- 1- Se pueden utilizar dos procedimientos complementarios para cubrir el rango de medida exigible.
- 2- Solo se tiene en cuenta la precisión en el cálculo de la incertidumbre. El sesgo se supone menor que la precisión.
- 3- Como interesa medir variaciones, el sesgo no es importante y se puede sustituir el requerimiento de incertidumbre por una precisión  $\leq 20\%$ .

En resumen, ya hemos visto que en función de lo que queramos comprobar y de como nos encontremos la situación, en caso de que decidamos que vamos a realizar mediciones podremos utilizar distintos procedimientos.

Como ejemplo, se puede considerar el caso de una evaluación ambiental de la exposición a amoníaco.

Se puede utilizar para muestrear amoníaco:

- a) Un tren de 'impingers', que contienen ácido sulfúrico 0.1 N
- b) Tubo de difusión de lectura directa.
- c) Tubo colorimétrico de corta duración de lectura directa.

Si queremos medir conformidad con el Valor Límite utilizaremos el primer procedimiento (a), ya que en principio, por ser un procedimiento de medida que requiere dos etapas (muestreo y posterior análisis) es el de menor incertidumbre relativa.

Si queremos ver concentraciones muy bajas respecto al Valor Límite el procedimiento que utilizaremos será el segundo (b) ya que es sencillo de manejar y aunque sea menos preciso que el primero no importa porque son concentraciones muy bajas.

Si por el contrario queremos conocer la distribución de la concentración respecto al tiempo, utilizaremos el tercer procedimiento (c) y cuando ya tengamos localizados los períodos de exposición elevada nos replantearemos la situación.

Es decir, en función del objetivo de las mediciones utilizaremos el procedimiento más adecuado para cada caso.

### CAPÍTULO 9: NÚMERO DE MUESTRAS NECESARIAS EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS MISMAS

Si se quiere comparar con un valor límite de corta duración, las muestras se deben tomar en aquellos períodos en los que se espere que la exposición sea máxima. Si se quiere comparar con un valor límite de larga duración, es necesario obtener información de la exposición a lo largo de la jornada de trabajo.

La duración de las muestras vendrá condicionada por el método de toma de muestras y el de análisis, y siempre coincidirá con el estándar que vamos a comparar.

Si las condiciones varían a lo largo de la jornada de trabajo el número de muestras aumentará. El mínimo número de muestras que se requiere para evaluar un período de trabajo homogéneo en cuanto a las concentraciones de contaminantes se puede establecer estadísticamente, pero como guía, se puede utilizar la siguiente tabla:

Duración de la muestra	Número de muestras
10 seg	30
1 min	20
5 min	12
15 min	4
30 min	3
1 hora	2
>2 horas	1

La tabla da una guía para el muestreo en procesos de trabajo que producen una exposición homogénea. Es una combinación de experiencia práctica y argumentos estadísticos ya que, generalmente, la estadística solamente se puede usar en la valoración de la exposición como una herramienta para las recomendaciones de un profesional.

Esta tabla se basa en la presunción de que se debe muestrear al menos el 25% del período de exposición, siempre que no se produzcan cambios significativos en la exposición.

Cuando la duración de la muestra es muy corta, se necesitaría una gran cantidad de muestras (por ejemplo, 720 muestras de 10 segundos para evaluar el 25% de una exposición de 8 horas). Esta cantidad no es admisible por razones prácticas. Con treinta muestras por jornada se alcanza la necesaria estabilidad estadística. Esto quiere decir además, que las variaciones en la duración de la exposición no afectan a este número mínimo.

El único motivo para reducir el número de muestras indicado en la tabla, es que la duración del período de exposición sea muy pequeña.

Una duración de 10 seg se refiere a muestras puntuales, por ejemplo aparatos de lectura directa. De 1 a 5 min a tubos colorimétricos. De 15 a 60 min a tubos adsorbentes, y a partir de 1 hora a filtros para metales o polvo total o a muestreadores pasivos.

## CAPÍTULO 10: CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDICIONES

Por la duración de la medición, pueden ser puntuales o promediadas.

- la medición puntual se limita a la determinación de la concentración en un periodo de tiempo muy corto. El valor de la concentración que se obtiene de este modo puede asimilarse al valor instantáneo de la misma en el momento de la medición. Estas mediciones son adecuadas para determinar :

- picos de concentración en situaciones concretas
- variaciones de la concentración en el tiempo
- variaciones de la concentración en el espacio

- la medición promediada abarca un periodo de tiempo más largo, y es adecuada para la determinación de concentraciones medias a lo largo de la jornada laboral o parte de ella



**fig. 1 - Muestreo personal**

Por la localización de la medición, pueden ser ambientales o personales.

- las mediciones ambientales permiten la determinación de las concentraciones de contaminantes en zonas de trabajo concretas o bien representativas de la composición del ambiente general de una nave industrial. Este tipo de mediciones no suele tener limitaciones en cuanto al tamaño y peso de los instrumentos que se utilizan, que suelen colocarse en sitios fijos. Permiten las mediciones en focos de contaminación y son útiles para la obtención de datos que, posteriormente, se utilizarán en trabajos de ingeniería de procesos y control ambiental

- las mediciones personales, asociadas tradicionalmente a la Higiene Industrial, permiten obtener valores de las concentraciones de los contaminantes en la zona próxima a las vías respiratorias del trabajador. Este tipo de mediciones precisa la utilización de instrumentos de tamaño y peso reducidos y funcionamiento autónomo, ya que acompañan al individuo durante la

realización de su trabajo, normalmente van situados en la solapa del trabajador (ver fig. 1). Los resultados de estas mediciones, dan una idea más exacta de la exposición real de los trabajadores a los contaminantes, aunque la exposición de un trabajador en particular también depende de sus hábitos de trabajo

Por el procedimiento utilizado en la medición se dividen en :

- equipos de lectura directa
- tubos colorimétricos
- procedimientos de muestreo + análisis

## CAPÍTULO 11: EQUIPOS DE LECTURA DIRECTA

Un equipo de lectura directa es cualquier instrumento capaz de proporcionar una medida de la concentración de un contaminante en el aire.

Los principios físicos para la determinación cuantitativa en los que se basan las mediciones efectuadas con este clase de aparatos, pueden ser de cuatro tipos :

- Eléctricos : cuando las propiedades físicas o químicas del contaminante introducen cambios en los parámetros eléctricos de un sensor, de forma que los valores de salida son proporcionales a la concentración del compuesto a medir
- Térmicos : detectan las variaciones en las propiedades térmicas de los compuestos a medir y pueden ser de dos tipos, de acuerdo con la propiedad que miden:
  - conductimétricos : por cambios en la conductividad de la mezcla
  - de combustión : este es el principio de aplicación en la construcción de explosímetros, aparatos de alarmas en atmósferas combustibles y medidores de niveles de oxígeno
- Electromagnéticos : la energía electromagnética, en forma de radiación UV, visible o IR, se absorbe por el medio contaminado a frecuencias características del contaminante y con una intensidad que depende de su concentración
- Quimi-electromagnéticos : se basan en el análisis de un gas en el que se produce una reacción química acompañada de una radiación electromagnética, que es la que se mide.

La precisión de este tipo de equipos viene determinada por el fabricante, y su utilización exige, por otra parte, calibraciones periódicas por medio de atmósferas o mezclas de gases de composición conocida. Pueden medir concentraciones puntuales, o bien tomar medidas durante un cierto periodo de tiempo.

En la actualidad, el mercado ofrece una gran diversificación en este tipo de instrumentos, que se utiliza en la instalación de redes de detección, con incorporación de alarmas ópticas, acústicas o registradores, así como para la puesta en funcionamiento de extractores al alcanzarse una concentración determinada.

También existen equipos capaces de tomar medidas puntuales de la concentración de contaminante a lo largo de toda la jornada de trabajo y al final de la misma dar información del perfil de concentración a lo largo del periodo medido, de la concentración media y del tiempo durante el cual se ha sobrepasado cierto valor de la concentración.

Los equipos de lectura directa están recomendados para :

- estimar la concentración puntual del contaminante en el aire, para compararla con un valor límite de corta duración, si se conoce realmente cuál es el contaminante y se tiene la certeza de que es el único presente en el ambiente, o al menos que no hay otros compuestos que interfieran en la medición, debido a la gran inespecificidad de estos equipos
  - calcular la concentración del contaminante cerca de la fuente de emisión.
- Esto es un ejemplo de medida en el caso más desfavorable (ver 'Evaluación



de la exposición a agentes químicos, punto 3.4)

- calcular la variación de la concentración del contaminante en el espacio o en el tiempo. Estos procedimientos se utilizan para localizar periodos de exposición elevada para, posteriormente, fijar los tiempos de muestreo con otro sistema de medición. Sobre todo con aquellos equipos que son capaces de representar el perfil de concentración de un contaminante a lo largo de la jornada de trabajo
- detectar fugas
- conocer la presencia del contaminante en espacios cerrados, como por ejemplo un tanque, siempre que sea posible utilizar una sonda para realizar la medición
- valorar emisiones de corta duración
- determinar concentraciones pico

### 1. Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas de los equipos de lectura directa son :

- rapidez de respuesta, por lo que están particularmente indicados para conocer la presencia de un compuesto que puede ocasionar daños agudos
- capacidad para medir concentraciones puntuales
- no precisar análisis posterior
- posibilidad de conectar el equipo a una alarma o cualquier otro tipo de indicador o controlador

Mientras que los principales inconvenientes son :

- necesitan calibración, normalmente bastante complicada, aunque vengan calibrados por el fabricante, fundamentalmente porque
  - el elemento sensible puede envejecer, dando otra respuesta diferente a cuando es nuevo
  - después de determinadas mediciones, cuando la concentración medida ha sido muy elevada, puede haber sobresaturación. En este caso hay que someter, si es posible, el elemento sensible a un proceso de regeneración, para que vuelva a dar la lectura correcta, o bien, cambiarlo por uno nuevo
- inespecificidad, ya que no son selectivos para el compuesto para el que están pensados, sino que pueden presentar ciertas interferencias. El grado de inespecificidad es función del principio físico responsable de la medición. En general el grado de inespecificidad disminuye de los eléctricos a los quimi-electromagnéticos (ver punto 2)

### 2. Principales aplicaciones

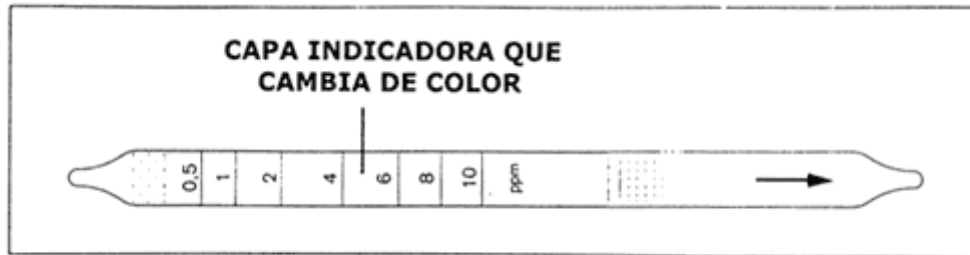
Las principales aplicaciones de los equipos de lectura directa son la determinación de :

- ozono, O<sub>3</sub>
- monóxido de carbono, CO
- dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>
- óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>
- arsenamina, AsH<sub>3</sub>
- amoníaco, NH<sub>3</sub>
- sulfhídrico, SH<sub>2</sub>
- cianhídrico, CNH
- hidrazina, NH<sub>2</sub> - NH<sub>2</sub>
- cloro, Cl<sub>2</sub>
- fosgeno, Cl<sub>2</sub>CO
- mercurio

- diisocianatos
- hidrocarburos totales

## CAPÍTULO 12: TUBOS COLORIMÉTRICOS

Un tubo colorimétrico es un vial que contiene una preparación química que reacciona con la sustancia a medir cambiando de color. La mayoría de los tubos



*fig. 2 - Tubo colorimétrico*

colorimétricos están graduados, de tal manera que la longitud de la mancha indica la concentración de la sustancia medida (ver fig. 2). La escala, para facilitar la interpretación de los resultados, viene graduada en ppm o en porcentaje en volumen, dependiendo de la sustancia de que se trate.

En algunos casos, la interpretación cuantitativa de los resultados se hace por comparación de colores.

Al venir indicada la escala en los tubos, no es necesaria la calibración previa de los mismos por parte del usuario. Sí es importante conocer que los tubos, aunque vienen cerrados por ambos extremos y deben conservarse en lugar refrigerado, tienen fecha de caducidad, por lo que deberán consultarse las indicaciones del fabricante al respecto.

En el momento de su utilización, los tubos deben romperse por uno de sus extremos o bien por los dos, de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

La lectura del tubo debe hacerse inmediatamente después de terminar el muestreo, ya que la coloración y extensión de la mancha pueden variar con el tiempo. Los tubos son de un solo uso.

La mayoría de las reacciones utilizadas en los tubos colorimétricos no son selectivas en el estricto sentido de la palabra, ya que con frecuencia no distinguen entre compuestos similares. El fabricante suele indicar, en el correspondiente manual de utilización, los compuestos que constituyen interferencias en las determinaciones, tanto cualitativa como cuantitativa.

El usuario de los tubos debe conocer la presión y la temperatura en el momento de realizar la medición y hacer las correcciones oportunas, siguiendo las instrucciones del fabricante, ya que la lectura puede variar si las condiciones a las que han sido calibrados los tubos son sensiblemente diferentes.

### 1. Clases de tubos colorimétricos

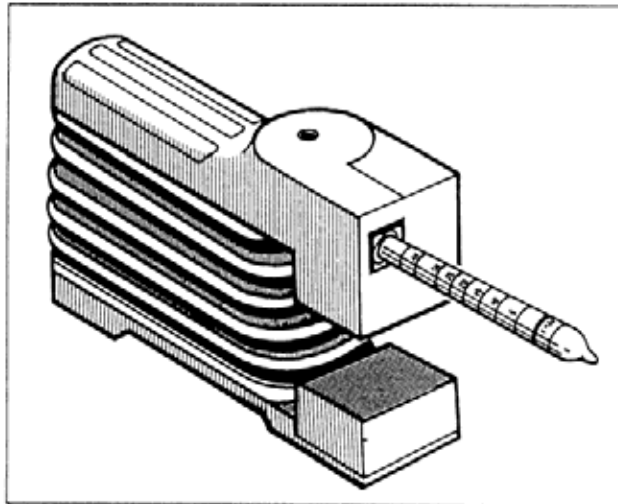
Existen dos tipos de tubos colorimétricos, los de corta y los de larga duración.

En los de corta duración, el método de medida consiste en hacer pasar el aire que contiene el contaminante a través del tubo mediante una bomba mecánica de fuelle (ver fig. 3) con un recorrido constante de 100 cm<sup>3</sup> por embolada. El número de éstas es el recomendado por el fabricante, para que la lectura de la escala graduada sea la correcta.

En algunos casos es posible utilizar distintos números de emboladas, teniendo en cuenta que entonces la escala graduada del tubo debería corregirse de acuerdo con las instrucciones del fabricante

El tiempo necesario para el muestreo está comprendido entre 10 segundos y 15 minutos, dependiendo del número de emboladas necesarias, por lo que estos tubos de corta duración están recomendados para :

- estimar la concentración puntual del contaminante en el aire, para compararla con un valor límite de corta duración
- calcular la concentración del contaminante cerca de la fuente de emisión



**fig. 3 - Tubo colorimétrico y bomba mecánica de fuelle**

Esto es un ejemplo de medida en el caso más desfavorable (ver 'Evaluación de la exposición a agentes químicos, punto 3.4)

- calcular la variación de la concentración del contaminante en el espacio o en el tiempo. Estos procedimientos se utilizan para localizar periodos de exposición elevada para, posteriormente, fijar los tiempos de muestreo
- detectar fugas
- conocer la presencia del contaminante en espacios cerrados, como por ejemplo un tanque, utilizando en este caso una sonda
- valorar emisiones de corta duración
- determinar concentraciones pico

Estos tubos están calibrados junto con la bomba recomendada por el fabricante, por lo que no es recomendable utilizarlos con otra bomba distinta, aunque suministre el mismo volumen de aire, ya que podría modificarse el perfil o la longitud de la mancha.

Los tubos colorimétricos de larga duración proporcionan una medida integrada que representa la concentración media del contaminante durante el periodo de muestreo.

La duración del muestreo con este tipo de tubos está comprendida entre 1 y 8 horas, por lo que se utilizan para :

- estimar la concentración promedio del contaminante en el aire, para compararla con un valor límite de larga duración

Dentro de los tubos de larga duración existen dos tipos distintos :

- aquellos en los que se hace pasar el aire a través del tubo mediante una bomba peristáltica o similar, a un caudal de 15 cm<sup>3</sup>/min
- los que miden la concentración del contaminante basados en la difusión del aire y, por tanto, no necesitan bomba

En el caso de los tubos colorimétricos de larga duración de lectura directa, cuando se utilicen periodos diferentes al indicado por el fabricante, se obtendrá la concentración promedio aplicando el siguiente factor de corrección :

$$\text{conc. verdadera} = \text{conc. leída} \times \frac{\text{t indicado (en horas)}}{\text{t de muestreo (en horas)}}$$

Cuando se utilice un tubo de difusión de lectura directa, la concentración del contaminante vendrá dada por :

$$\text{conc. verdadera} = \frac{\text{indicación del tubo}}{\text{duración de la medida (en horas)}}$$

## 2. Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas de los tubos colorimétricos son :

- rapidez de respuesta, por lo que están particularmente indicados para conocer la presencia de un compuesto que puede ocasionar daños agudos
- son capaces de medir concentraciones puntuales
- no precisan análisis posterior
- no precisan calibración, ya que vienen graduados por el fabricante

Mientras que los principales inconvenientes son :

- posibilidad de dar errores sistemáticos, debidos a
  - defectuosa calibración del fabricante
  - defectuosas condiciones de almacenamiento, puesto que se deben mantener a 4<sup>o</sup> C hasta el momento de su utilización
  - fecha de caducidad
- necesitan calibración de la bomba
- necesitan lectura inmediata, ya que con el tiempo puede alterarse el perfil, la longitud o el color de la mancha
- influencia de la temperatura, que hace necesaria la corrección de la lectura en algunos casos
- inespecificidad, ya que no son selectivos para el compuesto para el que están pensados, sino que pueden presentar ciertas interferencias. Estas interferencias en muchos casos están descritas por el fabricante. En general son algo menos inespecíficos que los equipos de lectura directa, pero más que los procedimientos que requieren muestreo y posterior análisis
- imprecisión (ver 'Requisitos generales de los procedimientos de medida)

## 3. Principales aplicaciones

Las principales aplicaciones de los tubos colorimétricos de corta duración son la determinación de :

- oxígeno, O<sub>2</sub>
- ozono, O<sub>3</sub>
- hidrógeno, H<sub>2</sub>
- peróxido de hidrógeno, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- monóxido de carbono, CO
- anhídrido carbónico, CO<sub>2</sub>

- dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>
- óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>
- sulfuro de carbono, S<sub>2</sub>C
- arsenamina, AsH<sub>3</sub>
- fosfamina, PH<sub>3</sub>
- amoníaco, NH<sub>3</sub>
- fluoruro de hidrógeno, FH
- cloruro de hidrógeno, ClH
- sulfhídrico, SH<sub>2</sub>
- cianhídrico, CNH
- hidrazina, NH<sub>2</sub> - NH<sub>2</sub>
- flúor, F<sub>2</sub>
- cloro, Cl<sub>2</sub>
- fosgeno, Cl<sub>2</sub>CO
- mercaptanos
- formaldehido
- acetaldehido
- ácido fórmico
- ácido acético
- acrilonitrilo
- benceno
- óxido de etileno
- anilina
- hidrocarburos totales

Y de los de larga duración :

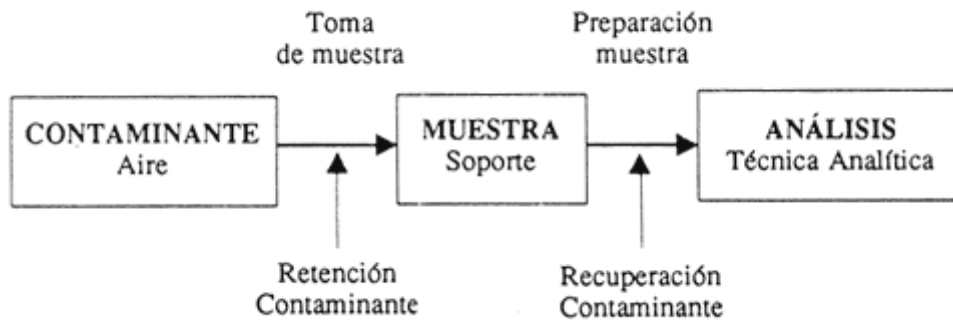
- monóxido de carbono, CO
- anhídrido carbónico, CO<sub>2</sub>
- dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>
- óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>
- amoníaco, NH<sub>3</sub>
- fluoruro de hidrógeno, FH
- sulfhídrico, SH<sub>2</sub>
- cianhídrico, CNH
- ácido acético
- benceno
- hidrocarburos totales
- acetona
- tolueno (tubo de difusión)
- tricloroetileno (tubo de difusión)
- etanol (tubo de difusión)
- acetato de etilo (tubo de difusión)

Cuando para la determinación de la concentración promedio de un contaminante en el aire existan dos procedimientos, uno de ellos colorimétrico y otro en el que se requiera la captación y posterior análisis del contaminante mediante una técnica instrumental, se recomienda utilizar :

- el procedimiento instrumental siempre que las concentraciones de contaminante estén comprendidas entre la mitad y el doble del valor límite con el que se pretenda comparar la exposición
- el procedimiento colorimétrico cuando las concentraciones de contaminante sean inferiores a la mitad o superiores al doble del valor límite con el que se pretenda comparar la exposición
- el procedimiento colorimétrico cuando lo que se pretenda sea realizar una estimación semicuantitativa de las concentraciones ambientales

## CAPÍTULO 13: PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO + ANÁLISIS

La secuencia de las acciones físicas y los procesos químicos necesarios para obtener la respuesta analítica deseada, constituye el método analítico. Esta definición, que podría ser válida en general para cualquier procedimiento de medida, se suele aplicar para las determinaciones que no están automatizadas (equipos de lectura directa), es decir aquellas que implican una toma de muestra y posteriormente un análisis, y que se pueden representar de acuerdo con el siguiente esquema :



El contaminante o contaminantes presentes en el aire son transferidos mediante un sistema de captación o muestreo adecuado a un soporte, que los retiene y da origen a lo que se conoce como "muestra". Esta muestra es transportada o enviada al laboratorio donde se prepara y analiza, siguiendo un procedimiento analítico determinado, mediante una o varias técnicas. Esta última parte del método analítico es lo que se conoce habitualmente como "análisis".

El método analítico se suele diseñar para un compuesto en concreto y para unas circunstancias determinadas (matriz, rango de concentración, técnica analítica utilizada, etc.)

Estos datos, junto con la fiabilidad del método, que se determina experimentalmente, constituyen las características del método (ver 'Atributos de los procedimientos de medida'). De acuerdo con las características del contaminante y con su estado de agregación (ver 2.3.2), los soportes que habitualmente se utilizan para la toma de muestra, se pueden clasificar en tres tipos :

- filtros (que van colocados en portafiltros o 'cassettes')
- soluciones absorbentes (contenidas en frascos borboteadores o 'impingers')
- sólidos adsorbentes (contenidos en tubos u otros dispositivos)

Todos estos procedimientos serán descritos en capítulos posteriores.

### 1. Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas de este tipo de procedimientos de medida son :

- posibilidad de obtener información cualitativa del procedimiento analítico
- posibilidad de hacer más de un análisis de la misma muestra, lo que permite eliminar interferencias cuando se conoce o sospecha la presencia de otros compuestos distintos de los de interés en el mismo ambiente
- menor incertidumbre relativa

Mientras que los principales inconvenientes son :

- necesidad de análisis posterior, lo que implica conocer la conservación adecuada de la muestra hasta el momento del análisis y requiere la disponibilidad de equipos analíticos, con frecuencia de coste elevado
- respuesta más lenta, cuando se compara estos procedimientos de medida

con los equipos de lectura directa o los tubos colorimétricos, por lo que estos procedimientos no resultan adecuados para localizar fugas, detectar la presencia de compuestos con efectos agudos, determinar concentraciones pico o localizar momentos o lugares de mayor concentración

- necesidad de calibración de la bomba que se utilice en el muestreo
- necesidad de calibración del equipo analítico

## RESUMEN DE LA UNIDAD

Como se indicó en la introducción, es posible que durante el desarrollo de la evaluación de la exposición a agentes químicos se llegue a la conclusión de la necesidad o conveniencia de efectuar una serie de mediciones. Antes de decidir cuál va a ser el procedimiento de medida que utilizemos, es necesario definir dos variables :

- el contaminante o contaminantes de interés
  - el motivo de efectuar la medición
- Del **contaminante o contaminantes** que queremos medir, hay una serie de variables que afectarán en mayor o menor grado nuestro procedimiento de medida
    - Su naturaleza química, que determinará cuál o cuáles pueden ser los instrumentos de medida que se pueden utilizar, tanto si son equipos de lectura directa o tubos colorimétricos, como si se trata de un instrumento de análisis de los que habitualmente se utilizan en el laboratorio (cromatógrafos, espectrofotómetros, balanzas, microscopios, etc.). A su vez, el instrumento de medida, debido a su mayor o menor sensibilidad, influirá en
      - El tiempo que durará la medición
      - El tamaño de muestra necesario, si se trata de un procedimiento que requiera muestreo y posterior análisis
    - Su estado de agregación que determinará
      - El sistema de captación (filtro, sólido adsorbente, solución absorbente, o combinación de dos medios de captación) si se va a utilizar un procedimiento de medida que requiera dos etapas (toma de muestra y posterior análisis)
      - Si es posible utilizar un equipo de lectura directa o un tubo colorimétrico, ya que no es normal utilizarlos cuando se trata de medir un compuesto en estado sólido
    - La posible presencia de otros compuestos, aunque no interese su medición, ya que pueden constituir una interferencia. Este hecho influye en que el procedimiento de medida tenga que ser más o menos selectivo, y por tanto en el instrumento de medida que debemos utilizar, caso de que haya más de una posibilidad
  - Del **motivo de la medición** hay dos variables que resultan determinantes a la hora de elegir el procedimiento de medida adecuado
    - Tipo de valor límite con el que se quiera comparar, que determinará
      - Cuándo hay que realizar el muestreo. Periodos de máxima exposición cuando se trata de valores límite de corta duración o periodos que reflejen la exposición diaria si el valor límite es de larga duración
      - Cuál ha de ser la duración total del periodo de muestreo, que lógicamente influirá en la duración de cada muestra
    - Proximidad al valor límite que determinará
      - La incertidumbre relativa del procedimiento de medida que debemos emplear y que limitará la utilización de ciertos procedimientos.

Tampoco se puede olvidar que la utilización de procedimientos con una menor incertidumbre relativa, suele suponer un mayor precio, una respuesta más lenta y la necesidad de disponer de un laboratorio con el instrumental adecuado para realizar la medición

- Localización de la muestra, ya que hemos de decidir si se requiere un muestreo personal, o bien ambiental, si se trata de medir cerca del foco de contaminación
- Duración de la muestra, puntual o promediada

Por último hay otra serie de factores que limitarán nuestra elección

- Coste de la evaluación
- Disponibilidad de
  - Equipos de medida
  - Procedimientos de medida
- Tiempo de respuesta necesario

## BIBLIOGRAFÍA

norma UNE-EN 482:1995. Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos. Noviembre 1995.  
norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. Marzo 1996.

norma UNE-EN 1540:1998. Atmósferas en el lugar de trabajo. Terminología. Junio 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España. 1999. ISBN 84-7425-525-2.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Documento Técnico 78:94. Estrategia de muestreo para la evaluación de la exposición laboral a contaminantes químicos. José N. Tejedor y M<sup>a</sup> Jesús García-Gutiérrez.. ISBN 84-7425-404-3

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Análisis de contaminantes químicos en aire. Coordinador : Antonio Martí Veciana. ISBN 84-7425-324-1.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Higiene Industrial. Coordinador : Juan Guasch Farrás.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Métodos de toma de muestra de contaminantes químicos en aire. Coordinador : José N. Tejedor Traspaderne. ISBN 84-7425-462-0.

GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D'OCUPACIÓ, INDÚSTRIA I COMERÇ. TLVs. Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos en el Ambiente de Trabajo. BEIs. Índices Biológicos de Exposición. 1998. ISBN 84-482-2094-3

Dräger. Tube Handbook. Drägerwerk Aktiengesellschaft Lübeck. 11<sup>a</sup> ed. 1998. ISBN 3-926762-06-3



## 1.2. Procedimientos analíticos

### INTRODUCCIÓN

La posible acción nociva de un contaminante depende de su toxicidad intrínseca y del grado de exposición. La Higiene Analítica se dedica a la identificación y evaluación de los contaminantes en el medio laboral.

Cuando se decide que es necesario proceder a la medición de contaminantes químicos en aire tendremos que concretar qué sistema utilizar. Atendiendo al procedimiento utilizado para llevar a cabo las mediciones, éstas se pueden clasificar en:

- **Aparatos de lectura directa**
- **Tubos colorimétricos**
- **Toma de muestra y análisis en el laboratorio**

De acuerdo con las normas UNE-EN 689 y 482 en función del objeto de la medición los requisitos del procedimiento serán diferentes según que lo que queramos realizar sea:

- **Evaluación aproximada de la concentración media ponderada en el tiempo**
- **Evaluación aproximada de las variaciones de la concentración frente al tiempo o el espacio.**
- **Medidas próximas a una fuente de emisión.**
- **Comparar con el Valor Límite.**
- **Mediciones periódicas.**

Cuando se sospeche que la concentración ambiental está muy por encima o por debajo del valor límite, se puede utilizar para confirmarlo, técnicas fáciles de aplicar (tubos colorimétricos, aparatos de lectura directa) aunque sean menos precisas. Si por el contrario la concentración va a estar muy próxima al valor límite utilizaremos técnicas más precisas (toma de muestra y análisis en el laboratorio).

Conviene recordar lo explicado en la Unidad Didáctica referente a los requisitos de los procedimientos de medida en función de su aplicación, y siempre decidir en función de lo que se quiera medir qué procedimiento de medida utilizar.

### OBJETIVOS

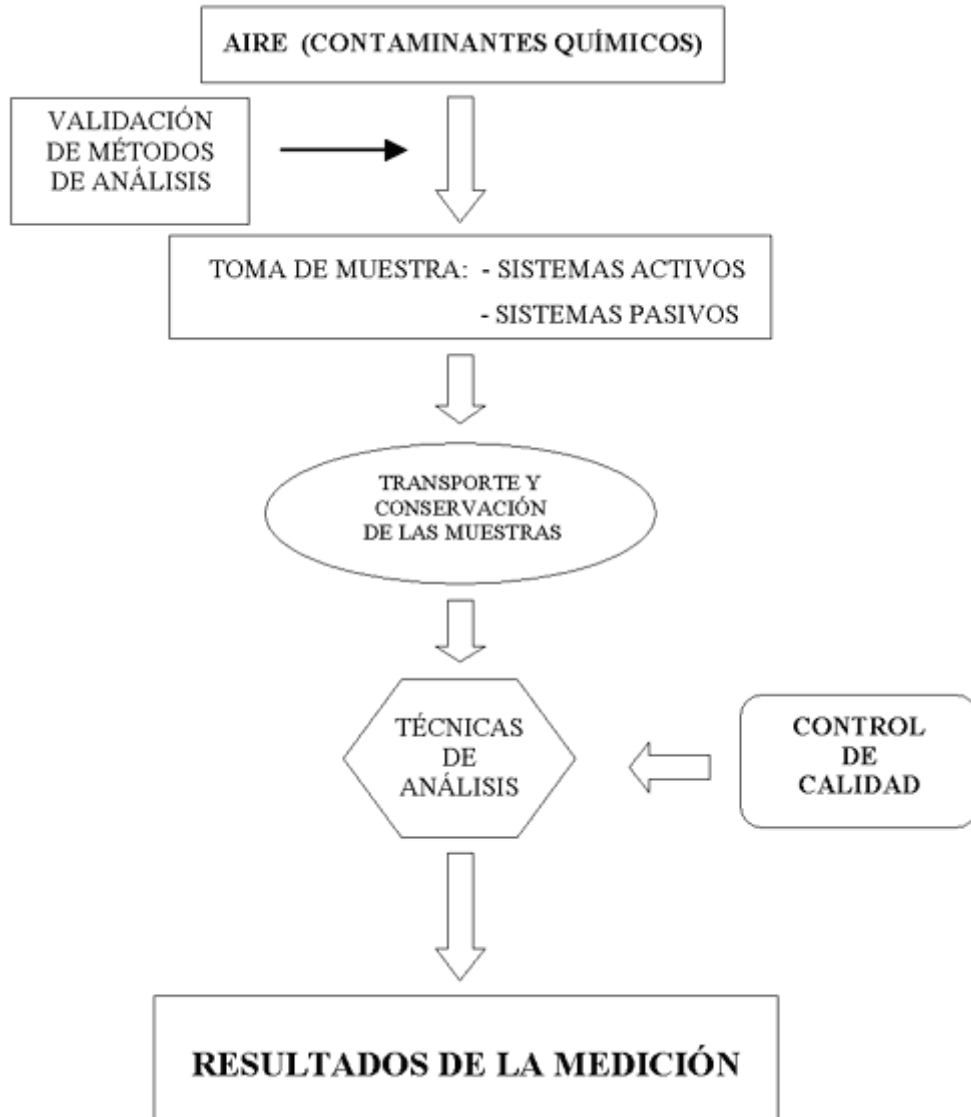
#### Objetivos generales

Con esta unidad se pretende que el alumno conozca los sistemas de toma de muestras y análisis de contaminantes químicos, el transporte y conservación de las mismas y los controles de calidad que se deben implantar en un laboratorio de Higiene Industrial.

#### Objetivos específicos

- Recordatorio de los sistemas de toma de muestra.
- Diferenciar entre los sistemas de toma de muestras activos y pasivos.
- Conocer qué sistema de toma de muestra emplear en cada situación
- Conocer el transporte y conservación de las muestras.
- Conocer y diferenciar las técnicas analíticas empleadas en Higiene Industrial
- Clasificación de las Técnicas analíticas.
- Técnicas clásicas de análisis.
- Técnicas instrumentales.
- Conocer los protocolos de validación para la normalización de métodos analíticos.
- Identificar los factores que influyen en la calidad de los resultados analíticos.
- Identificar los posibles tipos de errores y sus causas en las determinaciones analíticas.
- Dar a conocer los principales programas para conseguir la fiabilidad en los resultados analíticos.

**ESQUEMA DE LA UNIDAD**



**CAPÍTULO 1: TOMA DE MUESTRA DE CONTAMINANTES QUÍMICOS.**

La toma de muestras es necesaria en aquellas determinaciones analíticas que deban efectuarse en el laboratorio. Es una parte dentro del método analítico perfectamente diferenciada de la determinación analítica, pero las dos son dependientes entre sí.

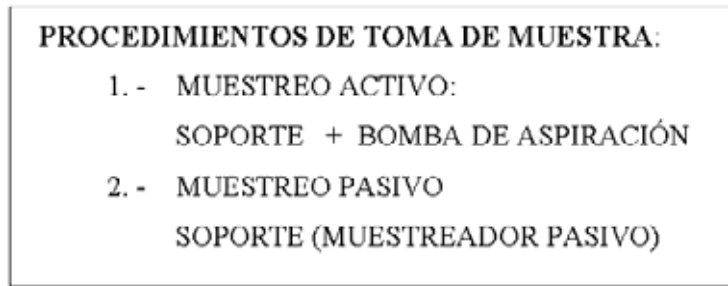
El sistema de toma de muestras debe proporcionar una muestra representativa del ambiente en estudio y ser adecuado a la naturaleza química y estado físico del contaminante (gas, vapor, materia en suspensión) así como al procedimiento analítico posterior.

Los sistemas de toma de muestras se clasifican en:

- Sistema Activo o Muestreo activo
- Sistema Pasivo o Muestreo pasivo

En los dos sistemas el contaminante va a quedar retenido en un soporte que posteriormente se analizará en el laboratorio, la única diferencia entre ellos es que en el Muestreo Activo se utiliza una bomba de aspiración conectada con el soporte para que el aire pase a través de éste,

mientras que en el muestreo pasivo no se utiliza la bomba de aspiración, el contaminante pasa directamente del exterior al soporte de retención:



En la toma de muestras debe estar bien definido el sistema de captación, el soporte de la muestra, el volumen a muestrear (o tiempo de muestreo) y el caudal de muestreo.

Del soporte se debe conocer características como: naturaleza, tipo, calidad, capacidad y eficacia de captación. La calidad puede influir en el resultado final de las muestras, por eso siempre se debe acompañar a cada grupo de muestras homogéneo de una o más muestras en blanco o "blancos", con las que se ha seguido las mismas manipulaciones que las empleadas en la toma de muestras salvo que no se pasa aire a su través, o no se dejan expuestos al aire en el caso de muestreadores pasivos.

La cantidad de muestra es fundamental, si la cantidad de contaminante retenido es inadecuada -bien por defecto o por exceso- puede repercutir negativamente en aspectos como la eficacia de captación, el transporte de la muestra, la determinación analítica, etc. Se deberá tener en cuenta, al decidir el volumen de aire a muestrear (o tiempo del muestreo), factores como los niveles de concentración esperados, la presencia de otros contaminantes, duración del ciclo de trabajo y también las características específicas del método analítico como limitaciones del soporte, límite de cuantificación del método analítico, etc.

**1. - MUESTREO ACTIVO. DIFERENTES TIPOS DE SOPORTES.**

Composición y funcionamiento de un sistema básico de muestreo activo:

- Bomba para el muestreo que produce la presión de aspiración suficiente para aspirar el aire a través del soporte, lleva un medidor o rotámetro que mide el volumen de aire aspirado. Debe ser capaz de proporcionar el caudal requerido de forma estable. Es necesario calibrarla antes y después de la toma de muestra con el mismo soporte que se vaya a utilizar en la toma de muestra. El volumen de aire aspirado por la bomba durante el período de muestreo, la presión y temperatura a la que se han tomado las muestras y a la que se ha calibrado la bomba, si es distinta, se deben conocer de forma precisa ya que son datos que entran en el cálculo de la concentración ambiental.
- Captador o soporte de muestreo, parte del sistema cuya misión es retener el contaminante que transporta el aire ambiental, va unido a la bomba por un tubo flexible.



Los tipos de soporte utilizados para retener contaminantes químicos en aire son:

- **Filtros** (en portafiltros o cassettes)
- **Soluciones absorbentes** (en impingers o borboteadores)
- **Sólidos adsorbentes** (generalmente en tubos de vidrio)

La elección de un tipo de soporte u otro va a depender de:

- a) estado de agregación del contaminante.
- b) características químicas del contaminante.
- c) técnica analítica que se va a emplear para su análisis.

Además de estos sistemas existe la toma directa de la muestra de aire en bolsas inertes y su posterior transporte al laboratorio para su análisis. El llenado puede ser manual o mediante una bomba impulsora. Se puede usar para gases siempre que la concentración supere al límite de detección del método analítico que se vaya a utilizar.

### **Toma de muestra con filtros.**

Esta clase de medio de retención se emplea para muestrear contaminantes que se presentan en el ambiente en forma particulada:

- Polvo molesto (*biológicamente inerte*).
- Polvo y humos metálicos.
- Fibras de amianto y otros tipos de fibras.
- Nieblas de ácido crómico, nieblas de aceites minerales, Volátiles de alquitrán.
- fracción respirable de la materia particulada.
- Otros contaminantes (ej. Plaguicidas).

Los filtros van montados sobre un soporte de celulosa, menos cuando el filtro es de fibra de vidrio, que sirve para sostener y adaptar el filtro y todo ello dentro de unos aros llamados portafiltros o cassettes generalmente de poliestireno. Estos cassettes pueden ser de dos o tres cuerpos dependiendo del contaminante. Para la mayoría de los contaminantes es optativo utilizar un tipo u otro de cassette, sin embargo, con el empleo de cassette de tres cuerpos puede mejorarse la distribución del contaminante sobre el filtro y evitar en ocasiones la formación de colmataciones en la zona central. La utilización de cassettes de tres cuerpos resulta imprescindible en las captaciones de aquellos contaminantes cuyo cuerpo superior necesita estar retirado durante el muestreo, cassette abierto, por ejemplo para fibras de amianto.

Para captar la fracción de polvo respirable, se necesita utilizar como unidad de captación un cassette de dos cuerpos acoplado a un ciclón de nylon de 10 mm cuya función es separar y retener las partículas no respirables. Cuando se utiliza ciclón el caudal de muestreo se debe ajustar a 1.7 litros/minuto.

Los cassettes se cierran perfectamente mediante cinta de teflón para evitar la pérdida del contaminante o la entrada de aire por los laterales del mismo.

La elección del filtro va a depender del análisis que se vaya a realizar; en el método analítico se especifica cómo debe ser el filtro según su tamaño, naturaleza y porosidad.

- Tamaño: de 37 ó 25 mm de diámetro
- Porosidad: entre 0.45 y 5  $\mu\text{m}$
- Naturaleza:
  - Filtros de membrana:
    - ésteres de celulosa
    - cloruro de polivinilo, PVC
    - difluoruro de polivinilideno PVDF
    - politetrafluoruro de etileno PTFE
    - membrana de plata
  - Filtros de fibra de vidrio

Los filtros de fibra de vidrio son resistentes a altas temperaturas, no les afecta la humedad y retienen partículas muy finas. Se utilizan para la toma de muestras de humos asfálticos. Los filtros de ésteres de celulosa al ser hidrófilos no se utilizan si la muestra va a ser analizada por gravimetría. Son los elegidos cuando el análisis a realizar requiera la destrucción del filtro, son los más utilizados para análisis de metales ya que son fácilmente atacables por ácidos y a temperaturas relativamente bajas.

Los filtros de membranas de PVC son hidrófobos se usan cuando el análisis a realizar sea gravimétrico. Se utilizan también en la determinación de sílice por difracción de Rayos X. A continuación figura una tabla donde se recogen algunos ejemplos de toma de muestra con filtros

DETERMINACIÓN	FILTRO	V (litros)	OBSERVACIONES
POLVO TOTAL	PVC 37 mm (5 µ)	100	prepesados, 2 cuerpos
FRACCIÓN RESPIRABLE	PVC 37 mm (5 µ) (1)	100	prepesados, ciclones
DISTRIBUCIÓN TAMAÑO DE PARTÍCULA	MYLAR 34 mm	100	prepesados, 8 etapas impactador de cascada
AMIANTO	Esteres de Celulosa 25 mm (1,2 µ)	5 - 480	cassette con cuerpo extensor
HUMOS ASFÁLTICOS	Fibra de Vidrio 37 mm	> 100	2 cuerpos
VOLÁTILES DE ALQUITRÁN	Fibra de Vidrio 37 mm	960	3 cuerpos
METALES Y HUMOS METÁLICOS	Esteres de Celulosa 37 mm (0,8 µ)	120	3 cuerpos
NIEBLAS DE Ac. CRÓMICO	PVC 37 mm (5 µ)	> 100	2 cuerpos
NIEBLAS DE ACEITE MINERAL	Esteres de Celulosa 37 mm (0,8 µ)	> 100	2 cuerpos

caudal: 1-3 l/min

(1) caudal: 1,7 l/min

### Toma de muestra con soluciones absorbentes.

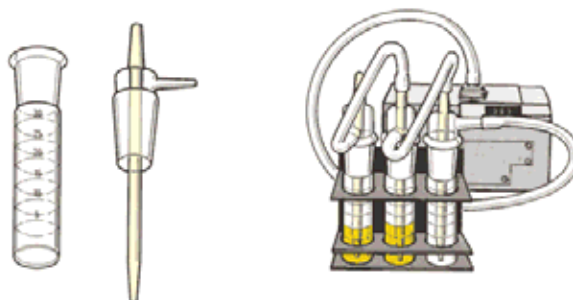
Son soluciones de composición específica y determinada, contenida en un frasco borboteador o impinger. Al paso del aire, el contaminante queda retenido por disolución o reacción con la disolución absorbente.

Un borboteador consta de dos piezas

- Cuerpo o vaso (graduado y con una capacidad aproximada de 30 ml)
- Cabezal (cuyo capilar puede terminar en un solo orificio o en una placa fritada)

como norma general para gases y vapores se mejora la eficacia de captación con la placa fritada, para aerosoles líquidos es preferible el borboteador normal.

En las siguientes figuras se recogen las partes de un borboteador y un tren de borboteadores con la bomba de muestreo.



Los borboteadores se utilizan en baterías de 3 (ver figura), los dos primeros contienen la misma cantidad de la solución absorbente, se aumenta la eficacia de captación para aquellos contaminantes cuya eficacia de captación no sea óptima, el segundo puede actuar como testigo o control de que la captación ha sido correcta y eficaz. El tercer frasco que es el que va unido a la bomba de aspiración siempre irá vacío, para protegerla de posibles condensaciones, arrastres y salpicaduras de la solución absorbente.

En la tabla siguiente figuran algunos contaminantes que son captados por este sistema y las condiciones para la toma de muestra:

DETERMINACIÓN	REACTIVO	ml / impinger	V aire (litros)
CIANUROS	SOSA 0,1 N	10	90
FORMALDEHIDO	SULFITO SÓDICO al 1% (1)	20	60
AMONIACO	SULFÚRICO 0,1 N	10	10 a 15
HIDRÓXIDO SÓDICO	CLORHÍDRICO $7,5 \cdot 10^{-3}$ N	15	350 - 420

(1) estable en disolución solamente 24 horas

caudal: 1 - 1,5 l/min

El empleo de este sistema de captación mediante impingers que contienen soluciones absorbentes, está cada vez más en desuso por los graves inconvenientes que comporta (vuelcos y arrastres durante el muestreo, dificultad de transporte, contaminaciones, inestabilidad general de las muestras, etc.) y también por la posibilidad que existe de encontrar otros sistemas de captación sustitutivos.

#### Toma de muestra con sólidos adsorbentes

Se basa en hacer pasar un volumen determinado de aire a través de un tubo, generalmente de vidrio o algún otro material inerte como acero inoxidable, relleno de un material sólido que retiene por adsorción superficial determinados gases o vapores.

Posteriormente en el laboratorio es posible recuperar el contaminante adsorbido, mediante extracción con disolvente o mediante desorción térmica.

El material adsorbente debe satisfacer varios requisitos:

- Ser capaz de atrapar pequeñas cantidades del contaminante en el aire y retenerlo hasta su análisis.
- Ser capaz de retener cantidades del contaminante que faciliten su análisis.
- Se debe disponer de un procedimiento de desorción eficaz, mayor del 75% para desorción con disolvente y mayor del 95% para desorción térmica.
- Que no ocurran cambios químicos en las sustancias durante el periodo de almacenamiento.
- Ser capaz de adsorber los contaminantes de interés en presencia de otros contaminantes.

Adsorbentes más utilizados:

- **Carbones activados.** El carbón activo actualmente es el adsorbente más utilizado para la captación de vapores de disolventes si la desorción se va a realizar con disolvente.
- **Polímeros porosos.** La gran variedad de estos materiales presenta un amplio grado de selectividad para aplicaciones particulares.  
Tenax GC. (se utiliza cuando la desorción va a ser térmica)  
Chromosorb serie 100  
Porapak
- **Gel de sílice.** Se utiliza preferentemente en la captación de metanol, aminas,

derivados nitrados. Tiene como inconveniente principal que las captaciones con este adsorbente se ven afectadas por la humedad ambiental.

- **Silicatos**

Tamices moleculares 5A y 13X

- **Alúmina**

La gama de adsorbentes es cada día más amplia, lo que ha permitido aumentar extraordinariamente las posibilidades de este sistema de captación y extender su campo de aplicación a muchos vapores orgánicos y a otros tipos de contaminantes.

**Equipo para la toma de muestra con tubos adsorbentes**

Es un equipo sencillo, constituido por:

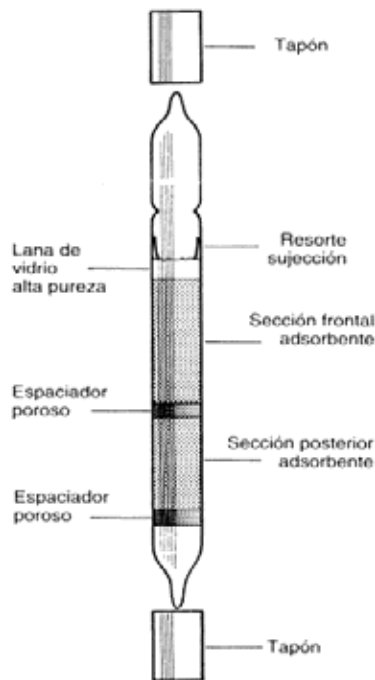
- Una bomba personal.
- Un tubo adsorbente normalizado que se monta en un soporte adecuado para su sujeción a la ropa del trabajador.
- Un tubo de conexión entre el tubo adsorbente y la bomba.

**Características de los tubos adsorbentes**

- **Geometría del tubo**

NIOSH normalizó un tubo estándar para carbón, hecho de vidrio, de 7 cm de largo, 4 mm de diámetro interno y 6 mm de diámetro externo. Otros tubos se han diseñado de forma similar al de NIOSH.

TUBO ADSORBENTE DE CARBÓN ACTIVO



La sustancia adsorbente, normalmente granulada, se coloca en el interior de los tubos, distribuida entre una, dos o tres porciones de pesos variables y separadas entre sí con espuma de poliuretano u otro material apropiado. El modelo de tubo más corriente, ver figura, es aquél que dispone de dos secciones de adsorbente; la primera de ellas se conoce como frontal, generalmente con doble cantidad con respecto a la segunda, conocida como posterior. El paso del aire se efectúa entrando por la parte frontal y saliendo por la posterior. La parte frontal actúa como verdadero soporte de la muestra, mientras que la parte posterior lo hace como testigo o control de que la primera

sección ha retenido todo el contaminante y no se ha producido saturación, ni tampoco, migración durante el almacenamiento.

**Granulometría:** el tamaño de grano se elige con el fin de alcanzar un balance óptimo entre la eficacia de adsorción y una resistencia baja al paso del aire. Por su naturaleza todos los adsorbentes tienen gran superficie para poder alcanzar la eficacia óptima en un rango de malla amplio. Generalmente se usa para carbón un tamaño de grano comprendido en el intervalo de 20-40 mallas (malla es el número de granos que caben en 1.49 cm.). Para gel de sílice el tamaño es similar al del carbón. Para polímeros porosos se usa normalmente tamaño de malla de 60-80.

**Caudal.** Para muestreadores personales se suele usar entre 0.05 y 1 litros/min.

**Temperatura.** La adsorción se favorece termodinámicamente al disminuir la temperatura. La mayoría de los compuestos pueden adsorberse con alta eficacia a temperatura ambiente, con alguna excepción para compuestos muy volátiles.

**Almacenamiento.** Deben ser sellados los tubos perfectamente después del muestreo. El efecto del almacenamiento varía de acuerdo con la volatilidad y reactividad del compuesto muestreado y el tiempo transcurrido. Se mejora el almacenamiento a bajas temperaturas.

Muchos compuestos pueden ser almacenados hasta 92 días en tubos de carbón activo. Algunos pueden redistribuirse entre la parte frontal y posterior, el diclorometano alcanza un equilibrio de redistribución en 22 días. Otros como la metil-etil-cetona presenta una pérdida del 24% en 78 días, probablemente debido a descomposición.

**Volumen muestreado.** Debe permitir captar suficiente contaminante para su análisis y a su vez no debe sobrepasarse el volumen de ruptura (ver definición más adelante).

La capacidad de retención de los tubos adsorbentes es limitada, para cada tipo de tubo debe determinarse experimentalmente para los diversos contaminantes. Esta capacidad viene definida por el volumen de ruptura. El volumen de ruptura de un compuesto orgánico en un adsorbente es el volumen de aire contaminado que puede pasarse a través de la primera sección de un tubo, antes de que la concentración del contaminante en el aire eluyente alcance el 5% de la concentración de entrada.

No obstante, además del contaminante y el adsorbente, existen una serie de variables que modifican el valor del volumen de ruptura como son:

- cantidad de adsorbente
- geometría del tubo y empaquetamiento del mismo
- concentración del contaminante en el ambiente
- presencia de otros compuestos
- caudal utilizado durante la toma de muestra
- humedad
- temperatura

En general, se puede afirmar que un aumento de la concentración de contaminante, de caudal, de humedad o de temperatura, afectarían al volumen de ruptura, disminuyéndolo. El mismo efecto tendría la presencia de otros contaminantes en el aire a muestrear. Un aumento de la cantidad de adsorbente en la primera parte del tubo, conllevaría un aumento del volumen de ruptura, aunque no de forma lineal.

Como recomendación general, dado que es muy difícil repetir todas las variables que se dieron en la determinación del volumen de ruptura, nunca es



aconsejable sobrepasar los 2/3 del volumen de ruptura, para similares o más desfavorables condiciones.

- **Desorción**

Los dos procedimientos de desorción más usados son: extracción con disolvente y desorción térmica.

La extracción con disolvente es fácil de usar, por contra es un método en el cual la muestra se diluye y no es teóricamente cuantitativo. La desorción térmica presenta una mayor sensibilidad, respecto a la desorción con disolvente, ya que permite que todo el contaminante retenido en el tubo se pase a la columna cromatográfica para su análisis; los tubos adsorbentes en este caso son de acero inoxidable y contienen Tenax, Porapak P y Q u otro adsorbente adecuado. La desorción térmica presenta el inconveniente de que sólo permite un análisis de la muestra.

En la tabla siguiente figuran algunos contaminantes que son captados por este sistema y las condiciones para la toma de muestra:

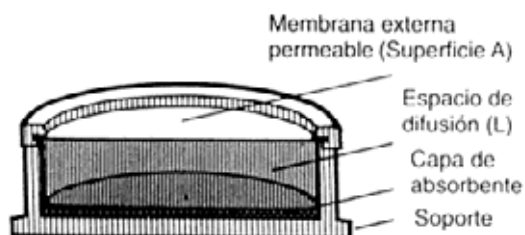
DETERMINACION	ADSORBENTE	mg/tubo	DESORCIÓN
HIDROCARBUROS	CARBON ACTIVO DE COCO	100/50	Sulfuro de carbono
ESTERES	CARBON ACTIVO DE COCO	100/50	Sulfuro de carbono
ACIDO ACETICO	CARBON ACTIVO DE COCO	100/50	Ac. Fórmico 88%
ACETONITRILLO	CARBON ACTIVO DE COCO	100/50	Benceno
DIMETIL FORMAMIDA	CARBON ACTIVO DE COCO	100/50	Acetona
METANOL	GEL DE SILICE	100/50 ó 700/150/150	Agua
FENOL	GEL DE SILICE	100/75 ó 520/260	Acetona
NITROBENCENO	GEL DE SILICE	520/260	Acetato de etilo
ANIONES DE Ac. INORGANICOS	GEL DE SILICE	400/200	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> / NaHCO <sub>3</sub>
METACRILATO DE METILO	XAD-2	400/200	Sulfuro de carbono
ACETATO DE VINILO	TAMIZ MOLECULAR DE CARBON	160/80	Cloruro de metileno

## 2. MUESTREO PASIVO

Uno de los mayores inconvenientes que presentan los sistemas activos de muestreo es el empleo de una bomba de aspiración, por lo que se desarrolló una nueva técnica de muestreo para ciertos contaminantes (vapores o gases), que con el nombre de muestreadores pasivos permiten medir concentraciones, en muchos casos, durante intervalos de hasta 8 horas, sin necesidad de utilizar bomba de aspiración.

Físicamente, los muestreadores pasivos consisten en un lecho de material adsorbente separado del ambiente exterior por una membrana permeable o semipermeable y un espacio (de difusión) de longitud conocida. Debido al gradiente de concentración entre el exterior de la membrana y la superficie del sólido adsorbente, los vapores se difunden hacia el interior y van quedando retenidos en el adsorbente dispuesto en el fondo.

### ESQUEMA DE UN CAPTADOR PASIVO



Antes de que se produzca la saturación, el proceso de difusión molecular determina la cantidad de sustancia recogida por el muestreador, la primera ley de Fick establece la base teórica para todos los cálculos. Esta ley se puede expresar mediante la ecuación:

$$M = D \frac{A}{L} C t$$

M = masa transferida total, que se determinará analíticamente.  
 D = coeficiente de difusión, específico para cada sustancia, es función de la presión y la temperatura.

A = superficie de difusión.  
 L = longitud de difusión.  
 C = concentración ambiental  
 t = tiempo de muestreo

Los parámetros A, L y D pueden englobarse en una constante SR (caudal de muestreo), tal que  $SR = D.A/L$ , que tiene unidades de caudal. De este modo resulta una expresión para la concentración ambiental:

$$C = \frac{M}{SR \cdot t}$$

Así mismo la desorción con disolvente tiene un cierto rendimiento, denominado eficacia de desorción, ED, por lo que la expresión anterior queda:

$$C = \frac{M}{SR \cdot t \cdot ED}$$

Los valores de SR son específicos para contaminante y modelo de captador pasivo, siendo facilitados por el fabricante.

Hay diferentes modelos de muestreadores pasivos construidos con materiales diversos y con formas diferentes, pero siempre de dimensiones y peso muy reducidos.

La variedad de materiales adsorbentes empleados es creciente, y muchos de ellos también se utilizan en sistemas activos. Pueden clasificarse en dos tipos: específicos e inespecíficos, los primeros para la captación de un compuesto o un reducido grupo de compuestos.

### 2.1. Ventajas e inconvenientes de los muestreadores pasivos con relación a los sistemas activos

#### Ventajas:

- Simplicidad operativa y facilidad en su empleo al no ser necesario las actividades de mantenimiento y calibración de las bombas de aire.
- Posibilidad de emplear tiempos de muestreo prolongados.
- Mínima posibilidad de cometer errores personales.

**Inconvenientes:**

- Necesidad de tener un conocimiento exacto de los parámetros básicos L, A y D o SR para cada contaminante y tipo de captador.
- Invariabilidad del caudal de muestreo y su valor relativamente bajo.
- Cierta sensibilidad del sistema pasivo a factores ambientales (humedad o temperatura elevadas).

**2.2. Campo de aplicación**

Para sustancias en fases gaseosa o de vapor. La lista de compuestos es ya bastante extensa; siendo necesario acudir a los catálogos de los fabricantes para obtener una información actualizada.

Su uso es particularmente ventajoso en los casos que interesa muestras promediadas a lo largo de un tiempo prolongado, de dos o varias horas.

**2.3. Condiciones de la toma de muestras**

Aunque un muestreador pasivo que actúa por difusión no precisa de aspiración de aire a su través, sí es necesario que exista un ligero movimiento de aire en las proximidades del extremo abierto del muestreador; su colocación en la solapa del trabajador es suficiente para conseguir este movimiento. Este tipo de muestreadores no puede utilizarse para tomar muestras fijas en ambientes donde no exista movimiento del aire, por ejemplo en un almacén.

No se deben emplear para medir concentraciones instantáneas o fluctuaciones de concentración en periodos cortos de tiempo.

Conviene tener conocimiento de la capacidad máxima del modelo de captador utilizado y controlar el tiempo de muestreo en función de los valores conocidos o esperados de los restantes parámetros para evitar que se supere dicha capacidad, en especial en casos de presencia de varios contaminantes o de elevada humedad. Si la humedad relativa es elevada, superior al 70% o se sospecha la presencia de elevadas concentraciones, es aconsejable utilizar un tiempo de muestreo inferior al recomendado por el fabricante.

Una vez finalizado el periodo de captación, se deben anotar todos los datos de referencia y el momento en que se inició y finalizó el muestreo. Es importante también anotar la temperatura, humedad y si hay variaciones importantes de estas variables durante el muestreo.

Debe cuidarse que los captadores pasivos estén perfectamente cerrados antes y después de la toma de muestra para evitar una posible contaminación. Se debe evitar durante su manipulación y traslado situaciones de calentamiento excesivo o exposición intensa a la luz solar.

**CAPÍTULO 2: TRANSPORTE Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Una vez ha concluido la captación es muy importante tomar toda clase de precauciones para evitar que las muestras se alteren o modifiquen. Estas precauciones deben extremarse durante la etapa de transporte o envío de las muestras al laboratorio, así como durante su almacenamiento.

Las recomendaciones o normas para el transporte y conservación de las muestras varían en función del tipo de soporte y de las características o comportamiento del contaminante captado. Sin embargo las siguientes recomendaciones son válidas para cualquier tipo de muestras:

- precintar las muestras o cerrarlas perfectamente, en el caso de impingers trasvasar su contenido a frascos de tapón roscado.
- colocar las muestras en cajas o recipientes adecuados, utilizando algún relleno para fijar bien las muestras y evitar golpes, roturas, derrames, etc..

- No colocar en un mismo recipiente muestras ambientales y materias primas, especialmente cuando estas sean líquidas o contengan sustancias volátiles a fin de evitar contaminaciones.
- Evitar alteraciones de las muestras por calentamiento o exposición intensa a la luz solar.
- No abrir las muestras hasta el momento de su análisis.
- No demorar el envío de las muestras al laboratorio.
- Es conveniente conservar las muestras captadas con soluciones absorbentes o sólidos adsorbentes en nevera (aproximadamente entre 5-10°C) hasta el momento de su análisis.
- Incluir por cada lote de muestras al menos un **blanco**, que haya sido sometido exactamente a las mismas manipulaciones que las usadas para la toma de muestra, excepto que no se ha pasado aire a su través.
- El envío de las muestras al laboratorio debe acompañarse siempre de la correspondiente Solicitud o Boletín de Análisis, donde figure:
  - el contaminante o contaminantes a determinar.
  - toda aquella información que se disponga sobre la actividad y proceso industrial, que pueda facilitar el posterior análisis.
  - las muestras deben identificarse de una forma clara mediante una referencia lo más sencilla posible que figurará en el soporte de la muestra o en una etiqueta bien adherida a la misma.
  - Las muestras que se incluyan en un mismo boletín de análisis deben ser homogéneas en cuanto al tipo de contaminantes o análisis solicitado

### CAPÍTULO 3: TÉCNICAS ANALÍTICAS

Se denomina Higiene Analítica a la rama de la higiene industrial que tiene como fin la determinación de los contaminantes químicos en el ambiente de trabajo y en los fluidos biológicos de los trabajadores expuestos.

El análisis químico de una muestra tiene por objeto dar respuesta a estas dos preguntas:

1. - ¿Qué hay en la muestra?. **Análisis cualitativo**
2. - ¿Cuánto hay?. **Análisis cuantitativo.**

Para contestar a estas preguntas la Higiene Analítica dispone de una serie de técnicas:

#### **Clasificación de las técnicas utilizadas en Higiene industrial:**

Técnicas clásicas de análisis:

Volumetrías  
Gravimetrías  
Potenciometrías

Técnicas instrumentales de análisis:

Técnicas Microscópicas  
Técnicas Cromatográficas  
Técnicas Espectroscópicas

En la tabla siguiente se dan los análisis que con mayor frecuencia se presentan en Higiene Industrial, agrupados en función de las técnicas utilizadas.

VOLUMETRÍAS	SO <sub>2</sub> , hidróxido sódico
GRAVIMETRÍAS	Polvo total Volátiles de alquitrán Humos asfálticos
POTENCIOMETRÍAS	Cianuros Fluoruros Otros aniones
MICROSCOPIA DE CONTRASTE DE FASES	Amianto Otras fibras
ESPECTROFLUORIMETRÍA	Nieblas de aceites minerales
ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	Formaldehído Nieblas de Ac. Crómico Amoníaco
ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	Metales
CROMATOGRAFÍA DE GASES	Gases y vapores
CROMATOGRAFÍA DE INTERCAMBIO IÓNICO	aniones de ácidos inorgánicos
CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS	isocianatos (TDI, HDI, MDI)

## 1. ANÁLISIS CLÁSICO:

### 1.1. Métodos de análisis volumétricos.

Lo que se mide básicamente es el volumen de una disolución de concentración conocida necesario para reaccionar con la sustancia que se determina. Así se valoran por ejemplo los ácidos absorbidos en soluciones alcalinas y las bases absorbidas en soluciones ácidas. La disolución en la que se absorbe el ácido o la base previamente preparada y de contenido en álcali o ácido respectivamente conocido, se valora volumétricamente después de tomada la muestra.

Los tipos de reacciones que podemos encontrar en análisis volumétrico son de neutralización, de precipitación o de óxido-reducción.

Se aplica en Higiene Industrial para la determinación de nieblas alcalinas de Sosa o Potasa. Las muestras se toman en impingers o borboteadores que contienen una solución de ácido clorhídrico y posteriormente se valora en el laboratorio por retroceso el ácido no consumido con una solución de NaOH normalizada. Este método no es específico, por lo que la presencia de otros ácidos o bases puede interferir en el resultado.

### 1.2. Gravimetrías.

El análisis se realiza por diferencia de pesada del filtro antes y después de la toma de muestra. La magnitud de peso, que hay que evaluar normalmente por diferencia de pesada del filtro, es del orden de los µg-mg, lo cual hace necesario utilizar como instrumentación analítica una balanza analítica que aprecie como mínimo 0.01 mg (balanza de cinco cifras decimales).

Entre los diferentes factores que pueden afectar a la precisión de la pesada, cabe destacar como principales los siguientes:

- Vibraciones
- Humedad ambiental
- Fuerzas electrostáticas

Funcionamiento de la propia balanza. calibración de la balanza.  
Errores personales

Las vibraciones pueden afectar a la precisión de la pesada, para evitarlas se coloca la balanza en mesas o consolas antivibratorias.

El diferente grado de humedad a que puede estar sometido el filtro entre la prepesada y la posterior pesada del filtro-muestra, puede afectar al valor real de ambas pesadas, a causa de la distinta absorción de humedad; para evitarlo se acondiciona el filtro antes de pesarlo en una cámara de humedad controlada durante un mínimo de 24 horas, con el fin de reproducir las mismas condiciones ambientales, esta operación se realiza tanto en la pesada previa a la toma de muestra, como en la posterior a la misma.

Los filtros tienden a cargarse electrostáticamente, estas fuerzas pueden afectar a la reproducibilidad de las pesadas. Estas fuerzas se pueden eliminar pasando el filtro por encima de una barra de ionización radioactiva, durante unos segundos, antes de la pesada.

Las principales características que deberán reunir los filtros utilizados en las determinaciones gravimétricas son:

- Elevado poder hidrófobo
- Fuerzas electrostáticas mínimas
- Alta eficacia de captación
- Poca pérdida de carga
- Peso relativamente pequeño.

Los filtros de cloruro de polivinilo (PVC) son los más utilizados para las determinaciones gravimétricas, dado el cumplimiento de todas las características exigidas.

#### **Captación de las muestras:**

Cuando se quiera determinar Polvo Total: cassettes de 2 cuerpos, conteniendo filtros de PVC de 37 mm y 0.5 µm de tamaño de poro, a caudales entre 1.5 y 2 litros/min.

Cuando se quiera determinar la fracción respirable se acopla el cassette a un ciclón de nylon de 10 mm, que actúa como separador de la fracción no respirable. El caudal de muestreo se fija a 1.7 litros/min.

La cantidad de polvo captada sobre el filtro no debería exceder de 4 ó 5 mg, para evitar colmataciones en el filtro y desprendimientos de polvo.

Para determinar humos asfálticos la toma de muestra se hace sobre filtro de fibra de vidrio de 37 mm de diámetro, en cassette de dos cuerpos y a un caudal entre 1 y 2 litros/min.

### **1.3. Métodos potenciométricos con electrodos específicos**

Un potenciómetro mide la fuerza electromotriz de una pila formada por un electrodo indicador sensible al elemento que queremos determinar y otro de referencia, que presenta un potencial constante, sumergidos en una solución.

$$E = [ E \text{ ind} - E \text{ ref} ]$$

El potencial de referencia (E ref) permanece constante. La medida permite, pues, determinar el potencial inducido (E ind), cuyo valor es función de los iones presentes en la solución de la muestra, que dependerá del nivel de concentración del ión activo en particular.

Entre los compuestos que se determinan tenemos:

- Ácido Nítrico o Nitratos
- Ácido Clorhídrico o Cloruros
- Ácido Fluorhídrico y/o Fluoruros
- Ácido Cianhídrico o Cianuros.

Todos estos compuestos se toman en un tren de impingers y posteriormente se analizan en el laboratorio por Potenciometría de Electrodos Específicos.

## **2. ANÁLISIS INSTRUMENTAL**

### **2.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS MICROSCÓPICOS. Microscopía Óptica de Contraste de Fases.**

Es la técnica analítica más utilizada para el análisis de fibras de amianto por su bajo coste aunque tiene como inconveniente que es un método visual, manual y estadístico para el que se requiere gran habilidad del operador.

La toma de muestra de amianto se realiza en filtros de membrana de ésteres de celulosa de 25 mm de diámetro y de 1, 2 µm de tamaño de poro, con cuadrícula impresa, en una cassette de tres cuerpos con el cuerpo superior retirado y con un protector cilíndrico adaptado al cassette.

Antes del contaje de fibras se transparenta el filtro con vapor de acetona y unas gotas de triacetina; el filtro se cubre con un portaobjetos y se deja 24 horas en reposo antes de su análisis.

Esta técnica sirve también para la determinación de otras fibras, por ejemplo fibras de lana de vidrio y fibras de lana mineral. Actualmente el valor límite de exposición para fibras no viene expresado en mg/m<sup>3</sup>, sino en fibras/cm<sup>3</sup>, por lo que la determinación ya no se hace por gravimetría sino por microscopía óptica de contraste de fases, con una toma de muestra y análisis similar a la del amianto.

Para la **identificación cualitativa** se usa la **microscopía óptica con objetivo de dispersión**, que permite identificar las distintas especies de amianto y los diferentes tipos de fibras minerales.

## 2.2. TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

Son todas aquellas técnicas que utilizan un espectroscopio.

**Espectroscopio:** instrumento capaz de dispersar la luz policromática en sus monocromáticas. El espectro electromagnético comprende el conjunto de radiaciones de diferentes longitudes de onda: rayos gamma, rayos X, ultravioletas, visibles, infrarrojos, microondas y ondas radioeléctricas.

**Espectrómetro:** es un espectroscopio que permite determinar la frecuencia o la longitud de onda de las radiaciones dispersadas.

**Espectrofotómetro:** es un espectrómetro que además de determinar la frecuencia o la longitud de onda de la radiación es capaz de determinar la intensidad de dicha radiación.

Estas técnicas espectroscópicas se basan en las interacciones de la radiación electromagnética con la materia, que puede dar lugar a que la luz que llega a la materia sea absorbida, difractada, polarizada, etc. Las partes básicas de un Espectrofotómetro son :

1. - Fuente de radiación
2. - Monocromador
3. - Celda donde se deposita la muestra.
4. - Detector
5. - Registrador

**Las técnicas espectroscópicas de utilidad en higiene analítica son:**

- espectrofotometría de absorción UV-Visible
- espectrofotometría de infrarrojos
- espectrofotometría de absorción atómica
- espectrofotometría de emisión de plasma inducido (ICP)
- espectrofotometría de emisión atómica
- difracción y fluorescencia de Rayos-X
- fluorimetría
- espectrometría de masas

En las espectrofotometrías de absorción la fuente de radiación produce una radiación característica en función de la muestra a analizar, posteriormente el monocromador selecciona una estrecha banda de luz monocromática que va a pasar por la celda que contiene la muestra, parte de esta radiación será absorbida por la muestra, lo que no se ha absorbido llega al detector que genera una señal eléctrica proporcional a la luz que recibe; esta señal se recoge en un registrador.

El fenómeno de la absorción de la luz se explica mediante la ley de Lambert-Beer, la cual establece que la fracción de la luz monocromática incidente que es absorbida por una muestra es proporcional al número de moléculas o de átomos encontradas en su camino.

$$A = \log \frac{I_0}{I} = a \cdot b \cdot C$$

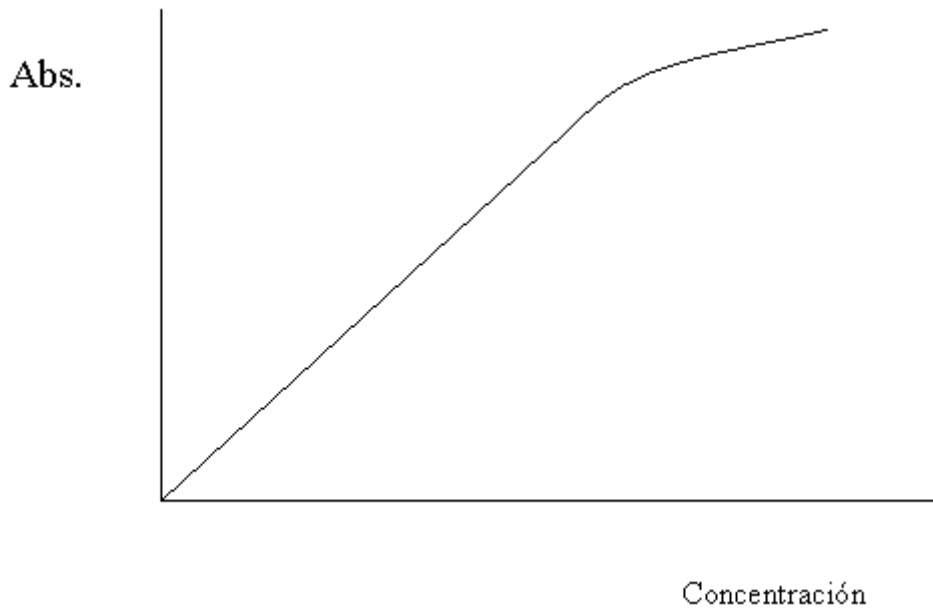
Donde:

- A = Absorbancia
- I = Intensidad de la luz transmitida
- I<sub>0</sub> = Intensidad de la luz incidente
- a = Coeficiente de absorción
- b = espesor de la cubeta de medición
- C = Concentración de la muestra

Desde un punto de vista práctico la ley de Lambert-Beer nos dice que si se representa la absorbancia correspondiente frente a la concentración de una serie de patrones de concentración conocida, se obtiene una recta que puede utilizarse como calibrado para un análisis cuantitativo; interpolando en ella el valor de la absorbancia de la muestra que queremos determinar obtendremos su concentración.

Esta relación lineal entre absorbancia y concentración es general y no se conocen excepciones. A medida que aumenta la concentración la linealidad se va perdiendo, debido a comportamientos no-ideales de los procesos de absorción, por lo que para aplicar esta ley deberemos estar siempre dentro del rango lineal.

- **CURVA DE CALIBRADO**



#### **A) Espectrofluorimetría.**

La espectrofluorimetría es una técnica que fundamentalmente consiste en la excitación de unas sustancias por medio de una radiación ultravioleta y posteriormente parte de esta energía la emitirán como una radiación de longitud de onda mayor. Esta emisión recibe el nombre de fluorescencia y depende del tipo de molécula excitada.

La intensidad de la fluorescencia es proporcional a la concentración, cumple la Ley de Lambert-Beer.

El análisis más frecuente que se realiza con esta técnica es el de nieblas de aceites minerales. Las muestras se toman en filtros de acetato de celulosa y se extraen con cloroformo, evaluándose posteriormente el contenido en aceite de la solución clorofórmica. Es imprescindible acompañar con las muestras unos mililitros del aceite empleado en el puesto de trabajo para determinar su espectro de fluorescencia y realizar el calibrado pertinente.

Un fluido de corte es un producto líquido que se adiciona al sistema pieza-herramienta de una operación de mecanizado con el fin de eliminar el calor que en dicha actividad se libera, esta disipación se puede llevar a cabo de dos modos, actuando propiamente como refrigerantes y/o reduciendo el rozamiento, o sea lubricando.

Los fluidos de corte se pueden clasificar en:

1. - fluidos aceitosos o aceites de corte
2. - fluidos acuosos o taladrinas

Los aceites de corte pueden estar constituidos exclusivamente por aceite mineral, y se conocen como aceites minerales o lubricantes, ya que se utilizan en aquellas operaciones en que la lubricación es más importante que la refrigeración.

Las taladrinas son fluidos acuosos de composición variada, que pueden contener o no, aceite mineral. Su utilización está indicada cuando la refrigeración debe prevalecer sobre la lubricación.

#### **B) Espectrofotometría de absorción Ultravioleta-Visible**

Esta técnica analítica se basa en el desarrollo de un complejo coloreado a partir del compuesto que se desea medir. En la espectrofotometría de absorción ultravioleta-visible se compara la intensidad de la radiación que es absorbida cuando pasa a través de la disolución de la muestra, con los valores de absorción obtenidos con unas soluciones patrón. Interpolando en la recta de calibrado el valor de la absorbancia de la muestra, obtendremos su concentración.

En esta técnica se usa una fuente de radiación monocromática que se encuentra dentro del espectro ultravioleta o del visible. La absorción está regulada por la ley de Lambert-Beer.



Los análisis más frecuentes que se realizan con esta técnica son la determinación de formaldehído, amoníaco y nieblas de ácido crómico.

Las nieblas de ácido crómico son captadas en filtros de PVC que se extraen posteriormente con ácido sulfúrico y se hace reaccionar con difenil carbacida para su posterior lectura de la absorbancia a 540 nm.

El amoníaco se recoge en frascos borboteadores con una disolución de ácido sulfúrico y que luego se hace reaccionar con el reactivo Nessler, la presencia de amoníaco producirá una coloración amarilla que se cuantifica a 415 nm.

El formaldehído se recoge en frascos borboteadores con una disolución de sulfito sódico que luego se hace reaccionar con ácido cromotrópico y sulfúrico concentrado, leyendo a 580 nm.

### C) Espectrofotometría de Infrarrojos

Esta técnica se basa en la absorción de la radiación infrarroja. De todas las propiedades que podemos obtener de un compuesto, su espectro de infrarrojo es el que más información nos va a dar de su estructura.

En problemas de tipo identificativo es una técnica útil en Higiene Industrial. También puede hacerse un análisis cuantitativo.

La aplicación principal de esta técnica en Higiene Industrial es para la determinación de sílice libre cristalina.

### D) Difracción de rayos X

Al hacer incidir un haz de rayos X sobre una sustancia cristalina se obtienen una serie de haces de difracción que dan lugar al espectro de difracción. De esta forma se puede identificar cualquiera de las materias cristalinas de que se trate, a partir de su espectro de difracción.

En Higiene Industrial es la técnica más utilizada para la determinación de sílice libre (permite la diferenciación cualitativa y cuantitativa de las distintas especies polimórficas de sílice: cuarzo, cristobalita y tridimita)

### E) Espectrometría de masas

Un compuesto se puede identificar cualitativamente por su espectro de masas. En la espectrometría de masas, el compuesto a analizar se somete al vacío, se vaporiza, se ioniza y se le suministra energía extra, con lo que se logra fragmentar las moléculas individuales. Los fragmentos moleculares se clasifican según su relación masa/carga en un analizador de masas.

El principal campo de aplicación en la Higiene Industrial se encuentra en el análisis cualitativo de mezclas complejas de compuestos, este equipo acoplado a un cromatógrafo de gases permite la identificación de los distintos compuestos orgánicos.

### F) Espectrofotometría de Absorción Atómica

El método se basa en la medida de la energía, de una determinada longitud de onda, absorbida por los átomos cuando están en estado fundamental, por lo tanto, se necesita una fuente que aporte radiaciones características del elemento a analizar y que los átomos estén en estado fundamental.

Los dos componentes básicos de un espectrofotómetro de absorción atómica son:

- fuente de luz (lámparas)
- la celda de muestreo (donde se generan los átomos en estado fundamental)

La obtención de los átomos en estado fundamental se consigue aportando energía a la muestra mediante un sistema de atomización que puede ser:

- de llama
- con cámara de grafito
- mediante generación de hidruros o vapor frío, para ciertos elementos volátiles (As, Se, Sb, Sn...)

Con la cámara de grafito se obtienen sensibilidades del orden de 200 a 1000 veces superiores a la llama.

El sistema de generación de hidruros permite el análisis de ciertos elementos volátiles (As, Se, Sb, Sn...). Todos los metales se toman en filtro excepto el vapor de mercurio elemental, que se recoge en tubos adsorbentes que contienen hopcalita.

Los metales se toman en filtros de acetato de celulosa de 37 mm de diámetro y 0.8 µm de tamaño de poro en un cassette de tres cuerpos. El caudal de aire recomendado está entre 1,5 y 2 lpm.

Los metales Sn, Ti, W, Se, Zr y aerosoles de mercurio se toman en filtro a parte (ya que necesitan tratamientos particulares e individuales).

La técnica de absorción atómica es junto con la técnica de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP), la más habitual para la determinación de metales. ICP permite análisis multielemental y secuencial, su sensibilidad suele ser semejante a la de absorción atómica de llama.

La espectrofotometría de absorción atómica, aunque es muy específica, a veces se genera interferencias que pueden afectar a los resultados sino se tienen en cuenta.

### 2.3. TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS

La cromatografía es un método físico de separación que permite analizar mezclas complejas. El principio común de todas las técnicas cromatográficas es el siguiente: un fluido (fase móvil) circula a través de una fase estacionaria (sólida o líquida); cuando la mezcla de sustancias se introduce en el sistema, se produce una serie de equilibrios de distribución entre las dos fases, generalmente de distinta magnitud para cada componente de la mezcla, por lo que cada uno de ellos se desplazará a lo largo del sistema con distinta velocidad.

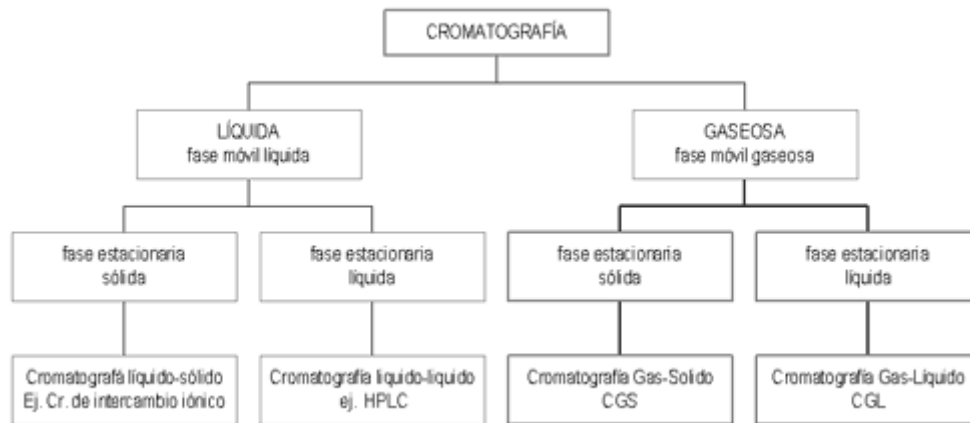
La fase estacionaria se puede encontrar en columna, papel, capa fina.... Lo más habitual es el uso de fase estacionaria en columna.

Cuando se introduce en el sistema una mezcla de sustancias si al final de la columna cromatográfica se encuentra un detector que mida una propiedad de los compuestos según llegan y posteriormente mediante un registrador se representa gráficamente frente al tiempo, se obtiene un cromatograma. En dicho cromatograma obtenemos unos valores que permiten:

- análisis cualitativo - según el tiempo al que eluyen
- análisis cuantitativo - según el área del pico del compuesto, que depende directamente de la cantidad del compuesto.

La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido impregnando un soporte inerte y la fase móvil puede ser un líquido o un gas.

Es posible una clasificación de los distintos tipos de técnicas cromatográficas según las fases usadas:



Por cromatografía de gases se separan gases o compuestos volátiles, cuando aumenta su carácter iónico disminuye su volatilidad, y por lo tanto, las posibilidades de separación. Por el contrario, en cromatografía de líquidos se separan compuestos polares o no polares en los que la poca volatilidad no es un inconveniente limitativo.

#### A) Cromatografía de gases

Esta técnica incluye todos los métodos cromatográficos en los que la fase móvil es un gas. Para que los compuestos se separen han de tener cierta presión de vapor a la temperatura de separación.

Es una técnica que destaca por su eficacia separadora, su rapidez y la sensibilidad de detección. El principal inconveniente es que su campo de aplicación se limita a gases o compuestos volátiles y que sean estables a la temperatura de trabajo.

La cromatografía gas-líquido (CGL) se ha extendido más que la gas-sólido (CGS). La cromatografía gas-sólido sigue utilizándose, principalmente, para determinaciones de gases permanentes y compuestos muy volátiles por ej. monóxido de carbono, metano,...

Los cromatogramas de gases contienen esencialmente:

- Una fuente de gas comprimido, que proporciona la fase móvil, con un regulador de caudal. El gas suele ser N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He o una mezcla Ar/CH<sub>4</sub>.
- Inyector, que es un dispositivo que permite vaporizar la muestra e introducirla en la corriente del gas portador.
- Columna cromatográfica, donde tiene lugar la separación, situada en un horno que permite realizar la separación a temperatura constante o con programación de temperatura.
- Detector es un dispositivo capaz de medir de forma continua una propiedad del gas portador, que se modifica ampliamente con la presencia de pequeñas concentraciones de la sustancia a analizar. Algunos de los detectores que se suelen usar son: de ionización de llama, de captura de electrones y de conductividad térmica.

### Aplicaciones:

Las sustancias analizadas por cromatografía de gases abarcan prácticamente todo tipo de compuestos volátiles independientemente de su estado físico o de su composición química.

- Determinación de contaminantes en materias primas; esta determinación cualitativa previa puede ser de gran ayuda en el caso de que se desconozcan la identidad de los contaminantes.
- Determinación de contaminantes en aire. Un gran número de problemas higiénicos son debidos a vapores de disolventes o compuestos orgánicos en general: fracciones de hidrocarburos, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos alifáticos, cetonas, éteres, alcoholes, ésteres, aminas, etc.
- El campo de aplicación también cubre el análisis de gases (SO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, CO, hidrocarburos ligeros C<sub>1</sub> - C<sub>4</sub>).

Los principales medios de captación de las muestras son los muestreadores pasivos o los tubos con adsorbentes sólidos ( de carbón activo, gel de sílice, polímeros porosos...)

Los tubos de carbón activo, en general, son aplicables en el análisis de disolventes no polares o poco polares. Los tubos de gel de sílice se emplean principalmente para aminas, derivados nitrados y metanol.

### B) Cromatografía de líquidos

La fase móvil es un líquido y según esté dispuesta la fase estacionaria tenemos:

Cromatografía en columna:

- Cromatografía en columna clásica
- Cromatografía en columna de alta resolución. **HPLC**

Cromatografía planar:

- Cromatografía en papel
- Cromatografía en capa fina

HPLC (Cromatografía líquida de alta resolución) presenta ventajas frente a otras técnicas en el análisis de algunos compuestos, en cuanto a límites de detección, especificidad, interferencias y posibilidades de separación de isómeros.

Esta alta resolución (gran poder de separación) se consigue al utilizar columnas rellenas con partículas de un diámetro muy pequeño, lo que lleva asociado un aumento grande de pérdida de carga, por lo que es necesario el uso de una bomba para dar un aporte de presión externo sobre el líquido eluyente o fase móvil.

Las partes de un equipo de HPLC son:

- Bomba para impulsar la fase móvil
- Inyector
- Precolumna
- Columna
- Detector y registrador. Los detectores más usados son:
  - Ultravioleta-visible
  - Fluorímetro
  - Refractómetro
  - Electroquímico

### Aplicaciones:

Se utiliza en el estudio de contaminantes como por ejemplo: hidrocarburos aromáticos policíclicos, plaguicidas, N-nitrosaminas, fenoles, formaldehído, acetaldehído, isocianatos.

El análisis de plaguicidas por HPLC presenta la ventaja de poder analizar los nuevos tipos de plaguicidas, termolábiles y por tanto imposible de analizar por cromatografía de gases.

HPLC también permite el análisis de metabolitos de algunos contaminantes como los metabolitos de paratión, tolueno, xileno, estireno...

### C) Cromatografía de intercambio iónico

Es una cromatografía en la que la separación tiene lugar entre una fase móvil polar líquida y una fase estacionaria -resina de intercambio iónico, aniónica o catiónica-.

La fase estacionaria puede ser sólida o también una resina líquida que esté cubriendo una superficie sólida.

Cuando la muestra conteniendo iones de diferente carga eléctrica se coloca al principio de la columna cromatográfica, los iones se intercambian rápidamente con los de la resina. Por medio de la fase móvil los

iones de la muestra sufrirán un nuevo desplazamiento y volverán a intercambiarse sobre la resina, continuando el proceso hasta la salida de la columna.

Este tipo de técnica se utiliza en la determinación de compuestos iónicos, solubles en agua y fácilmente ionizables en el tratamiento de la muestra, por modificaciones del pH.

Se utiliza para determinar iones inorgánicos: sulfatos, fosfatos, nitratos, cloruros, fluoruros, bromuros, cianuros, e iones orgánicos como el ácido fórmico.

#### **Análisis de aniones de ácidos inorgánicos:**

Toma de muestras con tubos adsorbentes de gel de sílice lavada con agua desionizada. Se recomienda usar un caudal de toma de muestra entre 0.2 y 0.5 lpm y un volumen de muestreo entre 3 y 100 litros en función de la concentración esperada, en ausencia de información se recomienda 50 litros. Cuando se muestre ácido fluorhídrico, el caudal no debe exceder de 0.3 litros/min.

Análisis por cromatografía iónica, con columna supresora y detector de conductividad electrolítica. Método utilizable para determinar en aire: fluoruros, cloruros, bromuros, nitratos, fosfatos, sulfatos. La toma de muestras para **cianuros** es diferente, se hace con frascos borboteadores que contienen una solución de Na OH 0.1 N

### **CAPÍTULO 4: PROTOCOLO DE VALIDACIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS.**

Un método analítico es el conjunto de acciones y tratamientos necesarios para obtener la medida de la concentración de un contaminante en el ambiente de trabajo, incluye la toma de muestra y el análisis:

- Toma de muestra (pasos a seguir)
- Análisis (tratamiento a aplicar a las muestras en el laboratorio)

Los métodos analíticos para la medida de los contaminantes del ambiente de trabajo deben reunir unas características mínimas aceptadas por consenso, para poderlos usar con fiabilidad en cuanto a exactitud, precisión, sensibilidad, selectividad, interferencias, intervalo de trabajo, repetibilidad y reproducibilidad.

La validación es el proceso de evaluar las características de funcionamiento de un procedimiento de medida y de comprobar que cumplen los criterios prefijados. El conocimiento de esta conformidad se logra mediante las pruebas de normalización, realizadas siguiendo un protocolo de ensayos determinado, primero en un sólo laboratorio y posteriormente entre varios laboratorios. Al finalizar estas pruebas, si el método cumple los mínimos exigidos, queda normalizado.

La exactitud de un método analítico, es decir, el grado de concordancia de la cantidad medida con el "valor verdadero", tiene el problema de conocer con fiabilidad dicho valor verdadero, por ello se puede recurrir al uso de materiales de referencia certificados (MRC) cuando se valida el método.

Los MRC son sustancias puras o materiales de referencia tipo matriz de composición conocida y certificada por un organismo especializado. Se utilizan para demostrar la exactitud de los resultados, calibrar equipos, controlar los resultados de un laboratorio, validar métodos...

Los métodos que se usen han de ser adecuados a la matriz en que se encuentre el contaminante y a la concentración que se quiera determinar. Para los contaminantes laborales el intervalo de aplicación del método suele estar comprendido entre 1/10 y 2 veces el valor límite de exposición. El error total admisible será función del objetivo de la medición de acuerdo con la Norma UNE-EN 482; ver en la unidad didáctica nº 1 "Sistemas de medida de agentes químicos en el ambiente" el punto 2.3.9.

Las Principales características del método analítico vienen recogidas en la unidad didáctica nº 1 "Sistemas de medida de agentes químicos en el ambiente" punto 2.3.7.

Existen métodos de toma de muestras y análisis elaborados por organismos privados o públicos dedicados a la evaluación de riesgos por agentes químicos, como los de National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health

Administration (OSHA), Asbestos International Association (AIA), Health and Safety Executive (HSE), Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), entre otros. Estas organizaciones tienen sus propios protocolos de validación para aceptar estos métodos de acuerdo con las exigencias que se fijan ellos. Estos protocolos no pueden ser menos exigentes que la legislación, pero sí más.

El INSHT tiene publicados cuatro protocolos de validación:

- Protocolo de validación para la determinación de gases y vapores orgánicos en aire mediante su captación en un adsorbente sólido utilizando un sistema activo.
- Protocolo de validación para la determinación de gases y vapores orgánicos en aire mediante su captación en muestreadores pasivos por difusión
- Protocolo de validación para determinaciones en muestras biológicas (sangre y orina) de interés en Higiene Industrial
- Protocolo de validación para la determinación de vapores orgánicos en aire exhalado mediante su concentración en un adsorbente sólido.

#### **MÉTODO RECOMENDADO POR EL INST.**

Es un método evaluado por el INSHT de acuerdo con el protocolo de validación correspondiente que incluye la realización de pruebas interlaboratorios entre los distintos laboratorios que colaboran en la validación del método.

El método debe incluir:

- Objeto y campo de aplicación.
- Definiciones
- Fundamento del método
- Reactivos y productos
- Aparatos y material
- Toma de muestra
- Procedimiento de análisis
- Cálculos
- Precisión

#### **MÉTODO ACEPTADO POR EL INST.**

Se entiende como método aceptado un método utilizado por el INSHT y que ha sido sometido a un protocolo de validación por organizaciones oficiales competentes en el tema o ha sido adoptado como método recomendado por entidades profesionales dedicadas al estudio y evaluación de riesgos por agentes químicos, así como aquellos métodos recomendados por la CEE o basados en métodos ampliamente conocidos y utilizados por especialistas en este tipo de análisis.

Utilizando métodos analíticos normalizados se obtendrán resultados de confianza por diferentes laboratorios, siempre y cuando, se apliquen de forma correcta y contrastada lo que implica el uso de sistemas de control de calidad.

### **CAPÍTULO 5: CONTROL DE CALIDAD**

Todas las medidas que se realizan en un laboratorio analítico, independientemente del método o instrumento utilizado, van acompañadas de una incertidumbre; es decir, hay un conjunto de factores que hacen que la medida obtenida no coincida con el valor verdadero de la magnitud a medir. No obstante, hay métodos que permiten la estimación del valor verdadero probable (exactitud) y del intervalo de error en la medida (precisión). Además, cuando se conocen las causas de la incertidumbre, ésta puede reducirse a límites aceptables controlando las variables significativas.

Dada la importancia que los resultados analíticos tienen en la correcta evaluación de riesgos por agentes químicos, es evidente que los laboratorios de Higiene Industrial deben no solamente ser competentes sino poder demostrarlo. Esta competencia es necesaria por interés profesional y de mercado; también puede ser un requisito exigido legalmente, como ocurre en

la actualidad para las determinaciones de fibras de amianto que han de ser realizadas, en nuestro país, por laboratorios homologados.

La competencia técnica de un laboratorio se juzga en base a dos puntos fundamentales:

- disponibilidad de medios técnicos y humanos adecuados a los ensayos que se realicen, los cuales son básicos para obtener un determinado nivel de calidad.
- Control de Calidad de los resultados analíticos, - procedimiento que contrasta de forma continuada que el nivel de calidad se mantiene -.

Los resultados obtenidos por un laboratorio y por diferentes laboratorios a lo largo del tiempo deben ser comparables y por ello debe poder conocerse y poder garantizarse su calidad

### Calidad y propiedades analíticas

Se puede definir **calidad** en un laboratorio analítico como el "conjunto de características de la información generada (resultados analíticos) que satisfacen las demandas/exigencias del organismo público/privado del que depende y/o del cliente o usuario".

La calidad no es disponer de lo mejor existente sino de lo más adecuado. Un resultado no es bueno o no "per se" sino en función de cual sea su utilización; por ejemplo, en el análisis de hidrocarburos clorados por cromatografía de gases es posible utilizar un detector de llama o uno de captura de electrones, dado el mayor coste en tiempo y dinero del de captura frente al de llama, sólo estaría justificado su uso cuando se requiera trabajar a niveles de concentración muy bajos, inferiores al límite de detección del detector de llama.

Las **propiedades del proceso analítico** se pueden dividir en dos grupos según su importancia relativa:

Básicas: exactitud, precisión, sensibilidad, selectividad y rapidez

Complementarias: coste, grado de participación humana (automatización), etc.

Cuatro de ellas están en contradicción entre sí y plantean conflictos de intereses en la etapa de planificación y diseño: exactitud, rapidez, coste y comodidad del personal. Así cuando el objetivo es la calidad, prevalece la exactitud, disminuye la rapidez, aumenta los costes y el personal ha de trabajar más y mejor.

No conviene olvidar que la calidad de los resultados analíticos está relacionada con:

1. la calidad del trabajo fuera del laboratorio:  
representatividad en la toma de muestras

2. la calidad del trabajo en el laboratorio:  
precisión, exactitud, sensibilidad....del método analítico usado

### 1. Errores aleatorios y sistemáticos. precisión y exactitud

Dado que los resultados obtenidos en los laboratorios analíticos llevan siempre asociado un cierto error, es necesario definir una serie de términos y conceptos que permiten su cálculo y el establecimiento de su importancia.

El término error describe la diferencia entre el valor verdadero o esperado y el medido para un cierto parámetro. Se pueden distinguir dos tipos de errores:

- errores aleatorios
- errores sistemáticos

Los **errores aleatorios** no pueden predecirse y varían de signo y magnitud. Se evidencian cuando al realizar una serie de análisis repetidos de una misma muestra se obtienen resultados que oscilan alrededor de un valor central. A medida que aumenta el número de repeticiones, el efecto de los errores aleatorios, sobre medidas que estiman el valor central, tiende a disminuir, ya que se compensan unos a otros.

La presencia de errores aleatorios afecta a la **precisión** de los resultados, es decir a la concordancia de los distintos valores obtenidos al realizar una serie de medidas repetitivas e independientes unas de otras bajo unas condiciones específicas.

Los **errores sistemáticos** dan lugar a una desviación, siempre en el mismo sentido, de los resultados obtenidos respecto del valor verdadero. Afectan a la **exactitud** de los resultados, es decir al grado de concordancia entre el valor obtenido experimentalmente y el valor verdadero.

Los errores sistemáticos pueden ser de dos tipos:

- aditivos, cuando el error tiene un valor constante independiente de la magnitud que se mide
- proporcionales, cuando la magnitud del error varía con la cantidad medida.

Estos errores no se distribuyen necesariamente al azar como lo hacen los aleatorios.

El único procedimiento para asegurarse que todos los factores que influyen en un análisis se encuentran dentro de los límites aceptables es participar en Programas de Control de Calidad tanto interlaboratorios como intralaboratorios.

## 2. Programas de control de calidad

Un programa de control de calidad es un conjunto de experimentos sistemáticos encaminados a asegurar la exactitud y la precisión de los análisis, bien detectando errores y previniendo su aparición o midiendo el grado de error inherente al método analítico aplicado.

El objeto principal de dichos programas es asegurar que los datos obtenidos con un método analítico son científicamente válidos, defendibles y con una conocida precisión y exactitud.

El control de calidad de los procesos analíticos se realiza a dos niveles:

- INTERNO o Control de Calidad Intralaboratorio.
- EXTERNO o Control de Calidad Interlaboratorios.

La efectividad de un programa de control de calidad dependerá de cómo se controlen los siguientes puntos:

- Instrumentación utilizada
- Grado de conocimiento del proceso
- Intervalo esperado de los resultados analíticos
- La precisión y exactitud del método analítico
- La determinación de tendencias y errores mediante la utilización de los gráficos de control
- Los procedimientos utilizados para el control de la integridad de las muestras

Las operaciones que deben controlarse son:

- Técnica de muestreo.
- Conservación de la identidad de la muestra.
- Procedimientos de obtención de alícuotas.
- Procedimientos de dilución.
- Manipulación de instrumentos.
- Cálculo e información de los resultados.

Hay que ser capaz de distinguir entre errores debidos a causas sistemáticas y a causas aleatorias.

Un análisis muy preciso puede estar afectado por un error sistemático debido a:

- Inadecuada preparación de soluciones.
- Inadecuadas medidas volumétricas.
- Pesadas incorrectas.
- Instrumentos mal calibrados.
- Interferencias.
- Sesgos personales (por negligencia, falta de conocimientos, errores de cálculo o uso de reactivos inadecuados).

## Control de Calidad Intralaboratorio

La calidad de un resultado analítico emitido por un laboratorio depende no sólo de la idoneidad del procedimiento utilizado y de sus características de funcionamiento sino también, en una medida muy importante, de su correcta aplicación. Por mucho cuidado que el analista aplique a su trabajo se pueden presentar factores extraños que pasen desapercibidos y, por la propia rutina, se pueden producir desviaciones involuntarias del procedimiento original que den lugar a errores incontrolados. El detectar estas anomalías, en el momento en el que se producen, para corregirlas y evitar la emisión de resultados erróneos es el objetivo del Control de Calidad Interno.

Todos los resultados analíticos presentan una incertidumbre que depende de la variabilidad aleatoria e inevitable, inherente al propio procedimiento. Cuando los resultados sólo se ven afectados por las variaciones debidas al azar, se dice que el procedimiento de medida es un sistema estable que se mantiene bajo control estadístico. El Control de Calidad Interno se fundamenta precisamente en el control de la estabilidad, para que los resultados sean consistentes y fiables.

El Control de Calidad Interno se lleva a cabo mediante el control diario de la precisión y exactitud para los métodos analíticos empleados, con respecto a los valores ya obtenidos por el propio laboratorio en el análisis de Muestras de Control y con el apoyo también de los gráficos de control.

### Muestras de control

Los requisitos que deben satisfacer son:

- Estabilidad
- Homogeneidad
- De valor conocido
- Tener las mismas características que las muestras a analizar, es decir, el mismo soporte, matriz, similares niveles de contaminante y obtenidas con el mismo proceso de muestreo.

Existen algunos materiales de referencia certificados que reúnen estos requisitos, pero su uso está limitado por las pequeñas cantidades en que se suministran y por su elevado coste. La situación más general es que cada laboratorio se prepare sus propias muestras de control.

### Gráficos de control

El gráfico de control es una representación gráfica en la que el valor de la característica de calidad que se investiga se representa secuencialmente, de forma que se obtiene una información visual e inmediata de si los datos son estadísticamente uniformes o no.

Existen diferentes tipos de gráficos de control. Las características de calidad que se investigan son la exactitud y la precisión, por lo tanto los gráficos de medias y los gráficos de rangos son los más adecuados respectivamente. El gráfico de medias muestra el nivel o exactitud del proceso y el gráfico de rangos la dispersión del mismo.

Para establecer las líneas del gráfico, la central y las líneas de control se puede hacer basándose en las características de variabilidad propias del proceso o bien utilizando los datos generados por el propio laboratorio analizando muestras de control a lo largo de una serie de días (lo normal es entre 15 y 30) y varias veces en el mismo día (entre 2 y 5).

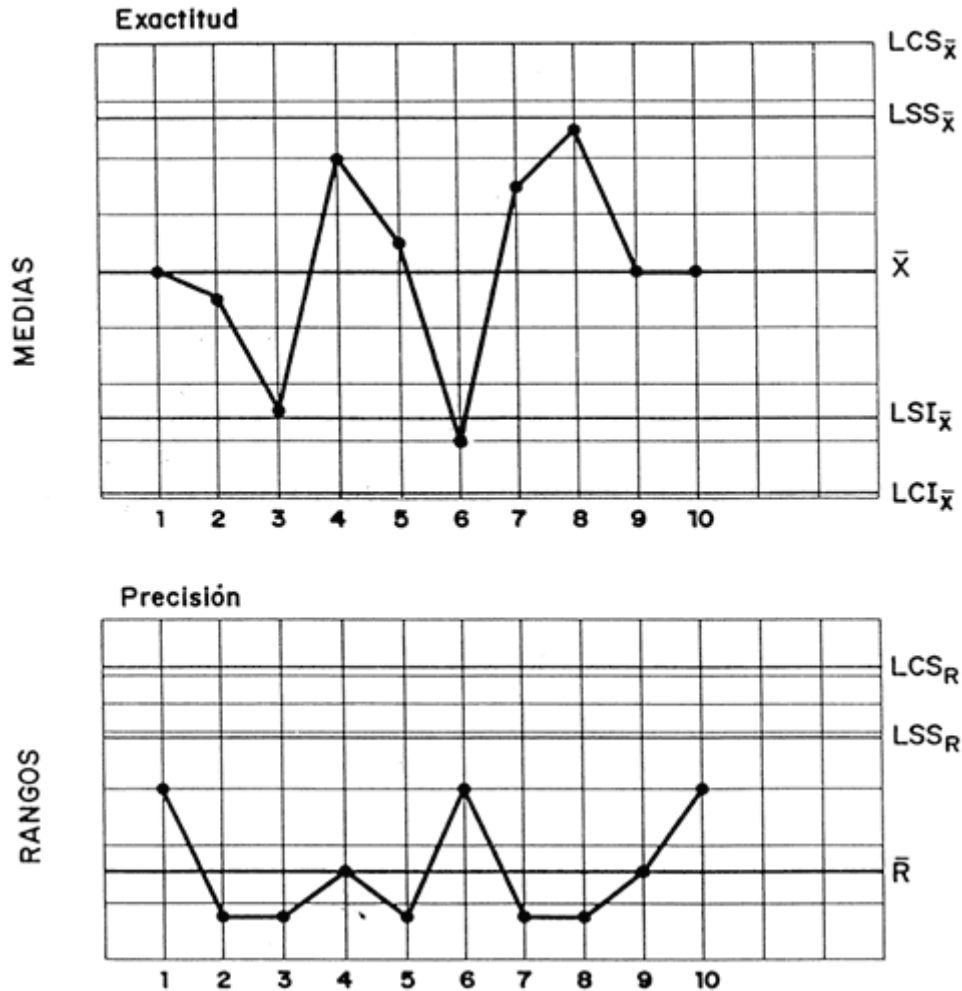
Como límite de control se suele usar entonces  $\pm 3$  D.S. (3 veces la desviación estándar) a cada lado de la media.

Los límites de control superior e inferior (LCS y LCI) abarcan prácticamente la totalidad de los datos "bajo control"; entre estos dos límites estarán comprendidos el 99.7 % de los resultados obtenidos si el proceso de medida está bajo control estadístico, es decir el valor medido fluctúa



en el tiempo de acuerdo con las leyes de probabilidad alrededor de un valor esperado. A veces resulta indicativo la utilización de los límites de seguridad superior e inferior (LSS y LSI), que equivalen a  $\pm 2$  D.S. (95.5 % de los valores posibles).

Una vez establecido el gráfico de control se inicia el periodo de control propiamente dicho. Por cada serie de muestras que se analicen, se analizarán también a la vez unas muestras de control y se calculan con los resultados de dichas "muestras control" los parámetros estadísticos que son los que se representan en el gráfico de control. Ver gráficos a continuación:



La utilización de los gráficos de control pone de manifiesto una situación "fuera de control" cuando:

- Aparece un punto fuera de los límites de control.
- Aparecen siete puntos consecutivos al mismo lado de la línea central.

El uso de los gráficos de control no solamente detecta resultados erráticos, sino que además es capaz de poner de manifiesto tendencias, ciclos o cualquier otro comportamiento anormal del proceso. Así si un proceso cambia gradualmente, como resultado de la degradación de un reactivo, esta tendencia resultará evidente en el gráfico, avisando al responsable del proceso analítico de la pérdida gradual de precisión o exactitud.

### Control de Calidad Interlaboratorio

Es un procedimiento en el que se emplean los resultados de varios laboratorios que analizan las mismas muestras con fines de control de calidad. Varían desde acuerdos de dos laboratorio hasta programas nacionales e internacionales con un gran número de participantes.

Los objetivos de un Control de Calidad Externo son:

- Proporcionar una medida de las disponibilidades para el análisis.
- Proporcionar una medida de las prestaciones de cada laboratorio.
- Complementar los procedimientos de Control de Calidad Interno.
- Obtener valores por consenso, cuando no se conozcan los verdaderos de las muestras.
- Actuar como estímulo para mejorar las prestaciones.

Para que el Control de Calidad sea efectivo, las muestras deben recibir el mismo tratamiento que las de rutina.

Es importante que el esquema del control de calidad externo y el método empleado para analizar estadísticamente los resultados de los distintos laboratorios participantes sean claros; así como la remisión de dichos resultados a los laboratorios participantes sea lo suficientemente rápida como para poder tomar decisiones lo antes posible.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARROYO, C. " El control de calidad en el laboratorio de Higiene Industrial". Salud y Trabajo nº 78 (1990).
- CRIP, S. " Solid sorbent gas samplers", Ann. Occup. Hyg. Vol. 23 p. 47-76 (1980)
- GUASCH, J. (coord) "y otros" (1994), *Higiene industrial*. Barcelona: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- MARTÍ, A. (coord) "y otros" (1991), *Análisis de contaminantes químicos en aire*. Barcelona: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- SICILIA, J.M. "Programas intra-laboratorio de control de calidad". I Conferencia Nacional de Higiene Industrial. Madrid, 4-6 Diciembre de 1985. Documentación, tomo II (701-730). Ed. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- TEJEDOR, J. "Control de calidad intra e interlaboratorio". XI Congreso Nacional de Medicina, Higiene y Seguridad en el Trabajo. Madrid, 1987. Libro de Actas, tomo II (421-432). Ed. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- TEJEDOR, J. (coord) "y otros" (1996), *Métodos de toma de muestra de contaminantes químicos en aire*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
- VALCÁRCEL, M. (1995). *"La calidad en los laboratorios analíticos"*. Barcelona: Reverté S.A.

## 1.3. Tratamiento de datos

### INTRODUCCIÓN

Como resultado de la evaluación de la exposición laboral, de acuerdo con la norma UNE EN 689, se ha podido llegar a la conclusión de que es necesario realizar una medición para determinar la presencia de una o varias sustancias químicas en el aire.

En "Evaluación de la exposición a agentes químicos", se dan las pautas generales para decidir cuando se realiza una evaluación ambiental, si hay necesidad de tomar algún tipo de muestra y se realizan algunas comparaciones de los resultados obtenidos con los valores límite.

En esta unidad didáctica lo que se pretende es presentar ciertos tratamientos de las mediciones realizadas con el objeto de :

- unificar criterios, ya que se trata de tratamientos de datos ampliamente utilizados por los profesionales de la Higiene Industrial
- conseguir la máxima información posible de los datos obtenidos
- facilitar la obtención de los parámetros de interés, ya que se trata de métodos gráficos que, habitualmente, son más fáciles de aplicar que las correspondientes ecuaciones matemáticas y más intuitivos a la hora de obtener conclusiones

Se han seleccionado dos tratamientos de datos, uno de ellos aplicable a datos recogidos al mismo tiempo y el otro a datos recogidos de un mismo proceso a lo largo de un periodo de tiempo.

### OBJETIVOS

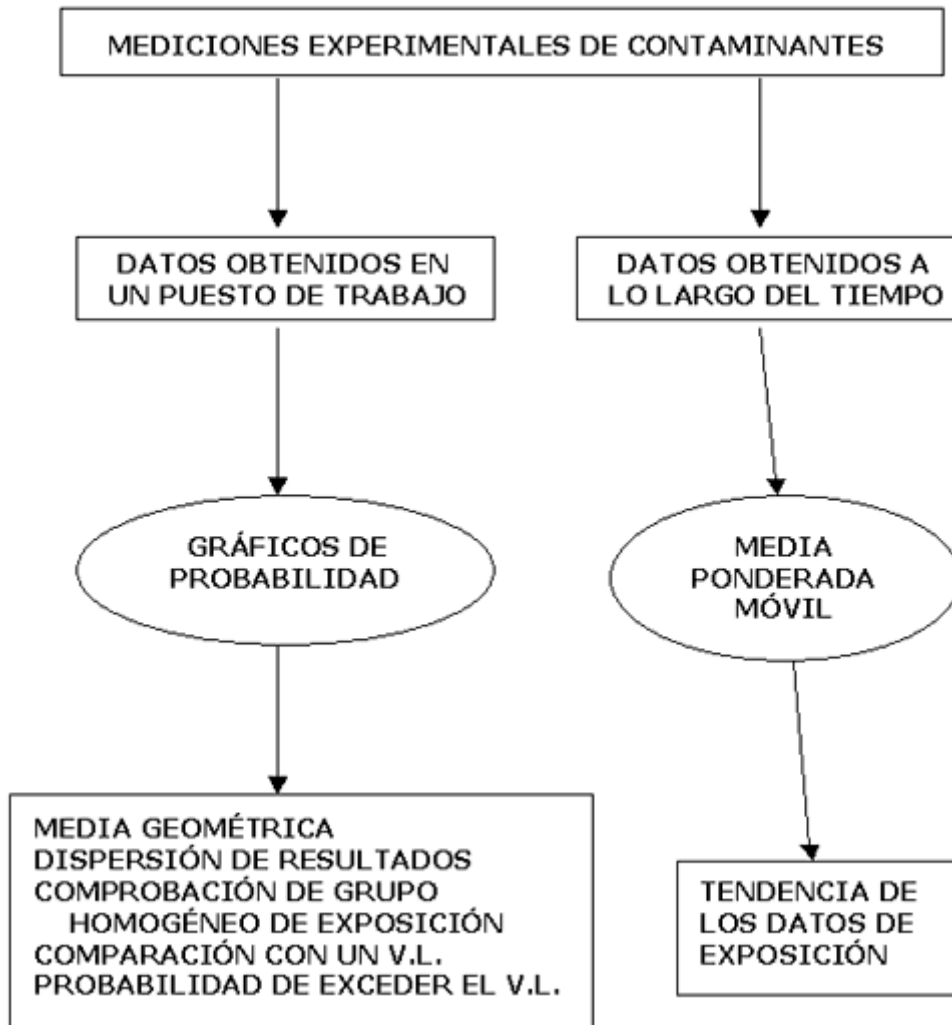
#### Objetivo general

Con esta unidad se pretende familiarizar al alumno con algunos de los procedimientos más comúnmente utilizados para tratar los datos que se obtienen de los distintos sistemas de medida de agentes químicos en el ambiente, con el fin de conseguir la máxima información posible de los mismos.

#### Objetivos específicos

- Familiarizar al alumno con dos de los tratamientos de datos más utilizados
- Gráficos de probabilidad
  - Conocer si los datos pertenecen a un grupo homogéneo de exposición
  - Conocer si los datos se ajustan de acuerdo con una distribución logarítmico - normal
  - Determinar los parámetros que caracterizan la distribución de los datos :
    - Media geométrica
    - Desviación estándar geométrica
  - Determinar la probabilidad de que se exceda un valor límite
- Media ponderada móvil
  - Estudiar la tendencia de los datos

ESQUEMA DE LA UNIDAD



**CAPÍTULO 1: GRÁFICOS DE PROBABILIDAD**

Un procedimiento que ha encontrado aplicación práctica en la Higiene Industrial es el método que consiste en expresar las mediciones de exposición en percentiles, después de un análisis estadístico de los datos en la forma de un gráfico de probabilidad logarítmico - normal o de frecuencias acumuladas (porcentaje).

Es un procedimiento muy útil para aplicar a datos tomados a trabajadores de un mismo puesto de trabajo.

La información que se puede obtener con este tratamiento es :

- comprobar si los datos de exposición obtenidos se ajustan a una distribución logarítmico - normal o no, y calcular gráficamente, caso de que se trate de una distribución logarítmico - normal :
  - la media geométrica
  - la desviación estándar geométrica
- decidir si el grupo de trabajadores en estudio se trata de un grupo homogéneo de exposición o no
- calcular la probabilidad de que se exceda un determinado valor límite, lo que nos ayudará a decidir la necesidad de realizar o no mediciones periódicas

- comparar los datos de exposición con un valor límite a un porcentaje de probabilidad elegido, por ejemplo el 95%

Los pasos a seguir con los datos obtenidos son :

- se ordenan los datos de exposición en orden creciente
- se cuenta el número de datos y a partir de las tablas, se obtienen las posiciones adecuadas en el gráfico
- se selecciona un papel para gráficos de probabilidad logarítmica que tenga un eje Y que cubra el intervalo de resultados de la exposición
- se representan los pares de valores de exposición en el papel elegido
- se ajusta una línea recta a los datos, despreciando los puntos fuera de los límites de probabilidad 1% y 99% (si los hubiera). Para los demás datos se da preferencia a aquellos más cercanos a la posición del 50%, es decir en la zona del 20% al 80%
- si los datos no se ajustan a una línea recta es posible que la distribución real no sea logarítmica - normal o que incluya datos que pertenecen a otra población
- el valor de la media geométrica es el valor correspondiente a la probabilidad del 50%, y puede leerse directamente a partir de la intersección de la recta ajustada con la línea correspondiente a la probabilidad del 50%
- la desviación estándar geométrica, DEG, es la pendiente de la recta y una medida de la variabilidad o dispersión de los datos. Viene dada por :

$$\text{DEG} = \frac{\text{valor del 84.1\%}}{\text{valor del 50\%}}$$

Normalmente para la aplicación de este procedimiento se requieren, al menos, 7 datos. Recordemos que, en la unidad didáctica anteriormente citada "Evaluación de la exposición a agentes químicos", se recomendaba al menos un mínimo de seis datos para determinar la exposición de un grupo que se piensa, a priori, que tiene una exposición homogénea. Y que se daba el criterio de que cuando uno de los datos era menor que la mitad de la media de los datos de exposición obtenidos o mayor del doble de la media, había que sospechar que podría no tratarse de un grupo homogéneo de exposición.

Para facilitar la comprensión de este tipo de tratamiento, lo vamos a aplicar a un ejemplo concreto.

Las exposiciones medias individuales en un grupo de trabajadores expuestos a tolueno (VLA-ED : 50 ppm) son las siguientes : 40.1, 25.8, 20.0, 30.8, 14.5, 23.4, 53.0, 37.0, 28.2 y 20.8 ppm. Comprobar si el grupo de trabajadores seleccionado se puede considerar un grupo homogéneo de exposición y calcular las medias aritmética y geométrica, y la desviación estándar geométrica. Calcular si, con un 95% de probabilidad estamos en una situación de conformidad, no conformidad o no decisión. Calcular la probabilidad de que se supere el valor límite. Por último, calcular la probabilidad de que se superase el valor límite si fuese 100 ppm.

Conviene recordar que la selección de un grupo homogéneo de exposición puede incluir a personas que, desempeñando el mismo puesto de trabajo, no trabajen al mismo tiempo, si no existe motivo para pensar que puedan existir diferencias en la exposición de los diferentes turnos de trabajo.

Los primeros pasos serían ordenar los datos en orden creciente, contarlos (10) y obtener en la tabla H-1, las posiciones (percentiles) correspondientes al tamaño de muestra ('sample size') n=10. En la siguiente tabla se encuentran los datos de exposición ordenados de forma creciente, junto con las posiciones obtenidas de la tabla I-1.

El siguiente paso es elegir el papel para gráficos de probabilidad adecuado, de acuerdo con el intervalo de los datos :

Orden Conc (ppm) Probabilidad

<b>Orden</b>	<b>Conc (ppm)</b>	<b>Probabilidad</b>
1	14,5	6,2
2	20,0	15,8
3	20,8	25,6
4	23,4	35,3
5	25,8	45,1
6	28,2	54,9
7	30,8	64,7
8	37,0	74,4
9	40,1	84,2
10	53,0	93,8

- una escala logarítmica (fig. H-1), cuando nuestros datos estén comprendidos entre 0.1 y 1, o entre 1 y 10, o entre 10 y 100, o entre 100 y 1000, etc., ppm o mg/m<sup>3</sup>, dependiendo de las unidades en las que se determine la concentración ambiental del contaminante.
- dos escalas logarítmicas (fig. H-2), cuando nuestros datos estén comprendidos entre 0.1 y 10, o entre 1 y 100, o entre 10 y 1000, etc., ppm o mg/m<sup>3</sup>.
- tres escalas logarítmicas (fig. H-3), cuando nuestros datos estén comprendidos entre 0.1 y 100, o entre 1 y 1000, o entre 10 y 10000, etc., ppm o mg/m<sup>3</sup>.

En nuestro caso elegiríamos el de una escala logarítmica (fig. 1), ya que todos los datos experimentales están comprendidos entre 10 y 100 ppm. En el eje de abscisas los valores no indicados son :

TABLEH-1. PLOTTING POSITIONS FOR NORMAL PROBABILITY PAPER

Ordinal No.	Sample Size																															Ord No
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	28.6	19.9	15.2	12.2	10.3	8.8	7.7	6.9	6.2	5.6	5.2	4.8	4.4	4.1	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1	
2	71.4	50.0	38.3	31.0	26.0	22.5	19.7	17.6	15.8	14.4	13.2	12.2	11.4	10.6	9.9	9.4	8.9	8.4	8.0	7.7	7.2	6.8	6.7	6.4	6.2	5.9	5.7	5.5	5.3	5.2	2	
3	80.1	61.7	50.0	42.0	36.2	31.8	28.4	25.6	23.3	21.4	19.8	18.4	17.2	16.1	15.2	14.3	13.6	12.9	12.3	11.7	11.3	10.7	10.4	9.9	9.5	9.2	8.9	8.7	8.4	3		
4	84.8	69.0	58.0	50.0	43.9	39.2	35.3	32.2	29.6	27.3	25.4	23.7	22.3	21.0	19.8	18.8	17.9	17.1	16.4	15.6	14.9	14.2	13.8	13.3	12.7	12.3	11.9	11.5	4			
5	87.8	74.0	63.8	56.1	50.0	45.1	41.1	37.8	34.9	32.4	30.3	28.4	26.8	25.3	24.0	22.8	21.8	20.6	19.8	18.9	18.1	17.6	16.9	16.4	15.9	15.2	14.7	5				
6	89.7	77.5	68.2	60.8	54.9	50.0	45.9	42.5	39.5	36.5	34.6	32.6	30.8	29.2	27.8	26.4	25.1	24.2	23.3	22.4	21.5	20.6	19.8	19.2	18.7	17.9	6					
7	91.2	80.3	71.6	64.7	58.9	54.1	50.0	46.5	43.4	40.7	38.4	36.3	34.4	32.7	31.2	29.8	28.4	27.4	26.1	25.1	24.2	23.3	22.7	21.8	21.2	7						
8	92.3	82.4	74.4	67.8	62.2	57.5	53.5	50.0	46.9	44.2	41.8	39.6	37.6	35.9	34.6	32.6	31.6	30.2	29.1	28.1	27.1	26.1	25.1	24.6	8							
9	93.1	84.2	76.7	70.4	65.1	60.5	56.6	53.1	50.0	47.2	44.8	42.6	40.5	38.6	37.1	35.6	34.1	33.0	31.6	30.5	29.5	28.4	27.4	9								
10	93.8	85.6	78.6	72.7	67.6	63.1	59.3	55.8	52.8	50.0	47.5	45.2	43.3	41.3	39.7	38.2	36.7	35.2	34.1	33.0	31.9	30.9	10									
11	94.4	86.8	80.2	74.6	69.7	65.4	61.6	58.2	55.2	52.5	50.0	47.6	45.6	43.6	42.1	40.5	39.0	37.4	36.3	35.2	34.1	11										
12	94.8	87.8	81.6	76.3	71.6	67.4	63.7	60.4	57.4	54.8	52.4	50.0	48.0	46.0	44.4	42.5	41.3	39.7	38.6	37.1	12											
13	95.2	88.6	82.8	77.7	73.2	69.2	65.6	62.4	59.5	56.7	54.4	52.0	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	41.7	40.5	13												
14	95.6	89.4	83.9	79.0	74.7	70.8	67.3	64.1	61.4	58.7	56.4	54.0	52.0	50.0	48.4	46.4	45.2	43.6	14													
15	95.9	90.1	84.8	80.2	76.0	72.2	68.8	65.9	62.9	60.3	57.9	55.6	53.6	51.6	50.0	48.4	46.8	15														
16	96.1	90.6	85.7	81.2	77.2	73.6	70.2	67.4	64.4	61.8	59.5	57.5	55.2	53.6	51.6	50.0	16															
17	96.4	91.1	86.4	82.1	78.2	74.9	71.6	68.4	65.9	63.3	61.0	58.7	56.7	54.8	53.2	17																
18	96.6	91.6	87.1	82.9	79.4	75.8	72.6	69.8	67.0	64.8	62.6	60.3	58.3	56.4	18																	
19	96.7	92.0	87.7	83.6	80.2	76.7	73.9	70.9	68.4	65.9	63.7	61.4	59.5	19																		
20	96.9	92.3	88.3	84.4	81.1	77.6	74.9	71.9	69.5	67.0	64.8	62.9	20																			
21	97.1	92.8	88.7	85.1	81.9	78.5	75.8	72.9	70.5	68.1	65.9	21																				
22	97.2	93.2	89.3	85.8	82.4	79.4	76.7	73.9	71.6	69.1	22																					
23	97.3	93.3	89.6	86.2	83.1	80.2	77.3	74.9	72.6	70.2	67.4	64.4	61.8	59.5	57.5	55.2	53.6	51.6	50.0	16												
24	97.4	93.6	90.1	86.7	83.6	80.8	78.2	75.4	72.6	70.2	67.4	64.4	61.8	59.5	57.5	55.2	53.6	51.6	50.0	16												
25	97.6	93.8	90.5	87.3	84.1	81.3	78.8	25																								
26	97.6	94.1	90.8	87.7	84.8	82.1	26																									
27	97.7	94.3	91.1	88.1	85.3	27																										
28	97.8	94.5	91.3	88.5	28																											
29	97.9	94.7	91.6	29																												
30	97.9	94.8	30																													
31	98.0	31																														

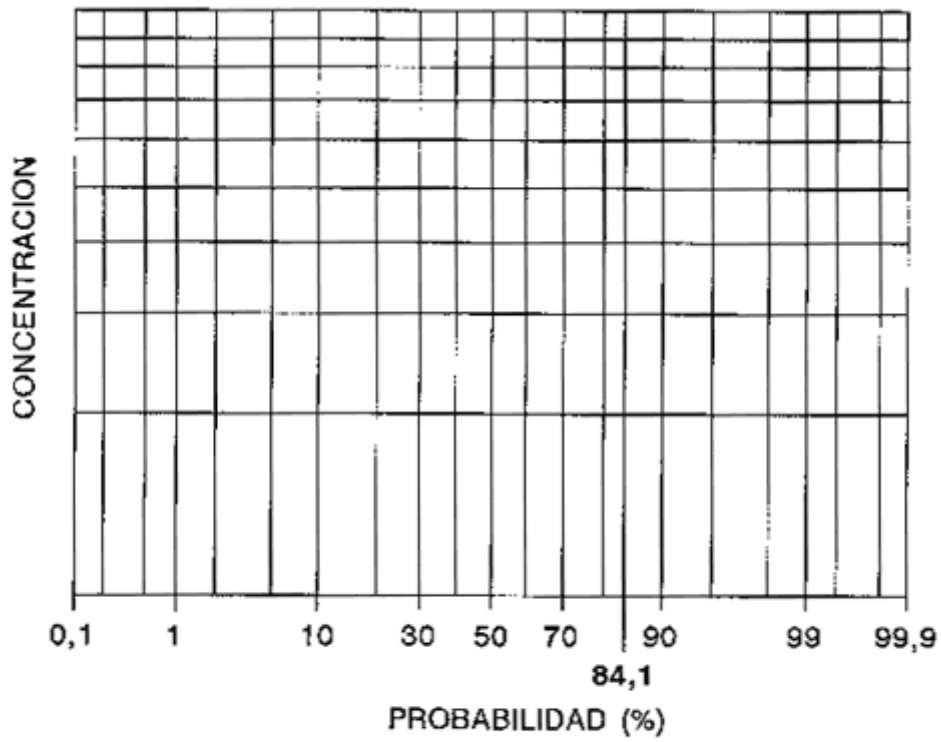


Fig. H-1 .- GRAFICO DE PROBABILIDAD  
UNA ESCALA LOGARITMICA

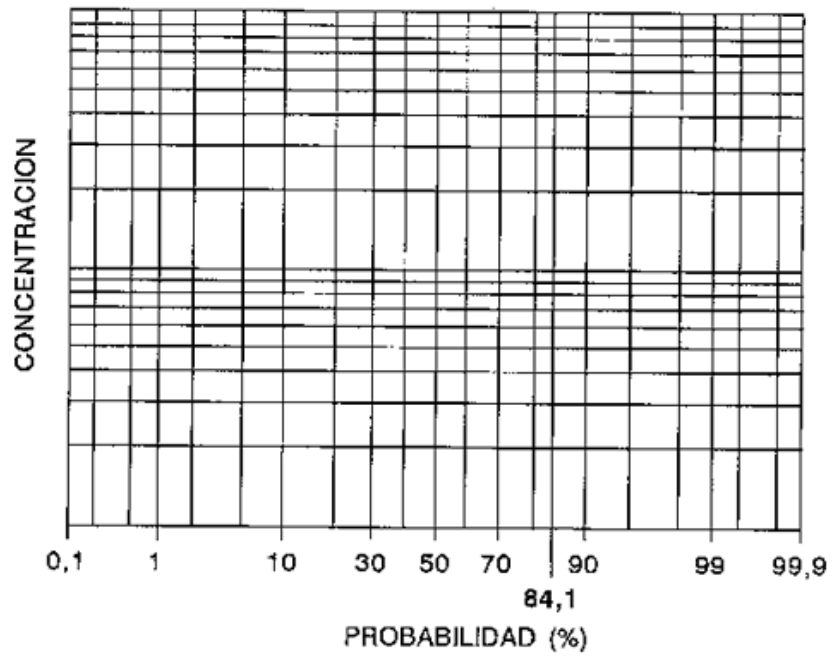


Fig. H-2 .- GRAFICO DE PROBABILIDAD  
DOS ESCALAS LOGARITMICAS



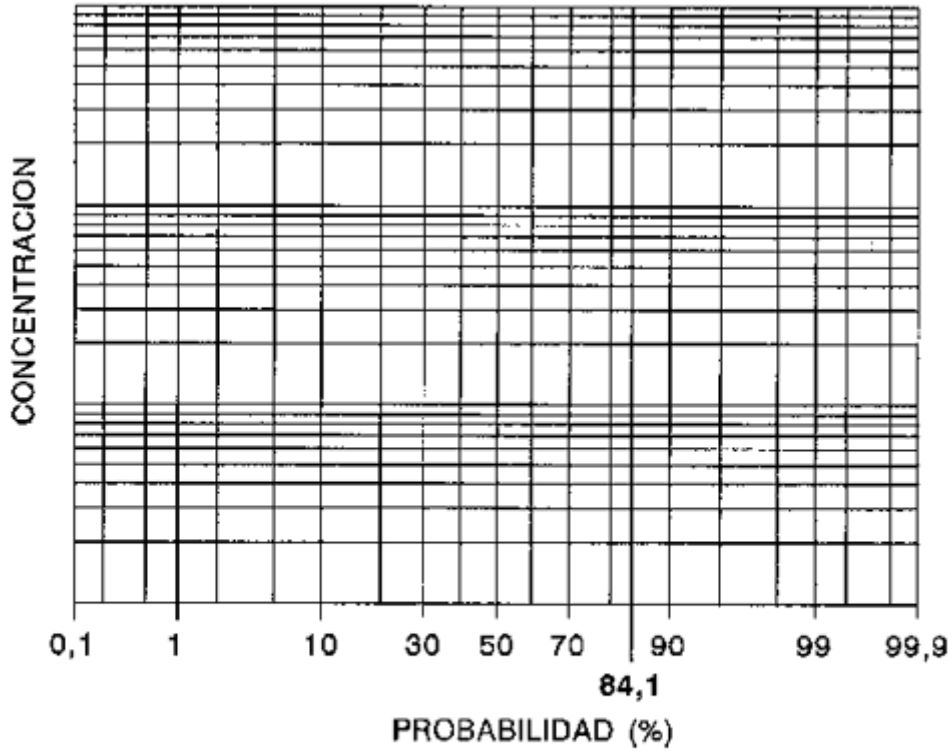
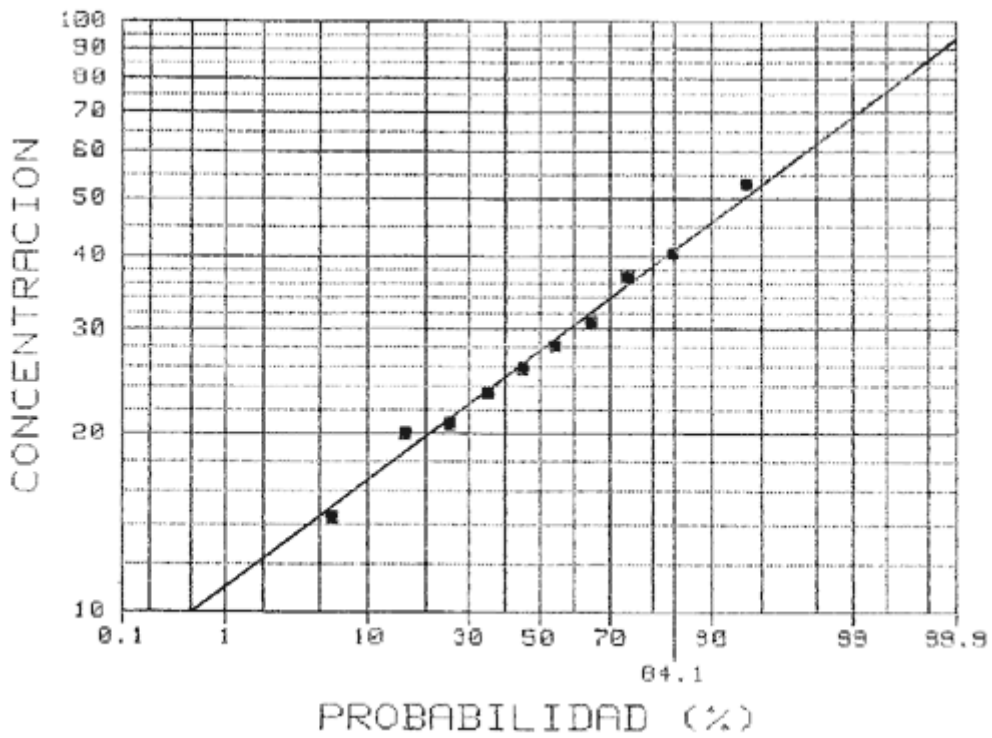


Fig. H-3 .- GRAFICO DE PROBABILIDAD  
TRES ESCALAS LOGARITMICAS



entre 0.1 y 1 : 0.2 y 0.5  
 entre 1 y 10 : 2 y 5  
 entre 10 y 30 : 20  
 entre 30 y 50 : 40  
 entre 50 y 70 : 60  
 entre 70 y 90 : 80  
 entre 90 y 99 : 95 y 98  
 entre 99 y 99.9 : 99.5 y 99.8

Y en ordenadas :

entre 10 y 20 : 12, 14, 16 y 18  
 entre 20 y 30 : 22, 24, 26, y 28  
 entre 30 y 40 : 32, 34, 36 y 38  
 y el resto : 45, 55, 65, 75, 85 y 95

La representación gráfica de los mismos se encuentra en la figura 4, donde se ha trazado también la recta que mejor se ajusta a ellos, prestando mayor atención a los que se encuentran entre el 20 y el 80% de probabilidad.

Los datos, de acuerdo con la representación gráfica, se ajustan bastante bien a una línea recta, por lo que se puede asegurar que pertenecen a una distribución logarítmico - normal.

La media aritmética sería la suma de todos los datos experimentales de exposición, dividida por el número de ellos. En nuestro caso

$$\text{media aritmética} = \frac{\text{suma}}{\text{n}^\circ \text{ de datos}} = \frac{293,6}{10} = 29,4 \text{ ppm}$$

Se trataría, por tanto de un grupo homogéneo de exposición porque :

- los datos se ajustan a una distribución logarítmico normal
- no existe ningún dato superior al doble de la media (58,8)
- aunque existe un dato inferior a la mitad (14,7), la diferencia es muy pequeña

La media geométrica es el valor correspondiente a la probabilidad del 50%, y puede leerse directamente de la fig. 4. En nuestro caso, y de acuerdo con dicha figura sería 28 ppm (la ordenada que corresponde al 50%, leyendo sobre la recta).

El valor de la desviación estándar geométrica sería, de acuerdo con la figura 4 :

$$\text{DEG} = \frac{\text{valor del 84.1\%}}{\text{valor del 50\%}} = \frac{42}{28} = 1.5$$

En cuanto al resultado de la evaluación (con una probabilidad del 95%), conformidad, no conformidad o no decisión, para que existiese **conformidad**, la exposición debería estar, con un 95% de probabilidades, por debajo del valor límite; para que existiese **no conformidad**, la exposición debería estar, con un 95% de probabilidades, por encima del valor límite; mientras que en el resto de los casos, la situación sería de **no decisión**.

En nuestro caso, para que hubiese **conformidad**, el valor correspondiente al 95% debería estar por debajo del valor límite, 50 ppm, y la situación no es así. Para que se estuviese en una situación de **no conformidad**, el valor correspondiente al 5% debería estar por encima de 50 ppm, y tampoco es así. Por lo que nos encontramos en una situación de **no decisión**.

La probabilidad de estar por debajo del valor límite corresponde a la abcisa en la que la recta corta a la ordenada del valor límite. En nuestro caso, la probabilidad que corresponde a la ordenada del valor límite, 50 ppm, es aproximadamente 93%. Por tanto con los datos experimentales obtenidos, podemos decir que la probabilidad de que **se exceda** el valor límite es del **7%**.

Si el valor límite hubiese sido de 100 ppm, nos hubiésemos encontrado en una situación de conformidad, ya que el valor que corresponde al 95% de probabilidad está por debajo de 100 ppm. La probabilidad de superar el valor límite de 100 ppm, sería inferior al 0.1%, por lo que tampoco serían necesarias posteriores mediciones periódicas.

## CAPÍTULO 2: . MEDIA PONDERADA MÓVIL

Para tratar los datos obtenidos de un proceso a lo largo de un periodo de tiempo, resulta muy útil utilizar este método, ya que proporciona un registro sencillo de las exposiciones y una indicación clara de sus desviaciones respecto a los límites prefijados.

La tendencias de la exposición viene indicada por la forma que presenta la línea de la media ponderada móvil (M.P.M.) relativa a los límites, de forma que cualquier cambio sistemático o desplazamiento ascendente brusco indica la necesidad de una acción correctora.

Los pasos a seguir son los siguientes

- Se representan las mediciones individuales junto con el valor límite (V.L.) o el nivel de acción (N.A.), lo que proporciona una indicación de la aceptabilidad de cada medición, así como un registro permanente de los datos.
- Se calcula el valor de la M.P.M. para cada una de las mediciones individuales de acuerdo con :  

$$MPM ( 1 ) = med. inicial + 0,2 [med.( 1 ) - med. inicial] y$$

$$MPM ( i ) = MPM ( i-1 ) + 0,2 [med.( i ) - MPM( i-1 )]$$
 Para la primera y las siguientes medidas, respectivamente.
- Se representan los valores sucesivos de M.P.M., uniéndolos por una línea. La tendencia de las mediciones viene indicada por la forma que presenta dicha línea.

Pongamos un ejemplo:

En la siguiente tabla, se dan los valores de las mediciones sucesivas obtenidas de un contaminante en un puesto de trabajo y los valores calculados de la M.P.M respectivamente.

Orden	Conc (ppm)	M.P.M.
1	721,1	706,6
2	832,2	731,7
3	507,4	686,8
4	339,1	617,3
5	1082,0	710,2
6	573,9	682,9
7	621,8	670,7
8	391,2	614,8
9	341,0	560,0
10	427,9	533,6

En la evaluación inicial se obtuvo un valor de concentración de 703 ppm.

El valor límite (VL) se establece en 750 ppm y el nivel de acción (NA) en 500 ppm

En la figura 5 se ha representado, tanto los valores individuales como los valores sucesivos de M.P.M., uniendo estos últimos por una línea continua.

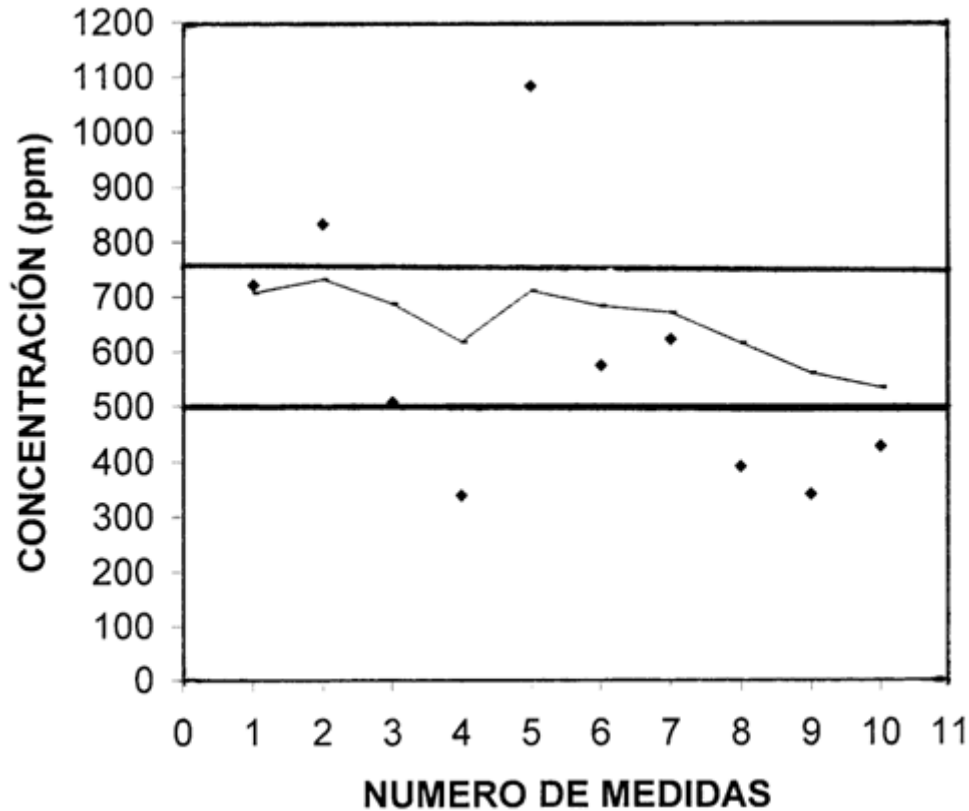


Figura 5: Gráfico de la media ponderada móvil

Como puede observarse, hay dos mediciones que se encuentran por encima del límite, cuatro por debajo del nivel de acción y el resto entre estos dos valores. La tendencia de la exposición (línea de la M.P.M.), se mantiene entre el nivel de acción y el valor límite, siendo a partir de la quinta medida descendente, lo que indica que la situación se encuentra bajo control.

## BIBLIOGRAFÍA

- norma UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición. Marzo 1996.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España. 1999. ISBN 84-7425-525-2.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Documento Técnico 78:94. Estrategia de muestreo para la evaluación de la exposición laboral a contaminantes químicos. José N. Tejedor y M<sup>a</sup> Jesús García-Gutiérrez.. ISBN 84-7425-404-3.

## 1.4. Información de riesgo químico

### INTRODUCCIÓN

De la información que se maneja para la elaboración de la etiqueta y la ficha de datos de seguridad de una sustancia química o un preparado considerado como peligroso no quiere decir que todos los riesgos que se señalan se pueden dar en los ambientes laborales ni tampoco que se indiquen todos los que pueden ser un riesgo químico para los trabajadores.

Se trata de una información del riesgo en el origen; es decir la que proporciona el fabricante según le obliga la legislación y de acuerdo con los resultados de una serie de ensayos realizados, normalmente de experimentación animal y por tanto de interpretación dudosa al extrapolar su posible incidencia en humanos.

Por otro lado no se trata de presentar una información toxicológica exhaustiva de la sustancia a un público que en general desconoce los pormenores para la correcta interpretación y más aún cuando se dispone de un espacio muy limitado como es apenas un 10% de la superficie del envase.

Finalmente hay que tener en cuenta que ciertas prácticas de trabajo con ciertos productos presentan un riesgo para las personas que las manipulan o que están expuestas a éstas y que para prevenir de los efectos es necesario que el empresario facilite al trabajador una forma de procedimiento de trabajo, por escrito, como pueden ser determinadas prácticas de aseo higiénico personal y que nunca figurarán en la información de la etiqueta.

Por tanto no es de extrañar que las propiedades de las sustancias que se pueden reflejar en la etiqueta no coincidan con la clasificación clásica que en Higiene Industrial se hace de los efectos que los contaminantes pueden ocasionar en el organismo.

En el marco comunitario de la comercialización de productos químicos peligrosos existe un procedimiento armonizado tanto para sustancias como para preparaciones y que contempla una serie de disposiciones relativas a:

- Notificación
- Clasificación
- Etiquetado
- Envasado
- Ficha de datos de seguridad

El fabricante está obligado a informar al usuario en general del riesgo en el origen de la sustancia peligrosa con el objeto de dar una protección eficaz tanto para la seguridad y la salud de trabajadores o de público en general como para el medio ambiente.

La autoridad nacional competente en el ámbito comunitario en estas materias la comparten los Ministerios de Sanidad y Consumo y el de Medio Ambiente. Por otra parte y en el territorio nacional las competencias administrativas recaen en las respectivas Comunidades Autónomas respecto a:

- Vigilancia
- Inspección
- Control
- Potestad sancionadora

Están excluidas de tal declaración:

- Especialidades farmacéuticas y estupefacientes
- Sustancias radiactivas
- Alimentos para uso humano o de animales

- Cosméticos
- Plaguicidas
- Aditivos alimentarios
- Transporte de mercancías peligrosas
- Residuos tóxicos y peligrosos
- Sustancias en tránsito bajo control aduanero

De todas las sustancias químicas consideradas como peligrosas tan sólo un 10% ya han sido clasificadas y etiquetadas de acuerdo con la legislación vigente, el resto son etiquetadas provisionalmente por la industria en espera de un etiquetado más oficial. Las sustancias no consideradas peligrosas no precisan de un etiquetado especial.

Cuando se quiere poner en el mercado comunitario una sustancia nueva, es decir no incluida en el inventario EINECS, como tal o en forma de preparación hay que presentar ante la autoridad competente un informe técnico, al menos con 60 días de antelación a ser comercializada, que contenga:

- Identificación del fabricante/importador
- Identificación e información de la sustancia
- Memoria científico técnica sobre los riesgos para el hombre y medio ambiente
- Posibles efectos nocivos según las utilidades previstas (evaluación de riesgos)
- Propuesta de clasificación y etiquetado
- Propuesta de ficha de datos de seguridad
- Si el fabricante es de la Comunidad acreditará al declarante como único representante.

Según las cantidades previstas a producir o acumular anualmente al fabricante se le exige que la declaración sea más o menos completa o bien recurrir a una declaración simplificada.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Esta unidad pretende familiarizar al alumno en la recogida de información en el origen de sustancias químicas y preparados peligrosos a través de la etiqueta y de la ficha de datos de seguridad de acuerdo con la legislación vigente acerca de sus propiedades físico químicas, efectos sobre la salud y la nocividad para el medio ambiente y siguiendo los criterios establecidos para la clasificación de las propiedades de tales sustancias y que se suelen extraer de estudios de experimentación animal

### Objetivos específicos

- Familiarizar al alumno con la información de la etiqueta y la ficha de datos de seguridad que proporciona el fabricante, importador o el que comercializa las sustancias y preparados químicos peligrosos.
- Determinar las propiedades de éstas que se pueden dar en el ambiente laboral
- Conocer las situaciones en las que esta información puede ser insuficiente y hay que complementarla con procedimientos seguros de trabajo
- Dar a conocer los criterios generales que permiten decidir sobre las propiedades peligrosas de las sustancias para clasificarlas y etiquetarlas

**ESQUEMA DE LA UNIDAD**

<p><b>SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS EXISTENTES</b></p>	<p><b>SUSTANCIAS QUÍMICAS EN AMBIENTES LABORALES</b></p>
<p><b>PROPIEDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FÍSICOQUÍMICAS</li> <li>- TOXICIDAD</li> <li>- EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE</li> </ul> <p><b>CLASIFICACIÓN</b></p> <p><b>ETIQUETADO</b></p> <p><b>LÍMITE DE CONC. PARA PREPARADOS</b></p> <p><b>FICHA DATOS SEGURIDAD</b></p> <p><b>¿ PARA CONSUMO DEL PÚBLICO EN GENERAL?</b></p>	<p><b>ETIQUETA</b></p> <p><b>FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD</b></p> <p><b>PROCEDIMIENTOS SEGUROS DE TRABAJO</b></p> <p><b>¿ RIESGO QUÍMICO? :</b></p> <p><b>EVALUACIÓN DE RIESGOS</b></p> <p><b>CONTROL PERIÓDICO</b></p> <p><b>¿EXPOSICIÓN POR TIEMPO Y CONCENTRACIÓN?</b></p> <p><b>EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN</b></p> <p><b>CONCLUSIÓN Y MEDIDAS</b></p> <p><b>- CONTROL PERIÓDICO</b></p>
<p><b>RESPONSABILIDAD DEL FABRICANTE, IMPORTADOR O COMERCIALIZADOR</b></p>	<p><b>RESPONSABILIDAD DEL EMPRESARIO.</b></p>

**CAPÍTULO 1: CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS.**

La clasificación se realiza a partir de los datos obtenidos siguiendo los métodos de ensayo descritos en el R.D. 363/95 y que se citan en:

- Anexo I con un listado de sustancias ya clasificadas y etiquetadas. Cuando proceda van acompañadas de límites de concentración a aplicar en el caso de que éstas formen parte de un preparado
- Anexo V en el que se establecen los métodos de ensayo
- Anexo VI que da los criterios de interpretación de los resultados y los principios para la clasificación de todas las propiedades consideradas.

En la clasificación se contemplan las siguientes propiedades de las sustancias:

1. Propiedades físico químicas:
  - Explosivos
  - Comburentes
  - Inflamables
2. Propiedades toxicológicas:
  - Nocivos, tóxicos o muy tóxicos
  - Corrosivos
  - Irritantes
  - Sensibilizantes
3. Efectos específicos sobre la salud humana:
  - Carcinogénicos
  - Mutagénicos
  - Tóxicos para la reproducción
4. Efectos sobre el medio ambiente:
  - Peligrosos para el medio ambiente

En la clasificación además de la caracterización de la propiedad se le asigna a la sustancia un pictograma, un símbolo y unas frases de riesgo R que posteriormente en el etiquetado se complementarán con unas frases S como medidas de prudencia.

Los pictogramas y símbolos aplicables figuran en el anexo II y las frases R y S en el anexo III.

**Explosivos:** que incluso en ausencia de oxígeno pueden detonar, deflagrar rápidamente o por efecto del calor y en confinamiento explotan. Así se consideran a las sustancias que explotan por acción de una llama o bien porque son más sensibles a la fricción que el dinitro benceno. También el calor puede provocarla.

Algunas sustancias se hacen explosivas al mezclarse con materias combustibles (ciertos cloratos) que por si mismo originan explosivos metálicos ( tetra hidro resorcinol) o porque son inestables al calor a ciertas temperaturas (ácido perclórico al 50%).

Para que una mezcla de inflamables produzca una explosión se tienen que dar estos tres componentes:

- combustible, gas o vapor, en determinadas concentraciones
- el oxígeno del aire como comburente
- la energía suficiente para elevar la temperatura ( Temperatura de auto inflamación).

Son varias las causas que accidentalmente dan lugar a explosiones: fugas de recipientes en almacenes cerrados o mal ventilados, fugas en canalizaciones de transporte de líquidos o gases inflamables o en instalaciones de combustión.

La explosión de una mezcla se puede producir por:

- **Deflagración:** como onda de presión con un frente de llama a velocidades de propagación de cómo mucho unas decenas de metros/s e inferior a la del sonido. Las sobrepresiones iniciales que se llegan a alcanzar son de 4-10 bares. Los productos gaseosos vienen a aumentar de 1-10 veces la presión inicial.
- **Detonación:** menos frecuente y donde la llama está ligada a una onda de choque propagada a velocidades superiores a los 1000 m/s, es decir superiores a la del sonido, con sobrepresiones de 20-30 bares aunque de corta duración; pasado el frente de onda la presión desciende a la correspondiente a una deflagración. La presión que se llega alcanzar es de hasta 100 veces la inicial y el efecto sonoro es muy superior al de una deflagración

En una combustión simple la velocidad de propagación es inferior a 1 m/s y visible; la energía desprendida es en parte disipada en el ambiente y el resto activa la mezcla combustible/comburente para mantener la reacción en cadena.

En general una atmósfera de polvo se hace antes irrespirable que explosiva, aunque en ocasiones como operaciones de carga y descarga, transferencias de material o en almacenamiento de cereal o harina en silos, las nubes de partículas generadas pueden ser peligrosas.

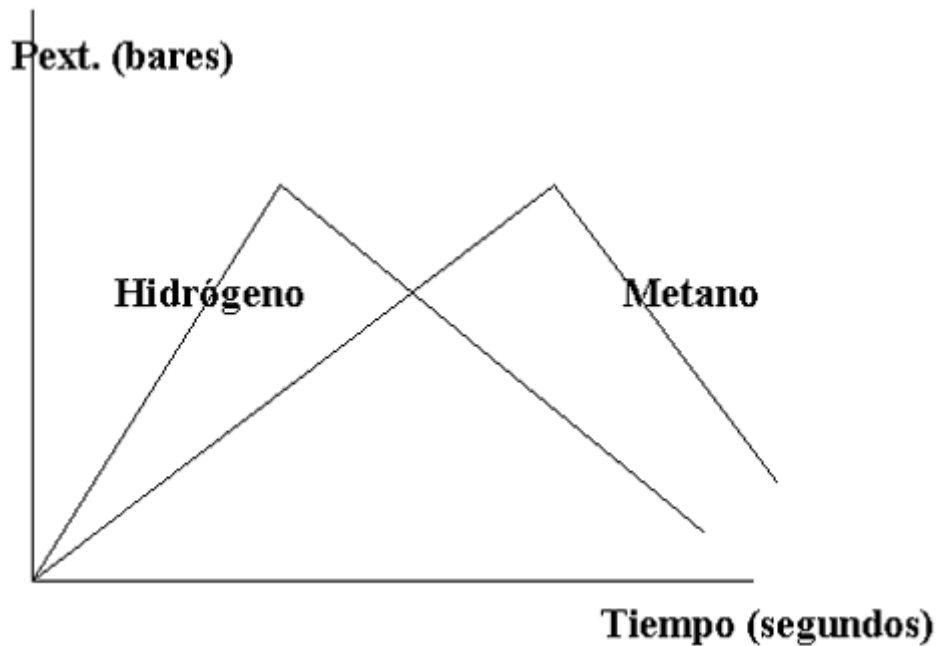
En un ambiente con polvo explosivo el filtro del sistema de ventilación debe estar situado antes que el ventilador y éste debe ser de un material que evite las chispas que se puedan producir al chocar accidentalmente las partes fijas y móviles. Los conductos de evacuación y de transporte serán de una longitud lo más corta posible y se deberá de evitar la electricidad estática con materiales conductores o semiconductores, asegurando la continuidad eléctrica, e incorporando fibra o revestimiento adecuado y de diseño tal que evite deposiciones o atascos.

A su vez el conducto tendrá un espesor tal que soporte sobre presiones de 2-10 bares.

Las grasas, trapos con grasa y líquidos combustibles se pueden inflamar violentamente en una atmósfera rica en oxígeno. Los ambientes de polvo sólo dan lugar a deflagración y muy rara vez a detonación.



La violencia de la explosión da la velocidad de aumento de la presión durante la explosión; así, según la figura la explosión de hidrógeno es mucho más violenta que la de metano.



**Comburentes:** que con sustancias inflamables reaccionan exotérmicamente

Son algunos ejemplos: mezcla sulfonítrica, aire y oxígeno líquidos, nitritos de sodio y potasio, agua oxigenada, ciertos percloratos, peróxido de sodio, y otros peróxidos e hidroperóxidos orgánicos.

**Inflamables:** como sustancias de bajos puntos de ebullición y de inflamación con capacidad de entrar en combustión, es decir de arder, y que depende de varias características de la sustancia ( punto de inflamación, punto de autoencendido y los límites superior e inferior de inflamabilidad).

El punto de inflamación o de destello es la mínima temperatura, en ° C y a 1 atmósfera, a la que la sustancia en aire desprende cantidad suficiente de vapor para producir inflamación de la mezcla vapor/ aire si se aporta la energía necesaria. Los ensayos de laboratorio para su determinación se pueden hacer en recipiente cerrado a abierto.

El punto de autoencendido o ignición es la temperatura mínima, en ° C y 1 atmósfera, para que la sustancia arda en aire sin necesidad de aporte alguno de energía.

Los límites superior e inferior de concentraciones, expresadas en %, entre las que la mezcla vapor/ aire es inflamable es el rango de inflamabilidad. Para una sustancia el rango varía dependiendo de la presión, temperatura y concentración de gases inertes presentes en la mezcla.

**Tóxicos:** por inhalación, ingestión o piel que pueden provocar efectos agudos o crónicos para la salud.

La toxicidad aguda se determina mediante experimentación animal en pruebas para estimar las dosis letal ( LD50 ó LC50). También se realizan ensayos sobre efectos subcrónicos y crónicos y en ciertos casos, según las características de los efectos, se les puede asignar la propiedad de carcinógenos, mutágenos o reprotóxicos. Otros aspectos que se tienen que considerar son: órgano afectado, si son tóxicos directos o indirectos, si hay efectos cruzados, sinergismo, etc. La frase R 40 caracteriza a sustancias de posibles efectos irreversibles y la R 39 si éstos son muy graves.

El uso de la frase R 33 advierte del peligro de efectos acumulativos y tiene un grado menor que la R 48 ( riesgos de efectos graves a la salud por exposición prolongada)

**Corrosivos:** por destrucción de tejidos vivos. Normalmente se trata de sustancias que producen reacciones ácidas, básicas o de deshidratación.

Pueden causar destrucciones profundas o superficiales así como irritaciones fuertes o moderadas en piel o pulmones. Los ensayos para su caracterización suelen ser de irritación cutánea y se trata de destacar la lesión que producen en tejidos vivos ya que la corrosividad sobre materiales está cubierta por otra normativa.

**Irritantes:** que por contacto breve, prolongado o repetido con piel o mucosas provocan reacción inflamatoria

El efecto irritante es morfológicamente distinto al corrosivo leve si bien un efecto corrosivo lleva asociado una inflamación previa, paralela o posterior, al igual que las sustancias corrosivas a baja concentración son irritantes.

Los irritantes pueden ser primarios de acción local o secundarios de acción local o global en todo el organismo.

La irritación en el sistema respiratorio depende de la solubilidad del producto; a mayor solubilidad en agua antes se detecta su acción

Un efecto inflamatorio no se debe considerar benigno, al contrario. En ojos predomina el efecto irritante de lagrimeo como lesión ocular.

Los disolventes orgánicos disuelven la capa lipídica protectora de la piel.

**Sensibilizantes:** que dan reacción de hipersensibilización

Son sustancias que al contacto con la piel y mucosas o por inhalación provocan una reacción anormal del sistema de defensa inmunológico, provocando un fenómeno alérgico

La reacción suele tener lugar después de un primer contacto y la respuesta individual es, por lo general, muy dispersa, cuali y cuantitativamente. En la clasificación no se tiene en cuenta la forma del daño ya que por inhalación puede llegar hasta provocar la muerte.

Entre laboratorios no hay acuerdo en la forma de realizar los ensayos de sensibilización.

Respecto a la exposición a sensibilizantes hay que considerar que exposiciones previas sin efecto no garantizan que no se desarrolle con posterioridad una sensibilización.

**Carcinógenos:** que producen cáncer o aumentan su frecuencia

Según los criterios de clasificación se consideran hasta tres categorías:

- Categoría 1 como sustancias carcinógenas demostradas en el hombre a partir de datos epidemiológicos
- Categoría 2 como probables carcinógenas para el hombre sin suficientes elementos de juicio para concluir y según estudios de toxicidad a largo plazo de experimentación animal u otras informaciones apropiadas
- Categoría 3 como sospechosas sin disponer de datos suficientes que prueben la actividad carcinogénica en el hombre y resultado de ensayos en animales.

Para una clasificación en categoría 2 es necesario la positividad en al menos dos especies de animales o bien pruebas contundentes en una junto con otras pruebas complementarias ( genotoxicidad, estudios metabólicos o bioquímicos, inducción de tumores benignos, relación estructural con otras sustancias demostradas, datos epidemiológicos que sugieran relación..).

**Mutágenos:** que producen cambio permanente en cantidad o estructura genética y que dan lugar a un cambio en las características del fenotipo. Pueden afectar a un solo gen a un conjunto o a un cromosoma entero dando lugar a cambios estructurales o numéricos. Si la mutación es en células germinales en organismos con reproducción sexual se puede transmitir a la descendencia

En su clasificación se consideran tres categorías y se efectúa respecto a las malformaciones heredadas y los de categoría 3 son una advertencia de la posible existencia de carcinogenesis. En muchos de los nuevos ensayos de mutagenicidad se emplean protocolos y criterios de evaluación no normalizados. Por tanto para valorar estos estudios hay que tener en cuenta la calidad de los ensayos y el grado de validación del método de ensayo.

- Categoría 1 según estudios epidemiológicos se ha demostrado en el hombre una relación causa/ efecto entre exposición y la aparición de alteraciones en el material genético.
- Categoría 2 con resultados positivos que indiquen efectos mutagénicos u otro tipo de interacción celular que afecte a la mutagenicidad, obtenidos en células germinales de mamíferos "en vivo" o efectos mutágenos en células somáticas "en vivo", junto con la demostración de que sustancia o un metabolito relevante alcanza las células germinales.

Por tanto las sustancias así clasificadas son probablemente de efecto mutágeno para el hombre, según estudios de experimentación animal y de otra información que lo justifique.

- Categoría 3: son sospechosos de producir efectos mutágenos en humanos sin que los estudios efectuados en animales aporten pruebas suficientes como para clasificarlos de segunda categoría.

Aquí se consideran resultados positivos en células somáticas de mamíferos "en vivo" que indiquen efectos mutágenos u otro tipo de interacción celular de incidencia mutágena. Apoyan a esta clasificación otros ensayos de estudios "in vitro".

Si sólo hay uno o dos resultados "in vitro" positivos no se suele clasificar aunque se recomienda seguir investigando sobre nuevos datos.

Muchas sustancias con características mutagénicas suelen ser carcinogénicas de ahí que la mutagenicidad se considere punto de partida de una posible carcinogenicidad y que para su clasificación se requiere estudios "en vivo" y en la decisión final dependerá la aparición de neoplasias, según otros factores de actuación posterior ( promotores)

**Tóxicos para la reproducción:** ya sea en el desarrollo del feto o en la fertilidad.

En la reprotoxicidad se incluye el deterioro de la función o capacidad reproductora masculina y femenina así como la inducción de efectos nocivos no hereditarios en la descendencia.

Respecto a la fertilidad masculina o femenina se considera los efectos negativos en el líbido, comportamiento sexual, aspectos de espermatogénesis u ovogénesis, actividad hormonal o la respuesta hormonal que interfiera en la capacidad de fertilizar, al propio proceso de fertilización o desarrollo del huevo fecundado hasta la fase de implantación, incluyendo ésta.

Respecto a la toxicidad del desarrollo se contemplan los efectos que interfieren en el desarrollo normal, antes o después del nacimiento, efectos inducidos o manifestados en periodo prenatal o después del nacimiento, efectos embriotóxicos/fetotóxicos como son la disminución del peso corporal, retraso en el crecimiento y desarrollo, toxicidad para órganos, muerte, aborto, efectos estructurales (teratógenos), defectos funcionales, peripostnatales y problemas de desarrollo físico y mental tras el nacimiento hasta la fase de desarrollo de la pubertad normal, con la inclusión de ésta.

Se clasifican según tres categorías:

- Sustancias que perjudican la fertilidad de los humanos. Hay pruebas claras para establecer una relación entre la exposición y los problemas en humanos. También se incluyen las que producen toxicidad para el desarrollo en humanos, es decir aparición posterior de efectos tóxicos para el desarrollo de la descendencia.
- Sustancias que perjudican la fertilidad en humanos; existen pruebas claras de estudios de animales ( problemas de fertilidad en ausencia de efectos tóxicos, o problemas de fertilidad a dosis próximas a otros efectos tóxicos y sin que se puedan considerar consecuencia inespecífica de éstos) o bien por otros datos.

También se incluyen las tóxicas para el desarrollo en humanos y de acuerdo con pruebas en animales ( en ausencia de toxicidad marcada para la madre o a niveles de dosis de otros efectos sin que se trate de una consecuencia secundaria inespecífica de éstos) o por otros datos.

- Sustancias preocupantes para la fertilidad humana, con problemas de fertilidad, en ausencia de efectos tóxicos o bien a los mismos niveles de dosis que éstos sin que sea consecuencia secundaria de los mismos, y no suficientes para una categoría 2.

También se agrupan sustancias preocupantes por sus posibles efectos tóxicos en el desarrollo en humanos.

Los efectos sobre la lactancia se refieren sólo a la toxicidad sobre la descendencia que procede a través de la leche materna. Así se clasificarán las sustancias que no lo hayan sido por reprotoxicidad pero que son preocupantes por su toxicidad al pasar al niño durante el periodo de lactancia (frase R 64). También se considera si afectan a la cantidad o a la calidad de la leche.

## CAPÍTULO 2: ETIQUETADO DE PRODUCTOS PELIGROSOS

Al tener la etiqueta una superficie limitada para informar y ya que al usuario tampoco hay que confundirle con un exceso de documentación técnica que no interpreta ésta debe limitarse a una serie de requisitos básicos entre los que se citan los siguientes:

- La etiqueta debe cumplir:
  - será legible e indeleble
  - escrita en el idioma oficial del estado destinatario
- No deben figurar indicaciones tales como "no tóxico", "inocuo" o similar
- Dimensiones mínimas según el tamaño del envase:
- Que la información se lea fácilmente
- Símbolos y pictogramas 1/10 parte de la etiqueta ( como mínimo 1 cm<sup>2</sup>)
- En preparados la etiqueta debe contener el nombre de aquellas sustancias de determinada peligrosidad según su composición
- Excepciones:
  - envases de capacidad menor de 125 ml no son necesarias frases R y S si se trata de productos irritantes, fácilmente inflamables, inflamables o comburentes
  - en preparados no es necesaria la etiqueta cuando la información está consignada de forma visible en el propio envase
- Contenido:
  - Nombre de la sustancia (nomenclatura, identificación)
  - Nombre y dirección del responsable de la comercialización interior
  - Símbolos e indicaciones de peligro
  - Frases de riesgo (según Anexo VI)
  - Consejos de prudencia ( según Anexo VI)
  - Número CEE de la sustancia y la frase " ETIQUETA CEE"

### CAPÍTULO 3: ENVASADO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS

Sólo se podrán comercializar cuando sus envases:

- no tengan pérdidas
- ni ellos ni sus cierres sean atacados por los productos que contienen
- sean fuertes y sólidos
- cuando sea necesario, dispondrán de las señales detectables al tacto y que estén provistos de cierres de seguridad para los niños

### CAPÍTULO 4: FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Incluirán lo siguiente:

- Identificación de la sustancia o preparado así como del responsable de la comercialización
- Composición/ información de los componentes del preparado
- Identificación de los peligros
- Primeros auxilios
- Medidas de lucha contra incendios
- Medidas a tomar en caso de vertido accidental
- Manipulación y almacenamiento
- Control de la exposición/ equipos de protección individual

Además debe cumplir las condiciones siguientes:

- A entregar en el momento junto con el producto y gratuitamente
- A revisar según el avance de conocimientos
- A redactar según la guía del Anexo XI del reglamento de sustancias y del Anexo III del reglamento de preparados

No es necesario que figure el nombre químico de la sustancia en un preparado cuando se trate de:

- Explosivo
- Comburente
- Extremadamente inflamable
- Fácilmente inflamable
- Inflamable
- Irritante
- Peligroso para el medio ambiente

Además hay que tener en cuenta que:

- T hace facultativos C y X
- C hace facultativo X
- E hace facultativos F y O
- Xn hace facultativo Xi

Los símbolos irán en la etiqueta en negro sobre fondo anaranjado/amarillo.

En la nueva Directiva del Consejo aprobada sobre preparados se han incluido una serie de actualizaciones de las cuales algunas se citan a continuación. ( 9/45/CEE)

**Concentración de sustancias en preparados para la determinación de las propiedades de posible clasificación y según la naturaleza de la sustancia.**

Propiedad	Concentración- Gas	Concentración- Otros
Muy tóxico (T+)	> 0,02%	> 0,1%
Tóxico (T)	> 0,02%	> 0,1%
Nocivo (Xn)	> 0,02%	> 1 %
Carc. Cat 1 ó 2	> 0,02%	> 0,1%
Muta. Cat 1 ó 2	> 0,02%	> 0,1%
Reprotox. Cat 1 ó 2	> 0,02%	> 0,1%
Corrosivo (C)	> 0,02%	> 1%
Irritante (Xi)	> 0,2%	> 1%
Sensibilizante	> 0,2%	> 1%
Carc. Cat 3	> 0,2%	> 1%
Muta. Cat 3	> 0,2%	> 1%
Reprotox. Cat 3	> 0,2%	> 1%
Nocivo para Medio Ambiente (N)		> 0,1%
Nocivo para ozono	> 0,1%	> 0,1%
Medio Ambiente		> 1%

El preparado debe ser de nuevo evaluado cuando la composición se modifique, de acuerdo con el cuadro siguiente:

Concentración inicial del componente	Variación de la concentración inicial permitida
< 2,5%	±30%
>2,5% y <10%	±20%
>10% y <25%	±10%
>25% y <100%	±5%

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo ( O.I.T )  
4º edición ( 3ª en español) Publicación del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- 2) Higiene Industrial (INSHT)  
J. Guasch y otros. Publicación ET.054
- 3) Seguridad en el Trabajo (INSHT)  
M Bestratén y otros. Publicación ET.018

## 1.5. Sistemas de control y ventilación

### INTRODUCCIÓN

El aire que respira el hombre en el trabajo puede estar contaminado por aerosoles, humos, gases y vapores; este ambiente, puede afectar en cierto grado a la salud de los trabajadores y tener consecuencias negativas en la producción y en el medio ambiente. Por otra parte, hay que tener en cuenta que la nocividad de los contaminantes depende entre otros factores de su naturaleza y concentración. Así, cantidades muy pequeñas de algunos contaminantes pueden crear un daño real.

Las *atmósferas contaminadas* no sólo representan un *riesgo para el trabajador* sino que además suponen un coste elevado para la *producción* y unas pérdidas considerables. Por lo tanto, luchar contra la contaminación significa eliminar o reducir la cantidad de contaminantes de efecto nocivo conocido en el hombre al nivel más bajo posible y además, tomar conciencia del progresivo y uso abusivo de gran cantidad de materiales cuya toxicidad potencial cuando están presentes en los ambientes laborales no es aún conocida. También hay que estar alerta frente a ese enemigo, a veces invisible, y de cuyo efecto se termina por acostumbrar. Técnicamente existe una necesidad de captar los contaminantes y conseguir una buena ventilación en los locales de trabajo, considerando a la vez economía y optimización de la energía.

En la metodología hay un primer paso en el que se efectúa la detección y evaluación del riesgo en atmósferas contaminadas, explosivas o de calor, tomando como criterios de referencia el progreso técnico para el reconocimiento de riesgos y mejora de las condiciones de trabajo, la legislación existente y el nivel de acción prefijado.

A continuación, se analizarían los métodos y medios de reducción de la contaminación, atendiendo a los principios generales en los que se apoya el diseño, la implantación y el mantenimiento de los sistemas de captación y de ventilación, sin olvidar los problemas que causan en la calefacción de locales y la economía de energía.

### OBJETIVOS

#### Objetivos generales

Con esta unidad se pretende profundizar en los sistemas de ventilación, en especial la ventilación por extracción localizada, existentes para el control de agentes químicos en el ambiente, así como con los criterios generales para decidir, en cada caso, cual es el más adecuado.

#### Objetivos específicos

- Profundizar en el conocimiento de los sistemas de ventilación localizada
- Dar a conocer los componentes de estos sistemas y sus aplicaciones
- Familiarizar a los alumnos los parámetros que caracterizan estas instalaciones
- Introducir al alumno en los equipos que existen para la medida del flujo del aire en estos sistemas.
- Dar los criterios para la selección del equipo más adecuado
- Plantear y resolver distintos supuestos prácticos sobre el empleo de los equipos mencionados.

## CAPÍTULO 1: PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS CONTAMINANTES EN AIRE

### 1. Comportamiento de las partículas en suspensión.

Sobre una partícula que se mueve a través de un fluido actúan una fuerza externa, generalmente la gravedad, la fuerza de flotación y la fuerza de rozamiento, y su magnitud depende fundamentalmente de la masa y velocidad de la partícula y de las densidades de ésta y del aire.

Las fuerzas de rozamiento se determinan siempre por experimentación, salvo en el caso de esferas, a velocidades bajas.

Para cada forma y orientación de la partícula existe una relación diferente entre el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds, en el caso de un fluido no compresible y que depende del diámetro y velocidad de caída de la partícula y de la viscosidad del fluido en el que se mueve.

- Para números de Reynolds bajos ( $R < 2$ , es decir régimen laminar), la fuerza de rozamiento que actúa sobre una esfera sigue la ley de Stokes, es decir el coeficiente de rozamiento sólo depende de  $R$ .
- Para números de Reynolds entre 500 y 200.00 o régimen turbulento se verifica la ley de Newton y el coeficiente de rozamiento permanece constante y con un valor promedio convencional de 0,44.
- Entre Reynolds de 2 y 500 las cosas no son sencillas y el valor del coeficiente de rozamiento se obtiene en función de  $R$ .

La velocidad límite se alcanza cuando la fuerza debida a la gravedad se iguala a la de rozamiento, y en el caso que nos ocupa se llega a un valor de ésta diferente según rango en el que se cumple la ley de Stokes, en zona intermedia y en el intervalo de Newton.

Las **partículas por debajo de un cierto peso y tamaño** no pueden alcanzar velocidades lo suficientemente elevadas para sobrepasar el movimiento laminar. Así en el **campo de fuerzas gravitatorias**, el polvo *fino no tiene movimiento independiente del aire en el que se encuentra suspendido*.

**Si la partícula se proyecta por una acción mecánica a una velocidad elevada en su movimiento se puede prescindir de la gravedad inicialmente.** Cuando la velocidad desciende a los valores de régimen laminar los efectos de la gravedad ya no son despreciables.

Se consideran **partículas inerciales**, *aquellas cuyo peso es tal que caen rápidamente por gravedad y se denominará polvo fino, las que tienden a permanecer en suspensión en el aire*. El límite de tamaño en el primer caso depende de la VELOCIDAD y de la DENSIDAD ( $\varnothing$  mínimo de 50-100  $\mu\text{m}$ ), y en el segundo, es decir el polvo fino, entre 10 y 20  $\mu\text{m}$  y que es el que tiene importancia en Higiene Industrial si se refiere a prevenir la salud.

*El tipo de polvo que interesa en Higiene es aquel que se encuentra suspendido en el aire y que carece de peso y de independencia en su movimiento.*

Por tanto, las partículas finas de  $\varnothing < 50 \mu\text{m}$  que sedimentan en aire en calma, permanecen en suspensión, y siguen la ley de Stokes. En el cálculo de la velocidad límite para partículas de  $\varnothing < 1 \mu\text{m}$  se necesitan hacer ciertas correcciones en función del **diámetro aerodinámico** y que se define como el *diámetro de una esfera de densidad unidad respecto del agua y con velocidad de caída igual a la de la partícula*. Así partículas emitidas en una muela a una velocidad inicial alta de 50,8 m/s (183 Km/h), la distancia recorrida hasta pararse varía según tamaño y va de 55 m ( $\varnothing = 2 \mu\text{m}$ ) a 1 mm. ( $\varnothing = 2 \mu\text{m}$ ).

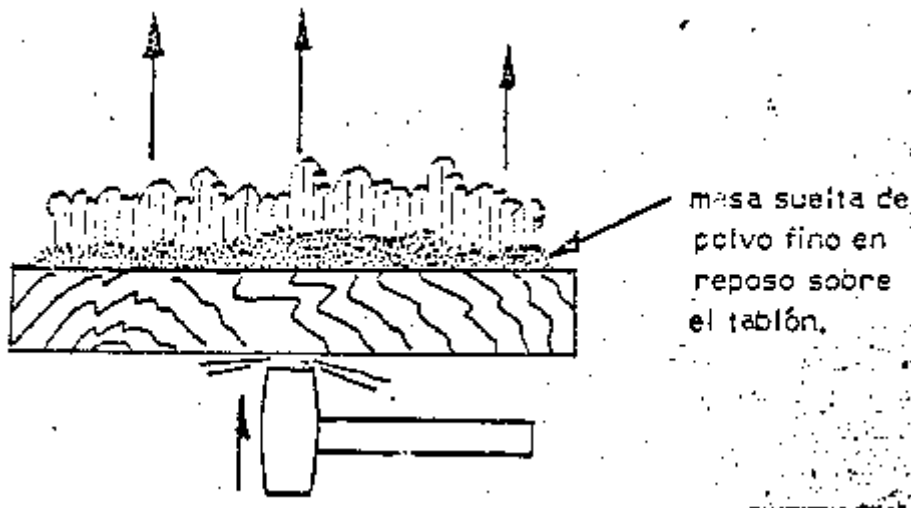
*Las partículas gruesas, sin apenas peligro para las vías respiratorias, tienen una gran energía cinética que les permite recorrer grandes distancias si se proyectan inicialmente a gran velocidad; su control se hará mediante sistemas de captación que se interpongan en su trayectoria. A veces, en su movimiento son acompañadas por partículas más pequeñas.*



## 2. Mecanismos de dispersión de las partículas en aire

**A) GENERACION DE POLVO.-** Así se entiende a todo proceso mecánico o físico, pero no molecular, por el que el polvo o niebla queda suspendido en el aire desde su estado previo de reposo.

La *acción primaria* de generación de polvo puede ser una acción **mecánica o neumática** que proyecta partículas a alta velocidad desde su estado de reposo al aire próximo o bien por *corrientes de aire secundarias* que transportan el aire pulverulento a un lugar alejado de donde se formó.

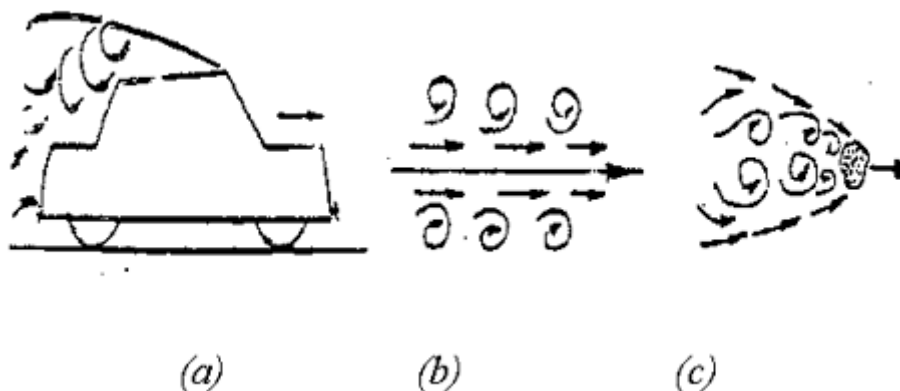


*Un impacto genera polvo fino que se expelle de los poros del material. Esta acción implica no inerciales.*

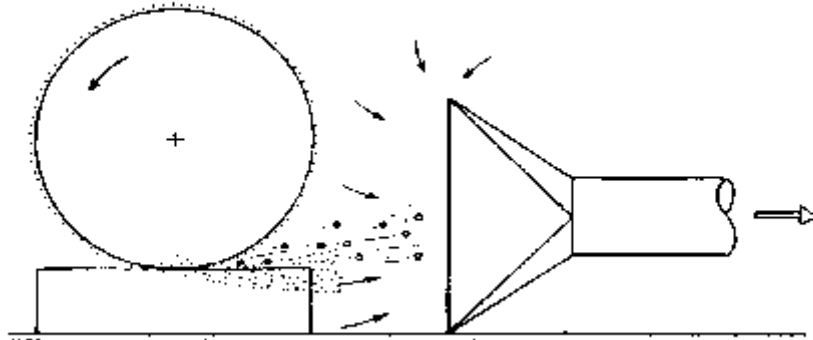
*El arrastre de aire detrás de los movimientos inerciales de elevada velocidad suele ser una causa de acción primaria de generación de polvo. A su vez el movimiento de inerciales sirve como medio de transporte para el polvo fino formado en el mismo proceso.*

Puede ocurrir la generación de polvo como es el caso de una muela de pulido en contacto con una pieza y en la que desprenden cantidades continuas de inerciales, a altas velocidades que induce después a una corriente de aire unidireccional y que servirá de medio de transporte para el polvo fino. Así, ambas clases de partículas se mueven conjuntamente en una misma corriente pero por diferentes mecanismos.

Otra causa primaria en la generación de polvo es una súbita expulsión de aire de los espacios porosos del material.



Corrientes turbulentas de aire inducidas como estela detrás de un objeto con alta velocidad.  
a)vehículo b)placa plana c) partícula sólida.



*Muela de superficie: captación de partículas gruesas y finas. Disponer los sistemas de captación aprovechando los movimientos naturales de los contaminantes.*

La dispersión del polvo suspendido se produce por las corrientes de aire secundarias que a veces no son parte integrante de la acción de generación; un ejemplo típico se da en los martillos neumáticos durante la perforación de piedra.

La inducción de una corriente de aire con el material, en la que la partícula aporta una componente de arrastre y con el efecto final de inducir una corriente de aire idéntica a la descrita en la generación de polvo unidireccional, es un fenómeno típico de manipulación de materiales como en las cadenas de transporte, los elevadores o en el vertido en silos.

**B) GASES Y VAPORES.-**

Las mezclas moleculares de un gas o vapor son permanentes, es decir no puede haber separación espontánea de las moléculas pesadas frente a las más ligeras

La relación de densidades o la densidad relativa es:

$$\frac{\text{densidad de la mezcla de aire y vapor}}{\text{densidad del aire}}$$

La máxima cantidad de vapor o concentración de éste en el aire está limitada por la presión de vapor del disolvente a la temperatura dada, si se trata de un recipiente cerrado o en superficies en zonas cercanas al disolvente evaporado.

**Concluyendo**, concentraciones de un vapor comprendidas entre 0,1 y 0,5% es lo que normalmente se encuentra en problemas de ventilación.

Si bien la gravedad no influye en el comportamiento de un gas en el aire, la variación de densidad con la temperatura del aire, como por ejemplo al contacto con una superficie caliente, puede provocar efectos importantes en los movimientos del aire.

**CAPÍTULO 2: VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN LOCALIZADA.**

**1. Principios del flujo de aire en conducciones.**

En el movimiento de un fluido puede diferenciarse dos clases de flujo, llamados LAMINAR y TURBULENTO, según sea el número de Reynolds bajo o alto.

El flujo en un conducto de ventilación es, en la práctica, siempre turbulento y se caracteriza porque las partículas del fluido se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares y por la aparición de un gran número de torbellinos que se forman y se destruyen constantemente en el seno de la corriente fluida. La velocidad en cada punto del fluido no es constante, como ocurría en un régimen laminar, sino que varía aleatoriamente con el tiempo oscilando alrededor de su valor medio.

El tipo de flujo en conductos puede deducirse a partir del número de Reynolds, en función del diámetro del conducto y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido (Cuando el número de Reynolds es inferior a 2100 el flujo es laminar; para valores superiores a 4000 se considera turbulento):

En el caso de aire en las condiciones usuales de ventilación, el flujo es siempre turbulento. En efecto, los valores normales de cada una de las variables que intervienen en el número de Reynolds son:

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 20^\circ\text{C y } 760 \text{ mm de Hg.}$$

$$V = 5\text{-}20 \text{ m/s.}$$

$$\varnothing = 0,1\text{-}1 \text{ mm.}$$

$$\mu = 0,18 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s.m. a } 20^\circ\text{C y } 760 \text{ mm de Hg.}$$

A partir de estos valores se obtiene un número de Reynolds entre 32.000 y 1300.000. Las consideraciones de régimen turbulento son importantes ya que permite usar algunas ecuaciones de movimiento de fluidos en forma simplificada.

### Ecuaciones fundamentales.

#### ECUACION DE CONTINUIDAD

Basado en el principio de conservación de la masa:

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot S_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot S_2$$

$\rho_1$  y  $\rho_2$  = densidades en las secciones 1 y 2

$V_1$  y  $V_2$  = velocidades medias en las secciones 1 y 2

$S_1$  y  $S_2$  = área del conducto en secciones 1 y 2

En la práctica se considera invariable la densidad, dado que las variaciones de presión que sufre el aire en una instalación de ventilación rara vez supera en 0,1 sobre la presión atmosférica, lo que representaría una variación de la densidad en un 10% ( es directamente proporcional a la presión, supuesto el aire gas perfecto y a temperatura constante). Por tanto:

$$V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2$$

#### ECUACION DE BERNOULLI

Se basa en el principio de conservación de la energía para fluidos ideales.

$$\rho g h + P + \rho V^2/2 = \text{constante, donde:}$$

$g$  = aceleración de la gravedad.

$h$  = altura respecto de una altura arbitraria.

$P$  = presión en la pared del conducto.

En el caso de gases el primer término puede despreciarse:

$$P + \rho v^2/2 = \text{constante o dicho en otros términos:}$$

PRESION TOTAL = PRESION ESTATICA + PRESION DINAMICA = cte

Para el caso de fluidos reales, teniendo en cuenta el rozamiento se emplea un término de corrección. Considerando un punto aguas arriba 1 y otro aguas abajo

$$2 P_1 + \rho (v_1)^2/2 = P_2 + \rho(v_2)^2/2 + \text{pérdidas}$$

Las pérdidas representan una disminución de la presión total que se va produciendo a lo largo de la conducción; a esta disminución se la denomina PERDIDA DE CARGA.

La **presión dinámica**, también llamada presión de velocidad, es la fuerza que actúa por unidad de superficie por acción de la velocidad del aire. En condiciones standard la velocidad y presión dinámica se relacionan entre sí:

$$V^2 = 16.P_d$$

La **presión estática** representa la fuerza por unidad de superficie y es la que ejerce el fluido sobre las paredes del conducto; es positiva cuando es mayor que la atmosférica y negativa si es menor. En el primer caso se dice que hay sobrepresión y en el segundo depresión. Así en el sentido de la vena de aire la fuerza total que se ejerce es debida a la presión estática, que actúa en todas las direcciones, y a la presión dinámica que únicamente se manifiesta en el sentido de la velocidad. La presión total se mide en el sentido de la velocidad y es igual a la suma de las dos.

### **Pérdida de carga.**

Para conseguir la circulación de aire en un conducto se necesita una determinada diferencia de presión entre sus extremos. Esto se debe a que el conducto al ofrecer una resistencia al paso de aire provoca una pérdida de energía igual a la necesaria para establecer dicha diferencia de presión. A esta pérdida de energía se le llama *pérdida de carga*.

## **2. Conductos y puntos singulares: Pérdida de carga**

### **A.- Tuberías rectas.**

Se puede emplear la fórmula de Darcy-Weisbach:

$h_f = f.L.p.V^2 / 2.g.D$  siendo:

$h_f$  = pérdida de carga en energía por unidad de volumen(mm c.d.a)

L = longitud de tubería (metros)

$\rho$  = densidad 1,2 g/m<sup>3</sup> a 20°C y 760 mm Hg.

V = velocidad (m/s).

D = diámetro (m).

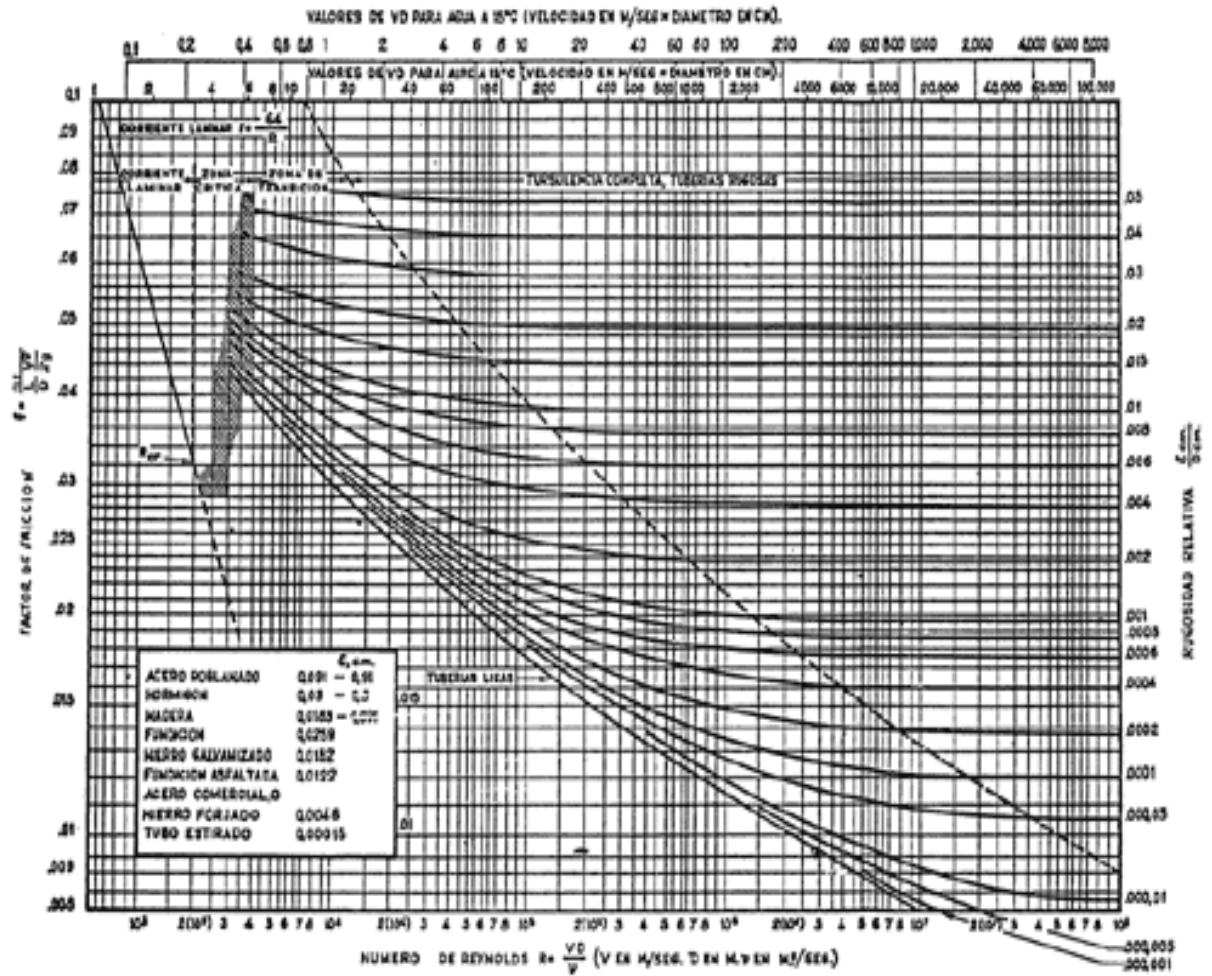
El coeficiente  $h_f$  en aproximación es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa  $\epsilon$  (cm)/D(cm); se puede obtener mediante gráfica y tiene un valor comprendido entre 0,01 y 0,03, según sea el material de la tubería.

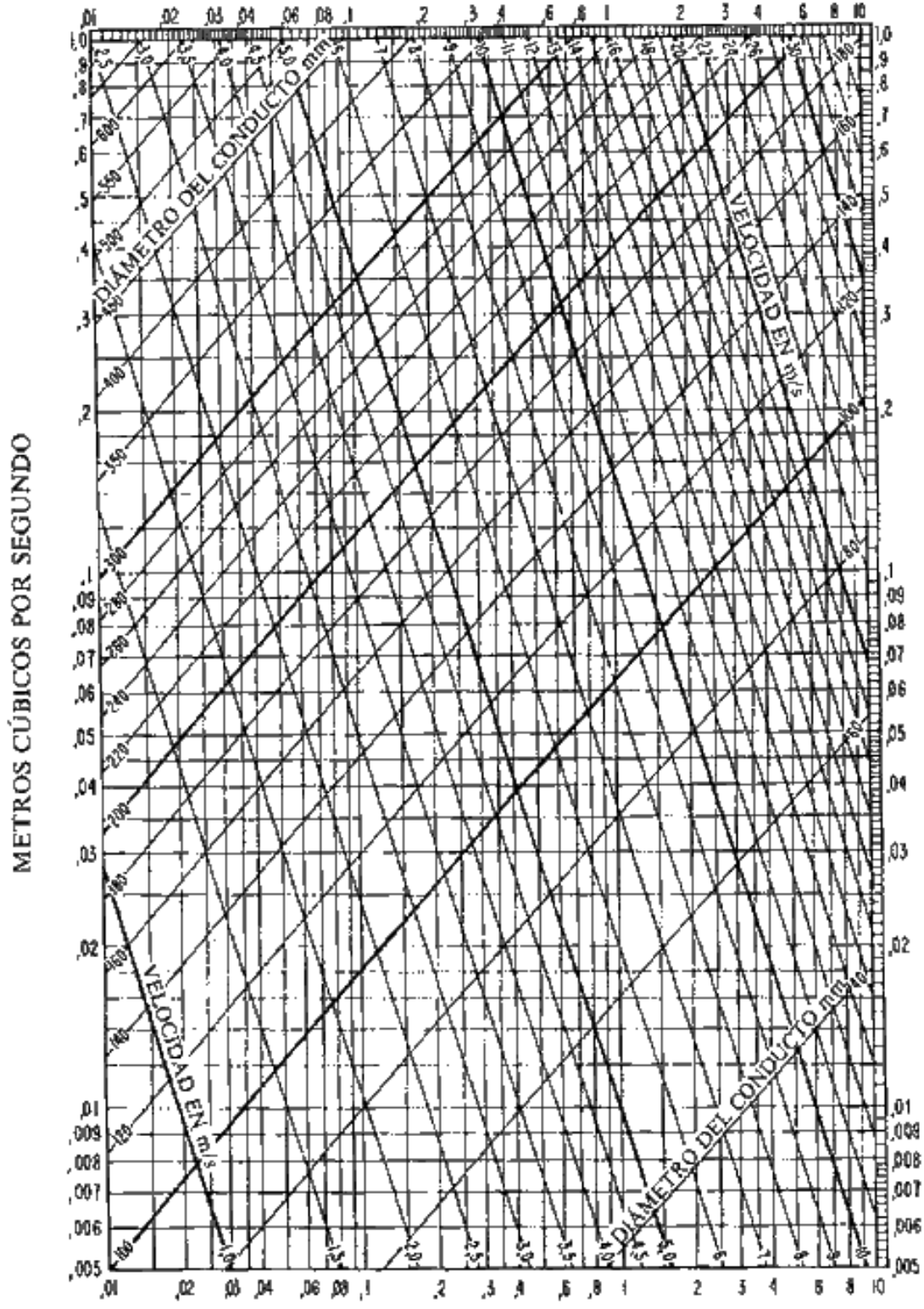
En ventilación industrial la rugosidad relativa varía poco de unas aplicaciones a otras, por lo que se puede obtener la pérdida de carga por unidad de longitud mediante gráfica, en función del diámetro y de la velocidad o del caudal.

En el caso de conductos rectangulares se calculará el diámetro equivalente mediante gráfica. Si la expresión anterior se plantea en función del caudal y del diámetro, toma la forma siguiente:

$h_f = 8.f.p.Q^2 / \pi^2.D^5$  y por tanto es directamente proporcional al cuadrado del caudal e inversamente proporcional a la quinta potencia del diámetro; es decir en esta relación está la que variación de la pérdida de carga con el caudal y del diámetro.

Así, si para un mismo caudal se disminuye el conducto a la mitad la pérdida de carga aumenta por un factor de 32.





PÉRDIDA POR FRICIÓN EN mmca/m  
FIGURA 5-21a

$$h_f = 5.38 \frac{V^{1.8}}{D^{1.23}}$$

$h_f$ : Pérdida por fricción, mmca/m  
 $V$ : velocidad, m/s  
 $D$ : ...

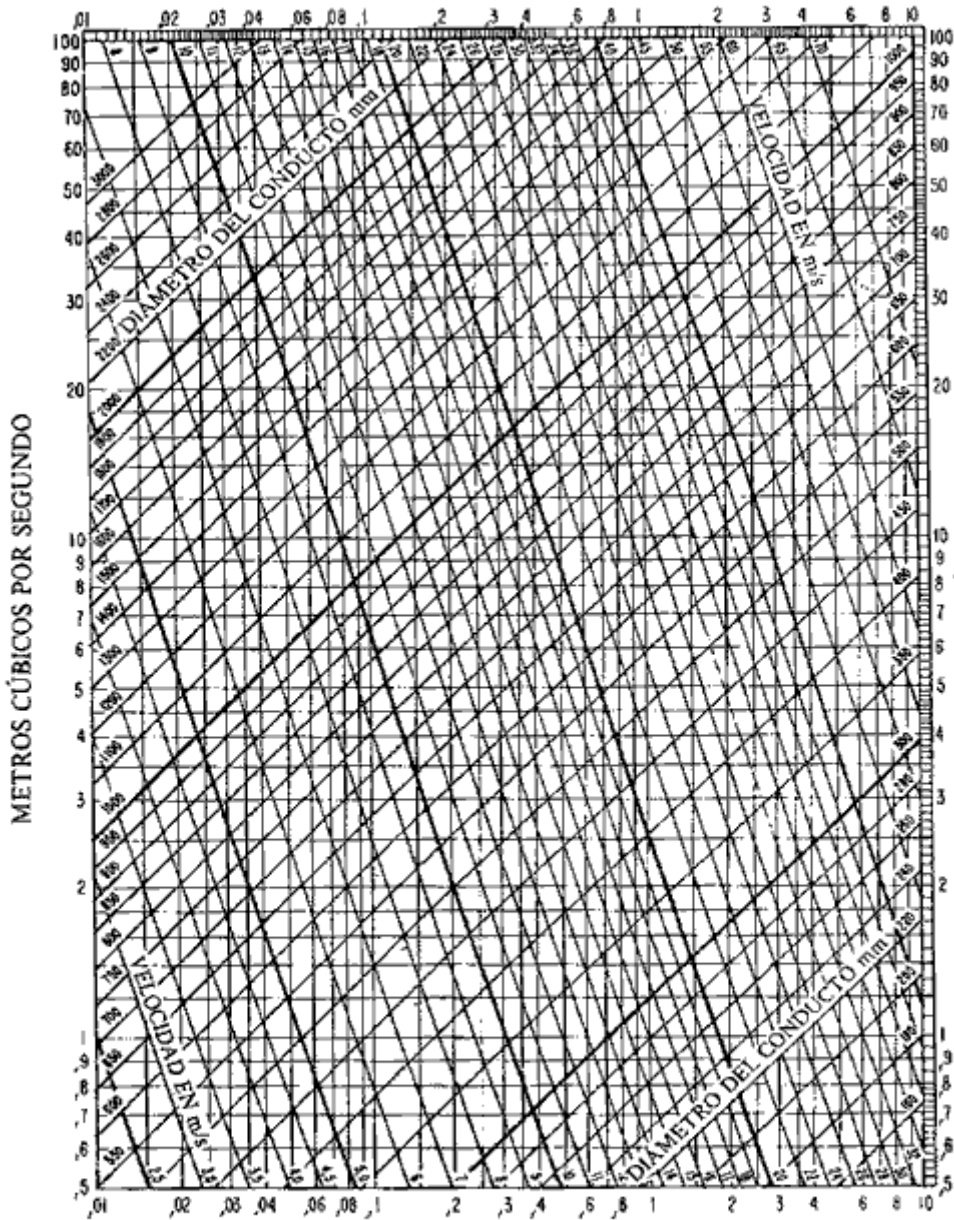


FIGURA 5-21b

$$h_f = 5,38 \frac{V^{1,9}}{D^{1,22}}$$

$h_f$ : Pérdida por fricción, mmeda/m  
 $V$ : velocidad, m/s  
 $D$ : diámetro, mm

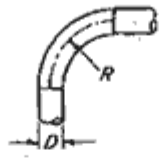
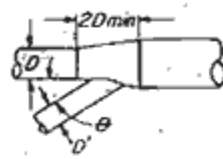
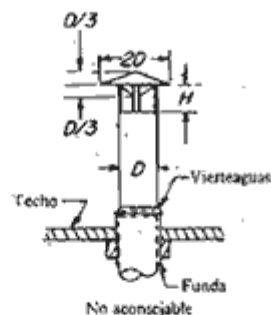
**B.- Puntos singulares.**

Así se consideran los codos, estrechamientos, ensanchamientos, uniones, etc.

En este caso la pérdida de carga se puede calcular por dos procedimientos

- Como longitud de tubería recta equivalente del punto singular, según figura.
- Como una fracción de la presión dinámica y el coeficiente de proporcionalidad se obtiene por gráficas.

**LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS EN METROS\***

Diámetro en mm	Codo de 90° Radio de curvatura R			Ángulo de la unión		H, expresado en diámetros		
	1,5D	2,0D	2,5D	30°	45°	1,0 D	0,75 D	0,5 D
75	1,4	0,9	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	2,0
100	2,0	1,3	1,1	0,8	1,3	0,5	0,8	3,4
125	2,6	1,7	1,4	1,1	1,7	0,6	1,1	4,4
150	3,2	2,2	1,8	1,4	2,2	0,8	1,4	5,5
175	3,9	2,6	2,2	1,7	2,6	0,9	1,7	6,6
200	4,6	3,1	2,5	2,0	3,1	1,1	2,0	7,8
250	6,0	4,0	3,3	2,6	4,0	1,4	2,6	10
300	7,4	5,0	4,1	3,2	5,0	1,8	3,2	13
350	8,9	6,0	5,0	3,8	6,0	2,1	3,8	15
400	10	7,0	5,8	4,5	7,0	2,5	4,5	18
450	12	8,1	6,7	5,2	8,1	2,8	5,2	21
500	14	9,2	7,6	5,9	9,2	3,2	5,9	23
600	17	11	9,5	7,3	11	4,0	7,3	29
700	21	14	11	8,8	14	4,8	8,8	35
800	24	16	13	10	16	5,7	10	41
900	28	19	15					
1000	32	21	18					
1200	39	26	22					
1400	47	32	26					
1600	55	37	31					
1800	64	43	36					
2000	72	49	40					

\* Para codos de 60° — x 0,67  
Para codos de 45° — x 0,5

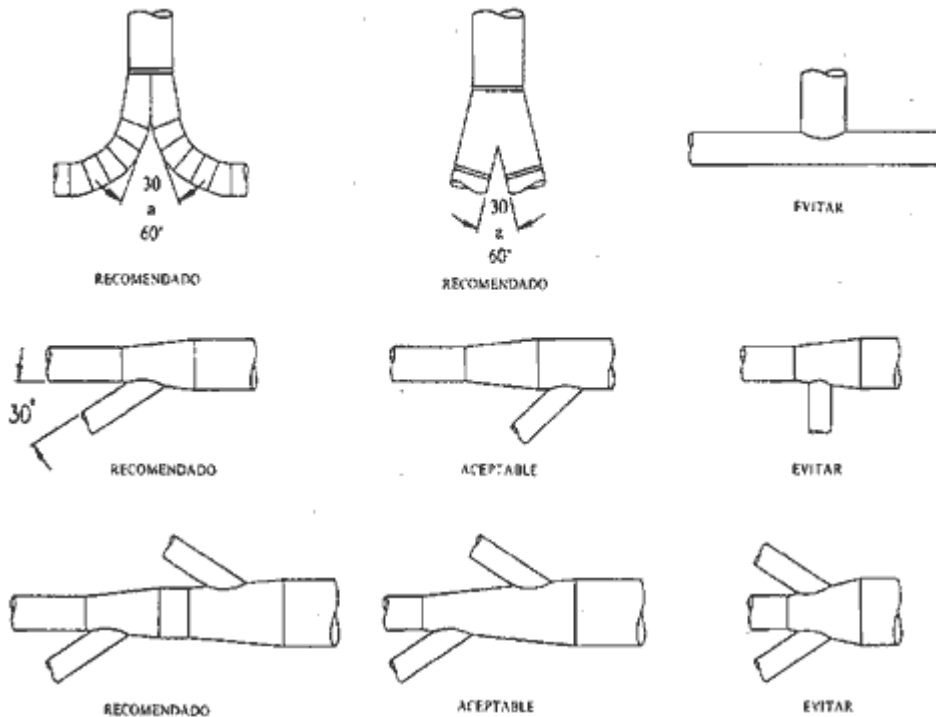
Longitudes equivalentes de accesorios en metros, según datos de diseños de conductos.

$\Delta P = k \cdot P_d = k \cdot \rho \cdot V^2 / 2$ , o bien en función del caudal y del diámetro:

$\Delta P = 8 \cdot k \cdot \rho \cdot Q^2 / \pi^2 \cdot D^4$  con una relación parecida al caso anterior entre la pérdida de carga y, el caudal y el diámetro.

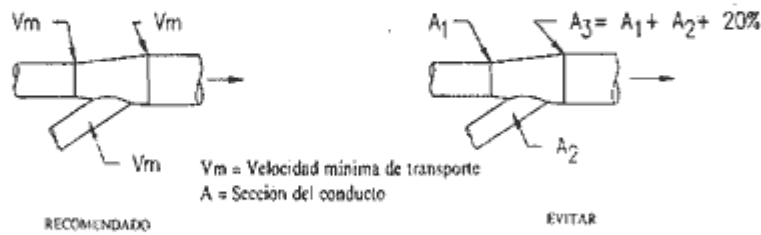
A continuación y en las gráficas se dan unos principios para el diseño de perfiles de conductos





**UNIONES DE CONDUCTOS LATERALES**

Los conductos laterales se deben unir al principal en ensanchamientos progresivos con un ángulo de 30° o menor (recomendado), o hasta 45° si no hay espacio. El ensanchamiento debe ser de 15" como máximo. Ver en la Figura 5-17 los factores de pérdida



**TAMAÑO CORRECTO DE LOS CONDUCTOS**

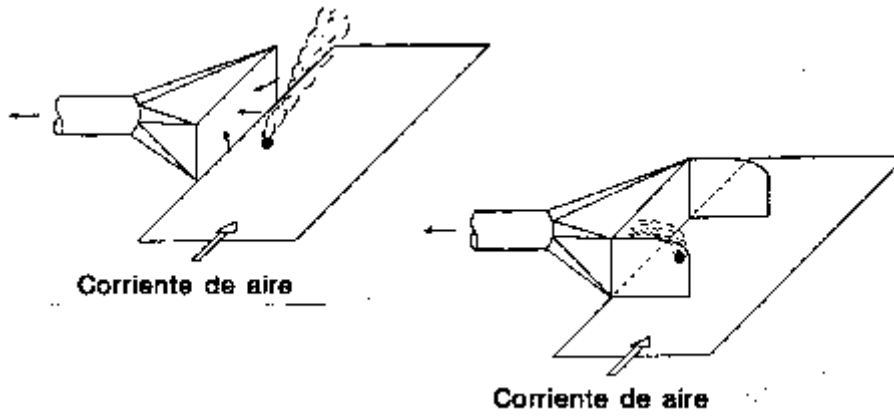
Dimensión del conducto para mantener la velocidad mínima de transporte o mayor

*Principios de diseño de conductos. Uniones de conductos laterales.*

**3. Elementos de captación: campanas de aspiración**

Los contaminantes en Higiene Industrial carecen en la práctica de inercia, tal y como se ha visto anteriormente; su movimiento viene determinado por las corrientes de aire que existen en el punto considerado.

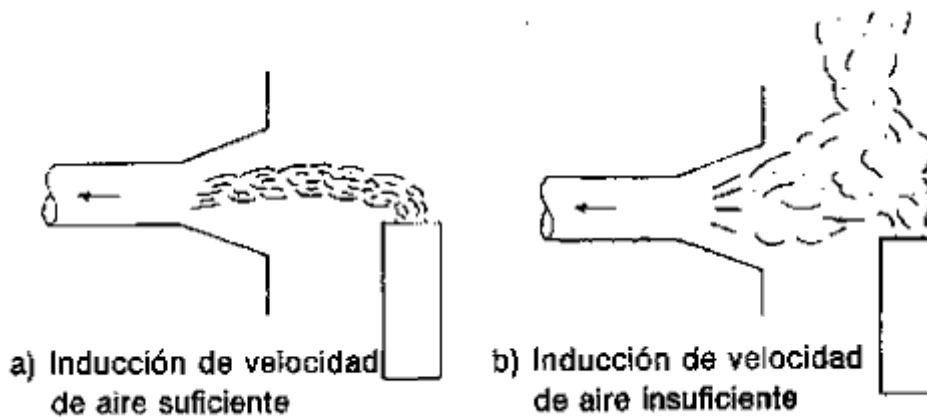
Así, la eficacia de una campana depende de su capacidad para generar en las cercanías del foco emisor del contaminante, velocidades de aire que contrarresten las corrientes ya existentes en la zona, ya sean éstas creadas por el proceso en sí o por algún fenómeno relacionado.



*Uso de pantallas evitando una mala captación por las corrientes de aire laterales.*

Para conseguir la velocidad de aire necesaria en puntos concretos, en el proyecto se ha de tener en cuenta:

- \* el diseño geométrico
- \* el cálculo de la pérdida de carga.

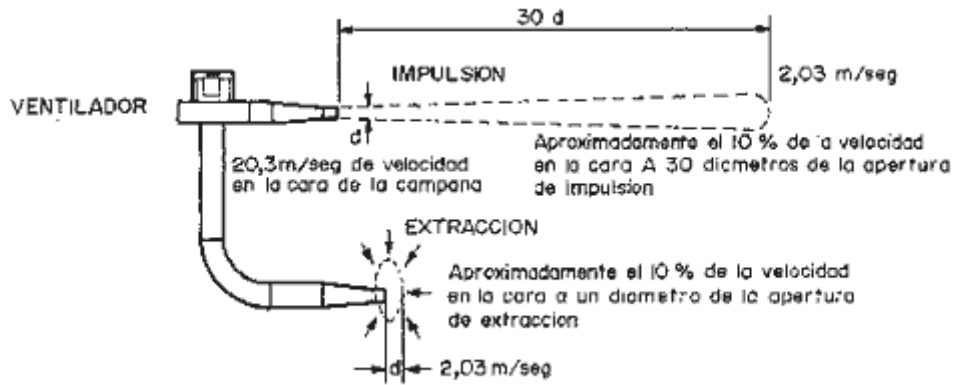


*Captación de los contaminantes induciendo una velocidad de aire suficiente.*

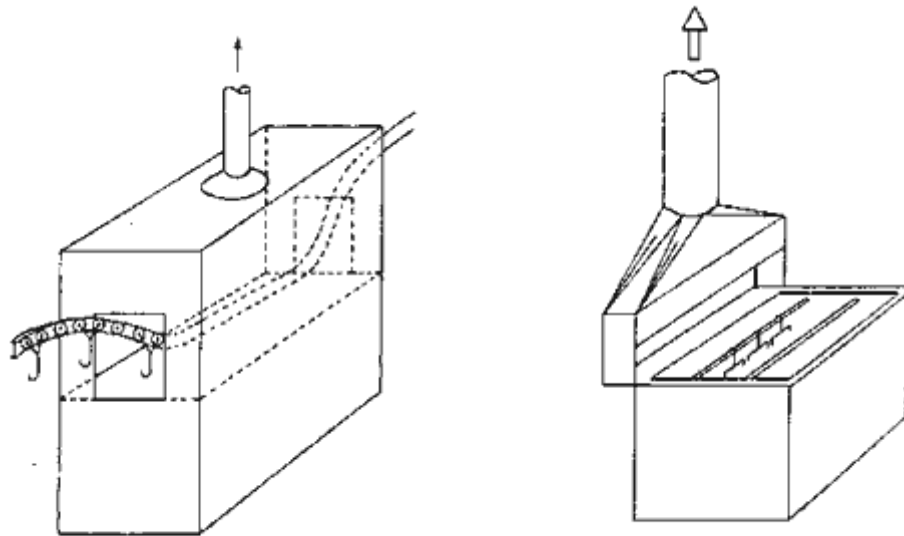
La bibliografía describe gran número de campanas, según el proceso industrial considerado; existen fórmulas experimentales que con sencillez obtienen el caudal necesario y la pérdida de carga.

#### **A.- Principios para el diseño de una campana.**

*Una campana debe encerrar al máximo el foco contaminante; no obstante, cuando no sea posible mantener el foco de emisión dentro de la campana y ha de quedar exterior a la misma, el diseño geométrico ha de ser tal que la forma de colocarse respecto del foco sea óptima y la distancia entre ambos mínima. Así, se logrará un máximo de eficacia con un caudal mínimo.*



Características de los flujos de aire de impulsión y extracción.



A) caudal de aspiración bajo

B) caudal de aspiración alto.

Máximo encerramiento de la zona de generación de contaminante

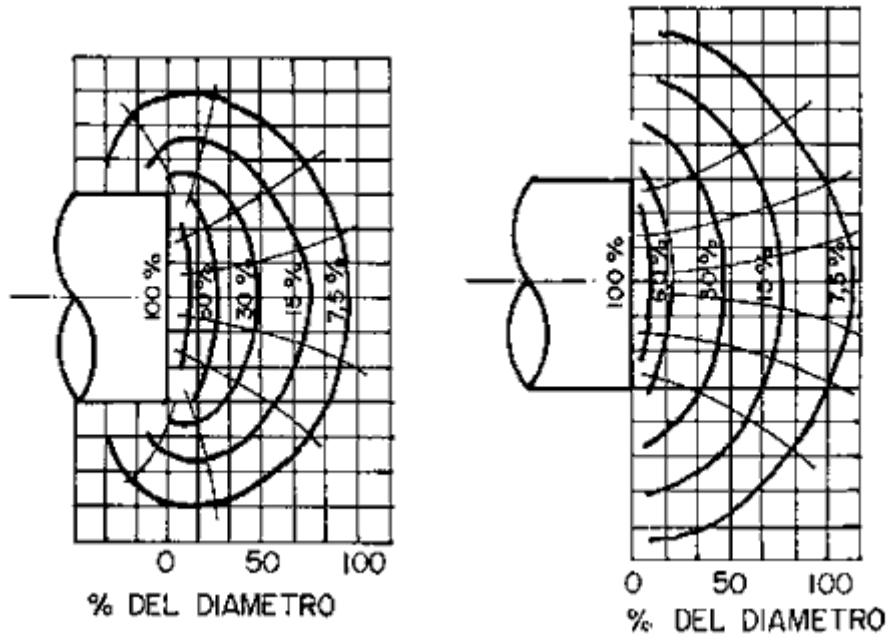
#### A1.- Cálculo del caudal.

Una campana produce en cada punto del espacio una velocidad de aire que depende de su geometría y del caudal de extracción (distribuciones de velocidad).

En la consideración de **sumideros puntuales y lineales** hay que diferenciar, en primer lugar, el comportamiento diferente entre impulsión y extracción y, además, hay que tener en cuenta la importancia en el ahorro de caudal al disponer de deflectores o pestañas alrededor de las campanas.

En una extracción la influencia de corriente de aire inducida desde la boca de entrada es pequeña al alejarse una pequeña distancia de ésta (a un diámetro de la boca la velocidad se reduce a la décima parte), lo que no ocurre en el caso de la impulsión (para que la velocidad se reduzca en la misma proporción hay que alejarse unas 30 veces el diámetro de la entrada). Por otra parte, el perfil de velocidad para una campana apoyada en una mesa es diferente al teórico, ya que ésta se comporta como si sus dimensiones, por simetría del plano de la mesa, fuese doble, con el aumento en la eficacia de caudal teórico.

La colocación de deflectores en el borde de la campana puede significar un ahorro de hasta un 25% sobre el caudal teórico, lo que habrá que tenerlo en cuenta para el manejo de la fórmula del caudal.



Perfiles de velocidad en abertura circular simple o con deflector - % de la velocidad en la boca.  
 Para campanas circulares y cuadradas la velocidad en el eje puede expresarse en buena aproximación por la fórmula siguiente:

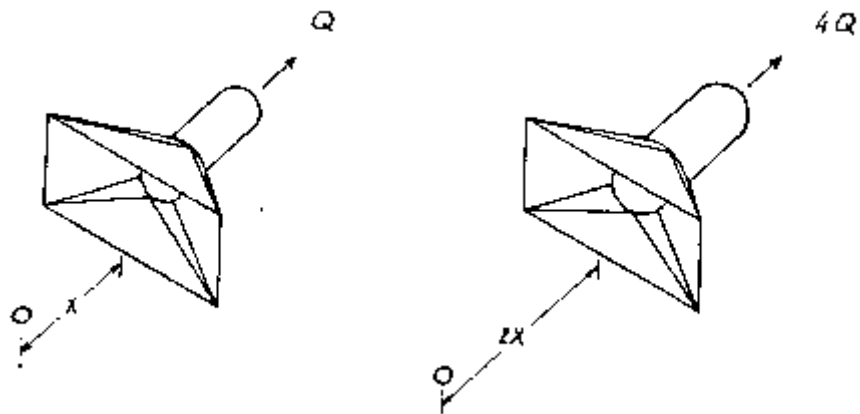
$$V = Q / (10 X^2 + A)$$

V = velocidad en el eje a una distancia X, en m/s.

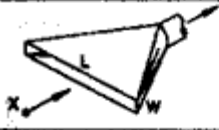

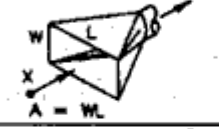

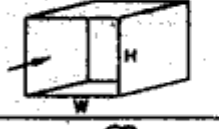
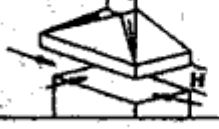
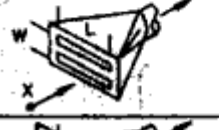
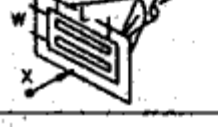
X = distancia del punto a la superficie de la boca de aspiración, en m. y no superior a una vez y media el diámetro de la boca de entrada.

Q = caudal de aspiración, en m<sup>3</sup>/s.

A = área de la boca, en m<sup>2</sup>



Colocación de la campana lo más cerca posible de la zona de emisión

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIA	0,2 Ó MENOS	$Q = 3,7 LVX$
	RENDIA CON PESTAÑA	0,2 Ó MENOS	$Q = 2,6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0,20 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0,2 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = 1,4 PVH$ VER VS-903 P = PERÍMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACIÓN
	RENDIA MÚLTIPLE. 2 Ó MÁS RENDIAS	0,2 Ó SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIA MÚLTIPLE CON PESTAÑA. 2 Ó MÁS RENDIAS	0,2 Ó SUPERIOR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$

*Tipos de campanas. Caudales de aire.*

**A2 Elección de la velocidad en la campana.**

Hay que tener en cuenta dos principios:

- la velocidad inducida en un punto por varias campanas es la suma vectorial de todas las velocidades inducidas.
- sí la zona de succión está limitada por un plano, el campo de velocidades resultante es como considerar otra campana simétrica de la primera respecto del plano en cuestión. Hay que consultar la tabla de valores recomendados para las velocidades de captura según proceso y teniendo en cuenta la violencia con que se genera el contaminante en la campana, si ésta encierra el proceso, o en las cercanías del foco de emisión si se tratase de campanas exteriores.

También habrá que tener en cuenta la velocidad de transporte mínima que se necesita para arrastrar las partículas en la corriente de extracción sin que se lleguen a depositar, de forma que la velocidad de conducto en la extracción debe ser siempre superior a ésta.

CONDICIONES DE DISPERSIÓN DEL CONTAMINANTE	EJEMPLO	VELOCIDAD DE CAPTURA, m/s
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo	Evaporación de depósitos; desengrase, etc.	0,25 - 0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo	Cabinas de pintura; llenado intermitente de recipientes; transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales	0,5 - 1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Cabinas de pintura pequeñas; llenado de barriles; cintas transportadoras; machacadoras	1 - 2,5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire	Desbarbado; chorreado abrasivo; desmoldeo en fundiciones	2,5 - 10

<u>Límite inferior</u>	<u>Límite superior</u>
1. Corrientes de aire en el local mínimas o favorables	1. Corrientes de aire distorsionantes
2. Contaminantes de baja toxicidad o molestos	2. Contaminantes de alta toxicidad
3. Producción de contaminantes baja o intermitente	3. Gran producción, uso continuo
4. Campana de gran tamaño	4. Campana pequeña

*Valores recomendados para la velocidad de captura.*

**Naturaleza del contaminante**

**Ejemplos**

**Velocidad de diseño (m/s)**

Vapores, gases, humos de combustión

Todos los vapores, gases y humos Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)

Humos de soldadura

Soldadura 10-12,5

Polvo muy fino y ligero

Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco 12,5-15

Polvos secos

Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero 15-20

Polvo ordinario

Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles 17,5-20

Polvos pesados

Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo dedesmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo 20-22,5

Polvo pesado húmedo

Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos) > 22,5

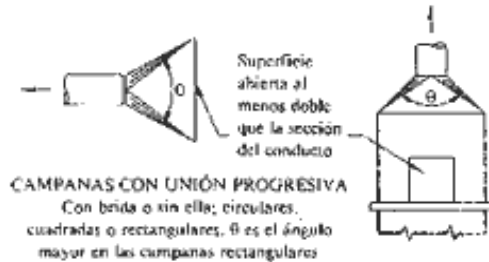
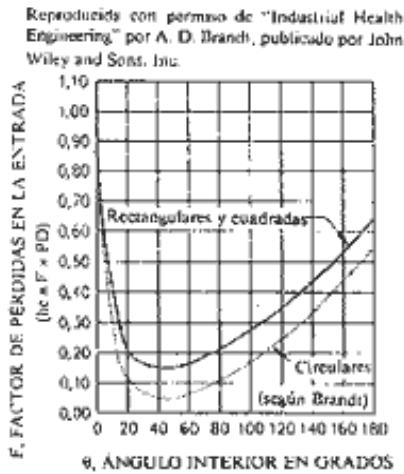
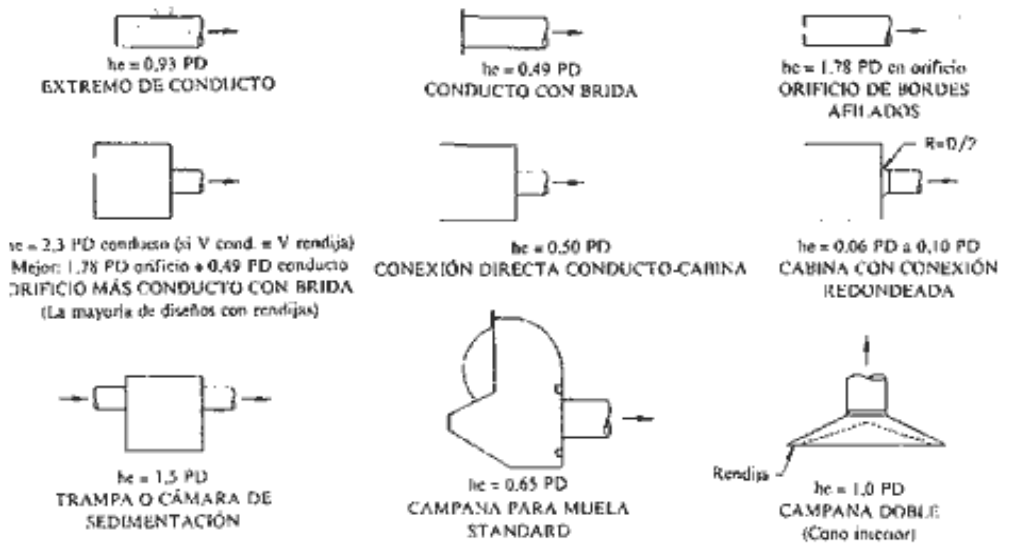
Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos

B.- Cálculo de la pérdida de entrada en la campana.

Cuando las pérdidas de carga en la entrada de una campana ideal fuesen nulas entonces un coeficiente denominado de entrada  $C_e$  valdría la unidad; en cualquier otro caso las pérdidas a la entrada pueden calcularse:

$$P_{\text{entrada}} = (1 - C_e^2) \cdot P_{\text{dinámica}} / C_e^2 = n \cdot P_{\text{dinámica}}$$

Por tanto, se da como un factor de la presión dinámica en el conducto que multiplicada por ésta y que a su vez sumada al resto de las pérdidas a lo largo de la conducción, éstas expresadas según el método escogido en forma presión estática o también como fracción de la presión dinámica, dará finalmente la presión estática que ha de proporcionar el ventilador.



PÉRDIDA EN LA ENTRADA		
$\theta$	CIRCULAR	RECTANGULAR
15°	0,15 PD	0,25 PD
30°	0,08 PD	0,16 PD
45°	0,06 PD	0,13 PD
60°	0,08 PD	0,17 PD
90°	0,15 PD	0,25 PD
120°	0,26 PD	0,35 PD
150°	0,40 PD	0,48 PD

CAMPANA	FACTOR DE PÉRDIDAS EN LA ENTRADA, F
Chorro de arena, cámara	1,0
Chorro de arena, elevador	2,3
Separador de granalla	2,3
Elevadores (cerámicos)	0,6 <sup>o</sup>
Tubo con brida con un codo inmediato	0,8
Tubo sin brida con un codo inmediato	1,6

PD = Presión dinámica en el conducto  
 PE = Presión estática en la garganta, mmHg  
 $h_e$  = Pérdida de carga en la entrada, mmHg  
 Q = caudal, m<sup>3</sup>/s  
 A = sección de la garganta, m<sup>2</sup>

*Factores de pérdida de carga en las campanas (entradas).*

#### 4. Curva característica del sistema.

Sí un ventilador se acopla a un conducto para impulsar aire hacia el interior del mismo y efectuamos una serie de medidas de las presiones estática, dinámica y total a lo largo del mismo se comprobará que la presión dinámica se mantiene constante, según se desprende de la ecuación de continuidad dada la constancia del producto de la sección por la velocidad. Por otra parte, la presión total a lo largo de la canalización disminuye siempre en la medida en que aumenta la pérdida de carga. Como consecuencia, la presión estática también disminuye en la misma cantidad, ya que su valor es la diferencia entre las presiones total y dinámica, llegando a valer cero (presión atmosférica) a la salida del conducto.

Sí el ventilador ahora en vez de impulsar se coloca para que succione, los resultados de las medidas de la presión dinámica serán los mismos pero en cambio las presiones total y estática habrán invertido su signo y además la presión estática en valor absoluto supera ahora a la presión total.

Sí se representan gráficamente los valores de las presiones en ordenadas y en abcisas la longitud de la canalización se obtiene los llamados **perfiles de presión en conductos**. Sí finalmente se dispone ahora un conducto a cada lado del ventilador, de iguales dimensiones y características, los resultados que se obtienen de las medidas darán como presión dinámica un valor notablemente inferior y unas presiones estáticas lógicamente superiores, al haberse duplicado la longitud de la tubería aumentando también las pérdidas de carga en la misma. En un caso real con un ventilador aspirando por un conducto con dos tramos de secciones distintas e impulsando aire hacia una canalización en la que hay un obstáculo (una viga por ejemplo) se observará que cada vez que se produce un ensanchamiento en el conducto la presión dinámica baja, debido al descenso de la velocidad que experimenta el aire y al tiempo la presión estática aumenta.

Se llama **curva característica de una conducción** ,o un conjunto de conductos que desembocan en un conducto general, a la gráfica que representa la variación de pérdidas de carga producidas al circular por ella el aire, en función del caudal del mismo. La curva, de forma parabólica, pasa por el origen y se justifica tal que así:

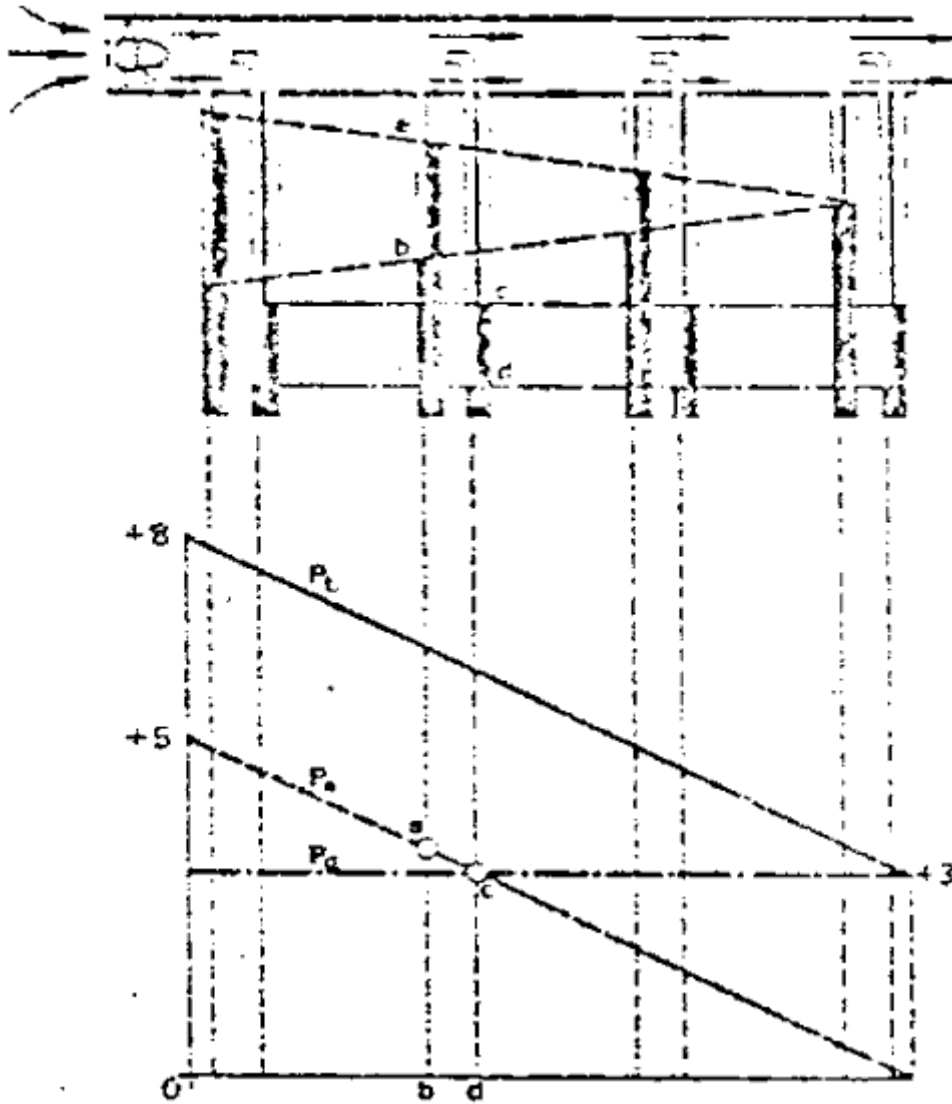
$$Pérdida de carga = n \cdot Pd = n \rho V^2 / 2 = n \rho Q^2 / 2S^2$$

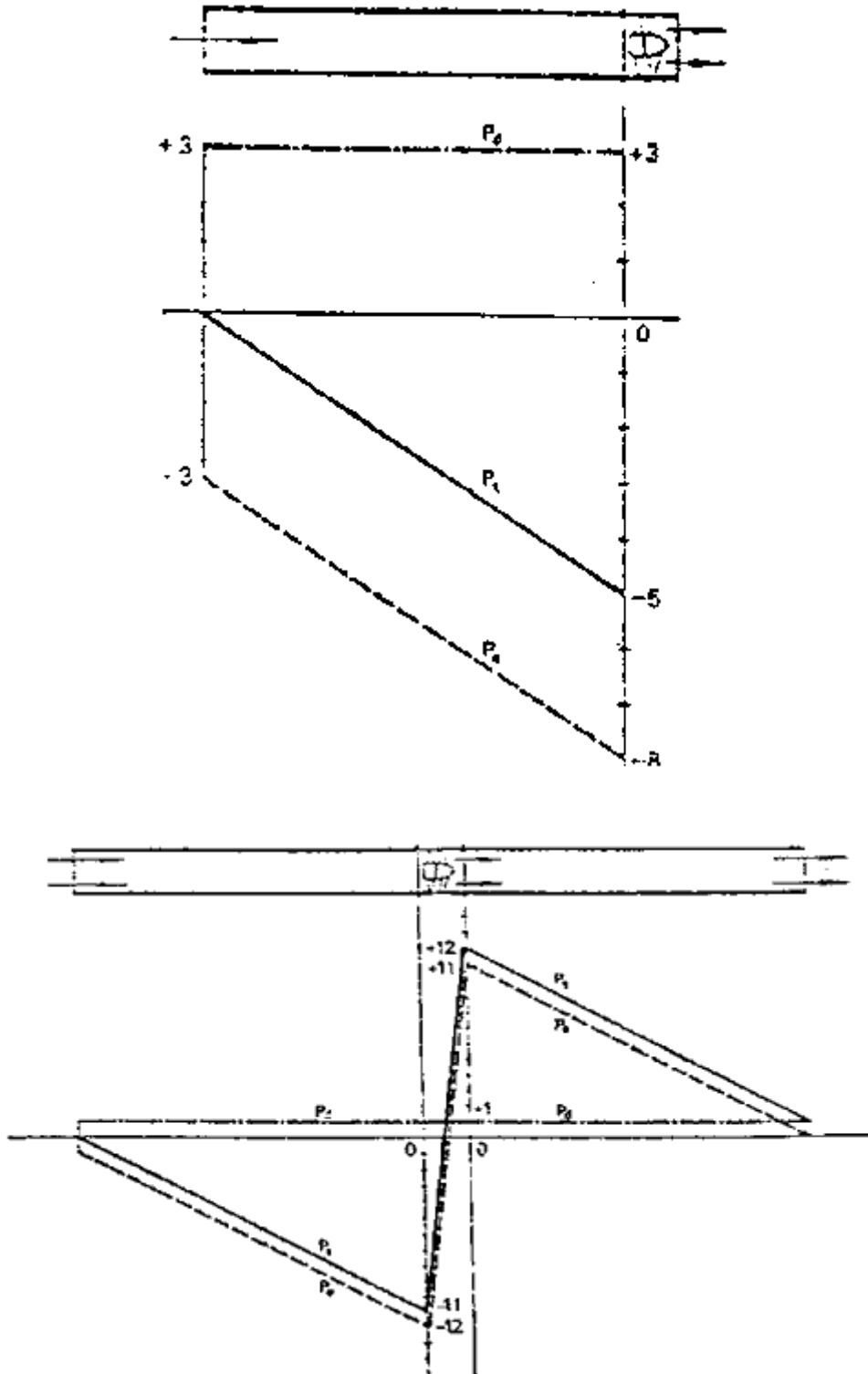
siendo Q el caudal, y S la sección, y de forma que la pérdida de carga varía proporcionalmente con el cuadrado del caudal, es decir:

$$P \text{ carga} = K \cdot Q^2$$

La curva característica de una conducción es importante en la selección del ventilador más adecuado, ya que éste en el punto de funcionamiento ha de proporcionar la presión estática que la tubería ofrece al caudal de trabajo.







## 5. Elementos ventiladores

Los ventiladores son máquinas rotativas, capaces de desplazar de forma continua el fluido gaseoso en el que se mueven. Se componen de: hélice o rodete su elemento rotativo, **soporte** o componente estructural del ventilador y **motor** o elemento que acciona la **hélice o rodete**. Hay *hélice* cuando la dirección de salida del aire es sensiblemente axial, es decir paralela al eje, y *rodete* sí el aire sale radial o sea perpendicular al eje. La hélice mueve grandes volúmenes de aire aumentando poco su presión estática y el rodete lo hace con volúmenes más pequeños pero con posibilidad de aumentar mucho su presión estática.

Las presiones de trabajo son lo suficientemente bajas como para que la compresión del aire sea despreciable. Si la sobrepresión alcanza valores superiores a 1000 mm columna de agua (c.d.a.) se les denominan SOPLANTE o TURBO-COMPRESOR.

Tanto en la hélice como en el rodete se define el **álabe** o pala como la superficie activa, y el **disco** del rodete que soporta a los álabes.

En los ventiladores de hélice el soporte suele tener una embocadura lo que hace aumentar el rendimiento. Los **ventiladores de rodete se montan en una voluta** que hace posible el uso de la energía comunicada al aire.

A veces se montan unas **directrices** o álabes colocados a la entrada o salida del ventilador y que aumentan el rendimiento al producir una corriente axial de aire a la salida. El motor es normalmente eléctrico, aunque alguna vez las hélices se mueven por aire comprimido o vapor, y puede ser por accionamiento directo o mediante transmisión. Los ventiladores se pueden clasificar:

a) Por su aplicación:

- **impulsores** cuando se necesita alcanzar una cierta velocidad incidiendo sobre persona o cosa.
- **extractores** para trasladar aire entre dos espacios distintos.

b) Por su construcción:

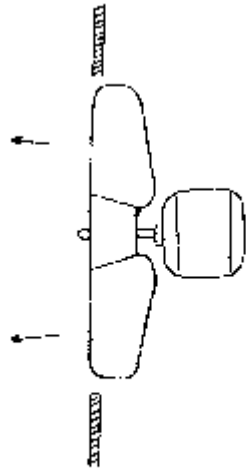
- **centrífugos** que pueden ser: con álabes curvados hacia adelante, radiales o curvados hacia atrás.
- **axiales** de perfil delgado con pala de gran superficie y perfil de espesor constante o de perfil sustentador con sección no uniforme.

c) Por la presión que desarrollan:

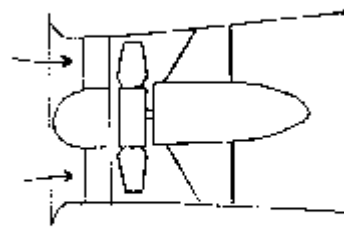
- baja presión: tipo centrífugo con rodetes anchos y pequeña velocidad de giro o tipo axial común.
- media presión: tipo axial especial o centrífugo de rodetes más estrechos y ventiladores de giro medias.
- alta presión: centrífugos de gran diámetro, de pala muy estrecha y una gran velocidad de giro.

Ya se ha dicho que los ventiladores son las máquinas encargadas de proporcionar al aire la energía necesaria para compensar la pérdida de carga; el aporte energético efectuado se pone de manifiesto en el aire a través de un aumento de su presión. En la extracción localizada se usan los ventiladores centrífugos ya que son los únicos capaces de vencer las pérdidas de carga relativamente elevadas que se producen. Estos, se caracterizan porque el aire penetra a través de ellos por una abertura concéntrica con el eje del rodete que gira a gran velocidad y está provisto de álabes en su periferia. El aire circula al exterior por la fuerza centrífuga y abandona el rodete reuniéndose en una carcasa (voluta) y sale al exterior por una conducción tangencial al rodete.

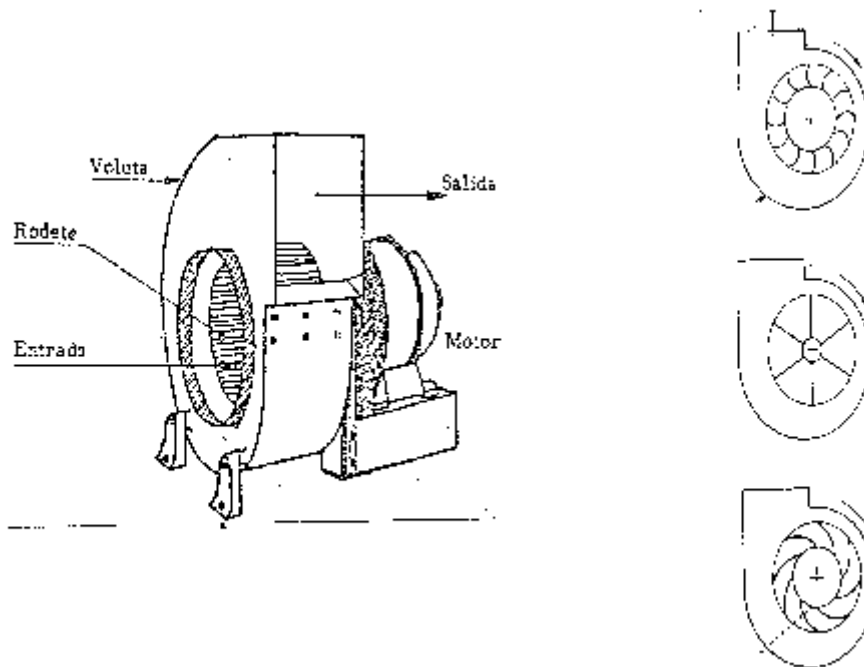
Así, el aire ejecuta un giro de 90° en el ventilador lo que provoca turbulencias y un rendimiento mecánico relativamente bajo. La velocidad de rotación permite vencer las pérdidas de carga y tanto mayores cuanto más bajo es el caudal de aire; en otras palabras, no debe decirse que un ventilador, a una velocidad dada, produzca un caudal determinado sino que éste es función de la pérdida de carga que deberá vencer.

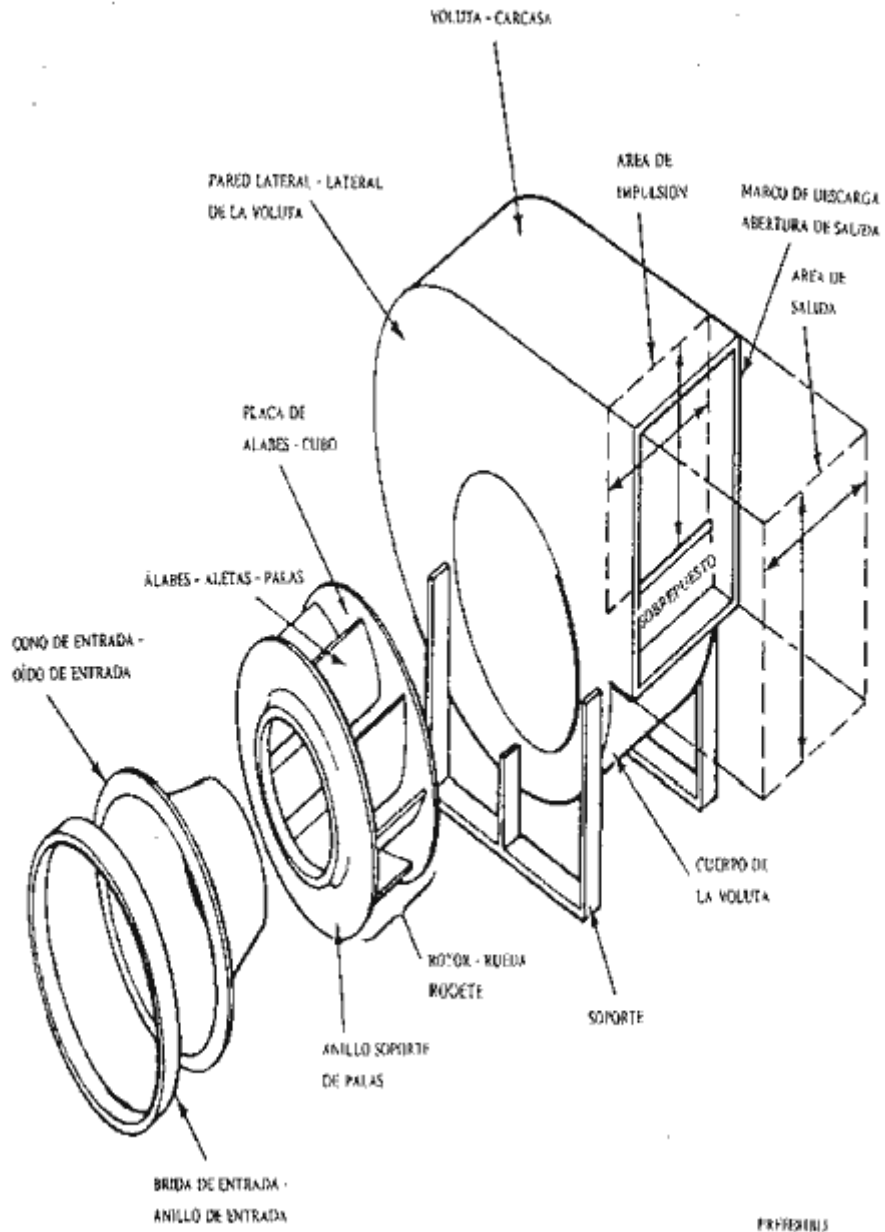


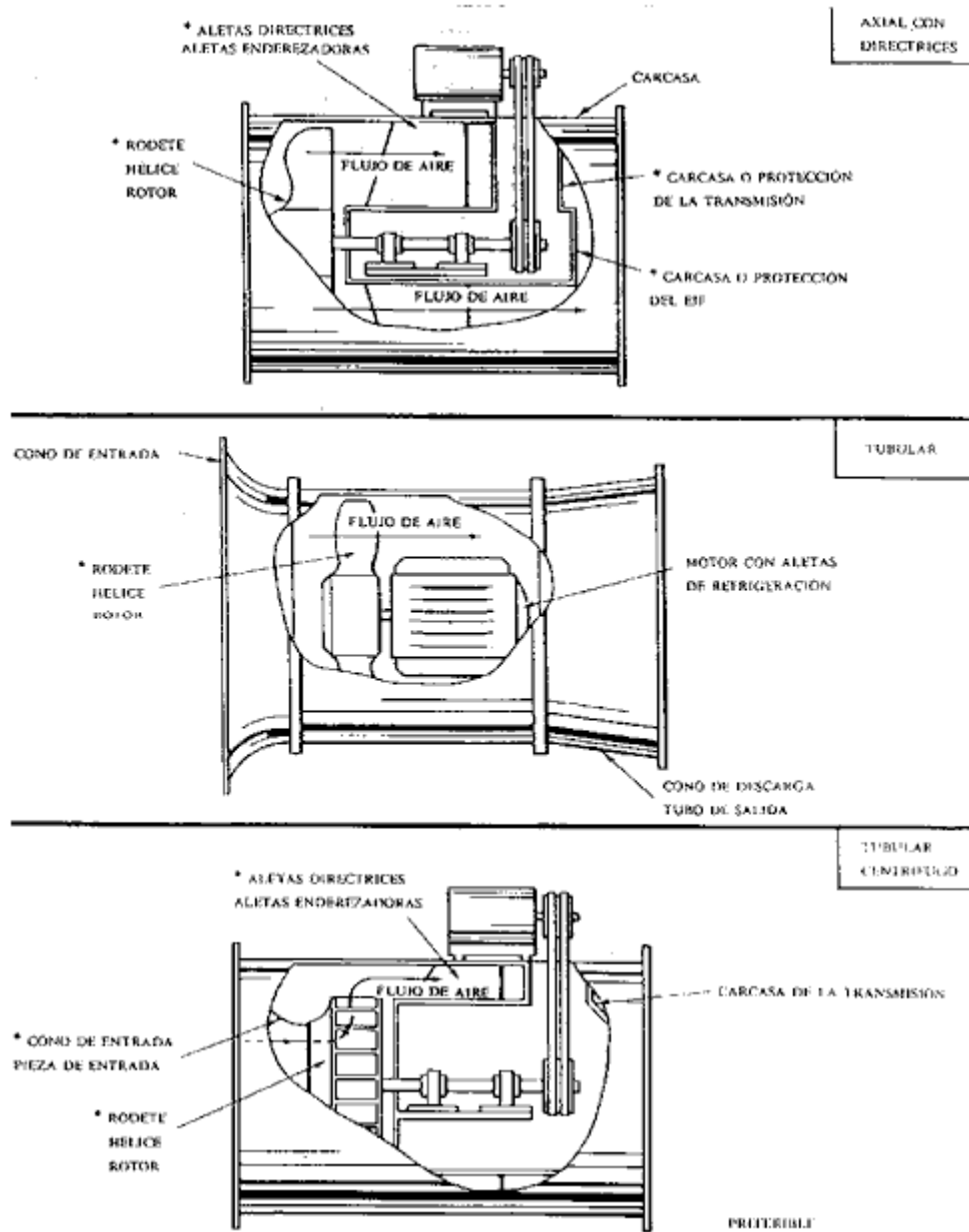
(a)



(b)







**A.- Selección de los ventiladores.-**

Los catálogos comerciales acostumbran a indicar la **presión estática** que un ventilador es capaz de proporcionar. En la extracción localizada éste suele colocarse en el extremo de la conducción y la citada presión estática del catálogo viene a coincidir, en número, con la pérdida de carga que el ventilador es capaz de superar.

Así en la selección de un ventilador es necesario seguir el proceso siguiente:

- cálculo del caudal, a partir del diseño de campana y según el proceso.
- diseño geométrico de la conducción.
- cálculo de la pérdida de carga al circular el caudal nominal
- elección del ventilador que a ese caudal sea capaz de dar la presión estática más próxima a la pérdida de carga acumulada.

**CARACTERÍSTICAS DE LOS VENTILADORES.-**

A una velocidad de rotación dada N del ventilador, se caracteriza éste por cuatro curvas que representan las variaciones de otros tantos parámetros en función del caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s.) de aire que atraviesa el ventilador.

- **PRESION TOTAL del ventilador**, definida como la diferencia algebraica de las presiones totales a la salida y a la entrada de la aspiración.

$$P_{total} = (P_{est})_{vent} + (P_{din})_{salida} = (P_{Es} - P_{Ee} - P_{De}) + P_{Ds}$$

Donde: *PEs* = presión estática a la salida

*PEe* = presión presión estática a la entrada

*PDe* = presión dinámica a la entrada

*PDs* = presión dinámica a la salida

(NOTA). Las presiones estáticas se consideran negativas desde la campana hasta el ventilador y positivas desde éste hasta la descarga.

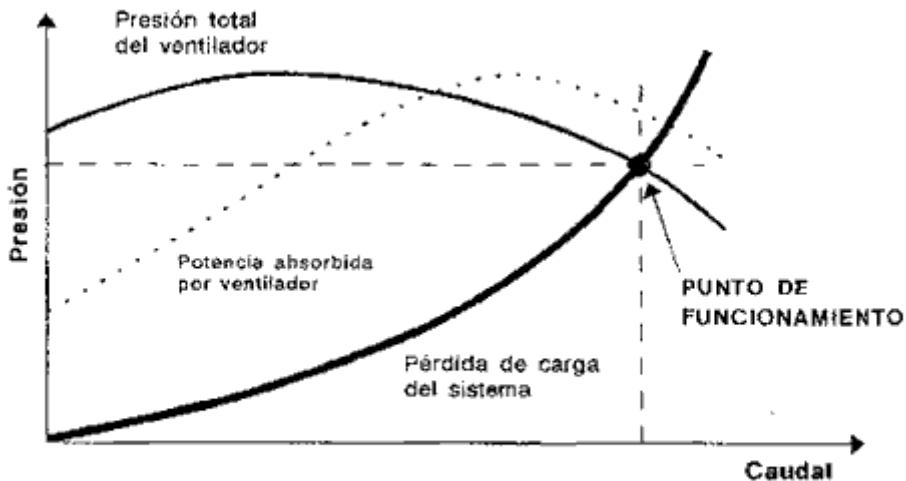
- **POTENCIA ABSORBIDA**, como potencia suministrada al ventilador para funcionar.
- **RENDIMIENTO DEL VENTILADOR**,  $\eta$ , como el cociente entre las potencias útil y la absorbida:

$$\eta = P_{\text{útil}} / P_{\text{absorbida}} = (Q \cdot P_t) / P_a$$

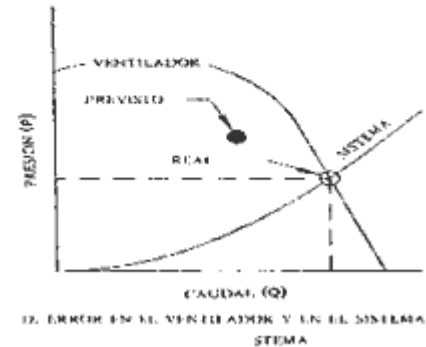
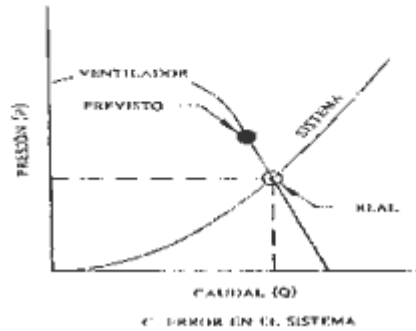
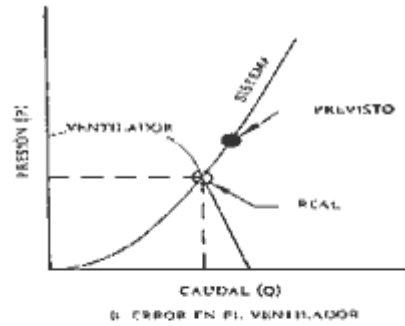
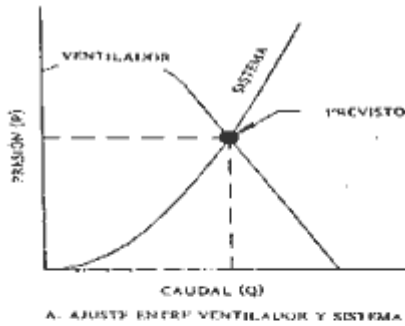
- **POTENCIA ACUSTICA**, expresada en dB.

Sí la velocidad de rotación N varía, normalmente ajustable en cualquier ventilador dentro de un cierto intervalo, también lo hará el caudal de forma proporcional, mientras que la presión varía con el cuadrado de la velocidad y la potencia absorbida con arreglo al cubo de ésta. El ventilador que funciona por medio de un motor, generalmente de forma eléctrica o neumática y a veces por gasolina puede ocasionar en algunos casos riesgos de explosión por lo que la instalación debe reunir ciertos requisitos y así, en algunas aplicaciones, debe ser reemplazado por un inyector alimentado con aire comprimido.

El punto de funcionamiento del sistema es la intersección de las curvas correspondiente a  $P = f(Q)$  del ventilador y a  $P = f(Q)$  del sistema.



**PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UN VENTILADOR (CENTRIFUGO) COLOCADO EN UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN**



El motor debe tener una potencia tal que haga funcionar el ventilador y al menos igual a:

$$P = (Q \cdot Pt) / (\eta_v \cdot \eta_t)$$

siendo:

$\eta_v$  = rendimiento del ventilador, comprendido entre 0,3 y 0,85.

$\eta_t$  = rendimiento de las transmisiones.

Los ventiladores centrífugos soportan presiones de hasta 2.500 mm c.d.a. y se adaptan bien al transporte de aire en largos recorridos o en ramificaciones.

Los ventiladores helicoidales pueden mover caudales elevados de aire aunque están limitados a presiones bajas, menores de 25 mm c.d.a., lo que restringe el uso a recorridos cortos o a su inserción en una pared para ventilación general de un local o en cabinas de pintura. Existen ventiladores helicoidales mejorados que pueden soportar presiones de hasta 150 mm c.d.a. asemejándose en funcionamiento a los centrífugos. No obstante, y en general los helicoidales respecto de los centrífugos son más ruidosos y más bajos en rendimiento aunque son más baratos.

Por ejemplo, el rendimiento de un ventilador centrífugo con paletas curvadas hacia atrás no tiene un rendimiento mecánico alto, de 45-75%, debido a los remolinos que crea ya que los cambios de dirección provocan pérdidas por choques. Los helicoidales pueden llegar hasta un 95%.

Hay varias formas de aumentar las características de los ventiladores; algunas de ellas ya se han nombrado. Por ejemplo si se conectan ventiladores en serie, es decir conectar la boca de descarga de uno en la de admisión del otro, la presión resultante que proporciona es la suma de ambos para ese caudal. Conviene que los ventiladores a acoplar sean de características similares. El acoplamiento de los helicoidales es algo más complicado ya que teniendo el mismo sentido de giro el aumento de la característica será apenas apreciable con un costo adicional considerable. La solución será que teniendo ambos la misma dirección de flujo los ventiladores funcionen a **contrarrotación**, anulándose así los efectos helicoidales de ambos.



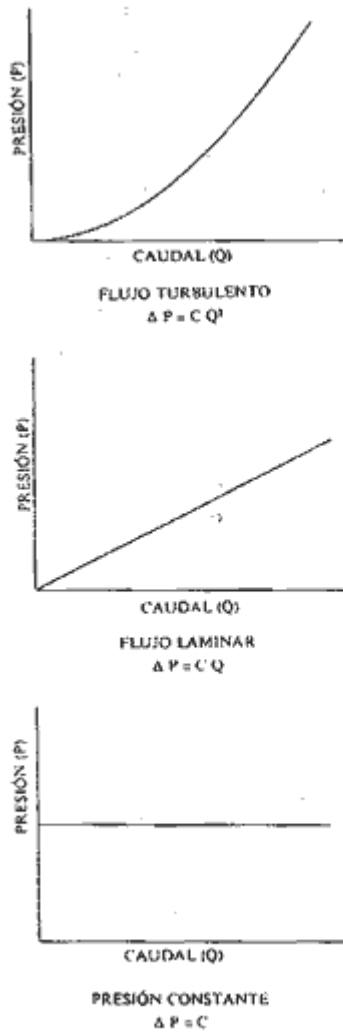


FIGURA CURVAS DEL SISTEMA

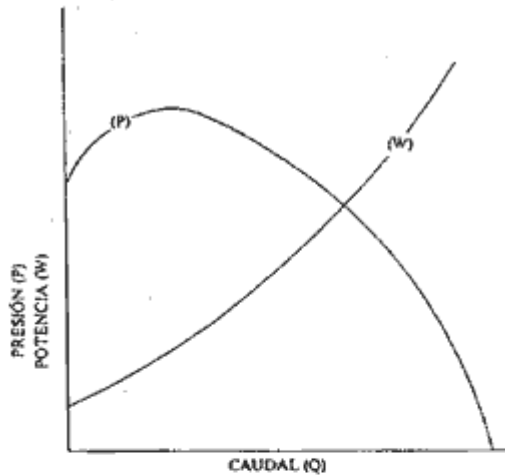


FIGURA CURVAS CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE UN VENTILADOR

$$PTV = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada})$$

$$PEV = PE_{salida} - PE_{entrada} - PD_{entrada}$$

$$\eta = \frac{Q \times PTV}{FC \times W} = \frac{Q \times (PEV + PD_{salida})}{FC \times W}$$

## 6. Elementos depuradores

Un **separador** de contaminantes en el aire forma parte del conjunto de VENTILACION por EXTRACCION LOCALIZADA y sirve para evitar el riesgo de contaminar la atmósfera. La necesidad de SEPARACION de los CONTAMINANTES está marcada por aspectos tales como:

- rentabilidad
- eliminar problemas de contaminación ambiental y de la salud.
- limpieza del aire a introducir en el local y exigencias del proceso.

### A.- Conceptos de separador y eficacia.-

Un **depurador** es un aparato o sistema capaz de retener en mayor o menor proporción uno o varios de los contaminantes arrastrados por un gas o líquido portador.

Su eficacia será tanto mayor cuanto más retención logre y ésta dependerá de las características del contaminante, del gas portador....

La **eficacia**, se define como la relación entre la cantidad de contaminante recogida y la cantidad que entra en el separador.

$\eta\% = 100.R/E = 100.(E-S) / E$ , siendo E y S las cantidades que entran y salen respectivamente en la unidad de tiempo.

E y S son concentraciones expresadas en masa, número de partículas o bien por índices de oscurecimiento. Generalmente, los datos basados en masa son mayores que los de oscurecimiento y éstos a su vez mayores que los referidos a recuento de partículas.

Siempre que se habla de un depurador hay que pensar en la eliminación periódica del contaminante retenido ya sea con aprovechamiento o con destrucción de éste. La mayoría de los separadores inerciales tienen una eficacia de captación variable que depende del tamaño de las partículas, disminuyendo rápidamente a medida que disminuye el tamaño.

El RENDIMIENTO ya se ha dicho que depende del tamaño de las partículas y se denomina PENETRACION a:

$$P = 100 - \eta$$

Se define como factor de descontaminación F.D =  $100 / (100 - \eta)$

El índice de descontaminación como I.D =  $\log. (F.D)$ .

Así por ejemplo para  $\eta = 99,999 \%$  se obtiene  $P = 10^{-3}$ ;  $FD = 10^5$ ;  $ID = 5$ .

### **B.- Sistemas de limpieza de aire.-**

Hay que considerar los aspectos siguientes:

- \* **grado de eliminación requerido**
- \* **cantidad y características del contaminante a eliminar**
- \* **características y condiciones del gas o aire portador**

Una clasificación convencional de los sistemas de limpieza de aire puede ser:

- **COLECTORES DE POLVO**
- **FILTRADORES DE AIRE: ventilación, aire acondicionado, calefacción.**

#### **B.1.- Equipos de recolección de polvo.-**

Se han de tener en cuenta los aspectos siguientes:

- **Características, concentración y tamaño de la partícula contaminante**
- **eficacia de separación requerida**
- **características de las corrientes de aire: temperatura, humedad, composición.**
- **métodos disponibles y las formas de descarga: trampillas o por válvulas.**

Habrá que tener también en cuenta: la naturaleza del contaminante y su riesgo potencial, la molestia pública o su capacidad de dañar, requisitos del local o regulaciones sobre contaminación atmosférica, localización de la planta respecto de granjas, ciudades o zonas residenciales...

La evaluación del rendimiento de un separador se basa en las medidas de cantidades de contaminantes que entran, salen y son retenidas por el separador.

Cuando se trata de partículas es frecuente cometer errores en la medición del rendimiento de un separador y las causas suelen ser:

- toma de muestras no isocinética
- dificultades inherentes al análisis del tamaño de las partículas.

El tubo captador de muestra, para el análisis de concentración de polvo contenido en el aire que circula por el conducto, debe situarse de forma que cause la menor distorsión posible en las líneas de flujo del aire contaminado, para lo cual la velocidad de aspiración en la boca del tubo debe ser lo más parecida a la del gas en ese punto (muestreo isocinético).

En un muestreo isocinético se llega a resultados erróneos por la inercia de las partículas de mayor tamaño. Si la velocidad de aspiración es superior a la del aire que circula una fracción de partículas mayores de  $10 \mu\text{m}$ . no se capta dando un resultado por defecto; en caso contrario, el error sería por exceso.

Los métodos de análisis de tamaño de partículas por sedimentación, elutriación, contaje, etc. también producen errores.

Las técnicas de sedimentación y elutriación se basan en la relación que existe entre el tamaño de una partícula y su velocidad de caída en el seno de un líquido (sedimentación) o gas (elutriación). Puesto que la velocidad de caída depende también de la densidad, puede inducir a agrupar como similares partículas de formas y tamaños diferentes. Puede ocurrir, además, que el estado de aglomeración del aerosol original varíe considerablemente después de la captación y su dispersión en el fluido. En estas condiciones el análisis del tamaño es erróneo. Las técnicas de microscopía, de recuento y de centelleo, suelen usarse como comprobación del estado de aglomeración a que se ha hecho referencia. Su empleo directo presenta el inconveniente de la estimación de la masa de partículas a partir de magnitudes tales como la forma, el diámetro o la superficie que son las que se miden directamente. Además, en el caso de la microscopía se debe proceder cuidadosamente y con criterios estadísticos, al objeto de que las muestras analizadas sean representativas.

• **SEPARADORES MECANICOS: COLECTORES DE POLVO.-**

El **ciclón** es el separador de polvo más común que aprovecha la fuerza centrífuga para efectuar la separación; pueden ser de baja y alta eficiencia. Consiste en un cono por el que entra el aire con un ángulo determinado y va girando a lo largo de éste y hacia abajo y que una vez llegado al vértice, la corriente de aire asciende por la parte central y sale del cono.

El ciclón de baja eficacia es de bajo coste y mantenimiento económico; tiene caída de presión baja pero no es eficiente para partículas pequeñas. La eficiencia suele aumentar con la pérdida de carga.

Los ciclones de alta eficiencia se montan combinando varias unidades de pequeño tamaño y alta resistencia.

Rendimiento diámetro partícula convencional alto

**Rendimiento**

<u>diámetro partícula</u>	<u>convencional</u>	<u>alto</u>
< 5 µm	< 50	50-80
5-10	50-80	80-95
15-40	80-95	95-99
>40	95-99	95-99

La eficiencia de los ciclones para polvo de tamaño pequeño es muy baja. El rendimiento de un ciclón depende de las variables de diseño y operativas:

- El ciclón de alta eficacia presenta frente al convencional una mayor relación entre su diámetro y el conducto de salida y, a la vez, una boca de entrada menor.
- Influyen otras variables: caudal de aire, concentración y características de las partículas como densidad y tamaño.

El rendimiento aumenta con el caudal hasta que aparecen turbulencias; en general el rendimiento varía linealmente con la velocidad de entrada y la pendiente decrece hasta que se hace nula.

El rendimiento aumenta con la concentración de partículas en el aire; si éstas son elevadas, el ciclón aumenta su eficacia aunque las concentraciones de salida también sean mayores. De forma cualitativa, el rendimiento disminuye

cuanto menor es la partícula y, al contrario, aumenta al hacerlo la densidad de éstas.

- **SEPARADORES INERCIALES.-**

Son equipos que consiguen separar las partículas suspendidas provocando cambios bruscos en la dirección del aire y que da lugar a la aparición de una fuerza centrífuga y/o al impacto sobre obstáculos diseñados con ese fin.

- **CAMARAS DE SEDIMENTACION.-**

Se trata de una cámara lo suficiente amplia como para que la velocidad del aire que entra en ella se reduzca lo suficiente y dé lugar a que las partículas suspendidas tengan tiempo de depositarse.

En su interior se pueden colocar placas horizontales con objeto de reducir la distancia vertical que tienen que recorrer las partículas antes de su deposición.

Se suelen emplear para materiales voluminosos dado que el polvo que por su tamaño presenta riesgo higiénico no se llega a depositar en un tiempo razonable.

- **PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.-**

Los precipitadores electrostáticos son de alta eficacia pero costosos. Son aparatos de un alto rendimiento que puede llegar al 99%.

Las fuerzas de separación son de carácter eléctrico y el mecanismo tiene lugar en dos etapas:

- ionización de las moléculas que componen el medio que separa dos electrodos entre los que se ha establecido una d.d.p., seguida de la ionización de las partículas que atraviesan dicho medio al chocar con las moléculas ionizadas.
- transporte de las partículas cargadas por la acción del campo eléctrico y su deposición y descarga en el electrodo correspondiente.

Los iones gaseosos generados por la diferencia de potencial chocan con las partículas y las carga eléctricamente. El campo eléctrico actúa sobre ellas y las mueve hacia el colector. Cuando la cantidad de polvo es grande hay que colocar previamente colectores primarios.

**Descripción:** Está constituido por una carcasa en cuyo interior se sitúan un cierto número de pares de electrodos (emisor - colector) a través de los que circula el aire contaminado; uno de ellos está conectado a tierra y otro a un conjunto rectificador generador de alta tensión y que llega a alcanzar una d.d.p. de hasta 70.000 v.. Se suele disponer además de un sistema de desprendimiento de polvo recogido en los colectores y de una tolva o sumidero para su evacuación.

Se pueden clasificar en dos grupos según que las etapas de ionización tengan lugar una después de la otra o simultáneamente, siendo éstos últimos los más empleados. A su vez hay precipitadores de tubos o de placas.

La forma de limpieza más corriente es la **sacudida** por interconexión de los elementos colectores a una barra cuyo extremo se golpea periódicamente de forma manual, por aire comprimido o magnéticamente.

La retención de ciertos tipos de polvo hace necesario la aplicación de un adhesivo sobre los electrodos; en este caso la eliminación de partículas acumuladas no se puede hacer más que por lavado y al término de éste se ha de aplicar de nuevo el adhesivo sobre el electrodo.

En los electrostáticos húmedos la materia precipitada se escurre de los electrodos junto con el agua que constituye la película recolectora; la humidificación debe ser uniforme y el agua no debe contener compuestos químicos susceptibles de precipitar sobre los electrodos.

Para un polvo de ciertas características eléctricas el rendimiento es poco sensible al tamaño y aumenta con el tiempo de permanencia de la partícula en el aparato. Los depósitos de baja resistividad se pueden desprender y ser arrastrados por la corriente de gas y los de alta suelen dar problemas en la descolmatación.. La velocidad del aire en estos aparatos es del orden de m/s. y la pérdida de carga prácticamente despreciable.

- **FILTROS.-**

**Principio de funcionamiento:**

- *efecto tamiz*, deteniendo partículas de diámetro superior al de los poros
- *efecto impacto*, contra la trama del filtro y la retención, por los cambios de dirección del aire. Por ser un fenómeno inercial lo sufren principalmente las partículas de mayor tamaño.
- *efecto de difusión*, para partículas de décimas de micra e inferiores, al comportarse como gases en su movimiento browniano.

**Clasificación y descripción:** existen muchas variedades de material filtrante (tejido, papel, conglomerado de material fibroso y lechos filtrantes) y todos requieren una sustitución o limpieza periódica.

**FILTROS DE TEJIDO.** Constan de una carcasa y el elemento filtrante en su interior. Los hay: *tubulares*, como los filtros de mangas, o de paneles con un armazón metálico y recubierto de tejido como funda. Durante la limpieza el polvo cae a una tolva colocada en la parte inferior.

Hay cuatro métodos de limpieza: *sacudidas*, *insuflado de aire a contracorriente*, *mediante pulsor de aire* y *por ultrasonidos*. Los tejidos son diversos según la aplicación (resistencia química, textura inalterable, altas temperaturas, resistencia a la ruptura, permeable al aire..).La fibra sintética sustituye a la lana y el algodón al tener una resistencia química y mecánica mejor y por soportar bien el calor y absorber menos la humedad.

Algunos filtros desechables no son adecuados en extracción. Los de mangas se colocan a modo de tubos y disponen de agitadores para la sacudida del polvo en tolva. Cuando son nuevos dejan pasar algo de polvo pero después, se hacen más tupidos. Aunque trabajan con eficacia elevada presentan gran resistencia y sólo sirven para bajas velocidades y si es polvo seco.

**FILTROS DE PAPEL.** El papel filtrante está pegado sobre un soporte y presenta una gran superficie de filtración.

**CONGLOMERADO DE MATERIAL FIBROSO.** Poco compactado y colocado en un soporte por el que circula aire a velocidades de 0,5-3 m/s. Existen filtros dotados de un sistema de descolmatación en continuo.

**LECHOS FILTRANTES.** Se trata de una cavidad, cámara o conducto que contiene un relleno mineral (arena, grava o carbón) y por el que circula el aire a purificar.

Los rendimientos de estos filtros son muy elevados (hasta del 99,95%) si bien su progresivo aumento de la pérdida de carga, desde 25 m.m. limpio hasta el doble cuando está colmatado, limita su empleo.

- **SEPARADORES HIDRAULICOS.-**

Usan un líquido, generalmente agua, para retener las partículas que se separan en forma de fangos. Los mecanismos más típicos de separación son el impacto y la condensación.

- **impactación:** las partículas por su inercia chocan contra el líquido y quedan retenidas. El líquido puede formar una película sobre distintos soportes, por los que circula el gas portador que sufre cambios bruscos de dirección, o estar en forma de gotas en el seno de dicho gas, una vez pulverizado.

Como en cualquier mecanismo inercial, son las partículas de mayor tamaño las que con preferencia chocan y se retienen en el líquido.

- **condensación:** cuando un gas saturado de vapor de agua, que contiene partículas en suspensión, se somete a un descenso brusco de presión parte del vapor se condensa sobre las partículas que actúan como núcleos de condensación. La aglutinación de partículas mojadas y los fenómenos de coalescencia dan lugar a gotas de tamaño apreciable, susceptibles de separarse con facilidad.

**Clasificación y ejemplos:**

\* Aparatos basados en el impacto: **torres de lavado y pulverizadores.**  
\* Aparatos basados en la condensación, aunque intervengan después otros mecanismos.

\* Aparatos con mecanismos diversos como por ejemplo el ciclón húmedo.

**TORRES DE LAVADO:** pueden rellenarse de anillos, lana de vidrio o cualquier otro material. El agua cae y se distribuye por la parte superior de la torre y el gas, que circula a contracorriente, hace que las partículas se retengan en la capa de líquido que moja el relleno. Se usan para absorción de gases y polvos tóxicos.

**PULVERIZADORES:** los más simples son las torres anteriores pero sin relleno, cuando se pulveriza desde la parte superior.

En otras, la pulverización sirve para captar las partículas y aglomerarlas y así facilitar la separación empleando otro método como el centrifugado o la sedimentación.

Un método de los más usados es el Venturi, en el que el agua pulverizada es inyectada en una zona de estrechamiento del conducto y queda atomizada por la gran velocidad que lleva el gas ahí. Son de gran eficacia pero de alta pérdida de carga.

**CONDENSADORES:** el agua que entra se satura de vapor de agua y al aumentar la sección del conducto por donde circula se provoca una expansión y la consiguiente condensación de parte del vapor sobre las partículas.

**CICLON HUMEDO:** en el de pulverización, los gases cargados de polvo entran por el fondo tangencialmente y gira alrededor de un pulverizador de forma que las partículas se retienen por las gotas y se proyectan contra las paredes por la acción de la fuerza centrífuga. El rendimiento es alto aunque varía según los modelos. La influencia del tamaño en el rendimiento se debe a la importancia que tiene el mecanismo de impactación en estos separadores.

- **OTROS COLECTORES HÚMEDOS:**

Los colectores dinámicos húmedos son parecidos a los dinámicos secos excepto que las paletas se rocían con agua.

Los colectores tipo orificio se diseñan para poner el aire en contacto con una corriente laminar de agua, en una zona restringida.

En los filtros para niebla: se pulveriza el agua a alta presión en gotas finas con pulverizadores de tipo centrífugo para aumentar la probabilidad de que contacten con el polvo. Son de alta eficacia.

- **SEPARADORES POR ABSORCIÓN.-**

La separación consiste en transferir el contaminante (gas o vapor) de una fase gas (gas portador) a otra líquida (lavador). Las moléculas del contaminante se separan por difusión, atraviesan la interfase gas/líquido, reaccionan o se solubilizan y, finalmente, se difunden en la fase líquida.

Los aparatos comerciales difieren entre sí aunque se parecen a los de separación de polvo por métodos húmedos si bien el mecanismo de separación es distinto. Los más

comunes son las torres de relleno.

El material del interior ocupa una gran superficie. El líquido desciende por la torre mojando el relleno y entra en contacto con el gas contaminado que circula en contracorriente o en la misma dirección.

El líquido es agua o cualquier otra disolución acuosa de un producto químico. Las torres de relleno o de platos tienen un rendimiento entre 60-90% y la pérdida de carga varía de 2 a 10 cm, en condiciones ligeramente inferiores a las de inundación.

- **SEPARADORES POR ADSORCIÓN.-**

Ciertos sólidos tienen la propiedad de retener selectivamente en su superficie algunos gases y vapores. Presentan una gran superficie específica por la porosidad de su estructura capilar.

La adsorción puede ser física, por fuerzas de Van der Waals o química siendo ambas exotérmicas por lo que el aumento de la temperatura favorece la desorción. La presión tiene importancia en la adsorción física pero no en la química. La separación se efectúa en dos etapas:

- transporte del contaminante por difusión, desde el gas portador a la superficie del sólido.
- adsorción del contaminante, seguida de reacción química en el caso de adsorción química.

La velocidad de adsorción depende de las velocidades de cada una de las etapas y de la capacidad de adsorción de la superficie, de la presión y de la temperatura.

**Tipos de adsorbentes:**

- carbón activo es el más usado ( hasta centenares de m<sup>2</sup>/gr.). Por la distribución uniforme de cargas eléctricas en la superficie es selectivo para los compuestos polares.

- alúmina activada o gel de sílice presentan mayor selectividad para compuestos polares y no se deben usar en ambientes húmedos.

En algunos casos los adsorbentes se impregnan con sustancias para facilitar la adsorción y provocar así una reacción química.

Los equipos están constituidos por uno o varios elementos por los que se hace pasar gas contaminado a través de una capa o lecho de material adsorbente, con disposición y espesor variables según modelos. Si no es necesaria gran capacidad de absorción se pueden usar papeles cargados con adsorbentes o capas finas sujetas entre dos piezas de material poroso o placas perforadas.

Se suelen acompañar de separadores de partículas y sistemas de enfriamiento, como tratamiento previo.

En los casos de gran concentración de gas o vapor, puede interesar la recuperación del adsorbente por corriente de vapor de agua que arrastre el contaminante y que después se pueda recuperar por enfriamiento y decantación.

El rendimiento suele disminuir a medida que se van saturando (90-98 %). Para evitar llegar a condiciones límites de saturación se suele fijar un máximo de uso y después se reemplaza o regenera.

La pérdida de carga depende del espesor y de la velocidad de paso del gas.

- **SEPARADORES POR COMBUSTIÓN.-**

Si el gas o vapor se puede oxidar y transformar en sustancias inocuas se aplica la combustión que se puede efectuar por llama directa o usando catalizador.

## 7. Normas para diseño de un sistema de extracción localizada

A la hora de plantearse el diseño de un sistema de ventilación habrá que tener en cuenta en cada uno de los componentes las siguientes consideraciones:

### a) campana:

- *Seleccionar según el tipo, dimensión y localización adecuada, teniendo en cuenta el tipo de proceso y las condiciones básicas de diseño.*
- *No interferir con la campana el trabajo habitual del operario.*
- *Determinar la velocidad de captura y el caudal según el tipo de proceso, propiedades del contaminante, velocidad y dirección de la emisión, tipo de campana y eficacia de captación requerida.*

### b) conductos:

- *Dimensionar el conducto, considerando la velocidad mínima de transporte y los posibles problemas de ruido.*
- *Equilibrar la red de conductos cuando se trate de una red ramificada de extracciones localizadas.*

### c) depurador:

- *Seleccionar según el tipo de contaminante.*
- *Dimensionar según el caudal de aire y cantidad de contaminante a eliminar.*
- *Estimar la pérdida de carga en el depurador.*

### d) ventilador:

- *Determinar la presión estática necesaria en el ventilador, teniendo en cuenta las pérdidas de carga en la campana, en el conducto, depurador y en la descarga.*
- *Elegir el ventilador más adecuado, según el caudal necesario y la presión estimada.*

## CAPÍTULO 3: EQUIPOS DE MEDIDA DEL FLUJO DE AIRE

En general, los sistemas de ventilación deben ser comprobados tanto en el momento de su instalación, como de forma periódica para poder detectar los fallos que puedan dar lugar a averías.

La determinación de ciertos parámetros, como el caudal, la velocidad y las presiones, permite:

- Determinar si el sistema recién instalado funciona según las previsiones del diseño
- Efectuar el seguimiento de la instalación, detectando obstrucciones, roturas, fallos del ventilador, etc.
- Comprobar si el sistema tiene suficiente potencia para admitir, en su caso, instalaciones adicionales
- Obtener datos del funcionamiento satisfactorio, con objeto de aplicarlo a nuevas instalaciones
- Determinar si el sistema cumple con las especificaciones establecidas en normativas legales, si es el caso

Para la verificación de los sistemas de ventilación localizada, el parámetro más importante a medir es el caudal, aunque la mayoría de los aparatos miden velocidad en un punto, por lo que para calcular el caudal es necesario determinar además de la velocidad media, el área de la sección del conducto o de la abertura en el punto de medida.

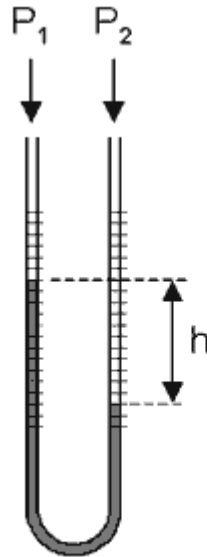
### Tipos de equipos de medida

El método más habitual para determinar la velocidad del aire consiste en medir las presiones de aire existentes en una sección recta de conducción, que junto con la densidad del aire, nos permite calcular la velocidad del mismo. No obstante también existen diversos instrumentos que son adecuados para la lectura directa de la velocidad del aire en las instalaciones de ventilación.

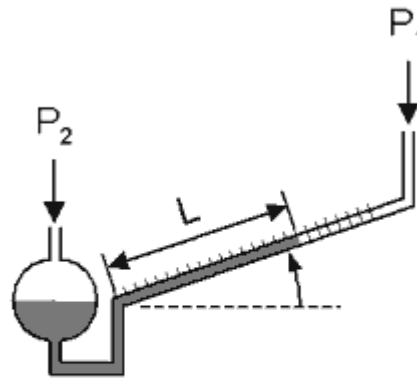


## 1. Medida de la presión

Los medidores de presión por excelencia son los manómetros. Existen de diferentes tipos siendo el más convencional el de tubo vertical en forma de "U" que están graduados y calibrados. Generalmente están llenos de agua aunque también pueden contener dos líquidos inmiscibles. En algunos casos se hace necesario utilizar un manómetro de rama inclinada cuando se requiere mayor exactitud o se van a leer valores muy bajos de presión. Existen gran variedad de modelos comerciales que ofrecen distintos márgenes de medida y unidades de calibración. A continuación se incluye un esquema de éstos.

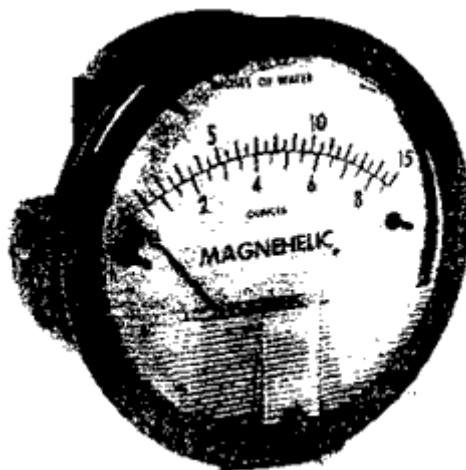


Manómetro en "U"



Manómetro de rama inclinada

Actualmente se utilizan con mucha frecuencia los manómetros llamados aneroides, siendo el más conocido el Magnehelic. Son equipos muy empleados en medidas de campo para estudios de ventilación, ya que tienen como ventajas el ser portátiles (pequeño tamaño y peso); y la ausencia de fluidos en su interior, que permite su utilización en cualquier posición sin pérdida de exactitud. (ver esquema inferior). Por último hay que destacar los manómetros aneroides electrónicos que además de ser muy ligeros y de pequeño tamaño van provistos de indicador electrónico digital que facilita su lectura.



Esquema de un Magnehelic

Los manómetros son sistemas que determinan diferencias de presiones. Así, cuando se conectan las dos ramas a dos puntos de una instalación, la diferencia entre las ramas indica la diferencia de presiones entre esos dos puntos. Si solo se conecta una de las ramas a un punto de la instalación y la otra se deja abierta al ambiente, se determinará la diferencia de presión en ese punto respecto a la atmosférica.

Como ya se ha dicho anteriormente, en cualquier punto de un sistema de extracción localizada existen tres presiones de aire que se comparan con la presión atmosférica y que están relacionadas entre sí de manera que la presión total es suma de la presión estática y de la presión dinámica:

$$P_T = P_E + P_D \quad (1)$$

donde:

$P_T$  = presión total

$P_E$  = presión estática

$P_D$  = presión dinámica

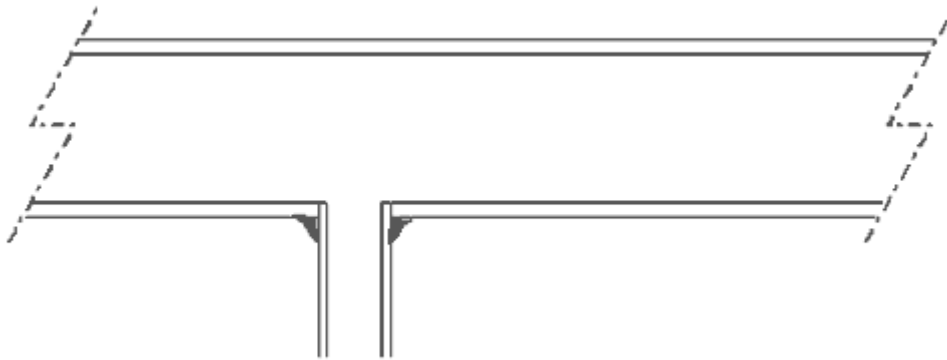
A continuación pasamos a describir los equipos que existen para medir cada una de las presiones anteriormente mencionadas:

#### A.- Medida de la presión estática:

La realización en la práctica es muy simple, consiste en taladrar un orificio, en el punto de medida en la conducción, y situar un pequeño tubo que se adapte al orificio en donde se conectará una de las ramas del manómetro, la otra rama se deja abierta a la atmósfera. La diferencia entre las dos ramas del manómetro nos indicará la presión estática en ese punto. Para que la lectura sea correcta el tubo debe situarse perpendicular a las líneas de flujo, por lo tanto habrá que tomar una serie de precauciones como son:

- Evitar situar el orificio cerca de codos u otros accesorios, ya que provocan contracción de la vena fluida y turbulencias (alteran las líneas de flujo), no siendo paralela a la pared del conducto.
- Eliminar los rebordes en el orificio taladrado para evitar turbulencias localizadas
- El tubo, de un diámetro entre 1,5 y 3 mm, debe colocarse enrasado con la pared de la conducción para evitar turbulencias en la zona de contacto con el aire

Se aconseja, con objeto de obtener un valor medio de la presión estática, efectuar de dos a cuatro orificios distribuidos uniformemente en la sección del conducto en donde se realicen las mediciones.



#### Conexión para determinar presiones estáticas

#### B.- Medida de la presión total

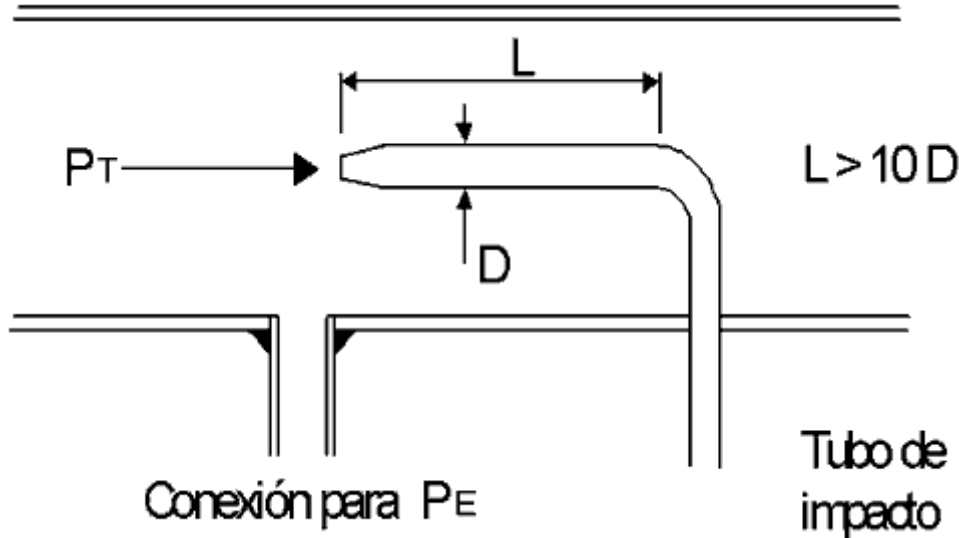
El elemento primario para esta medida consiste en un tubo acodado en ángulo recto, denominado tubo de impacto, que se coloca enfrentado y paralelo a las líneas de flujo, conectado a una de las ramas de un manómetro dejando la otra rama abierta a la atmósfera. Al igual que en el caso anterior la diferencia entre las dos ramas nos indica la presión total en dicho punto.

Para que la medida sea lo más exacta posible se recomienda que:

- El extremo abierto del tubo tenga geometría trococónica para evitar turbulencias de choque al impactar el aire en él.
- La longitud del mismo debe ser superior a diez veces su diámetro

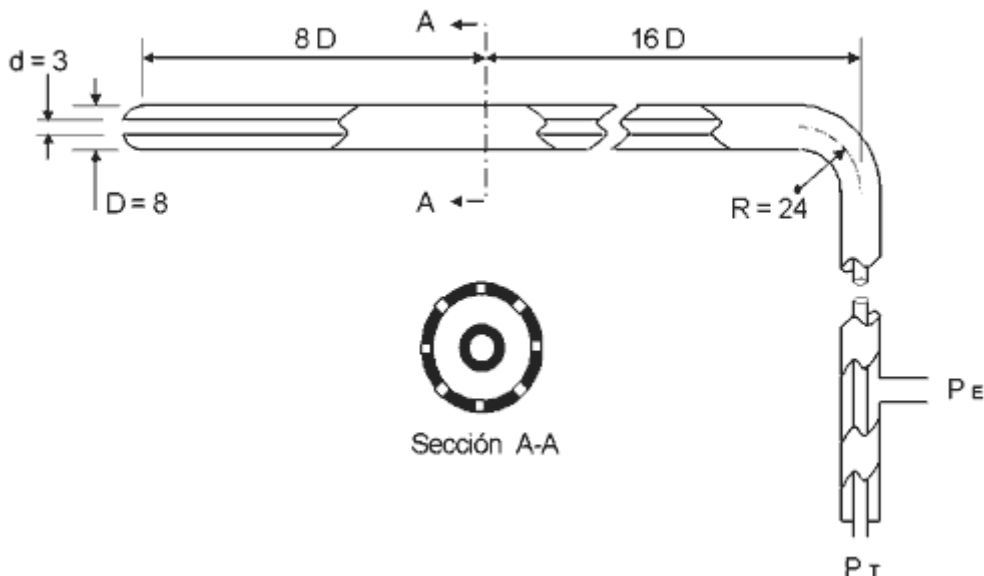
- El diámetro interior puede oscilar entre 2 y 6 mm.
- El material de construcción del mismo debe ser rígido para evitar vibraciones ( acero inoxidable, etc.)
- El extremo abierto del tubo quede totalmente enfrentado a la corriente del fluido, de manera que éste impacte perpendicularmente sobre el área del orificio.

Por último habrá que tener en cuenta que si la medida se realiza en las inmediaciones de un accesorio que provoque distorsiones del flujo se pueden obtener resultados erróneos, ya que hay fluctuaciones en la magnitud, dirección y sentido de la velocidad. Por ello se recomienda que la medida se realice en un punto de un tramo recto cuya distancia al accesorio sea como mínimo diez veces el diámetro de la conducción.



C.- Medida de la presión dinámica

Para medir la presión dinámica, el elemento primario más utilizado es el tubo Pitot. Este instrumento consiste en dos tubos concéntricos acodados en ángulo recto. El tubo interior está abierto frontalmente, determinando la presión total, mientras que el tubo exterior tiene dos o más orificios en su pared permitiendo la medida de la presión estática.



Esquema de un tubo Pitot (normalizado)

Cuando se conecta el espacio anular existente entre ambos tubos y el tubo central a un

manómetro, éste indica la diferencia entre la presión total y la estática, es decir la presión dinámica.

Por lo tanto, el tubo Pitot es una combinación de los elementos primarios anteriormente vistos, pudiendo medir independientemente la presión total, conectando sólo la rama central al manómetro y cerrando la otra rama del Pitot, o la presión estática procediendo de forma contraria.

Los tubos Pitot presentan como ventajas que sus dimensiones están normalizadas y no requieren calibración.

A partir de la medida de la presión dinámica se puede calcular la velocidad del fluido en el punto considerado (v), si se conoce la densidad del mismo (d), de acuerdo con la expresión:

$$P_D = (1/2) \cdot d \cdot v^2 \quad (2)$$

En condiciones atmosféricas normales (20 oC y 760 mm Hg) la densidad del aire es 1,2 kg/m<sup>3</sup> quedando la ecuación anterior como:

$$v = 1,29 \cdot \sqrt{P_D} \quad (3)$$

donde la presión viene expresada en N/m<sup>2</sup> y la velocidad en m/s .

Los manómetros que se utilizan generalmente en ventilación suelen ser de columna de agua, por lo que las presiones se expresan en mm de columna de agua (1 mmdca = 9,81 N/m<sup>2</sup> ). En estos casos la expresión (3) pasa a ser:

$$v = 4.04 \cdot \sqrt{P_D} \quad (4)$$

en donde la presión viene expresada en mmdca y la velocidad en m/s.

Cuando las condiciones son diferentes de las estándar entonces la densidad del aire se calcula a partir de la expresión:

$$d=d_s \cdot T_s/ T \quad (5)$$

siendo:

d = densidad del aire en las condiciones reales, kg/m<sup>3</sup>

d<sub>s</sub>= densidad del aire en las condiciones estándar ( 1,2 kg/m<sup>3</sup> )

T= temperatura absoluta en grados Kelvin (T = °C + 273)

T<sub>s</sub>= temperatura absoluta en grados Kelvin en condiciones estándar (293°K)

quedando la expresión:

$$d= 1,2 \cdot 293/ T \quad (6)$$

Se ha comprobado que cuando las velocidades del fluido son bajas, la exactitud del tubo Pitot es limitada, ya que el manómetro conectado al mismo no es lo suficientemente preciso para medir bajas presiones, de tal manera que el error aumenta a medida que disminuye la velocidad, tal y como se ve a continuación:

v (m/s)	%error
20	0,25
15	0,30
10	4
5	15,00
4	4,00
3	6,00
2	15,00

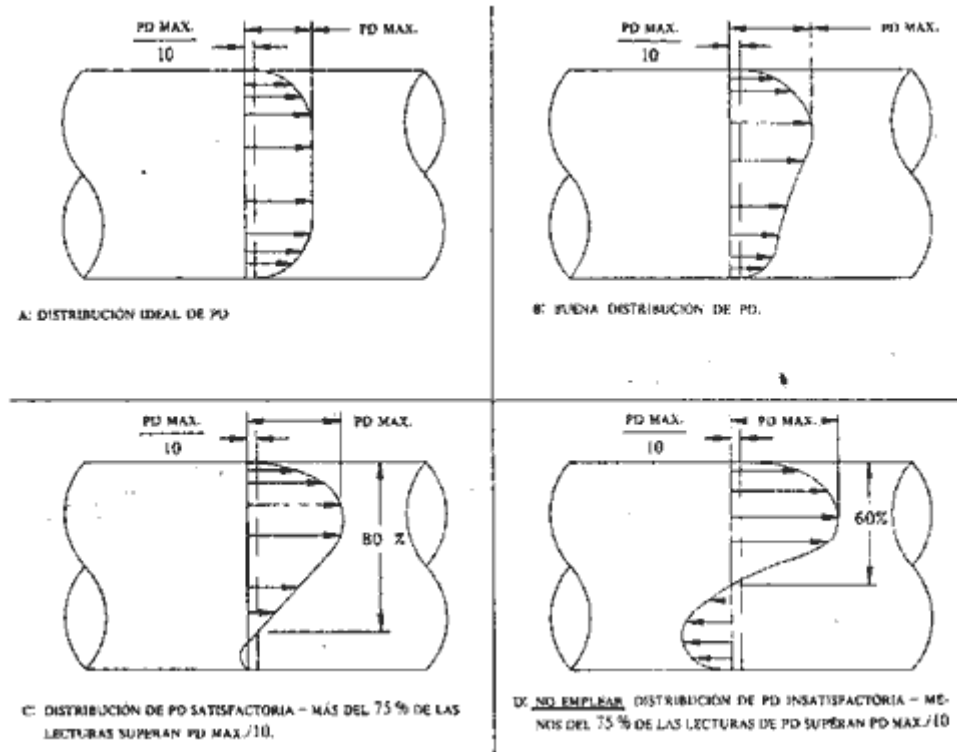
Por lo tanto los Tubos Pitot no deben ser utilizados cuando las velocidades son inferiores a 4 m/s.

## 2. Estimación del caudal

En general la determinación del caudal (Q) de circulación de un fluido se realiza indirectamente mediante el cálculo de su velocidad (v), a partir de la presión dinámica, y el área transversal (A) de la sección considerada de acuerdo con la expresión:

$$Q = v \cdot A \quad (7)$$

Cuando un fluido circula por el interior de una conducción la distribución del perfil de velocidades del mismo no es uniforme, es decir, las velocidades no son iguales en todos los puntos de una misma sección sino que presenta formas muy diversas, dependiendo de las características de la conducción, tipo, proximidad de accesorios, etc. A continuación se representan algunos de estos perfiles de velocidad:



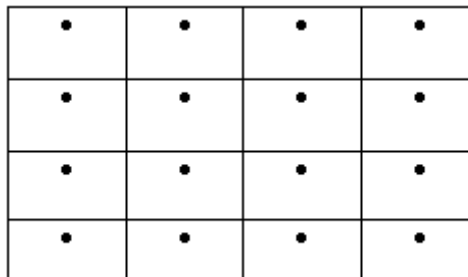
En la práctica, la forma más utilizada para determinar el caudal consiste en dividir la sección circular en anillos concéntricos de igual área, si, midiendo la presión dinámica (para calcular la velocidad) en cuatro puntos, diametralmente opuestos y centrados, en cada uno de los anillos. Se obtiene la velocidad media (v<sub>i</sub>) de las cuatro medidas por anillo, obteniéndose el caudal de acuerdo con la expresión:

$$Q = \sum s_i v_i = s_i \sum v_i \quad (8)$$

En general, la sección circular se divide en diez anillos, aunque se recomienda limitar el número de divisiones tanto más cuanto menor sea el diámetro de la misma. Así, para conducciones de 150 mm de diámetro o menos se dividirá en 6 anillos, mientras que para diámetros mayores de 1000 mm se recomiendan 20. En la siguiente tabla se recogen, a título de ejemplo, los 6 puntos de medida (respecto a la pared del conducto circular), según el diámetro de la conducción:

Diámetro (mm)	1 0,043 D	2 0,146 D	3 0,296 D	4 0,704 D	5 0,854 D	6 0,957 D
75	3	11	22	53	64	72
100	4	15	30	70	85	96
125	5	18	37	88	107	120
150	6	22	44	105	128	144

En conductos cuadrados o rectangulares se divide la sección en un cierto número de rectángulos del mismo área, midiendo la presión dinámica en el centro de cada una de ellos. El número de lecturas no debe ser inferior a 16, y la distancia aproximada entre los puntos de lectura de 150 mm como máximo. En la figura inferior se indica, a título orientativo, los puntos de lectura con el tubo Pitot.



Resumiendo, por lo tanto para estimar el caudal necesitamos recoger los siguientes datos:

- La presión dinámica en cada uno de los puntos de lectura
- La temperatura del aire en el momento y lugar de la medida
- El área de la sección recta del conducto en donde se efectúa la medida

Con las lecturas de las presiones dinámicas se calculan las velocidades en los diferentes puntos, obteniendo una velocidad media como promedio de las calculadas. El caudal a la temperatura del conducto se obtendrá de la multiplicación de dicha velocidad media por la sección considerada.

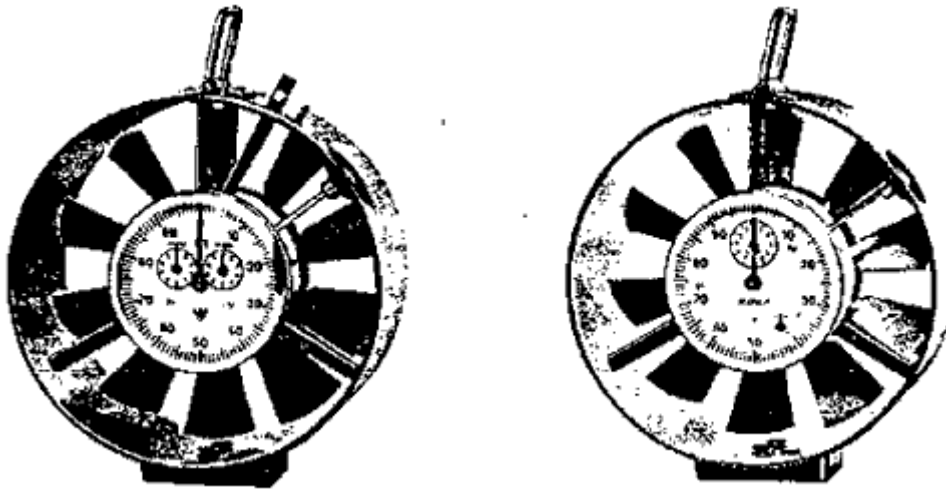
### 3. Medida de la velocidad del aire

Como ya se comentó anteriormente, existen diversos tipos de instrumentos de campo que miden directamente la velocidad del fluido. Estos instrumentos se utilizan en las aberturas de aspiración o impulsión, ó si su tamaño lo permite en el interior de las conducciones de los sistemas de ventilación. Lo que se hace en la práctica es realizar medidas de la velocidad en una serie de puntos en un plano, promediando los valores obtenidos. Al igual que anteriormente, la velocidad media resultante junto con la sección del plano de medida se emplea para determinar el caudal. No obstante hay que señalar que, debido a la dificultad que presenta la medida del área de la sección y la rápida variación de la velocidad, los resultados obtenidos deben considerarse como una aproximación al valor real del caudal. Todos estos instrumentos deben emplearse siguiendo estrictamente las instrucciones y recomendaciones del fabricante. A continuación se describen algunos de estos instrumentos:

#### A.- Anemómetros de álabes rotativos

Son instrumentos de tamaño medio, que se suelen utilizar en el interior de las bocas de aspiración o impulsión cuando éstas tienen un tamaño grande, ya que siempre que sea posible, el diámetro del anemómetro no debe superar el 5% del diámetro de la zona donde se mida. El

instrumento estándar (mecánico) da una medida indirecta. Consiste en una rueda con paletas conectada a un conjunto de indicadores obteniéndose el recorrido lineal del aire que ha pasado a su través en un tiempo dado, con ayuda de una curva de calibración se determina la velocidad real . Un esquema del mismo se puede ver a continuación:



Anemómetros de álabes rotativos

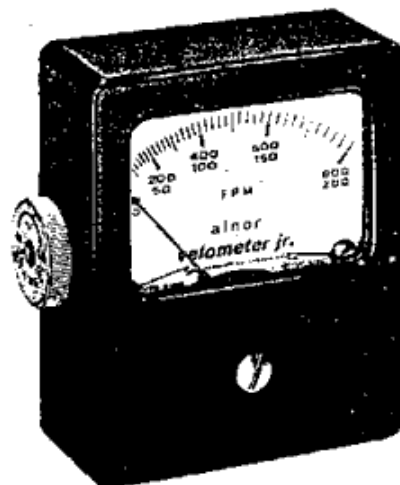
Se construyen en varios diámetros y su margen de medida útil es entre 1-15 m/s aunque algunos modelos permiten lecturas de hasta 50 m/s. Existen también los modelos electrónicos que, además de dar lecturas directas, son capaces de medir velocidades del orden de 0,15 m/s.

Como limitaciones hay que señalar:

- requieren calibraciones frecuentes
- son poco robustos, en especial los electrónicos
- se ven afectados por atmósferas pulvígenas o corrosivas, ya que pasa el aire a su través.

### B.- Velómetros

Son los instrumentos más utilizados debido a su manejabilidad (dimensiones reducidas), su lectura directa y su amplio margen de medida desde 0,25 hasta 50 m/s. Su funcionamiento se basa en la presión que la corriente de aire ejerce sobre una placa conectada a un muelle que desplaza una aguja sobre una escala graduada que indica la medida. Tienen una exactitud adecuada por lo que suelen ser el instrumento de elección en la mayor parte de los trabajos de campo.



Velómetro

En el caso de que la medición se realice en aberturas que dispongan de rejillas, el caudal se calcula de acuerdo con la expresión:

$$Q = f \cdot A \cdot v \quad (9)$$

En donde f es un factor de corrección. En la siguiente tabla se indican los valores de f según el tipo de abertura

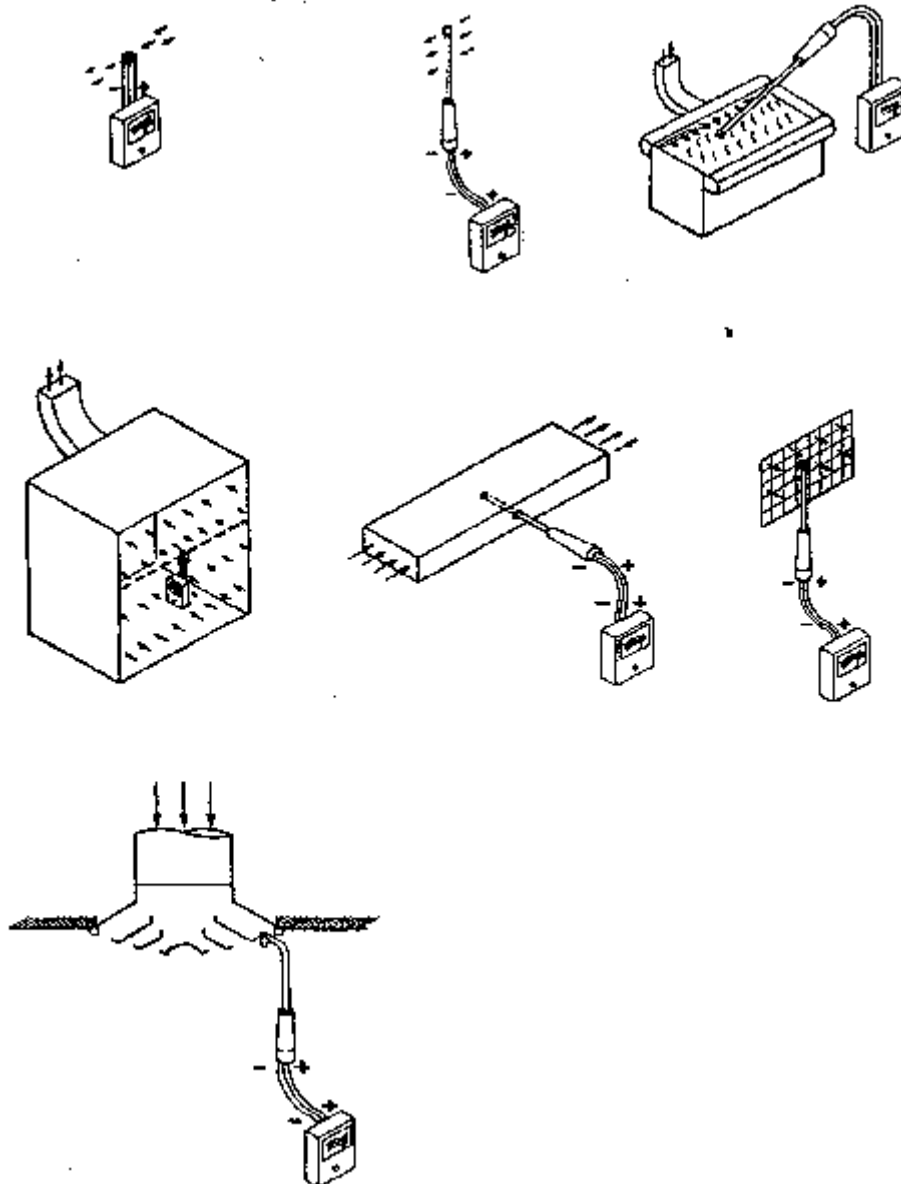
#### TIPO DE ABERTURA

##### Factor de corrección (f)

- **Impulsión:**
  - Area total de la abertura entre 25 y 4000 cm<sup>2</sup>
  - Area libre de paso mayor del 70% del área total
  - Usar en (9) el área libre 0,93*
  
- **Extracción:**
  - Rejilla a base de orificios cuadrados
  - Usar en (9) el área libre 0,88*
  - Rejilla a base de varillas *Usar en (9) el área total 0,78*
  - Rejilla simple
  - Usar en (9) el área total 0,73*
  - Abertura simple, sin rejilla 1

Estos instrumentos tienen variadas aplicaciones pudiendo, mediante una serie de accesorios, medir presiones estáticas y totales en conductos. A continuación se incluyen algunas aplicaciones de los velómetros.





Como limitaciones de estos equipos podemos enumerar:

- Deben ser calibrados y ajustados periódicamente
- Se pueden considerar robustos, y su exactitud es adecuada para la mayoría de las mediciones en campo.
- Al igual que otros equipos pueden verse afectados cuando el ambiente es pulvígeno y/o corrosivo ya que el aire pasa a su través.

### C.- Termoanemómetros

El funcionamiento de estos aparatos se basa en la variación de resistencia que experimenta un filamento eléctrico a temperatura en el seno de una corriente de aire.

El calor eliminado es función de la velocidad de la corriente de aire y, por lo tanto, las variaciones de resistencia y temperatura son inversamente proporcionales a aquella. En general estos instrumentos utilizan una sonda que comprenden dos elementos sensores diferenciados, uno de velocidad y otro de temperatura. La sonda puede usarse para medir velocidades en espacios abiertos y en las bocas de aspiración e impulsión (teniendo en cuenta el factor de corrección  $f$  anteriormente mencionado), y al igual que los velómetros, dispone de accesorios para medir la presión estática.

Dentro de este tipo de instrumentos destaca el anemómetro de termopar. En este caso para la medida se aprovecha la diferencia de potencial que se establece entre un termopar frío y otro caliente situado en el seno de la corriente de aire, el voltaje es función de la diferencia de temperaturas y por tanto de la velocidad del aire.



Termoanemómetro

Como limitaciones, hay que destacar:

- La carga y mantenimiento de las baterías
- La necesidad de calibraciones iniciales y periódicas, y
- No conviene su utilización con temperaturas de aire superior a 150 °C

#### D.- Tubos de humo y gas trazador

Cualquiera de estos sistemas , aunque no proporciona unos valores determinados de las corrientes de aire generadas, su utilización permite visualizar las mismas. En el primer caso, y siempre que la velocidad del aire sea baja (inferior a 0,75 m/s) se puede estimar ésta determinando el tiempo que una nube de humo tarda en recorrer una distancia determinada. Durante su manipulación se deberá tener en cuenta que el humo generado es corrosivo, no utilizándose en las cercanías de equipos que puedan verse afectados por el mismo. En el caso de los gases trazadores, se emplea el principio de la dilución. El caudal de aire se calcula a partir del nivel de dilución del gas en la corriente de salida respecto a la cantidad de gas introducido en la entrada.

En este caso el gas utilizado debe ser de fácil análisis, no absorbido por el sistema y no tóxico ni explosivo.

#### 4. Selección de los instrumentos de medida

La selección del instrumento más adecuado depende de una serie de factores como son:

- La condiciones ambientales en las cuales se va a medir (temperatura, humedad, gases corrosivos, ambientes pulvígenos etc)
- La sensibilidad del aparato en el margen de medida
- La localización de los puntos de medición (existencia de orificios disponibles, diámetro de los mismos, etc)
- La facilidad de transporte y robustez

En algunos casos, las condiciones de medida son tan severas que hace difícil encontrar el instrumento adecuado, pero en general se puede decir que el tubo Pitot es el más utilizado

debido de que no tiene partes móviles, es robusto y resiste temperaturas elevadas y atmósferas corrosivas si es de acero inoxidable. Para en ambientes con polvo en suspensión en donde el Pitot convencional puede obstruirse se han diseñado modelos especiales. Su limitación, como ya se ha comentado, son las velocidades bajas. En estos casos, se puede emplear velómetros provistos de un filtro especial para polvo si se da esta circunstancia y teniendo la precaución de no exponer la sonda durante más de 30 segundos si la temperatura del aire es del orden de 500°C. Por último, y cuando las velocidades a medir sean muy bajas se utilizarán anemómetros de termopar, con la limitación de que la temperatura del aire no debe ser superior a 150 °C con objeto de que la sonda no se vea afecta.

**CAPÍTULO 4: SUPUESTOS PRACTICOS**

1. Se ha utilizado un tubo Pitot conectado a un manómetro de columna de agua para medir las presiones dinámicas a lo largo de dos diámetros en una misma sección de una conducción obteniéndose los siguientes resultados:

Medición 1		Medición 2	
Punto	P <sub>D</sub>	Punto	P <sub>D</sub>
1	0,77	1	0,75
2	0,83	2	0,79
3	0,85	3	0,84
4	0,88	4	0,89
5	0,91	5	0,88
6	0,90	6	0,90
7	0,92	7	0,90
8	0,98	8	0,87
9	0,82	9	0,84
10	0,76	10	0,78

Determinar el perfil de velocidades y la velocidad media del aire, en condiciones estándar, que circula por esa conducción. ¿Considera que el valor obtenido es fiable?.

*De acuerdo con la expresión (4) podemos obtener las velocidades correspondientes a cada valor puntual de la P<sub>D</sub>, para el punto 1 sería:*

*V = 4,04 √0,77 = 3,54 y así sucesivamente, obteniéndose los siguientes valores*

Medición 1		Medición 2	
Punto	V m/s	Punto	V m/s
1	3,54	1	3,49
2	3,68	2	3,59
3	3,72	3	3,71
4	3,79	4	3,81
5	3,85	5	3,79
6	3,83	6	3,83
7	3,87	7	3,83
8	3,99	8	3,77
9	3,66	9	3,70
10	3,52	10	3,57

A continuación se calcula el valor medio de las velocidades:

$$\text{Velocidad media} = (3,54 + \dots + 3,52 + 3,49 + \dots + 3,57) / 20 = 3,73 \text{ m/s}$$

Como podemos observar el valor de la velocidad en el conducto es menor de 4 m/s es decir que estamos en unas velocidades bajas, en donde los errores de lectura con los tubos Pitot son elevados, mayor del 6%. La lectura no es fiable con este instrumento, por lo que se deberán utilizar otros instrumentos de medida más idóneos para bajas velocidades como son los velómetros o los anemómetros.

2. Con un tubo Pitot se han obtenido los siguientes valores:

Medición 1		Medición 2	
Punto	P <sub>D</sub> mmdca	Punto	P <sub>D</sub> mmdca
1	5,6	1	5,8
2	7,1	2	6,8
3	8,1	3	8,4
4	8,4	4	8,6
5	8,6	5	8,6
6	8,9	6	8,9
7	8,4	7	8,6
8	7,9	8	8,1
9	7,6	9	7,9
10	6,1	10	6,4

Teniendo en cuenta que el diámetro de la conducción es de 600 mm. Calcular el caudal cuando las condiciones son:

- a) T= 20 °C , Presión atmosférica = 760 mmHg
- b) T= 65 °C , Presión atmosférica = 760 mmHg
- c) ¿Qué error se comete si se consideran condiciones estándar?

a) Condiciones estándar

Al igual que en el supuesto anterior, se calculan las velocidades puntuales de acuerdo con la expresión (4) obteniéndose los siguientes valores:

Medición 1		Medición 2	
Punto	V m/s	Punto	V m/s
1	9,6	1	9,7
2	10,8	2	10,5
3	11,5	3	11,7
4	11,7	4	11,9
5	11,9	5	11,9
6	12,1	6	12,1
7	11,7	7	11,9
8	11,4	8	11,5
9	11,1	9	11,4
10	10,0	10	10,2

$$\text{Velocidad media} = 11,2 \text{ m/s}$$

$$\text{El caudal será de acuerdo con la expresión (7)} \quad Q = 11,2 [(\pi \cdot (0,6/2)^2)] = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Condiciones con temperatura =65 °C

Cuando las condiciones no son normales la densidad del aire hay que calcularla a partir de la expresión (5) obteniendo:

$$d_{65^{\circ}\text{C}} = 1,2 \cdot 293 / (65+273) = 1,04 \text{ kg/ m}^3$$

Con este valor de la densidad, y la expresión (2) se calculan las velocidades puntuales y media respectivamente:

$$P_D = (1/2) \cdot 1,04 v^2$$

$$v = 1,39 \sqrt{P_D} \text{ en donde } P_D \text{ viene expresado en N/m}^2 \text{ ó}$$

$$v = 4,35 \sqrt{P_D} \text{ con } P_D \text{ en mmdca}$$

Medición 1		Medición 2	
Punto	V m/s	Punto	V m/s
1	10,3	1	10,5
2	11,6	2	11,3
3	12,3	3	12,6
4	12,6	4	12,7
5	12,7	5	12,7
6	13,0	6	13,0
7	12,6	7	12,7
8	12,2	8	12,3
9	12,0	9	12,2
10	10,7	10	11,0

En este caso la velocidad media es 12,1 m/s y el caudal 3,4 m<sup>3</sup>/s

c) Como puede observarse al aumentar la temperatura del aire, la densidad disminuye y por lo tanto la velocidad y el caudal del aire aumentan. Si no se hubiera corregido la densidad debido a la temperatura se habría cometido un error en el caudal de 3,2 m<sup>3</sup>/s frente al real que es 3,4 m<sup>3</sup>/s, es decir del orden del 6%. por defecto

3. Determinar el caudal de extracción en una instalación cuando se ha medido con un sonda acoplada a un velómetro un valor de 5 m/s en una rejilla rectangular de 20 x 40 cm. formada por rendijas.

Como la zona en donde se ha realizado la medición se encuentra tapada con una rejilla, el valor del caudal se corrige de acuerdo con lo establecido en las tablas. En la expresión (7) se tiene que considerar el área total de la rejilla es decir 0,2x0,4 m<sup>2</sup>, y el factor de corrección de 0,73; por lo tanto sustituyendo en la expresión, obtenemos:

$$Q = 0,73 \cdot (0,2 \cdot 0,4) \cdot 5 = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Se utiliza un anemómetro provisto de una sonda para determinar la velocidad con la que circula el aire en una instalación de ventilación. Siendo la temperatura de 120°C y considerando que la humedad despreciable. ¿Cuál es la velocidad real si el anemómetro indica 15 m/s?

Los aparatos de medida vienen calibrados para condiciones normales de presión y temperatura. Cuando las condiciones en las que se realiza la medición no son las estándar hay que corregir los valores de la velocidad indicados por el aparato de acuerdo con la expresión siguiente:

$$V_{\text{real}} = v_s \sqrt{d_s / d_{\text{real}}}$$

**En donde:**

$v_s$  es la velocidad medida en condiciones estándar (indicada por el aparato) en m/s

$d_s$  es la densidad de aire en condiciones estándar (  $1,2 \text{ kg/m}^3$  )

$d_{\text{real}}$  es la densidad real del aire en  $\text{kg/m}^3$

por lo tanto se tendrá que calcular la densidad real del aire a  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  con la expresión (5) obteniendo un valor de la densidad de  $0,9 \text{ kg/m}^3$  . Si sustituimos en la expresión anterior resulta:

$$V_{\text{real}} = 15 \sqrt{1,2 / 0,9} = 17,3 \text{ m/s}$$

## RESUMEN DE LA UNIDAD

Se denomina **polvo fino**, a las partículas que tienden a permanecer en suspensión en el aire, es decir aquellas que tiene un diámetro entre 10 y 20  $\mu\text{m}$  y que son las que tienen importancia a la hora de prevenir la salud en Higiene Industrial.

En ventilación hay dos ecuaciones fundamentales que son la de **Continuidad** y la de **Bernouilli** de manera que se cumple que :

$$\text{PRESION ESTATICA} + \text{PRESION DINAMICA} = \text{PRESION TOTAL}$$

La **presión estática** representa la fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes del conducto. La **presión dinámica**, también llamada presión de velocidad, es la fuerza que actúa por unidad de superficie por acción de la velocidad del aire. Por lo tanto la fuerza total que se ejerce es debida a la presión estática, que actúa en todas las direcciones, y a la presión dinámica que únicamente se manifiesta en el sentido de la velocidad. La **presión total** se mide en el sentido de la velocidad y es igual a la suma de las dos.

Cuando circula un fluido por una conducción , se produce una pérdida de energía del mismo debido al rozamiento que es lo que se denomina **pérdida de carga**.

Cuando se plantea un **diseño de ventilación por extracción localizada**, y en la selección de la campana de aspiración se ha de tener en cuenta tanto el **diseño geométrico**, como la **pérdida de carga** de la misma. Por otra parte también hay que tener en cuenta la **velocidad de captura** del contaminante y la **velocidad de transporte** del mismo por las conducciones. Se llama **curva característica de una conducción** a la gráfica que representa la variación de pérdidas de carga producidas al circular por ella el aire, en función del caudal del mismo. La **curva característica** de una conducción es importante en la **selección del ventilador** más adecuado, ya que éste en el punto de funcionamiento ha de proporcionar la presión estática que la tubería ofrece al caudal de trabajo.

**Los ventiladores** son máquinas rotativas, capaces de desplazar de forma continua el fluido gaseoso en el que se mueven. Se componen de: **hélice o rodete** su elemento rotativo, **soporte** o componente estructural del ventilador y **motor** o elemento que proporciona la energía necesaria.

En la extracción localizada se usan los ventiladores **centrífugos** ya que son los únicos capaces de vencer las pérdidas de carga relativamente elevadas que se producen. Con respecto a la **selección del ventilador** es necesario considerar el caudal, el diseño de campana, el diseño geométrico y el cálculo de la pérdida de carga. El ventilador de elección será el que a ese caudal sea capaz de dar la presión estática más próxima a la **pérdida de carga acumulada**.

**Un separador** de contaminantes en el aire forma parte del conjunto de VENTILACION por EXTRACCION LOCALIZADA y sirve para evitar el riesgo de contaminar la atmósfera. A la hora de su elección hay que considerar los aspectos siguientes:

- \* grado de eliminación requerido del contaminante
- \* cantidad y características del contaminante a eliminar
- \* características y condiciones del gas o aire portador

Estos sistemas de limpieza de aire se clasifican en dos grandes grupos como son los **colectores de polvo y los filtradores de aire**.

Para que el **diseño de un sistema de ventilación** localizada sea adecuado es conveniente considerar una serie de normas que **individualmente** afectan a sus **elementos constitutivos** es decir a la campana, conductos, depurador y ventilador .

Una vez que está instalado un sistema de ventilación, es necesario **comprobar que los caudales de aspiración** de estos sistemas se mantienen dentro de lo previsto. Para ello se utilizan una serie de equipos que mediante la medida de otros parámetros, como son las presiones o las velocidades, permiten calcular, conocido el área, dicho caudal de aspiración. Dentro de los equipos de medida se puede distinguir entre:

- **Equipos para medir presiones y**
- **Equipos para medir velocidades**

Para medir las presiones, ya sean estáticas, dinámicas o totales se utilizan los **manómetros** que pueden ser en forma de "U" o inclinados, conectados a un tubo normal o de impacto, en el caso de las presiones estáticas y totales o a un **tubo Pitot**. En general, dichos tubos son los más utilizados, ya que por si mismos y dependiendo de cómo se conecten al manómetro se obtiene la medida de cada una de las tres presiones. La limitación que presentan los tubos Pitot es que su **exactitud es menor** a medida que la **velocidad** del fluido **disminuye**, no siendo fiables para velocidades menores de 4 m/s.

Para medir velocidades existen diversos instrumentos, como son los anemómetros, los **velómetros y los termoanemómetros**. Algunos de ellos, como es el caso de los velómetros disponen de accesorios, que permiten también medir presiones, ó como es el caso de los termoanemómetros medir la temperatura del aire en circulación. Como limitación, destaca que si el aire es pulvígeno y/o corrosivo pueden dañar los elementos sensores de que disponen. Con los valores obtenidos de las presiones y/o velocidades puntuales se puede calcular una velocidad media que sea representativa y conociendo el área de la sección de la conducción, se obtendrá a la temperatura del aire el valor del caudal de circulación del mismo. Hay que recordar que cuando las **condiciones** de presión y temperatura del aire no son las **estándar** (20°C y 760 mmHg) los valores que se obtienen en las mediciones deberán ser corregidos para no cometer errores en su valoración.

Por último a la hora de seleccionar el instrumento de medida habrá que tener en cuenta los siguientes factores:

- La condiciones ambientales de medida ( Tª, H, gases corrosivos, ...)
- La sensibilidad del aparato
- La localización de los puntos de medida
- La facilidad de transporte y robustez

## BIBLIOGRAFÍA

- "Higiene Industrial" Guasch, J. y otros . I.N.S.H.T. (ET .054)
- Enciclopedia de la Seguridad y Salud de la O.I.T. 3ª Edición en Español. Publicaciones del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales
- "Ventilación Industrial. Manual de recomendaciones prioritarias para la Prevención de Riesgos Profesionales" 1ª Edición en español ACGIH 1992. Generalitat Valenciana. Consejería de Trabajo y Asuntos Sociales. Dirección General de Trabajo (publicación nº 28)
- Norma Española UNE 77223 "Emisiones de fuentes estacionarias. Determinación de la concentración y caudal másico de material particulado en conductos de gases. Método gravimétrico manual"
- Norma Internacional ISO 3966:1977 - Medida de caudal de fluidos en conductos cerrados. Método del área de velocidad usando tubos estáticos Pitot.-





## 1.6. Identificación y prevención de riesgos en actividades específicas

### OBJETIVOS

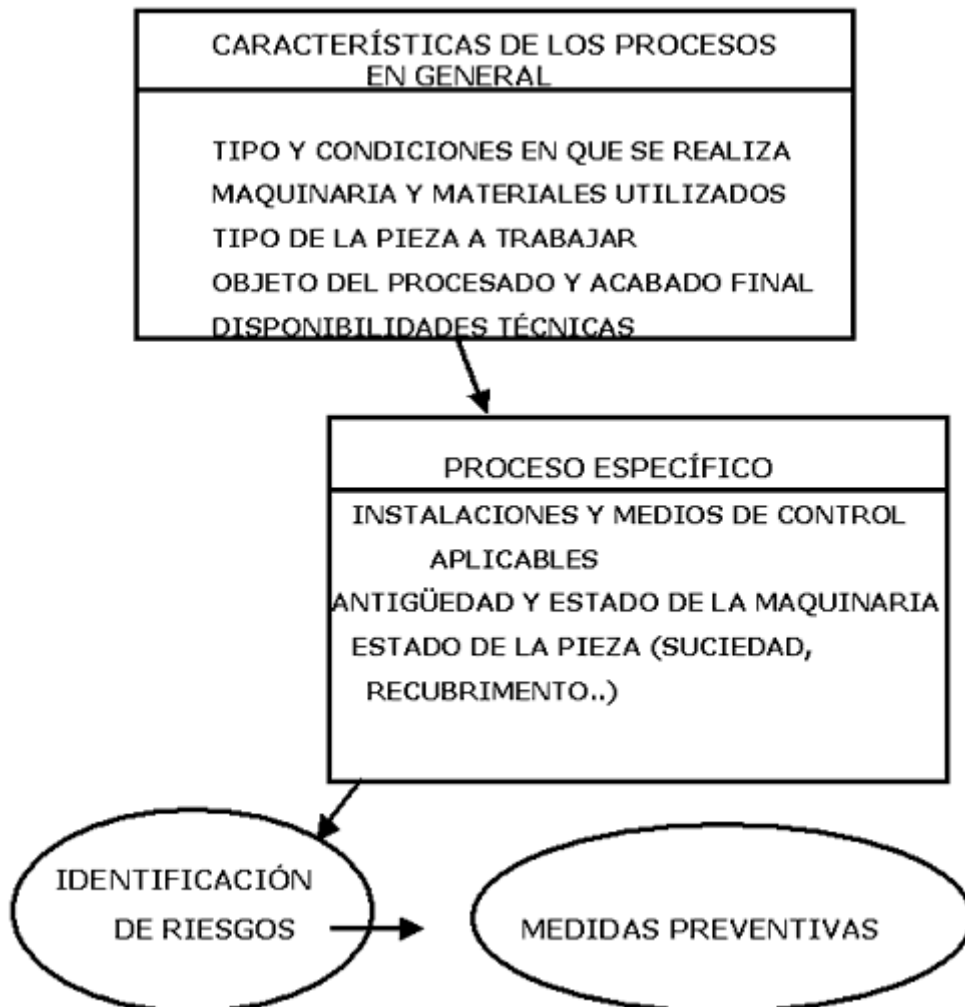
#### Objetivo general

Esta unidad pretende acercar al alumno al conocimiento de los procesos industriales más comunes, familiarizándole con la terminología que se usa y a la vez ayudarle a identificar los riesgos higiénicos que se suelen dar, su importancia y los métodos de control que se deben aplicar, según los principios ya conocidos.

#### Objetivos específicos

- Familiarizar al alumno con la terminología de los procesos industriales
- Determinar las operaciones que pueden presentar un riesgo higiénico
- Conocer los principales riesgos higiénicos en estas operaciones
- Dar a conocer los criterios generales que permiten adoptar las medidas de control a aplicar en cada caso

### ESQUEMA DE LA UNIDAD



## CAPÍTULO 1: FUNDICIÓN DE METALES Y ALEACIONES

### 1. Introducción

La fundición consiste en el vertido de metal fundido sobre un molde fabricado con la forma externa de un modelo, según la pieza a fabricar, y que puede contener un macho de dimensiones de acuerdo con la cavidad que se requiere.

El proceso suele constar de las fases siguientes:

- Elaboración de moldes y machos
- Montaje
- Fusión y afino del metal o aleación
- Colada del metal en el molde
- Enfriamiento de la pieza metálica fundida
- Eliminación del material sobrante (rebabas) y acabado

Los metales que se suelen fundir son: hierro, acero, latón, bronce y otros como aluminio, magnesio, titanio, cromo, níquel e incluso berilio, cadmio y torio.

Los moldes se hacen con arena de sílice compactada y los machos cociendo arena con ciertos aceites. La tecnología actual es mucho más avanzada.

Los procesos típicos de fundición son de entre otros:

- Colada sobre arena
- En moldes permanentes de hierro o acero
- Inyección
- A la cera perdida
- A la espuma perdida con espuma de poliestireno en arena para la fundición de aluminio

Los hornos que se emplean son: de cubilote, giratorio, de reverbero, de crisol, de arco eléctrico, de túnel o de inducción sin núcleo.

El vertido en la colada puede ser directo o con cuchara.

El desmoldeo se suele hacer mediante vibración, vaciado o expulsión. Después se limpia la pieza y se desbasta (eliminación de mazarotas).

### MOLDEO

La arena y los aditivos como la arcilla aumentan la resistencia.

Los métodos de producción de moldes son:

- TERMOENDURECIDO: pieza de metal calentado y arena con resina fenólica.
- AUTOFRAGUADO EN FRÍO con resinas furánicas y fenólicas catalizadas con ácido
- ENDURECIDO POR GAS: con dióxido de carbono y silicato como aglutinante.

La arena se humecta o mezcla con resina líquida. Para la extracción se añade un separador, tipo talco, en especial en el moldeo a mano.

El grafito, en suspensión o disuelto en alcohol isopropílico que luego se quema, da a la superficie un acabado más fino.

### FABRICACIÓN DE MACHOS

Los machos que se insertan en el molde dan la configuración interna de la pieza fundida hueca y deben resistir la fundición pero no el vaciado en la extracción.

Los machos se tratan con una capa antillama para mejorar el acabado final de la pieza.

## FUSIÓN Y COLADA

En la fundición de hierro que el horno de cubilote es vertical y alto y abierto por arriba, tiene una puerta con bisagras y está recubierto en su interior por material refractario.

Se carga por la parte superior con coque, chatarra de hierro y piedra caliza y por la parte inferior o toberas se inyecta aire. El coque caliente se funde y purifica el hierro.

La piedra caliza ayuda a eliminar las escorias del caldo

En los cubilotes de colada el metal fundido se lleva de la piqueta a la cuchara para realizar la colada

## VACIADO

Consiste en la separación del molde de la pieza mediante sacudida. Se trata de un proceso ruidoso en el que la caja de moldeo, molde y pieza se dejan caer en una rejilla vibratoria.

## DESBARBADO

Es una operación que consiste en desprender el material sobrante y dejar el producto de fundición acabado.

Sobre la pieza se realizan operaciones tales como: pulido, limpieza con chorro de granalla, arena o agua para la eliminación de mazarotas y bebederos, y desbastado. La limpieza se puede hacer en tambores rotatorios. La limpieza por chorro extrae la arena adherida.

## FUNDICIÓN CON MOLDEO PERMANENTE

La fundición se hace en moldes permanentes o en piezas troqueladas como una operación de estampación.

## FUNDICIÓN DE ALEACIONES LIGERAS

Para la fundición de aluminio o magnesio se usan hornos de crisol a gas, petróleo o eléctricos. El fundente del aluminio es el espatofluor y el del magnesio el cloruro bórico.

Se añaden una serie de productos de fuerte reacción exotérmica para evitar que se enfríe el metal.

En la fundición de latón, bronce y de aleaciones de gran resistencia, como cadmio, los humos metálicos que se generan son tóxicos.

El mayor riesgo higiénico se da durante la limpieza del horno y en la evacuación de la escoria.

## FUNDICIÓN INYECTADA

Este tipo de fundición se usa mucho con el cinc y se produce gran cantidad de nieblas de aceite por los aceites hidráulicos que se usan para la lubricación de troqueles y pueden contener organofosforados.

## MICROFUSIÓN

Se realiza para fundiciones de precisión y los moldes se fabrican inyectando cera de moldeo en un troquel. Están revestidos de un polvo fino refractario; la cera se funde antes que la pieza de fundición o bien por la introducción del metal en sí.

## 2. Tipo de lesiones en fundición

- Quemaduras
- Proyección de objetos extraños. La protección ocular debe ser obligatoria.
- Magulladuras y contusiones
- Traumas graves y lesiones múltiples. No se suelen dar con frecuencia pero pueden dar lugar a víctimas

- Efectos de las radiaciones, calor y ultra violeta. Son fáciles de detectar y requieren de protección individual
- Congelaciones por fugas de dióxido de carbono. No suelen ocurrir y sus síntomas se confunden con las quemaduras.

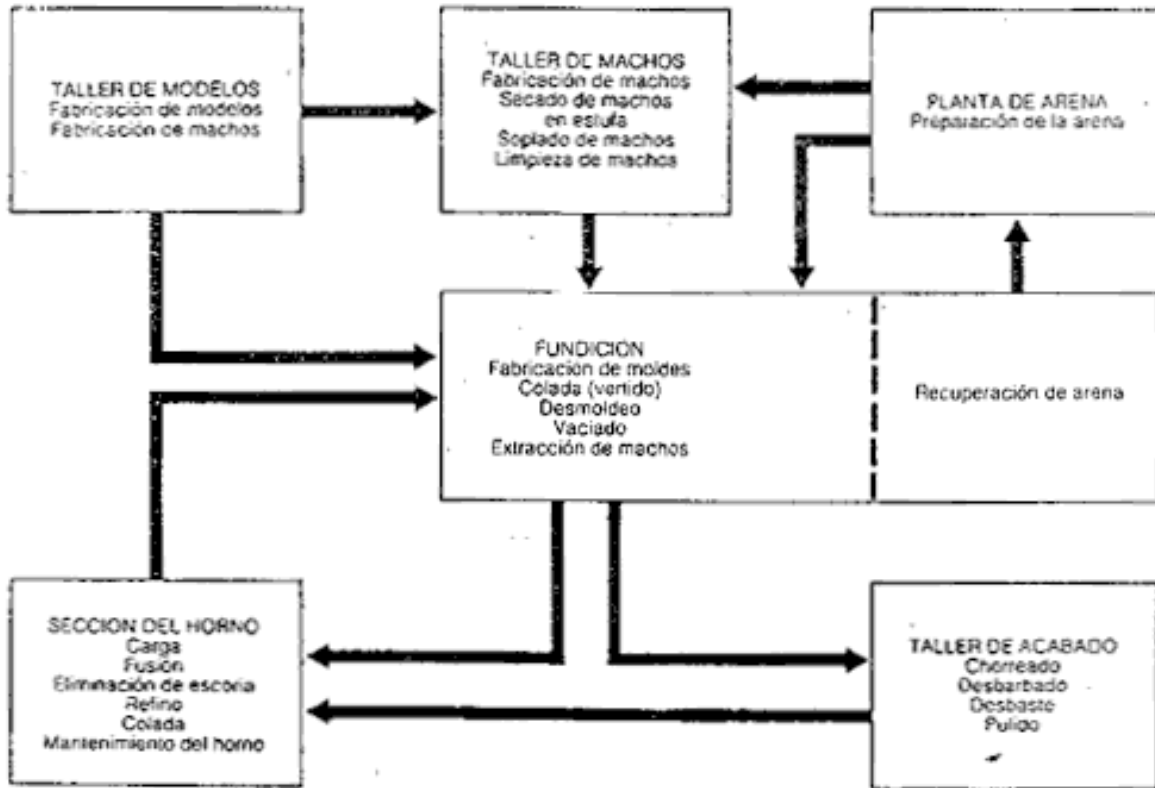
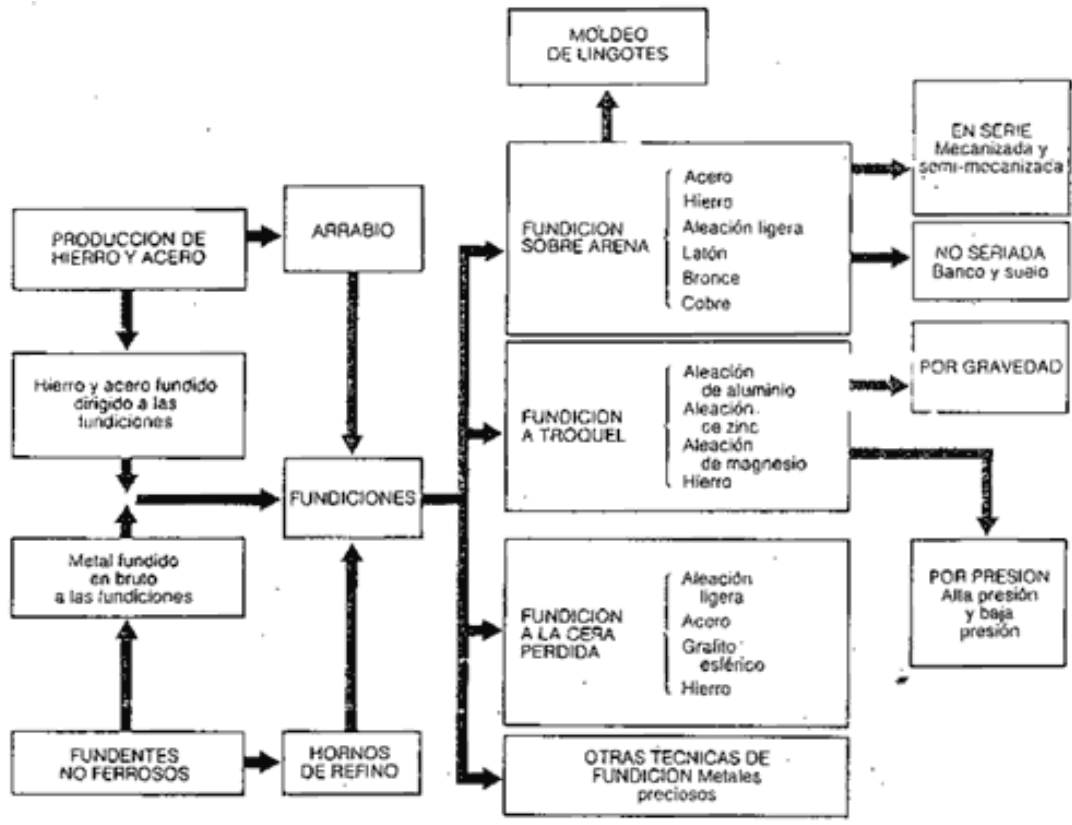


Fig. 1. Curso de las operaciones en una fundición de hierro típica.



## CAPÍTULO 2: TRATAMIENTO Y ACABADO DE SUPERFICIES METÁLICAS

### 1. Conceptos generales

Los agentes externos químicos atmosféricos atacan la superficie de los metales formando óxidos, hidróxidos, carbonatos, etc. que junto al metal y en medio conductor forman una pila. Si se quiere evitar esta acción de oxidación es necesario dar a la superficie un tratamiento ya sea mediante el recubrimiento con otro metal o con una capa de pintura. A su vez se busca en el acabado del producto un aspecto más atractivo y mejor.

Antes del tratamiento final que supone el recubrimiento superficial hay que realizar una preparación que puede ser de tipo mecánico o químico.

Hay varios tipos de limpieza a fondo, que se aplican individualmente o en secuencia: esmerilado, cepillado y pulido mecánico (producen polvo y en el caso del aluminio es explosivo), desengrasado al vapor, lavado de grasas con disolventes orgánicos, limpieza en baños ácidos o alcalinos y desengrasado electrolítico con cianuros alcalinos de forma que el oxígeno e hidrógeno formados disuelven la grasa; siempre van acompañados de un lavado y un secado.

### PREPARACIÓN MECÁNICA

El desbarbado consiste en la eliminación de rebabas y rotura de aristas vivas. Así se consideran las operaciones de limado manual, afinado, afinado flexible, acabado satinado, cepillado, pulido en bombos, etc. Todas ellas se hacen mecánicamente usando discos, muelas de afinar y por chorreado. Las dos primeras se montan en máquinas herramientas fijas o portátiles, según la pieza y operación a realizar.

Hay dos tipos de abrasivos: naturales (cuarzo, esmeril, corindón y diamante) y artificiales (alundum, corindón blanco y carborundum).

Respecto de la Higiene Industrial son aspectos a destacar: clase y tamaño de grano y el aglomerante usado. El más empleado es el alundum o corindón artificial y el carborundum. Respecto del tamaño interesa la fracción respirable y en cuanto a los aglomerantes suelen ser vitrificados o cerámicos y los orgánicos o resinosos.

En la operación de rebarbado hay un riesgo importante por polvo de sílice que proviene de la arena residual del desmoldeo y del abrasivo.

El pulido industrial es otra parte esencial del acabado ya que una superficie así tratada presenta mayor resistencia a la corrosión, sobre todo si lleva además un recubrimiento electrolítico. Se aplica mediante ruedas flexibles a las que se les aplica pastas abrasivas suaves (pómez, trípoli, tierra diatomea, esmeril, corindón sintético, carburos de boro y wolframio) u otros que no tienen acción de desbaste (cal de Viena, Creta, óxido rojo de hierro, verde de cromo, alúmina, óxido de cerio, diamante..). Los aglomerantes son grasas y ceras de origen animal, vegetal y mineral.

El polvo generado en el pulido contiene sílice y metales que provienen del abrasivo y de la pieza. Aunque la concentración no es alta si lo es su toxicidad.

El chorreado de arena y el granallado consisten en la proyección de abrasivo finamente pulverizado sobre un objeto metálico; hay tres medios de impulsión:

- lanzamiento del abrasivo con aire comprimido
- mediante rueda lanza granalla
- con agua a presión.

Al ser los dos primeros en seco generan gran cantidad de polvo, con alto porcentaje en sílice, por lo que se requiere usar material con contenido en cuarzo menor del 5% y realizar la operación en cabina.

El cepillado es una operación que antecede al recubrimiento y se realiza con cepillos formados por hilos vegetales o metálicos (esparto, acero, latón o níquel) y su mayor riesgo es la sílice libre cristalina de la pasta abrasiva.

## PREPARACIÓN QUÍMICA

Suele efectuarse de dos formas distintas: por decapado o desengrase.

Decapado es la eliminación de óxidos en una superficie metálica por disolución química o electroquímica; éste último que sólo se efectúa en aleaciones ferrosas se hace con ácido sulfúrico al 30-60% y se trata de un decapado anódico, alternativo anódico-catódico.

El decapado químico que se usa mucho por su bajo coste se realiza con ácidos clorhídrico, sulfúrico o fosfórico y a veces se emplean mezclas con ácidos nítrico, fluorhídrico, crómico o fluoruro sódico.

Estos ácidos pueden desprender nieblas extremadamente corrosivas y en el caso del ácido nítrico gases nitrosos de alta nocividad. En general son irritantes del tracto respiratorio y de la piel

Si se quiere conseguir una buena adherencia del recubrimiento será necesario que la superficie esté libre de suciedad, grasa, aceite, fundente, óxidos, etc. Igual ocurre si se quiere una fijación buena, brillo o recubrimiento protector.

A veces un desengrasado sencillo con álcalis o tricloroetileno es suficiente; si se necesita algo más enérgico hay que proceder a una electrodeposición. Hay tres tipos de agentes desengrasantes: hidrocarburos clorados, álcalis y emulsiones.

### Hidrocarburos clorados

Los más empleados son 1,1,1 tricloroetileno, tricloroetano y el percloroetileno por la sencillez en el manejo, buena calidad de desengrase y su baja inflamabilidad.

El proceso se puede realizar por inmersión de la pieza, en líquido o vapor, o por proyección de chorro líquido ( en la limpieza de carburadores).

El principal riesgo en el uso de TCE es la inhalación de sus vapores, por sus efectos depresores del SNC, narcótico y anestésico, y además su descomposición por altas temperaturas y la formación de fosgeno ( $\text{Cl}_2\text{C}$ ), lo que puede ocurrir en puestos de soldadura próximos a cubas de desengrase. La acción de la luz también puede descomponer el TCE, o la acción de metales finamente divididos, hidrolizándose y formando HCl y que a su vez puede atacar al aluminio dando la sal correspondiente y una reacción en cadena y que puede producir una explosión.

Sí se emplea TTCE en el desengrase de aluminio hay que tomar las precauciones siguientes:

- limpieza frecuente de la cuba
- uso de inhibidores del ácido clorhídrico
- empleo de un sistema de decantación de agua
- temperatura inferior a los 150° C
- concentraciones bajas de aceite en el disolvente.

### Disoluciones alcalinas

Emplean detergentes conteniendo álcalis fácilmente hidrolizables (sosa caústica, carbonato sódico, fosfato sódico, silicato y metasilicato sódico) con algún agente tensoactivo para

disminuir la tensión superficial y un acomplejante mineral u orgánico para poder emplear agua corriente. El desengrase se realiza en caliente a 60-90°C como es el caso de la fosfatación.

El desengrase alcalino/cianurado está compuesto de sales de cianuro, sosa y carbonatos y fosfatos sódicos.

Las cubas suelen disponer de sistemas de calefacción, desagüe, etc. y funcionan por inmersión. Los riesgos higiénicos más importantes son la inhalación de aerosoles y nieblas alcalinas que producen irritación de las vías respiratorias y el de intoxicación por ingestión o inhalación de cianuros.

### **Emulsiones**

Son dispersiones finas y homogéneas, de dos o más componentes, que no se diluyen ni reaccionan entre sí. Sus componentes básicos son un disolvente de grasas, un jabón o humectante potente y uno o más agentes orgánicos de función específica. Una formulación típica podría ser:

- disolvente de la grasa, aceite y cera: nafta, keroxeno, petróleo o white spirit
- jabón: jabón potásico o trietanolamina
- agentes orgánicos: alcoholes superiores o que incluyan también grupos cetónicos.

Los riesgos derivados del empleo de éstos se derivan del disolvente empleado y su toxicidad suele ser elevada comparada con la de los derivados clorados.

## **2. Procesos de tratamiento de superficies metálicas**

### **Pulido electroquímico:**

Mejora el aspecto y la reflectividad del producto. Antes, se efectúa un desengrase con vapor y una limpieza alcalina en caliente; después, una dilución anódica de los puntos altos de la superficie con electrolitos ácidos y lavado posterior. La pieza hace de ánodo y el baño está formado por ácidos minerales o ácido crómico y pueden ser de duración indefinida o de vida limitada.

### **Recubrimiento electrolítico:**

Se trata de cubrir con una capa metálica, por ejemplo níquel, para proteger de la corrosión, cromo duro para mejorar las propiedades superficiales, o plata u oro para embellecer. El espesor del recubrimiento dependerá de la densidad de corriente y tiempo de proceso. Son ejemplos: cromado, cincado, cadmiado, plateado, etc.

Tanto el cadmio como el cinc son anódicos respecto del hierro y por tanto le comunicarán a éste propiedades anticorrosivas. El cadmio se pasiva fácil, mejor que el cinc, aunque el coste es elevado. Ambos procesos suelen tener cianuros en los baños.

El cincado electrolítico ácido no se suele efectuar por su bajo poder de penetración. No obstante se consigue mejor resistencia a la corrosión si se pasiva con ácido crómico.

La electroformación es un proceso muy parecido donde los objetos moldeados en yeso o plástico se hacen conductores por aplicación de grafito y se conectan como cátodo para después depositar el metal.

En el anodizado los productos de aluminio se ponen como ánodo (también se usa para titanio y otros metales) y se sumergen en ácido sulfúrico diluido. Se forman iones aluminio y se oxidan con átomos de oxígeno que se forman en el ánodo y lo que produce una capa de óxido. Después, se puede depositar en los poros material coloreado o fotosensible.

### **Mordentado:**

Da un acabado mate o satinado. Se suele hacer previo al anodizado, lacado, recubrimiento por conversión, pulido o abrillantado químico, y se aplica al aluminio y acero inoxidable.

El aluminio se ataca con disoluciones ácidas por inmersión y durante unos minutos. El ataque alcalino suele ir precedido y seguido con tratamiento con ácidos minerales diluidos de apenas un minuto.

### **Inmersión:**

Se usa en baños de metales fundidos, en general aleaciones de bajo punto de fusión. Al sumergir la pieza queda recubierta de cinc, estaño, cadmio o aluminio.

En el galvanizado industrial en caliente (> 490°C), hay dos fases: una preparativa del material y la segunda que comprende las operaciones de fluxado, inmersión en cinc y enfriamiento posterior.

El primer paso consiste en sumergir las piezas en un baño de cloruro sódico, cloruro amónico o bien  $ZnCl_2$  y cloruro amónico, según se efectúe en vía húmeda o seca y que protege al material de la oxidación y a la vez rebaja el punto de fusión del cinc y facilita la subida de escorias. El espesor es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de inmersión y a menor superficie se requiere más tiempo para igualar las temperaturas. El enfriamiento es al aire libre, por convección forzada o inmersión en agua que contenga aceite evitando así la difusión del cinc.

En el estañado en las latas de conserva, aunque el estaño es catódico frente al hierro, en su interior actúa como ánodo al formar el ión  $Sn^{+2}$  complejos con los jugos naturales del contenido. La hojalata se obtiene por inmersión en estaño fundido o electrólisis diferencial que permite depositar más estaño en una cara que en otra.

### **Galvanizado:**

Es un recubrimiento con capa de cinc que se da a ciertos aceros para proteger de la corrosión. El galvanizado en caliente se hace en baño de cinc fundido y por inmersión; en frío se trata de un recubrimiento electrolítico. Añadiendo un fundente se consigue un grado de limpieza para el producto y el baño. A veces se da un tratamiento previo a la superficie del baño de cloruro amónico como fundente.

Existen varios tipos de galvanizado en continuo y por inmersión, según la forma de limpiar el producto y si realiza o no la limpieza durante el proceso:

- limpieza de aceites por oxidación a la llama, incluyendo reducción en horno y recocido
- limpieza electrolítica antes del recocido
- en baños ácidos y alcalinos.
- Igual que el anterior pero eliminando el fundente y precalentado en gas reductor (por ejemplo hidrógeno) antes del galvanizado.

En el fondo del baño se deposita una espuma de hierro y acero y hay que retirarla periódicamente. Ciertos metales se les hace flotaren la superficie lo que evita la oxidación del cinc fundido.

### **Fosfatado:**

Se aplica al acero dulce, galvanizado y aluminio para aumentar su adhesión, resistencia a la corrosión de la pintura, cera o aceite. La superficie del metal reacciona en una disolución de varios fosfatos de hierro, cinc, manganeso, sodio o amonio. Los fosfatos de sodio y amonio dan un tratamiento mixto de limpieza y fosfatado. Aceleradores del proceso son los fluoruros, cloratos, molibdatos y compuestos de níquel. Para reducir el tamaño de los cristales y



aumentar la flexibilidad de los recubrimientos de fosfato de cinc se añaden afinadores ( fosfato de cinc terciario o de titanio). El fosfatado consiste en las etapas siguientes:

- Limpieza con sosa cáustica en caliente
- Cepillado y lavado
- Rociado o inmersión en disolución de fosfatos ácidos en caliente
- Lavado con agua fría
- Lavado con disolución de ácido crómico templada.
- Lavado con agua fría
- Secado

El recubrimiento queda poroso y es recomendable antes de la pintura. También facilita su mecanización, estirado en frío, etc.

#### **Pavonado:**

Es un caso particular de oxidar la superficie (pasivado) y con la formación de  $Fe_3O_4$  para proteger al hierro por su compactidad. Puede ser:

- Electrolítico: a unos 70°C con hiposulfito, agua y la pieza como ánodo.
- Químico, a unos 135°C en disolución alcalina con sosa y nitrato sódico
- Químico, a unos 300°C en sales de óxido azul de hierro y acero con nitrato sódico y  $MnO_2$ .

En acero, el pasivado y pavonado se hace con ácido nítrico diluido y justo después del decapado si se quiere evitar la acción del oxígeno del aire. En la operación se desprenden hidrógeno e incluso óxidos nitrosos. La cantidad de hidrógeno desprendido depende de la densidad de corriente y de otros factores tales como la temperatura, acidez y agitación de la cuba.

#### **Protección catódica:**

Se emplea para proteger superficies metálicas enterradas tales como tuberías, tanques... Se consigue usando electrodos reactivos y ánodos unidos al circuito eléctrico exterior. Los ánodos metálicos que se corroen, tipo cinc, aluminio y magnesio, en contacto con el hierro o el metal a proteger, producen la corriente eléctrica necesaria. Estos ánodos se renuevan periódicamente ya que se disuelven.

#### **Tratamiento con inhibidores de la corrosión:**

Evitan las condiciones corrosivas del medio en lugar de proteger al metal. Esto se consigue disminuyendo o anulando la velocidad de corrosión. Se usan ciertos productos en cantidades pequeñas que a veces actúan como inhibidores y otras como activadores.

Los pasivantes son oxidantes que reducen fácilmente, tales como los cromatos, nitritos, minio de plomo, oxígeno.

Los inhibidores anódicos actúan formando película. Es el caso de las sales solubles de ácidos inorgánicos que forman compuestos insolubles con el metal. Son ejemplos los aniones tipo fosfatos, silicatos, cromatos y carbonatos.

Los inhibidores catódicos son compuestos metálicos que actúan de forma diversa, según pH y fuerza oxidante del medio ( As, Sb, Hg)

Los inhibidores de absorción son compuestos orgánicos que contienen oxígeno, nitrógeno o azufre; son en general productos de alto peso molecular, con puntos activos que forman películas absorbidas en la superficie y que protegen el metal.

### **Esmaltes y vidriados:**

El esmalte vítreo o de porcelana sirve para hacer resistente al calor, a las manchas y a la corrosión a ciertos metales en especial hierro y acero. Se aplica a bañeras, cocinas de gas y eléctricas, menaje de cocina, depósitos y recipientes de almacenamiento y equipos eléctricos. También se usan en decoración en artículos de vidrio y cerámica y objetos de adorno y joyería. Los materiales empleados son entre otros:

- Refractarios: tipo cuarzo, feldespato y arcilla.
- Fundentes: bórax, ceniza de sosa, nitrato sódico, espatofluor, criolita, carbonatos de bario, magnesio, óxido de plomo y óxido de cinc.
- Colores: óxidos de antimonio, cadmio, cobalto, hierro, níquel, manganeso, selenio, vanadio, uranio y titanio
- Opacificantes: óxidos de antimonio, titanio, estaño y circonio, antimoniato sódico.
- Electrolitos: bórax, ceniza de sosa, carbonato y sulfato de magnesio, nitrito sódico y aluminato sódico.
- Floculantes: arcillas, gomas, alginato amónico, bentonita y sílice coloidal.

El esmaltado vítreo o vidriado consiste en primer lugar en formar la frita o polvo de esmalte, que implica la preparación, fusión y aplicación. Previamente hay que limpiar el producto. Hay varios procedimientos de esmaltado:

- Proceso húmedo
- Proceso en seco; una vez imprimado se calienta y se espolvorea con esmalte tamizado. El esmalte se sinteriza y se lleva al horno para fundir, adquiriendo una superficie suave.
- Pulverización
- Esmaltado decorativo a mano, pincel..
- Inmersión o pulverización para artículos de loza o porcelana

Finalmente los objetos se cuecen en horno o estufa.

### **Metalización:**

Consiste en dar una capa protectora a una superficie desbastada mecánicamente, rociándola con gotas de metal fundido. Se efectúa con pistola de pulverización de mano y el alambre alimenta a un soplete de oxígeno- acetileno, propano o gas natural comprimido.

El alambre se funde formando un arco eléctrico y se inyecta una corriente enérgica de aire que proyecta el metal fundido sobre la pieza a proteger; normalmente suele ser un cincado.

### **Recubrimiento de óxido:**

Ciertos metales forman su propia capa protectora en un medio corrosivo; si éste es el aire los óxidos formados se adhieren bien a la superficie y la hacen impermeable y de buena resistencia mecánica.

Así el aluminio se protege mediante anodizado que se logra por electrólisis actuando la pieza de ánodo y consta de las fases siguientes: oxidación en cuba, fijado y teñido posterior. La electrólisis del agua forma oxígeno naciente que oxida al aluminio y de forma que el electrolito a usar es ácido sulfúrico diluido a unos 20°C.

El fijado se hace en agua a ebullición de forma que el óxido fija una molécula de agua dando una compactación mayor. La coloración con ferrioxalatos de amonio y acetato de cobalto se hace como etapa intermedia de las dos anteriores.

Los procedimientos electrolíticos de mayor aplicación contienen ácido crómico, ácidos sulfúrico y oxálico. Previamente se puede hacer un abrillantado con ácido nítrico o sosa, según se requiera en el acabado.

**Endurecimiento por envejecimiento:**

Se emplea para aleaciones de cobre/aluminio, calentando a unos 180°C y durante una hora.

**Homogeneización:**

Elimina o reduce gran parte de la segregación en productos compactos de polvo metal. Se consigue calentando a 20°C por debajo de la temperatura de fusión durante 2hs. Y enfriando bruscamente.

**Normalizado:**

Similar al recocido completo o de regeneración. Uniformiza las propiedades mecánicas, da mayor tenacidad y resistencia a la carga mecánica.

**Temple isotérmico:**

Es un recocido que se da a la sección transversal del producto que va a estirarse ( alambre de acero de 0,6% de carbono). Se calienta por encima de la temperatura de transformación y después se pasa al horno.

**Endurecimiento por temple y revenido:**

A una aleación de hierro se le da mayor dureza, calentando por encima de la temperatura de transformación y enfriado rápido a temperatura ambiente en aceite, agua o aire. Para incrementar la tenacidad se somete después a un revenido por debajo de la de transformación y se deja enfriar a velocidad determinada.

**Martemple y austemple:**

Son procesos similares pero la pieza se enfría en un baño de sal o plomo a unos 400°C.

**Endurecimiento superficial y cementación:**

Es un tratamiento térmico para aleaciones de hierro que da dureza a la superficie y el núcleo permanece relativamente dúctil. Existen variantes tales como:

- Endurecimiento a la llama
- Endurecimiento por inducción eléctrica
- Cementación
- Nitruración
- Cianuración
- Carbonitruración.

**Imprimación:**

Las imprimaciones se hacen con pinturas orgánicas que mejoran la adhesión de las pinturas que se vayan a aplicar a continuación; además retardan la corrosión en la interfase pintura/metal. Suelen contener resinas, pigmentos, y disolventes y se pueden aplicar sobre metal, previamente preparado, por medio de brocha, pistola, inmersión, recubrimiento con rodillo o por electroforesis

**Recubrimiento con plásticos:**

Se puede aplicar en forma líquida, de polvo, y que después se vulcaniza o sinteriza por calentamiento, o por láminas prefabricadas que se aplican sobre la superficie de un metal con un adhesivo.

Los plásticos pueden ser: polietileno, poliamidas, nylon o PVC. Pueden contener plastificantes. Aunque la mayoría de los plásticos son de baja toxicidad y no son irritantes, algunos plastificantes pueden resultar sensibilizantes cutáneos.

## CAPÍTULO 3: PINTURAS Y BARNICES

### 1. Generalidades

Son preparaciones complejas que al aplicarlas en capas finas sobre una superficie sólida tienen la propiedad de formar una capa continua transformándose, por la evaporación de los disolventes y diluyentes y en ocasiones por reacciones químicas, en una película sólida y adherente.

Las pinturas están constituidas por: aglutinantes, pigmentos, disolventes, diluyentes y aditivos. Los barnices son preparados no pigmentados.

La pintura, se trate de una imprimación o esmalte, se compone principalmente de:

- pigmento
- vehículo fijo o ligante
- vehículo móvil o disolvente

Los dos primeros aparecen en la película de pintura una vez seca.

Los **pigmentos** según su aplicación pueden clasificarse en:

- Anticorrosivos, ya sean por pasivación anódica o catódica o la protección catódica del acero con un elemento menos noble que el hierro.
- Cubrientes u opacos para pinturas de fondo y de acabado
- Acción específica: fungicida, ignífuga...
- Carga o extendedores: no cubrientes y usados para enmatecer o rellenar imprimaciones y capas de fondo.

En general son sustancias sólidas insolubles en el aglutinante y se usan por su elevada opacidad y poder de tinción.

Por su origen se clasifican en naturales y artificiales y por su naturaleza en minerales y orgánicos. Los minerales están compuestos de un óxido o sal metálica de un ácido mineral; los orgánicos por una sal metálica de un ácido orgánico.

Los colorantes son sustancias orgánicas, solubles en el aglutinante y se suelen utilizar para colorear barnices.

El **aglutinante o diluyente** es líquido o sólido, no volátil, y con capacidad de formar una película, y debe ser soluble en ciertos disolventes. También se puede considerar como la fase no volátil (vehículo fijo) de la fase líquida de las pinturas y barnices. Los más usados son:

- aceites secantes
- resinas naturales o sintéticas
- sustancias bituminosas
- sustancias hidrosolubles

Las resinas suelen ser: gliceroftálicas y fenólicas modificadas, de clorocaucho, vinílicas y acrílicas, epoxi o de poliuretano.

El **disolvente o diluyente** es el vehículo volátil que disuelve por completo el ligante. Los tipos más corrientes son:

- Hidrocarburos: alifáticos, aromáticos o terpénicos
- Hidrocarburos clorados
- Alcoholes
- Cetonas, éteres y ésteres.

Los **aditivos** que se añaden al producto en cantidades reducidas vienen a mejorar las condiciones de fabricación, conservación, aplicación o determinadas propiedades específicas. Cabe citar: agentes humectantes, dispersantes, emulsionantes, antipiel, secantes, catalizadores, plastificantes.. .

Las pinturas y barnices que actualmente se usan más pertenecen al grupo de resinas sintéticas y que en atención a su comportamiento frente al calor se clasifican en:

- **TERMOPLÁSTICAS** que pueden modificarse por acción de temperaturas más o menos altas. Estas son: gliceroftálicas, poliacrílicas, poliamídicas, poliuretanos, poliestirenos, polivinílicas.. .
- **TERMOENDURECIDAS**, no se modifican al término de su calentamiento. Estas son: aminoplásticas, fenoplásticas, poliésteres, poliepóxidos.. .

**PROCESO DE FABRICACIÓN DE PINTURAS**

**Fabricación de pinturas**

PROCESO	OPERACION	ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES	MATERIAS PRIMAS	CONTAMINANTES A DETERMINAR
FABRICACION DE PINTURAS	DOSIFICACION Y MECLADO	VERTIDO NATURAL. SACUDIDO DE ENVASES.	FORMADORES DE PELICULA { RESINAS AGLUFINANTES ACEITES	POLVO (PIGMENTOS, COLORANTES, CARGAS, ADITIVOS)  DETERMINACION DE SILICE LIBRE.  VAPORES ORGANICOS EN ALGUNA RESINA ESPECIFICA.
	DOSIFICACION DE LIQUIDOS		PIGMENTOS INORGANICOS COMPUESTOS DE : { CADMIO TITANIO MANGANESO ZINC	
	MOLIENDA Y REFINO		COLORANTES ORGANICOS  CARGAS { CARBORATO CALCICO SILICATO MAGNESICO SULFATO DE BARIO CAOLIN	
	DILACION Y MATIZADO	EVAPORACION DE DISOLVENTES	DISOLVENTES Y DILUYENTES { HIDROCARBUROS ALIFATICOS HIDROCARBUROS AROMATICOS HIDROCARBUROS CLORADOS ALCOHOLES CETONAS ESTERES ETERES GLICOLAS	VAPORES ORGANICOS  CAPTACION ESPECIFICA PARA CADA CONTAMINANTE O GRUPOS DE CONTAMINANTES.
	FILTRADO Y ENVASADO			
LIMPIEZA DE MAQ. DEPOSITOS Y UTENSILIOS	EVAPORACION DE DISOLVENTES + CONTACTO DERMICO		DISOLVENTES Y DILUYENTES : LOS INDICADOS MAS ARRIBA.	VAPORES ORGANICOS

**2. Métodos de trabajo o de aplicación**

La **limpieza** de la superficie es una operación previa a la pintura y puede hacerse por:

- Procedimiento mecánico: decapado manual, martillo neumático, chorreado, granallado, soplete oxiacetilénico.. .
- Químicamente con decapado ácido, álcalis o disolventes.

A continuación la pintura se puede aplicar por cualquiera de los procedimientos siguientes:

- Brocha o rodillo
- Pistola, proyectada en forma de niebla
- Pulverización electrostática; el aerosol de pintura, cargada negativamente, es atraído por la superficie a pintar, conectada a tierra.
- Electroforesis; pintura depositada por electrólisis en la superficie a recubrir.
- Cortina en continuo
- Termopulverización, en forma de polvo sobre la superficie previamente calentada.
- Inmersión; pieza se sumerge en un baño de pintura
- Máquina de rodillo: el rodillo recibe la pintura y la deposita sobre la pieza.

La pulverización requiere de una cabina para su aplicación y sus características dependerán de entre otros factores del volumen de las piezas y la forma de trabajo.

Para piezas pequeñas y medianas se usan **cabinas con cortina de agua**, considerando un recinto cerrado por tres de sus caras, dejando libre la frontal. Suelen tener escotaduras para el paso de las piezas.

Para las piezas grandes, tipo maquinaria o automóviles, hay **cabinas especiales**, dotadas de sobrepresión y foso de agua, con aspiración de aire por descenso.

#### ELEMENTOS AUXILIARES.-

- **Pistolas** : que pueden ser:
  - de baja presión, alimentadas por aire desde el compresor
  - de alta presión ( sin aire), la pintura se comprime y pulveriza
  - A alta temperatura, al vaporizarse el disolvente de tensión de vapor elevada se atomiza la pintura
  - Electrostática; las partículas de pintura se sitúan en un campo eléctrico
  - De doble alimentación, cuando la pintura está formada por dos componentes y se mezclan al aplicarse.

- **Equipo de presión de aire**

Sirve para pulverizar la pintura y consta de: compresor, tuberías de conducción de aire, filtro de línea y reductor de presión.

- **Equipo de bombeo:** Formado por una o dos bombas de baja potencia (3cv).

- **Equipo de ventilación**

Las cabinas de cortina de agua suelen llevar dos ventiladores helicoidales de baja presión y los caudales de extracción dependen de las características de la cabina y del proceso.

- **Instalación eléctrica**

Tubos fluorescentes de luz fría y tapados mediante protectores o plafones. La instalación debe cumplir con el reglamento electrotécnico de baja tensión con iluminación antideflagrante (MIBT026)

- **Mesa giratoria**
- **Hornos y salas de secado**

### 3. Riesgos higiénicos

#### RIESGOS DIRECTOS:

A) Debido a los aglutinantes:

- Resinas naturales son poco o nada tóxicas
- Las resinas son sustancias inertes cuando están polimerizadas.

En caso de incendio la pirólisis puede acarrear graves accidentes por los gases tóxicos que se desprenden. Ciertas resinas pueden provocar irritación ocular, dérmica y respiratoria así como sensibilización respiratoria

B) Debido a los pigmentos:

- Intoxicación por plomo
- Los cromatos pueden producir úlceras y perforación de tabique nasal y las sales de cromo (VI) insoluble cáncer de pulmón. Otros pigmentos como óxidos de titanio, cinc, antimonio, hierro, etc. y cargas de tipo carbonato de bario, sulfato bórico o caolín son en general poco tóxicos.

C) Debido a los disolventes:

- Pueden provocar incendios por su inflamabilidad
- Afectan a la piel y al sistema nervioso central al ser liposolubles
- Alteran el hígado, riñón, médula ósea,

D) Por los aditivos: peróxidos orgánicos, fosfato de ortocresilo, metiletilcetona...

**RIESGOS INDIRECTOS:**

- Mecánicos
- Eléctricos
- Descarga eléctrica en la pintura electrostática, entre la rejilla y los objetos a pintar, bien porque la pieza se descuelgue o por descarga por inducción al tomar un movimiento pendular.
- Explosión del compresor por inflamación de los vapores del aceite o por proximidad con la cabina de pintura
- Inflamación que puede ocurrir al limpiar la ropa de trabajo con aire comprimido.

#### **4. Equipos de protección colectiva e individual**

**Medidas de seguridad en cabinas:**

- Disponer de una cantidad mínima de pintura y envases cerrados
- No usar herramientas de hierro, cerillas o mecheros, ni fumar.
- No realizar operaciones de soldadura
- Mantener un tiempo la ventilación después de acabado el trabajo.
- Disponer de extintor de CO<sub>2</sub> o polvo.
- Desperdicios en recipientes metálicos herméticos.
- Medidas especiales para cabina electrostática, de corte, señalización óptica, resistencia a tierra, contactos indirectos.. .

**Medidas de seguridad en elementos auxiliares:**

- Compresor instalado fuera de la cabina, separado de la pared y con el volante mirando hacia ella. Protección del volante y las correas. Inspección periódica de la válvula.
- Hornos y salas de secado: ventilación suficiente y lugares separados, salvo casos especiales, entre los lugares de aplicación y secado.
- Prohibido realizar el secado en estufas a fuego descubierto o de superficie a temperatura elevada.

**Método de trabajo**

**Protección personal:**

- Vías respiratorias (equipo dependiente del medio con filtro de C.A. o independiente semiautónomo). Mascarilla hasta una concentración doble del V.L.A.
- Protección dérmica: guantes impermeables a los disolventes o cremas.
- Ropa de trabajo incombustible y gorra de tela o lona.

## CAPÍTULO 4: MECANIZADO DE PIEZAS METÁLICAS

### 1. Introducción

Se trata de un conjunto de operaciones de corte con arranque de viruta para modificar la forma y dimensiones de una pieza metálica.

Es un proceso de conformación en frío y es un paso muy frecuente como intermedio entre operaciones de fabricación de piezas semi elaboradas (moldeo, estampación, laminación, etc.) y el montaje final.

Los productos que se adicionan al sistema pieza/herramienta en una operación de mecanizado a fin de lubricar y eliminar el calor producido son líquidos; ambas acciones mejoran el acabado superficial de las piezas y el rendimiento de la operación, prolongando la vida útil de las herramientas.

El mecanizado se realiza con máquinas herramientas (máquinas no portátiles accionadas a motor) confiriéndole a la máquina y a la pieza los movimientos precisos. El útil suele ser una cuchilla y los movimientos pueden ser de translación y de rotación.

Hay otras formas de conformación tales como la electroerosión y la abrasión ultrasónica.

### OPERACIONES DE MECANIZADO Y CORTE.-

Torneado	Taladrado	Mandrinado	Escariado
Refrentado	Avellanado	Roscado	Fresado
Planeado	Ranurado	Brochado	Rectificado
Bruñido	Lapeado	Pulido	Aserrado

Desde 1860 en que se usaban aceites naturales y grasas animales, como tocino y aceite de ballena, para la lubricación de piezas móviles, la tecnología ha desarrollado gran cantidad de ACEITES INDUSTRIALES REFINADOS derivados del petróleo, lubricantes, aceites de corte y grasas. Se han tenido en cuenta una serie de características esenciales, tales como: susceptibilidad de fusión, oxidación y descomposición por exposición al calor y la humedad que pueda generar una máquina de vapor por ejemplo. El primer derivado refinado del petróleo se usó para curtir cuero y hoy en día se emplean modernos aceites y grasas sintéticos con mayor vida útil, cualidades lubricantes superiores y mejor resistencia a los cambios bajo temperaturas y condiciones climáticas variables.

### LUBRICANTES INDUSTRIALES

Las piezas móviles de maquinaria y equipos necesitan lubricación y aunque ésta se logra con materiales secos (teflón o grafito), en el caso de cojinetes de motores eléctricos pequeños, los más usados son los **aceites y grasas**.

Los aceites lubricantes van desde los muy fluidos y transparentes para instrumentos delicados hasta los densos, de aspecto parecido al alquitrán, para engranajes grandes como los de acererías.

Hay aceites específicos para máquinas herramientas de control numérico cuando se necesita gran precisión y tolerancias muy estrictas.

A veces se usan aceites, fluidos o grasas sintéticas o mezclas de aceites sintéticos y derivados del petróleo, si el lubricante tiene que tener una larga vida útil o si va a sufrir condiciones extremas de presión y temperatura o es difícil la renovación del lubricante.

En la industria aeroespacial se exige a los aceites limpieza, durabilidad, resistencia a la radiación cósmica y que sean aptos para trabajar a temperaturas extremas, altas o bajas, en



ausencia de gravedad o vacío. Además en transmisiones, turbinas y sistemas hidráulicos deben transferir fuerza o potencia y deben ser viscosos, de estabilidad térmica elevada, larga vida útil, resistentes a formar sedimentos, de alta lubricación, anti espumantes, protectores frente al óxido y desemulsionantes.

### **ACEITES PARA MOTORES DE AUTOMÓVIL**

Estos aceites se someten a unos ensayos de rendimiento tales como de estabilidad química y térmica, resistencia a la corrosión, viscosidad, protección al desgaste, lubricidad, detergencia y rendimiento a alta y baja temperaturas.

Después se clasifican según un sistema de códigos para que los usuarios conozcan sus prestaciones.

Así los aceites para motores, transmisiones y cajas de cambio tienen índices de viscosidad altos que soportan bien los cambios de temperatura y resisten la descomposición por efectos de alta temperatura en los motores de combustión interna. No son muy densos pero no deben perder la viscosidad cuando el motor se calienta al funcionar. También deben soportar la acumulación de carbonilla en válvulas, segmentos y cilindros y a la formación de ácidos o depósitos corrosivos a causa de la humedad. Además deben contener detergentes y así mantener en suspensión carbonilla y partículas metálicas y que se puedan eliminar por filtración al circular el aire.

### **FLUIDOS DE CORTE**

Pueden ser aceites minerales, aceites solubles y fluidos sintéticos.

Los aceites minerales son una mezcla de alta calidad y estabilidad, con distintas viscosidades y de características específicas según el material a mecanizar y el trabajo a realizar.

Los solubles en agua son aceites minerales o sintéticos que contienen emulsionantes y aditivos tipo antiespumantes, anticorrosión, detergentes, bactericidas y germicidas, y antes de usarse se diluyen en agua.

Los fluidos de corte sintéticos no son derivados del petróleo y se disuelven en agua con ciertos aditivos. Los semisintéticos contienen de 10-15% de aceite mineral. Algunos tienen características de lubricante y de fluido de corte por la tendencia a sufrir fugas y entremezclarse en ciertas máquinas herramientas.

Las características dependen de la composición del metal, de la herramienta, tipo de operación de corte, cepillado o de conformación. Los fluidos de corte vienen a mejorar y favorecer el proceso de mecanizado mediante refrigeración y lubricación.

### **OTROS ACEITES DE MECANIZADO Y DE PROCESO**

Los fluidos de rectificado dan refrigeración y evitan acumulación de limaduras metálicas. Presentan estabilidad térmica y química, protegen frente al óxido, previenen la formación de gomas por evaporación y tienen un punto de inflamabilidad seguro.

Los aceites de temple son muy estables. El temple en aceite ligero sirve para cementar piezas de acero pequeñas y baratas. Para aceros de gran dureza exterior y menor resistencia externa el temple es más lento. En los aceros aleados y los ricos al carbono el temple se realiza en discontinuo o por fases.

Los aceites de laminación son minerales que lubrican y dan un acabado suave al metal (aluminio, cobre, latón) cuando pasa por los trenes en caliente o en frío.

Los aceites de desmoldeo sirven para recubrir moldes y troqueles y facilitar la extracción de piezas metálicas conformadas.

Los aceites curtientes se usan en fabricación de fieltro y cuero.

Los aceites para transformadores son fluidos dieléctricos que también se usan en disyuntores e interruptores eléctricos.

Los aceites de transferencia térmica se usan en sistemas abiertos o cerrados y presentan estabilidad térmica, resistencia a la oxidación y temperaturas de inflamación altas. Son muy viscosos y hay que calentarlos para darles fluidez.

Los disolventes derivados del petróleo sirven para limpiar piezas por rociado, lavado o inmersión. Eliminan aceite y emulsionan la suciedad y las partículas metálicas.

Los aceites anticorrosivos pueden ser de base disolvente o acuosa y se aplican a rollos de chapa de acero inoxidable, cojinetes y otros componentes por inmersión o rociado en superficie dejando una película de parafina que protege de huellas de dedos y de la oxidación y al tiempo repele al agua.

## GRASAS

Es una mezcla de líquidos, espesantes y aditivos, para lubricar piezas y equipos que no pueden hacerse estancos, y así retener el aceite. Se aplican a cojinetes en motores de aviones a reacción y engranajes de laminaciones en caliente. Resisten al lavado con ácidos o agua y la fricción producida por los rodamientos de rodillos de las ruedas de los vagones de ferrocarril.

Las grasas son mezclas de jabones metálicos y aceite lubricante; también las hay sintéticas. Sus características dependen del líquido, elemento metálico, jabón y aditivos para mejora del rendimiento y estabilidad y reducir la fricción.

Hay aditivos para presiones extremas con compuestos de azufre metálicos no corrosivos, anticorrosivos y antioxidantes y ácidos grasos que dan lubricidad, adherencia, coloración e inhibidores del agua. Algunos contienen cargas de grafito o molibdeno para recubrir piezas metálicas y les dan lubricación si la grasa se ha acabado o descompuesto.

## 2. Clasificación de los fluidos de corte

- ACEITES DE CORTE: aceites minerales de punto de destilación superior a 300° C a base de hidrocarburos alifáticos, nafténicos y aromáticos pesados.
- TALADRINAS (ACUOSOS): son emulsiones sintéticas o semi sintéticas y que pueden contener o no aceites minerales hasta un 60-80 %, aunque en su aplicación no va más allá del 5-10%. Presentan pH básico y los sintéticos son disoluciones de sales minerales o más complejas.

Los aceites minerales son una mezcla de alta calidad y estabilidad, con distintas características específicas, según material a mecanizar y el trabajo a realizar, viscosidad, aditivos etc.

Los aceites solubles en agua son minerales o sintéticos que contienen emulsionantes y otros aditivos como espumantes, anticorrosivos, detergentes, bactericidas y germicidas. Antes de usarlos se diluyen con agua.

Los sintéticos no son derivados del petróleo y están disueltos en agua con ciertos aditivos.

Los semi sintéticos contienen de 10-15% de aceite mineral.. Algunos tienen características de lubricante y de fluidos de corte por la tendencia a sufrir fugas y entremezclarse en ciertas máquinas herramientas como por ejemplo en roscadoras de varios ejes. Las especificaciones dependerán de la composición del metal, de la herramienta, del tipo de operación de corte, cepillado o conformación.

## 3. Composición de los aditivos de los fluidos de corte

- ADITIVOS DE MEDIA Y EXTREMA PRESIÓN: dan gran adherencia sobre las dos superficies, reduciendo su fricción. En los de extrema presión hay reacción química y se produce un derivado metálico que hace la lubricación.

Los de media presión son productos grasos, triglicéridos de origen animal o vegetal (aceites de colza o de ricino).

Los de extrema presión pueden ser: clorados (parafinas cloradas), sulfurados (parafinas y grasas animales o vegetales poli-sulfuradas, activos si el azufre está en forma elemental o inactivos si es polisulfuro), fosforados (alquilarilo dialquilditio-fosfatos de Zn, Mn o W), y otros como los jabones de plomo tipo naftenato, derivados halogenados (naftalenos y PBCs), fosforados (triotocresilfosfato).

Pueden ser compuestos sulfurados grasos no corrosivos que dan recubrimiento a ciertas piezas cuando el aceite pierde sus propiedades o se expulsa por aplastamiento.

Mientras que los clorados sirven hasta 300-400° C los sulfurados alcanzan los 700 e incluso más.

- **EMULSIONANTES:**

Mantienen la dispersión en agua de la fracción lipofílica y pueden ser iónicos y no iónicos.

- Iónicos: sulfonaftato sódico, que se disocia en agua y se establece un equilibrio electrostático entre los iones de sodio liberados y los aniones del grupo lipófilo produciendo la dispersión. Otros son los oleatos de metales alcalinos o de la colofonia.

- No iónicos: moléculas con parte no polar o hidrofóbica y afinidad por la fracción lipófila y de otra polar que se asocia al agua formando emulsión.

Estas son: aminas y amidas grasas, alquilglicoles, alcoholes y alquilfenoles oxialquilenados de buenas propiedades humectantes.

- **ANTIOXIDANTES E INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN:**

Impiden los efectos de oxidación y corrosión. Éstos son el nitrito sódico, di y trietanol amina..

- **BACTERICIDAS:**

Las materias orgánicas pueden dar lugar a poblaciones microbianas. Se usan bencisotiazolona, Grotan BK que libera formaldehído en el agua, etc.

Prolongan la vida útil, reducen olores y evitan dermatitis.

- **ANTIESPUMANTES:**

Son de tipo siliconas que controlan la espuma formada en el mecanizado reduciendo la tensión superficial y eliminan el aire que se introduce en el aceite por las bombas y compresores.

- **OTROS:**

Antidesgaste (compuestos polares que dan una barrera física protectora si la película de aceite no es suficiente), colorantes (facilitan su reconocimiento), aromatizantes, quelantes, correctores de viscosidad, desemulsionantes (separan el aceite del agua y evitan las gomas), etc.

#### **4. Identificación de riesgos higiénicos**

##### **A) Vías de entrada:**

- contacto de brazos y manos con líquidos
- salpicaduras de líquidos cuando impactan con piezas en movimiento
- nieblas o aerosoles favorecidos por el calor
- contacto prolongado con ropa de trabajo sucia

##### **B) Otros aspectos a tener en cuenta para la Prevención:**

- si el aceite procede de petróleo y no es refinado puede contener HPA
- ciertos aditivos clorados que disminuyen la fricción en mecanizados de extrema presión pueden ocasionar sensibilización
- ciertos bactericidas liberan fomaldehído
- inhibidores de la corrosión, tipo nitritos y alcanolaminas, reaccionan liberando nitrosoaminas.
- Las taladrinas pueden generar colonias bacterianas.
- Operaciones de mecanizado generan partículas metálicas.
- Los fluidos sintéticos que sustituyen a los aceites minerales están constituidos por poli-alfa-olefinas y polibutenos que no requieren el refinado de fracciones del petróleo.

El futuro está en el uso de los fluidos neosintéticos compuestos de glicoles y ésteres sintéticos disueltos en agua. Sus ventajas son: refrigeración y lubricación similar a los aceites, baja toxicidad y biodegradabilidad. Diluidos sirven como fluidos de corte y concentrados como hidráulicos.

## RESUMEN

Los fluidos de corte son líquidos que por rociado sobre la parte activa de la herramienta **lubrica y refrigera** lo que facilita y mejora la operación, la duración del útil y la producción.

Se pueden clasificar en **fluidos aceitosos y fluidos acuosos o taladrinas**, como emulsiones sintéticas o semi sintéticas, formadas por poli alfa olefinas y poli butenos, y que al estar exentos de HPA se espera no sean cancerígenos.

Los aceites minerales son de origen petrolífero por destilación al vacío. Se evalúan por su viscosidad y punto de ebullición. Suelen procesarse para su refinado, desparafinándolos, mejorando su resistencia a la oxidación, índice de viscosidad, punto de congelación y apariencia.

El aceite usado se regenera después de una decantación y filtración, y se trata para antiniebla con aditivo de coalescencia para reagrupar las partículas finas.

Los aceites solubles contienen aceite mineral, jabón, sustancias volátiles e inhibidores que impiden el enranciamiento. Los insolubles contienen aceites minerales y grasos, productos que con azufre y cloro en pequeña cantidad e inhibidores.

La posible presencia de nitrosoaminas en los fluidos de corte está originada por las aminas y agentes nitrosantes, tipo nitritos, etc. En este sentido cabe decir que las aminas primarias son más resistentes a la formación de nitrosoaminas.

También se debe evitar el uso de formaldehído y de complejos metálicos ya que catalizan la formación de aquéllas. El nítrito se puede sustituir por derivados bóricos de ácidos carboxílicos. En lo posible hay que: evitar que el aceite se enrancie, prestar atención a los desinfectantes de los inhibidores, las partículas de acero y vigilar la acidez y alcalinidad del fluido.

Las aplicaciones industriales típicas son el mecanizado de piezas como fluidos de corte (taladrado, fresado y torno o troquelado en prensas) y operaciones de temple, como protector mecánico, como aislantes eléctricos, etc.

En su aplicación se puede presentar como aerosol (suspensión en aire de partículas sólidas o líquidas) o nieblas de aceite (dispersión mecánica o cambio de estado por recondensación de gotas de la fracción de aceite vaporizado por las altas temperaturas).

Los aceites minerales suelen ser irritantes de la piel por disolución de la capa grasa protectora y pueden albergar población bacteriana y que por efectos del calor y otros factores pueden producir dermatitis irritativa. Los aceites insolubles provocan foliculitis y pueden ocasionar cambios en la pigmentación de la piel.

Así los riesgos además del peligro de resbalones y caídas son las afecciones alérgicas- "botón de aceite"- con incidencia especial en pieles velludas o grasientas, y las dermatitis eczematosa por contacto, el acné por cloro, la queratosis y el cáncer de piel en células escamosas y la melanosis de aceite. Además las nieblas de aceite pueden causar un riesgo pulmonar.

## CAPÍTULO 5: SOLDADURA

### 1. Introducción

**SOLDADURA** es la unión rígida y estanca de elementos metálicos según dos principios fundamentales:

- Interposición en la superficie, como junta o unión, de una aleación o metal fusible que forme cuerpo con ellos
- Provocando la fusión, y consolidación posterior, de las partes de contacto.

Existen más de 80 tipos de soldadura y procesos relacionados que se usan en la industria, si se consideran corte, soldadura y tratamiento térmico de superficies metálicas.

Las fuentes de calor más usadas son: ARCO ELÉCTRICO ( soldadura eléctrica al arco) y la COMBUSTIÓN DE ACETILENO Y OXÍGENO mediante soplete (oxiacetilénica u oxicorte).

### SOLDADURA ELÉCTRICA AL ARCO

El calor se produce a partir de un arco eléctrico creado entre el electrodo de soldadura y el metal a soldar. La fusión metálica también se puede conseguir por el arco entre dos electrodos o incluso directamente entre piezas. Es la soldadura más frecuente y presenta numerosas variantes según el tipo de electrodo, fundente, gas de protección, etc.

En el proceso al arco el electrodo se funde por efecto de la corriente eléctrica y formar así una masa fundida en el metal base. Por efecto del calor el metal base también se funde y así se unen las superficies una vez enfriadas.

Los electrodos se comercializan en forma de barras o alambre al desnudo o recubiertos de material fundente más o menos pesado. A veces se emplea un recubrimiento de cobre sobre el material de relleno que conforma el electrodo, y que sustituye al fundente para prevenir la oxidación antes de su empleo.

El material fundente está constituido principalmente por: asbestos, feldespato, compuestos fluorados, mica, ciertas formas de talco, dióxido de titanio, carbonatos cálcico y magnésico, e incluso varias formas de alúmina, y previenen de óxidos u otras sustancias o las retiran de la soldadura.

Estos compuestos cumplen diversas funciones:

- **Generación de gases protectores:** evitan la penetración del aire
- **Producción de escoria:** evitan la formación de óxidos de nitrógeno, controlan la velocidad de enfriamiento y eliminan óxidos perjudiciales.
- **Sustancias aislantes:** mejoran las propiedades físicas.
- **Aglutinante:** proporcionan una cubierta resistente al electrodo.

La soldadura al arco protegido con gas inerte o soldadura al arco de plasma son variantes de la soldadura eléctrica donde el gas inerte previene del oxígeno y de sustancias químicas activas en la zona de reacción con el metal caliente. Esto se logra mediante flujo gaseoso o polvo, revestimiento de electrodo, escoria o soldadura al vacío.

Las atmósferas protegidas con gas inerte emplean helio, argón o dióxido de carbono.

A) Con ELECTRODO RECUBIERTO: la varilla consta de un alma metálica (electrodo consumible) rodeada de un revestimiento que aísla eléctricamente al metal (evitando cebaduras en la paredes) y con la ventaja de ionizar la atmósfera (arco estable y que permite el uso de corriente alterna), proteger el metal de fusión contra la oxidación y producir una escoria que retrase la solidificación del metal y preservar contra las radiaciones; el revestimiento puede ser:

- Oxidante: óxido de hierro con o sin óxido de manganeso
- Neutro: óxidos de hierro, manganeso y hierro/manganeso
- Ácidos: contienen sílice
- Básico: carbonato cálcico u otros carbonatos básicos, espatofluor.
- Celulósico: celulosa y materias orgánicas

- Rutilo orgánico e inorgánico: rutilo y otros derivados del óxido de titanio

El electrodo se fija sobre una pinza porta electrodos de mango aislado; la soldadura se puede hacer por medio de un gas protector que evite la acción de los gases del aire.

La contaminación del ambiente será según:

- La intensidad de la fuente de calor(arco)
- Volatilización de los metales fundidos
- Fusión y volatilización de los recubrimientos de los electrodos
- Combustión de las sustancias que recubren el material a soldar.

A su vez el grado de contaminación dependerá de:

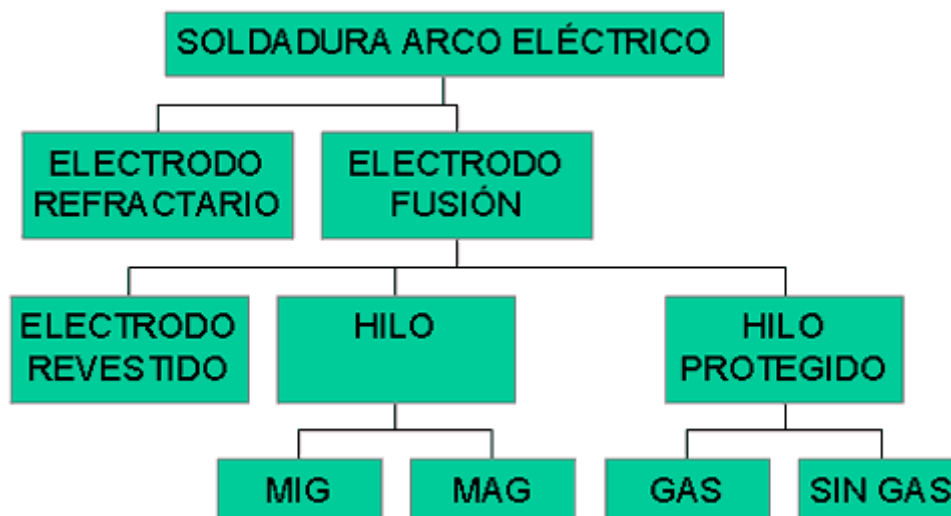
- Número de electrodos consumidos: velocidad de fusión, diámetro y cantidad de superficie a soldar.
- Densidad de corriente utilizada
- Humedad del revestimiento del electrodo
- Ventilación del local
- Revestimiento del local de base
- Tipo de metal a soldar

La soldadura por arco sumergido se efectúa entre un electrodo desnudo y la pieza a soldar. El arco está protegido por una masa de material fundente que se funde en el punto de la soldadura, de forma que no hay evidencia visible de que la corriente pase entre el electrodo y la pieza a soldar. Hay una emisión de humos menor que en las anteriormente descritas

B) GAS PROTECTOR (hilo):

- TIG (tungsteno- gas inerte): el arco se forma entre la pieza y el electrodo refractario de tungsteno o tungsteno toriado; el gas argón se extiende por un círculo concéntrico al electrodo que lo rodea, y se emite una cantidad considerable de radiación ultravioleta y de gases nitrosos.
- MIG ( metal- gas inerte): el arco se produce directamente entre el hilo de aporte fusible, y que avanza continuamente, y el metal de base. La emisión de UV es considerable en aleaciones ligeras y el problema se agrava al ser el baño de fusión y el entorno reflectantes. Además se producen gases nitrosos y ozono en concentración considerable.
- MAG (metal- gas activo): similar al anterior pero usando CO<sub>2</sub> o mezcla de éste y argón.

Esquema: principales procedimientos de soldadura eléctrica al arco.



## SOLDADURA POR PLASMA

Es semejante a la TIG y el calor lo produce un plasma creado entre el electrodo no consumible y el metal base; los niveles de radiación UV y de ruido son considerables.

## SOLDADURA OXIGAS ( ACETILÉNICA)

El calor procede de la combustión de un gas ( acetileno, metano) en presencia de oxígeno o aire y con un soplete manual, y que provoca la fusión del metal de base sin necesidad de electrodo; no obstante y si es necesario se puede aportar un metal extra como relleno de la soldadura siendo su composición similar al de base.

Los riesgos higiénicos son: falta de oxígeno en el aire, CO, gases nitrosos, fugas de acetileno, gases que proceden de los fundentes y humos metálicos.

La mezcla de gases puede ser:

- **aire + gas natural** que alcanza los 2700°C
- **aire + acetileno** hasta 2000°C
- **oxígeno + acetileno** hasta los 3100°C
- **oxígeno + hidrógeno** hasta los 3000°C
- Con otros gases como propano, butano..

## SOLDADURA DE RESISTENCIA

Es un proceso en el que las piezas de metal a soldar se presionan juntas y haciendo pasar una corriente eléctrica a su través se consigue tal temperatura en el punto de contacto que funde el metal.

Las hay de dos tipos:

- Por puntos, de costura o en proyección. Se suelen aplicar en piezas mecanizadas y los electrodos son de cobre y sus aleaciones.
- Instantánea o de "flash": a resistencia o por presión.

Los riesgos higiénicos son: humos y polvo metálico.

## SOLDADURAS FUERTE Y BLANDA

Se trata de la unión de piezas metálicas sin que participen en la unión ya que tiene lugar a una temperatura de trabajo superior a la de fusión de éstos, y en la que el material de aporte está en estado líquido.

Sí la temperatura de fusión es inferior a 450° C se la denomina SOLDADURA BLANDA y sí es superior, de hasta 600-700° C, se la llama SOLDADURA FUERTE. Este último caso es el de la plata que en aleaciones ternarias ( plata, cobre cinc) ó cuaternarias (plata, cobre, cinc y cadmio) y en las que el cadmio permite rebajar la temperatura de fusión y trabajar a 600-700° C. A estas temperaturas se generan principalmente humos de óxido de cadmio.

La soldadura fuerte se efectúa sobre acero (inoxidable, al carbono..), cobre y sus compuestos, metales preciosos y en aleaciones duras como las de carburo de tungsteno.

El material de relleno puede ser alambre, punta, hilo, pasta, polvo, o placa y hay que emplear fundente a menos que se realice el vacío, dado que la oxidación de la zona de soldadura puede provocar una debilitación de ésta.

Los ingredientes más usuales son: boratos, fluoruros, cloruros, ácidos bórico y calcinado o álcalis y agua (bien de hidratación o añadida a la pasta de los fundentes).

En la soldadura fuerte el calor necesario se produce por soplete, inducción, baño, resistencia o soldadores eléctricos manuales.

De entre las aplicaciones industriales cabe destacar:

- ensamblado de piezas de cobre y hierro (tuberías, grifos, sanitarios, electrodomésticos, rotores de motor, intercambiadores de calor o de frío, refrigeración, conexiones eléctricas)
- metales preciosos: relojería y joyería
- aleaciones duras: en herramientas
- aceros inoxidable : en mecánica fina, herramientas, accesorios de automóvil, industria alimentaria, cuchillería, aparatos para la industria química, recipientes y relojería.

### **CORTE TÉRMICO-OXICORTE**

Es un corte del metal por fusión y puede ser de dos varios tipos: con oxígeno, mediante plasma y al arco.

El primero se hace sobre aceros que contienen poco cromo, al manganeso o al carbono; cuando el metal está calentado y expuesto a oxígeno se oxida y funde. El corte con llama acetilénica, de hidrógeno, gas natural o propano da calor suficiente para vaporizar y separar el metal.

El corte con plasma se basa en establecer un arco de temperatura muy elevada y de gran velocidad entre el electrodo que se encuentra en el soplete y la pieza a cortar.

Los riesgos higiénicos son: ozono y gases nitrosos, humos metálicos, ruido y radiación UV y productos de descomposición por acción de ésta sobre hidrocarburos clorados que pueda haber en la zona.

El corte con arco se emplea para metales no féreos, tipo acero no oxidable o de alto contenido en cromo o tungsteno.

## **2. Factores a tener en cuenta para la evaluación de riesgos en un puesto de soldadura**

### **Soldadura:**

- El procedimiento usado y posibilidades de cambiar .
- metal de aporte
- parámetros de la soldadura
- naturaleza de la operación
- gas de protección y/o inerte

### **Piezas:**

- Dimensiones
- Peso
- Importancia de la serie
- Revestimiento de la superficie (aceite, pintura, grasa).

### **Soldador:**

- Cualificación
- Ritmo de trabajo
- Posiciones de la soldadura
- Desplazamiento alrededor de la pieza.

### **Puesto de trabajo:**

- Situación respecto de los elementos que constituyen el local
- Alimentación de piezas antes y después de la operación.
- Presencia de dispositivos d situación
- Presencia de dispositivos anexos ( precalentamiento de las piezas).
- Trabajos contiguos que requieren de ventilación.



### 3. Factores que influyen en la emisión y composición de los humos de soldadura

- Procedimiento de soldadura
- Diámetro del electrodo o hilo
- Composición del revestimiento así como espesor del electrodo, o flujo de gas en el protegido
- Composición del hilo o electrodo
- Parámetros de la soldadura: intensidad, tensión, extensión del arco, velocidad de desplazamiento
- Factor de marcha de la instalación (cociente de tiempos efectivo de soldadura y total de trabajo)
- Posición de la soldadura: horizontal, en ángulo, vertical montante.
- Caudal y composición del gas protector
- Composición del metal de base y el calentado previo.
- Presencia de revestimientos ( contienen cinc, plomo, cadmio, etc.) o de contaminantes sobre el metal de base (sales, grasa, restos de disolventes).



#### Esquema: riesgos higiénicos por humos de soldadura

### 4. Riesgos específicos en soldadura

- RIESGO ELÉCTRICO
- RIESGO DE INCENDIO O EXPLOSIÓN
- QUEMADURAS POR CONTACTO, PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS INCANDESCENTES, etc.
- RIESGOS HIGIÉNICOS:
  - GASES: **ozono, óxidos de nitrógeno, óxido de carbono, etc.**
  - HUMOS METÁLICOS: **HIERRO, MANGANESO, CROMO, NIQUEL, CADMIO, CINCO, COBRE, ESTAÑO Y FLUORUROS, SÍLICE AMORFA, FORMALDEHIDO.** Dependen del material de base, del estado de la superficie, del electrodo, su recubrimiento, tipo de atmósfera de trabajo y de las características propias del proceso.
  - RADIACIÓN ULTRAVIOLETA
  - RUIDO Y MICROCLIMA

#### FACTORES QUE HAY QUE TENER EN CUENTA:

- Fuentes de calor ya que a temperaturas elevadas se combina el nitrógeno y oxígeno del aire dando lugar a óxidos e incluso a ozono
- Volatilización de metales fundidos y metales de aporte
- Fusión y volatilidad de los fundentes y revestimiento del electrodo.
- Combustión de productos que recubren los metales sobre los que actúa
- Impurezas de carburo cálcico para la producción de acetileno y que se puede generar amoniaco y fosgeno.

### 5. Métodos de control técnico en operaciones de soldadura

1. Cabina de soldadura
2. Ventilación localizada en puesto fijo
3. Ventilación localizada en puesto móvil
4. Aspiración acoplada al útil
5. Ventilación general
6. Protección personal, en especial en trabajos en espacios confinados.

Las extracciones localizadas pueden ser:

- CABINAS O MESAS DE ASPIRACIÓN: sin que requiera ajustes o cambios en la colocación por parte del trabajador
- MÓVILES U ORIENTABLES: que requieren la intervención del operario

NOTA: No se recomienda el uso de campanas de bóveda o de techo en el caso de humos y gases de soldadura

## **CAPÍTULO 6: OPERACIONES CON DESPRENDIMIENTO DE POLVO**

### **1. Introducción**

Son muchas las actividades industriales que desprenden altas cantidades de polvo si no se toman las medidas de control pertinentes. A continuación se citan algunas de éstas:

- Fábricas de abonos y fertilizantes
- Industria cerámica
- Tierras de diatomeas
- Textil: algodón, lana, fibra sintética...
- Industria auxiliar de la construcción
- Industrias auxiliares varias: recubrimientos térmicos y acústicos, limpieza con abrasivos, etc.
- Madera: fabricación de muebles
- Alimentación: piensos, harinas...
- Fundiciones férreas y no férreas.

### **2. Procesos, operaciones o maquinaria que producen polvo:**

- TAMIZADO: separación de materiales en fracciones de tamaño diferentes (vías seca y húmeda). Se clasifican en: fijos, vibratorios, oscilantes, de vaivén y rotatorios.
- REDUCCIÓN MECÁNICA DE TAMAÑO: solo la última fase se puede realizar en fase húmeda.
- MANIPULACIÓN DE SÓLIDOS: máquinas automotoras que transportan a distancias cortas o instalaciones fijas.
- AUTOMOTORAS: carretillas eléctricas o a gasolina, palas mecánicas, grúas-puente..
- FIJAS: transportadoras de tornillos, resquetas, redlers o de bandas, elevadores de cangilones

### **3. Riesgos higiénicos**

#### **Operaciones:**

- Fraccionamiento de fertilizantes
- Cribado y tamizado
- Transferencia
- Producción
- Acondicionamiento y des acondicionamiento (ensacado/ desensacado).

El riesgo químico depende de:

- naturaleza, toxicidad y concentración
- granulometría
- comportamiento de las partículas en la atmósfera
- metrología
- ventilación y renovación de aire
- características de las instalaciones.

A veces el material pulverulento se comporta más como líquido (harinas...) y en el caso de granos o fragmentos más gruesos que por acción mecánica, por frotamiento o por choques se reducen a polvo.

El polvo se puede originar a consecuencia de una operación industrial (molienda, pulido...) o por acción de otro sólido.

La **granulometría** caracteriza el tamaño y el porcentaje según clase.

El método de conteo puede ser óptico o microscópico. En tamizado se usan módulos de fineza y la dimensión de las mallas se define según normas.

**Comportamiento de partículas en la atmósfera:** se considera una partícula sólida si tiene un diámetro aerodinámico máximo de 100  $\mu\text{m}$ . Le corresponde una velocidad límite de caída, en aire inmóvil y en condiciones normales de presión y de temperatura, de 0,25 m/s.

En higiene industrial se diferencia **polvo total** (fracción máxima recogida), **fracción inhalable** (inspirable), o inhalable por nariz o boca, que incluye las más gruesas de 50-100  $\mu\text{m}$ ., y **fracción respirable** o alveolar y en la que la penetración decrece con el aumento de tamaño hasta las 10  $\mu\text{m}$ . y un depósito máximo a los 3  $\mu\text{m}$ .

Los efectos por inhalación pueden ser: irritantes, tóxicos, fibrógenos, sensibilizantes o patógenos, tanto por nocividad específica como por sobrecarga pulmonar.

Algunas partículas pueden incorporar por adsorción de vectores de agentes patógenos (microorganismos), líquidos o gases.

#### Riesgo de incendio o explosión

Las atmósferas suelen hacerse antes irrespirables que explosivas.

Algunas operaciones como paletizado o carga/descarga pueden generar atmósferas explosivas si el tamaño de partícula es inferior a 200  $\mu\text{m}$ . Se depositan en capas y se ponen en suspensión por el movimiento de aire o equipos no estancos tales como trituradoras, tamices, secadoras o cintas transportadoras. También es potencialmente explosivo el polvo de: carbón, azufre, materias primas orgánicas (harina, leche, azúcar, almidón, cereal, madera...), plástico y metales.

La concentración mínima necesaria para que sea explosiva suele ser de 20-100  $\text{g}/\text{m}^3$  y puede llegar incluso a 1  $\text{kg}/\text{m}^3$  y depende de otros factores como el tamaño de grano, energía de la fuente de inflamación, etc.

#### 4. Medidas preventivas:

- Estanqueidad de equipos y máquinas
- Captación en la fuente por vías seca y húmeda
- Superficie del local limpia de depósito
- No generando polvo en el mantenimiento y en la manutención del proceso
- Evitando la acumulación de carga eléctrica en aparatos. conexión a tierra de equipos y unión equipotencial entre ellos
- Equipos e instalaciones para tratamiento de material pulverulento.

Métodos de protección colectiva e individual

Actuación sobre el **foco** de emisión y **medio** de dispersión:

- **Sustitución:** por ejemplo muela abrasiva de alto contenido en sílice por otra de esméril.
- **Modificación del proceso:** cambiando el procedimiento de manipulación y transporte.
- **Encerramiento o aislamiento** del proceso u operación.
- **Métodos húmedos.**
- **Extracción localizada**
- **Mantenimiento:** sustituyendo una carcasa rota de un elevador de cangilones o solucionando los encerramientos defectuosos en la caída de material a una tolva...
- **Limpieza:** retirando el polvo depositado en el suelo por la causa que sea.

A la **protección individual** hay que recurrir como última medida y cuando no sean posibles otros métodos de protección colectiva.

## **CAPÍTULO 7: GASES COMPRIMIDOS: MANIPULACION, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE**

### **1. Introducción**

Los gases comprimidos y, en especial, el aire, son indispensables en la industria actual y también se emplean con fines médicos, para producción de aguas minerales, en prácticas de buceo y actividades relacionadas con vehículos de motor.

Se consideran gases y aire comprimido si tienen una presión barométrica que supere 1,47 bar o licuados si están por encima de 2,94 bar; es decir, no se considera como tal la distribución de gas ciudad.

Gases que suelen presentarse en forma comprimida:

- Acetileno \*
- Hidrógeno \*
- Amoníaco \*
- Cloruro de hidrógeno
- Butano \*
- Cianuro de hidrógeno \*
- Dióxido de carbono
- Metano \*
- Monóxido de carbono \*
- Metilamina \*
- Cloro
- Neón
- Clorodifluormetano
- Nitrógeno
- Cloroetano \*
- Dióxido de nitrógeno
- Clorometano \*
- Oxido nitroso
- Clorotetrafluor etano
- Oxígeno
- Cloropropano \*
- Fosgeno
- Diclorodifluor metano
- Propano \*
- Etano \*
- Propileno \*
- Etileno \*
- Dióxido de azufre
- Helio

(\*) Son gases inflamables.

Estos gases, en general, son irritantes y asfixiantes por lo que presentan una toxicidad alta para el sistema respiratorio y además son algunos inflamables y explosivos si se comprimen. La identificación de éstos se hace por bandas o etiquetas de color que indican el riesgo que presentan. Algunos gases en particular, como p.e. el cianuro de hidrógeno, reciben un marcado especial.

Los recipientes que los contienen están contruidos con un nivel elevado de seguridad, cumpliendo con los requisitos establecidos para tal fin. No obstante, un mal uso puede

provocar accidentes graves, por lo que se recomienda un manejo correcto, así como extremar los cuidados en el transporte, almacenamiento o, incluso, en la eliminación de estos recipientes o botellas.

## 2. Características y producción

Los gases se introducen en forma líquida o a alta presión en recipientes o botellas, según sus características. Para licuar éstos, deberán enfriarse por debajo de su temperatura crítica y someterlos a una presión adecuada, necesitando menos presión cuanto más se reduce la temperatura por debajo de la temperatura crítica.

Teniendo en cuenta las propiedades de algunos de los gases, deberán tomarse algunas precauciones, como en los ejemplos siguientes:

**Acetileno:** puede reaccionar peligrosamente con el cobre o cuando está en contacto con aleaciones que contengan más del 66% de este metal. Normalmente, se suministra en recipientes de acero de 14,7 a 16,8 bar.

**Amoniaco:** tiene una fuerte acción corrosiva sobre el cobre, utilizándose también en botellas de acero y aleaciones autorizadas.

**Cloro:** solo reacciona con el cobre y con el acero en presencia de agua, por lo que deberán mantenerse los recipientes de almacenamiento que lo contengan fuera de contacto con la humedad.

**Fluor:** aunque reacciona fácilmente con la mayoría de los metales, tiende a formar un revestimiento protector, como en el caso del cobre, donde una capa de fluoruro de cobre sobre el metal le protege de un posterior ataque por parte del gas.

**Dióxido de carbono:** licúa fácilmente a 15 °C y a presión aproximada de 14,7 bar. Tiene muchas aplicaciones comerciales y debe mantenerse en botellas de acero.

**Gases de hidrocarburos:** entre los que se encuentran los **gases licuados del petróleo (LPG)** que son una mezcla de **butano** (alrededor del 62%) y **propano** (alrededor del 36%). No son corrosivos y se suministran en bombonas de acero y otros recipientes a presión.

**Metano:** por ser muy inflamable, se suele entregar en bombonas de acero a presión.

## 3. Riesgos

### Almacenamiento y transporte

En los depósitos de llenado, almacenamiento y envío, las medidas de seguridad deberán tomarse tanto en el lugar como en su entorno. Las salas de bombas, la maquinaria de llenado, etc. estarán situadas en edificios piroresistentes con techos de construcción ligera. Las puertas y otros sistemas de cierre abrirán hacia afuera del edificio. Las instalaciones, que contarán con salida de seguridad, estarán ventiladas y con un sistema de alumbrado de interruptores eléctricos antideflagrantes.

Los gases comprimidos se almacenarán en espacios abiertos sólo si están debidamente protegidos de la intemperie y de la luz del sol directa. Las zonas de almacenamiento estarán situadas a distancia segura de otras instalaciones ocupadas y viviendas cercanas.

En el transporte y distribución de los recipientes, se cuidarán convenientemente las válvulas y conexiones para mantenerlas en buen estado, teniendo que tomar precauciones para impedir que las botellas caigan de los vehículos y evitando los choques o esfuerzos locales, así como excesivo movimiento de los líquidos en los tanques de mayor tamaño. Los vehículos irán equipados con un extintor de incendios y una tira eléctricamente conductiva para poner a tierra la electricidad estática, indicándose claramente "líquidos inflamables". Las tuberías de salida dispondrán de un dispositivo de control de llama y durante las operaciones de carga y descarga los motores estarán parados. La velocidad de estos vehículos será rigurosamente limitada.

### Usos

Los riesgos principales en el uso de gases comprimidos se deben a su presión y a sus propiedades tóxicas y/o inflamables.

Las mangueras y resto del equipo estarán en buen estado, debiendo revisarse con frecuencia. Siempre que sea necesario, se obligará al uso de válvulas de retención. Se utilizará una manguera **roja** en el caso de acetileno y de gases combustibles y **negra** para el oxígeno. Para todos los gases **inflamables** las roscas de los tornillos de conexión irán a izquierdas y para todos los demás gases a derechas. En ningún caso deben intercambiarse entre sí las mangueras.

El oxígeno y algunos gases anestésicos se transportan en grandes botellas. La transferencia de éstos a bombonas pequeñas es una operación muy peligrosa que se hará bajo supervisión competente, utilizando el equipo correcto en una instalación adecuada.

La aplicación de una manguera o chorro de aire comprimido en un corte o herida abierta, donde pueda entrar aire en los tejidos o en la corriente sanguínea, es peligrosa y se tomarán precauciones contra todas las formas de comportamiento irresponsable. Cuando, para limpiar componentes mecanizados o lugares de trabajo, se utilizan chorros de aire comprimido, existe el riesgo de que las partículas volantes que se producen provoquen heridas o incluso ceguera.

### **Rotulación y marcación**

Para evitar los accidentes graves que puede provocar el uso indebido de un gas en lugar de otro, se empleará la **marcación por color**, que consiste en pintar unas zonas específicas de los recipientes o sistemas de tuberías, de acuerdo con el código de color estipulado en las normas nacionales o recomendado por la organización nacional de seguridad.

### **Botellas de gas**

Los gases suelen comprimirse en botellas metálicas a presiones que oscilan entre unas pocas atmósferas de sobrepresión y presiones de 200 bar, o incluso más. El acero aleado es el material más empleado, aunque el aluminio también se aplica con numerosos fines, como en el caso de los extintores de incendios.

Los riesgos que deben tenerse en cuenta al manipular y utilizar gases comprimidos son:

- Los habituales en la manipulación de objetos pesados.
- Los relacionados con la presión.
- Los derivados de las propiedades especiales del gas contenido: inflamable, tóxico, oxidante, etc.

Los principios básicos de prevención se realizarán teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

**Fabricación de botellas:** Tipo y comprobación.

**Inspección periódica:** Interna y externa, incluyendo fecha de comprobación en las botellas.

**Eliminación:** Desecho de las inservibles, imposibilitando su reutilización.

**Válvulas y otros dispositivos de seguridad:** Revisiones periódicas.

En los gases comprimidos, licuados o disueltos bajo presión, existen criterios de clasificación, de acuerdo con el tipo de riesgo:

### **Alta presión:**

Para evitar los daños y lesiones que pudieran producirse si las botellas o equipos estallan, se tomarán las siguientes medidas:

- Deben evitarse los daños mecánicos en las botellas (abolladuras, cortes. etc.)
- Las botellas deben almacenarse lejos de fuentes de calor y de la luz solar directa.
- Las botellas deben mantenerse alejadas del fuego.
- Las botellas sólo deben conectarse a equipos adecuados para el uso previsto.
- Las válvulas de las botellas deben protegerse con su tapa durante el transporte.
- Deben evitarse las caídas de las botellas durante su uso, ya que éstas pueden romper la válvula.
- Debe evitarse la manipulación de los dispositivos de seguridad.
- Las botellas deben manejarse con cuidado para evitar los choques mecánicos en climas muy fríos, ya que el acero puede volverse quebradizo a bajas temperaturas.

- Debe evitarse la corrosión, que reduce la solidez del revestimiento.

#### **Baja temperatura:**

Los gases licuados pueden alcanzar temperaturas muy bajas, pudiendo producir lesiones en forma de "quemaduras frías", por lo que habrá que utilizar equipos de protección como guantes y gafas de montura ajustada.

#### **Oxidación:**

Este riesgo es obvio en el caso del **oxígeno** que, aunque no prende por si solo, es necesario para la combustión. El riesgo asociado al oxígeno se agrava con el aumento de la presión, hasta un punto en el que muchos metales prenden con fuerza. El aceite y la grasa son peligrosos en combinación con el oxígeno. En los equipos de oxígeno a alta presión, la temperatura necesaria para la ignición puede alcanzarse con facilidad mediante el "shock" de compresión que puede derivarse de una apertura rápida de una válvula (compresión adiabática).

Por tanto:

- Las válvulas deben abrirse o cerrarse lentamente.
- Todos los equipos de oxígeno deben mantenerse limpios y sin aceite.
- Sólo se emplearán los materiales de seguridad comprobada en la utilización con oxígeno.
- Los trabajadores se abstendrán de lubricar los equipos de oxígeno.
- Debe evitarse el acceso a espacios restringidos en los que pueda existir una concentración elevada de oxígeno.
- Debe comprobarse la atmósfera de trabajo y se evitará estrictamente la utilización de oxígeno en lugar de aire comprimido u otro gas.

#### **Inflamabilidad:**

Los gases pueden alcanzar una fuente de ignición y explotar. El **acetileno** ocupa un lugar destacado entre los gases combustibles, debido a sus propiedades y a la generalización de su uso. Por razones de seguridad, las botellas de acetileno se llenan con una masa altamente porosa que también contiene un disolvente del gas. El calentamiento provocado por agentes externos como un incendio o un soplete de soldar, o, en ciertos casos, la ignición interna provocada por la retrogresión de la llama en equipos de soldado, pueden iniciar una descomposición en el interior de la botella. En estos casos:

- Debe cerrarse la válvula (utilizando guantes de protección si es necesario) y alejar la botella del fuego.
- Si una parte de la botella se recalienta, debe sumergirse en un río, canal o similar para enfriarla o ser rociada con pulverizadores de agua.
- Si la botella está demasiado caliente para su manipulación, debe ser rociada con agua a una distancia de seguridad.
- El enfriamiento debe continuar hasta que la botella mantenga la temperatura adecuada por sí misma.
- La válvula se mantendrá cerrada, ya que el flujo de gas acelera la descomposición.

Las precauciones habituales respecto a los gases combustibles son las siguientes:

- Las botellas deben almacenarse separadas de otros gases en un área bien ventilada por encima del nivel del suelo.
- No deben utilizarse botellas o equipos con fuga.
- Las botellas de gas líquido deben almacenarse y utilizarse en posición vertical. Se desprenderán grandes cantidades si a través de las válvulas de seguridad sale líquido en lugar de gas. La presión se reducirá con mayor lentitud. Se producirán llamas de gran tamaño si el gas prende.
- En caso de fugas, debe evitarse toda fuente de ignición posible.
- Debe prohibirse fumar en los lugares donde se almacenan o se utilizan gases inflamables.
- La forma más segura de apagar un fuego suele consistir en interrumpir el suministro de gas. La mera extinción de la llama puede dar lugar a la formación

de una nube explosiva, que volverá a prender en contacto con un objeto caliente.

**Toxicidad:**

Las personas que manipulan algunos gases tóxicos deben tomar ciertas medidas:

- Recibir formación adecuada.
- Ser conscientes del peligro.
- Conocer las precauciones necesarias.
- Las botellas se almacenarán en un área bien ventilada.
- Evitar e impedir fugas.
- Utilizar equipos de protección adecuados (máscaras de gas o dispositivos de aspiración).

**Gases inertes:**

Hay que destacar por su uso más frecuente para crear atmósferas protectoras:

- Argón
- Dióxido de carbono
- Helio
- Nitrógeno.

Cuando un gas o mezcla de éstos desplaza el aire de forma que la atmósfera respirable resulta deficiente en oxígeno, existe peligro de asfixia.

**Llenado de botellas:**

- Se utilizarán compresores de alta presión o de bombas de líquido que pueden funcionar con líquidos criogénicos.
- Las instalaciones de llenado pueden incorporar grandes depósitos de almacenamiento de gases líquidos en un estado presurizado y/o de refrigeración extrema.
- El personal encargado debe comprobar que las botellas están en perfecto estado para realizar la operación de llenado, eligiendo el gas correcto en una cantidad y presión no superior a la autorizada.
- El equipo de llenado se protegerá mediante válvulas de seguridad.
- Es exigencia fundamental una buena ventilación y emplear las técnicas y los equipos correctos.
- Las botellas contaminadas con otros gases o líquidos por los clientes constituyen un riesgo especial.
- Las que carecen de presión residual pueden purgarse o vaciarse antes de su llenado.
- Deben extremarse las precauciones para garantizar que las botellas de gas de uso médico no contengan ningún material nocivo.

**Transporte:**

- Éste tiende a mecanizarse con la utilización de carretillas elevadoras, etc.
- Las botellas se trasladarán con las tapas puestas y bien sujetas para evitar su caída de los vehículos.
- Se emplearán las plataformas adecuadas, cuando se utilicen grúas elevadoras.
- Habrá que tener mucho cuidado de evitar tensiones en las conexiones, en caso de que se junten botellas en unidades de mayor tamaño.
- Es conveniente dividir las grandes unidades en secciones y colocar válvulas de cierre donde puedan ser utilizadas en caso de emergencia.
- Prevenir lesiones causadas por las unidades duras, pesadas y difíciles de manejar, que son accidentes frecuentes en el manejo y transporte de botellas.
- Usar calzado de seguridad.

**Identificación del contenido:**

En las normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO), se establecen ciertos requisitos sobre el **marcado en color**, que es el medio utilizado en la mayoría de los países para la identificación correcta del contenido de los recipientes. En última instancia, sólo la palabra escrita puede considerarse prueba de dicho contenido.

**Tomas de válvulas normalizadas:**

Debe evitarse el empleo de adaptadores, pues desvirtúan las medidas de seguridad. Al efectuar conexiones, sólo se emplearán herramientas normales y no se aplicará una fuerza excesiva.



## Práctica segura para usuarios

El usuario deberá adoptar las precauciones siguientes:

- Las botellas de gas sólo se utilizarán con los fines para los que fueron concebidas y no como rodillos o soportes de trabajo.
- Las botellas deben almacenarse y manipularse de forma que no se deteriore su resistencia cónica (p. ej., a causa de una corrosión grave, abolladuras profundas, cortes, etc.)
- Las botellas se mantendrán alejadas del fuego y del calor excesivo.
- En las áreas de trabajo y en los edificios ocupados sólo se almacenará el número necesario de botellas de gas. Es preferible que sean ubicadas cerca de las puertas y evitar las rutas de salida de emergencia y las áreas de difícil acceso.
- Las botellas que hayan quedado expuestas al fuego deben marcarse claramente y avisarse al encargado de su llenado (propietario), ya que pueden volverse quebradizas o perder su solidez.
- Las botellas deben almacenarse en lugares adecuadamente ventilados, lejos de la lluvia y de la nieve y de depósitos de combustible.
- Las botellas en uso deben asegurarse para evitar su caída.
- El contenido en gas debe identificarse sin lugar a duda antes de su utilización.
- Es necesario leer las etiquetas y las instrucciones con atención.
- Las botellas sólo deben conectarse a los equipos concebidos para cada servicio específico.
- Las conexiones deben mantenerse limpias y en buenas condiciones, y su situación se comprobará periódicamente.
- Deben utilizarse herramientas adecuadas (es decir, de longitud normal, llaves de tuercas fijas).
- Las llaves para válvula sueltas deben colocarse en su lugar cuando la botella esté siendo utilizada.
- Las válvulas deben mantenerse cerradas cuando la botella no sea utilizada.
- Las botellas o los equipos conectados a las mismas deben retirarse de espacios restringidos cuando no sean utilizados (incluso durante pausas breves).
- Debe comprobarse el contenido de oxígeno de la atmósfera de trabajo y, si es posible, el de gases inflamables, antes de acceder a espacios restringidos y durante períodos de trabajo prolongados.
- Debe tenerse en cuenta que los gases pesados pueden concentrarse en áreas inferiores y que su eliminación mediante ventilación puede resultar difícil.
- Las botellas deben protegerse contra la contaminación de equipos con presión interior, ya que el reflujo de otros gases puede provocar accidentes graves. Deben utilizarse válvulas de retención adecuadas, dispositivos de bloqueo y descarga y otros mecanismos afines.
- Las botellas vacías deben devolverse al encargado de su llenado con las válvulas cerradas y las tapas en su sitio. Siempre debe mantenerse una pequeña presión residual para evitar la contaminación debida al aire y la humedad.
- Se notificará al encargado del llenado la existencia de botellas defectuosas.
- El acetileno sólo se empleará a una presión correctamente reducida.
- Los disipadores de llama sólo se aplicarán en líneas de acetileno cuando este gas se utilice con aire comprimido y oxígeno.
- Al emplear equipos de soldadura por llama de gas, se dispondrá de extintores de incendios y guantes de protección contra el calor.
- Las botellas de gas líquido deben almacenarse y utilizarse en posición vertical.
- Los gases tóxicos e irritantes, como el cloro, deben ser manipulados únicamente por operarios bien informados dotados de equipos de seguridad personal.
- Las botellas no identificadas no se almacenarán. Las instalaciones fijas, con las botellas de gas conectadas en centrales suministradoras separadas, son más seguras cuando se utilizan gases con regularidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- R.D. 1244/79. B.O.E. 's de 29/5/79 y 29/6/79. Reglamento de aparatos a presión:
- R.D. 507/82 de 15 de enero; R.D. 473/88 de 30 de marzo, R.D. 1504/90 de 23 de noviembre, O.M. de 3/7/87 (B.O.E. 6/7/87), O.M. 15/11/89 (B.O.E. 28/11/89) y R.D. 472/88 de 30 de marzo (B.O.E. 20/5/88).
- R.D. 1495/91 de 11 de octubre (B.O.E. 15/10/91 y rect. 25/10/91) y mod. R.D. 2486/94 de 23 de diciembre (B.O.E. 24/1/95. Recipientes simples a presión.
- R.D. 668/80 (B.O.E. 14/4/80). Reglamento de almacenamiento de productos químicos. Modif. R.D. 3485/83 (B.O.E. 20/2/84), completado por ITC. MIE-APQ.
- \* ITC - MIE - APQ 002. Almacenamiento de óxido de etileno.
- \* ITC - MIE - APQ 003. Almacenamiento de cloro.
- \* ITC - MIE - APQ 004. Almacenamiento de amoniaco anhidro.
- \* ITC - MIE - APQ 005. Almacenamiento de botellas de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.
- Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo OIT 4ª edición (3ª en español) Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales
- GUASCH, J. Y otros. " Higiene Industrial". I.N.S.H.T. (ET.054).

## 2. Agentes biológicos

### OBJETIVOS

#### Objetivo general

Que el alumno conozca los procedimientos habituales para la toma de muestras de agentes biológicos, así como la problemática específica que dichos agentes plantean en algunos sectores laborales.

#### Objetivos específicos

- Toma de muestra de agentes biológicos y opciones de medida
- Muestreo de agentes biológicos cultivables y/o totales
- Presencia de elementos celulares
- Cuantificación de metabolitos
- Zoonosis: características y agentes causales. Medidas de control ambientales y personales
- Conocimiento y descripción de las enfermedades infecciosas más comunes en el sector sanitario. Causas y grupos de riesgo
- Gestión de residuos biosanitarios. Clasificación, tratamiento, eliminación o destino final
- Problemática de las distintas legislaciones autonómicas

### CAPÍTULO 1: TOMA DE MUESTRAS DE AGENTES BIOLÓGICOS

Este tema es complementario del 3.13 "Agentes Biológicos" (Módulo 3 de la Parte Común), por lo que para su correcta comprensión es necesario recordar los conceptos e ideas fundamentales allí expuestas.

La definición de agente biológico contempla, en la práctica, dos categorías en estos contaminantes:

- Agentes biológicos vivos,
- Productos derivados de los mismos, ya que ambos pueden generar una enfermedad como consecuencia de la exposición a los mismos.

En definitiva, el concepto de agente biológicos incluye:

- Bacterias, hongos, virus, Rickettsias, Clamidas, endoparásitos humanos, productos de recombinación, cultivos celulares de humanos o de animales y los agentes potencialmente infecciosos que estas células puedan contener, priones y otros agentes infecciosos.

Entre los productos derivados de dichos agentes y que transmitidos fundamentalmente por vía aérea, pueden generar trastornos de tipo tóxico, alérgico o irritativo, se incluyen:

- Micotoxinas, endotoxinas, ergosterol y 1,3-Glucanos.

Interesa, por tanto, disponer de métodos para la toma de muestras de agentes biológicos, bien para su determinación directa y, en su caso, identificación para su posterior clasificación en un grupo de riesgo o para la medida cuantitativa de productos componentes o metabolitos de los agentes biológicos cuya concentración sea representativa de la carga biológica a valorar.

Se pueden tomar, por tanto, tres opciones para la medida de agentes biológicos:

- a) Métodos que van a poner de manifiesto el número total de agentes biológicos y/o el número de microorganismos cultivables, entendiendo por tales aquellos capaces de formar colonias en un medio de cultivo adecuado.
- b) Método que ponen de manifiesto la presencia de elementos celulares provenientes de los agentes biológicos, como pueden ser las endotoxinas y los glucanos.
- c) Métodos que cuantifican metabolitos tanto primarios (v.gr. ATP), como secundarios (v.gr. endotoxinas).

### 1.Métodos para el muestreo aéreo de agentes biológicos cultivables y/o totales

Proyectados para determinar la fuente, cantidad e identificación de agentes biológicos transmitidos fundamentalmente por vía aérea. Es importante reseñar que en la actualidad no hay establecidos valores similares a los TLV o VLA para los agentes biológicos, con lo que la interpretación cuantitativa de los resultados obtenidos habrá de hacerse cuidadosamente y según los criterios profesionales descritos en el tema 3.13 de la parte común.

Los métodos están basados en la toma, recuperación y subsiguiente cultivo de los microorganismos.

Estos métodos pueden ser:

- a) Gravitación,
- b) Impactación,
- c) Centrifugación,
- d) Burbujeo,
- e) Filtración.

**a) Gravitación o impactación natural:** Es la forma más simple de toma de muestras de bioaerosoles en la cual las partículas biológicas aerotransportadas son recogidas por gravitación sobre una superficie adherente (medio de cultivo en una placa Petri, placa RODAC-con medio de cultivo convexo-). Es un método económico que no necesita equipos auxiliares si bien los resultados no son cuantitativos.

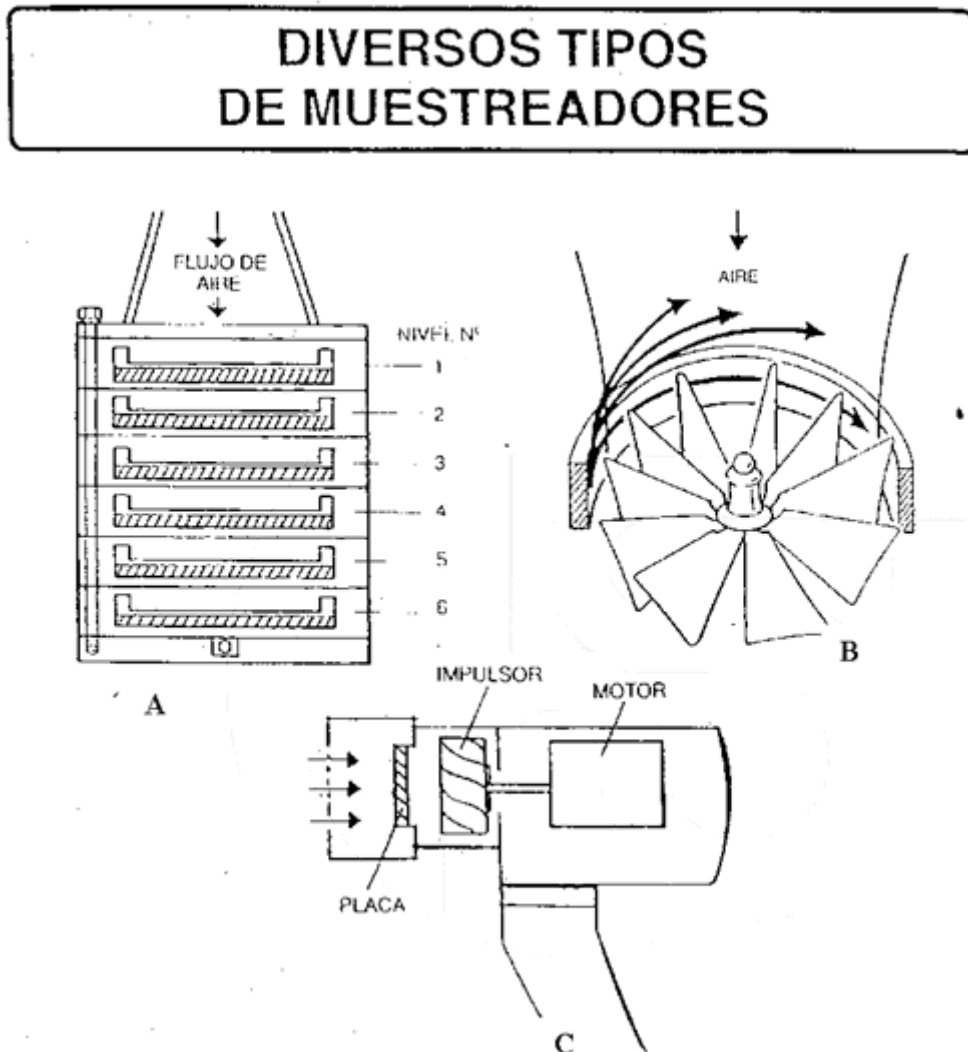
**b) Impactación:** El aire, aspirado por una bomba que forma parte del muestreador, pasa a través de orificios y es dirigido a la superficie del medio de cultivo contenido en una placa. El agente biológico impacta sobre dicho medio, donde queda retenido reproduciéndose y dando lugar a la formación de una colonia. Comercialmente este tipo de muestreador es conocido como muestreador SAS (Surface Air Sampler). Esto implica que, una vez tomada la muestra, y según sea la naturaleza del agente biológico la placa debe incubarse a la temperatura adecuada. La elección del medio de cultivo (general, para hongos, para bacterias, ...), facilita el muestreo e identificación posterior. Se procede al recuento de las colonias formadas y al cálculo de su número expresándose los resultados habitualmente como ufc/m<sup>3</sup> (unidades formadoras de colonia en un metro cúbico de aire).

Una modalidad del muestreador anterior es el llamado Muestreador en cascada o de tipo Andersen, que permite la toma de muestras sobre una serie de 6 placas, reteniendo los agentes biológicos por orden decreciente de su tamaño (diámetro aerodinámico equivalente), imitando el árbol respiratorio desde las fosas nasales hasta el alvéolo.

La identificación específica del agente biológico supone habitualmente proceder a su resiembra, en medio idóneo, y la posterior aplicación de reacciones de identificación o estudios por morfología directa o tinciones específicas.

**c) Centrifugación:** Estos muestreadores de impactación utilizan la fuerza centrífuga como ayuda para separa las partículas de la corriente de aspiración. Los agentes biológicos, inicialmente transportados en esta corriente, son impulsados por las aspas de un ventilador hasta el medio de cultivo contenido en una tira, colocada en el perímetro interior del

instrumento. Comercialmente estos muestreadores se denominan como RCS (Reuter Centrifugal Sampler). En la figura adjunta se muestran estos tipos de muestreadores.



- A: Muestreador en cascada o de tipo Andersen**
- B: Muestreador tipo centrífugo (RCS)**
- C: Muestreador por impactación directa (SAS)**

Todos los métodos descritos hasta ahora sólo dan información de los agentes biológicos cultivables, es decir con capacidad para reproducirse. Cuando interese conocer la carga microbiológica total, es decir, el conjunto de agentes biológicos viables y no viables, ha de utilizarse procedimientos como los descritos a continuación.

**d) Burbujeo o impinger:** el aire a muestrear pasa a través de un volumen conocido de líquido (suero salino, agua de peptona con agentes humectantes, medios líquidos). En una alícuota del líquido se procede al recuento de viables por siembra directa y en otra a la tinción de los agentes biológicos totales y posterior recuento.

**e) Filtración:** el aire es aspirado a través de un filtro en el cual las partículas biológicas se depositan. La posterior elución de los agentes permite, como en el caso anterior, recuentos selectivos. Es importante señalar tanto en esta modalidad de muestreo como en las anteriores, la necesidad de evitar el secado del medio de muestreo al pasar el aire por él, para lo cual debe ajustarse el período de la toma de muestra, para que no se produzca la inactivación de los agentes biológicos y, con ello, la minimización de los resultados obtenidos.

## 2. Muestreo de superficies

Además del muestreo aéreo, puede también ser necesario determinar el número de agentes biológicos depositados en una superficie. Este tipo de muestreo es utilizado fundamentalmente en estudios de Higiene Alimentaria, pero tiene otras aplicaciones como por ejemplo de comprobar la eficacia de los productos de desinfección, evaluar la presencia de agentes biológicos en el interior de los conductos de aire de un sistema de ventilación-climatización o de una moqueta. La toma de muestras se realiza mediante el empleo de torundas de algodón o por contacto directo de la superficie a muestrear en una placa tipo RODAC (con el medio de cultivo sobresaliendo de la placa). Los resultados suelen expresarse como ufc/cm<sup>2</sup>.

## 3. Muestreo en matrices líquidas

Cuando los agentes biológicos están presentes en el medio líquido (v.gr. agua torre de refrigeración, estaciones depuradoras, vertidos,...), la toma de muestra se realiza directamente, dispensándose en el medio de cultivo adecuado o reteniendo la totalidad e los agentes biológicos en filtros. La expresión de resultados sería ufc/ml.

## 4. Métodos que ponen de manifiesto la presencia de elementos celulares

Estos métodos dan cuenta de elementos celulares de microorganismos tanto viables como no viables o desintegrados constituyentes de su estructura celular que pueden menoscabar la salud del personal expuesto.

Entre estos elementos celulares cabe destacar las endotoxinas, glucanos y ergosterol.

**Endotoxinas:** componentes integrales de las bacterias Gram (-). Puede producir reacciones tóxicas y procesos inflamatorios muy intensos. Se producen en el manejo de material orgánico (granjas, reciclaje del agua, basuras y compostaje,...). Se pueden cuantificar como un compuesto químico, existiendo una propuesta de límite máximo de exposición de 200 ng/m<sup>3</sup>. El método habitualmente utilizado para la cuantificación se basa en la activación que las endotoxinas producen en una enzima de la coagulación presente en el lisado del amebocito del cangrejo *Limulus polyphemus* (método LAL).

**Glucanos y ergosterol:** Marcadores de la contaminación fúngica en aire, al ser componentes de la pared celular de los hongos filamentosos. Causan enfermedades crónicas relacionadas con la exposición a polvos orgánicos. Las muestras de aire se toman en filtros con posterior análisis con métodos derivados del LAL.

## 5. Métodos de cuantificación de metabolitos

Como alternativa a la evaluación de los agentes biológicos, puede realizarse una medida cuantitativa de las sustancias procedentes de los mismos. Entre estas opciones se pueden contemplar:

- a) Análisis del ATP (adenosin trifosfato) como metabolito primario que es indicador del metabolismo de la actividad microbiana. Existe una correlación entre los niveles de ATP y el número de agentes microbianos.
- b) Estudio de metabolitos secundarios, como son las micotoxinas producidas por los hongos. Pueden producir graves alteraciones en la salud, con efectos principales en hígado y sistema nervioso, siendo sospechosas de ser carcinógenas. Entre las micotoxinas más importantes destacan las Aflatoxinas (producidas por *Aspergillus*), Ochratoxina (producida por algunas especies de *Penicillium*) y las Fuminosinas (producidas por *Fusarium* spp.)

## **CAPÍTULO 2: SECTORES LABORALES MAS REPRESENTATIVOS CON RIESGOS BIOLÓGICOS**

### **1. Manipuladores de ganado: Zoonosis**

Las zoonosis son enfermedades e infecciones naturalmente transmitidas entre los animales vertebrados y el hombre. La mayor incidencia en zoonosis se observa en personas que mantienen estrecho contacto con animales o productos animales, o en aquellas que comparten con animales un medio ambiente que contiene a los agentes transmisores.

En la mayoría de las zoonosis la infección queda limitada al individuo afectado, siendo rara la transmisión de persona a persona. A menudo la infección causa enfermedad observable solo en el hombre, permaneciendo exento de síntomas, o solo leves, el animal transmisor.

Todas las zoonosis pueden ser enfermedades de origen profesional en personas cuyo trabajo las pone en contacto directo o indirecto con animales. Hay listadas más de 100 zoonosis.

En general las zoonosis se caracterizan por:

- a) No son mortales,
- b) Frecuentemente quedan sin diagnosticar,
- c) Son más esporádicas que epidémicas,
- d) Se confunden con otras enfermedades,
- e) Los seres humanos suelen ser el último huésped,

En definitiva, los síntomas son inespecíficos, lo cual dificulta el diagnóstico y constituye una característica de muchas zoonosis.

Uno de los colectivos más emblemáticos respecto a la incidencia de zoonosis son los manipuladores de ganado.

En la tabla adjunta se resumen las enfermedades más representativas de este colectivo junto con los agentes causales de las mismas.

Tabla: ZONOSIS DE LOS MANIPULADORES DE GANADO

Enfermedad	Agente	Animal	Exposición
Antrax	Bacteria	Cabras, otros herbívoros	Manipulación del pelo, huesos u otros tejidos
Brucelosis	Bacteria	Vacas, cerdos, ovejas, cabras	Contacto con placentas u otros tejidos contaminados
Campylobacter	Bacteria	Aves de corral, vacas	Ingestión de alimentos, agua, leche contaminados
Criptosporidiosis	Parásito	Aves de corral, vacas, ovejas	Ingestión de heces de animales
Ectima contagiosa	Virus	Ovejas, cabras	Contaminación directa de las mucosas
Fiebre Q	Rickettsia	Vacas, cabras, ovejas	Polvo inhalado de tejidos contaminados
Leptospirosis	Bacteria	Animales salvajes, perros, cerdos, vacas	Agua contaminada sobre piel herida
Psitacosis	Chlamydia	Periquitos, aves de corral, palomas	Inhalación de deyecciones desecadas
Rabia	Virus	Carnívoros salvajes, perros, gatos, ganados	Exposición de heridas de la piel a saliva
Salmonelosis	Bacteria	Aves de corral, cerdos, ganado	Ingestión de alimentos a partir de organismos contaminados
Tinea capitis	Hongo	Perros, gatos, vacas	Contacto directo
Triquinosis	Tenia	Cerdos, perros, gatos, caballos	Consumo de carne poco hecha
Tuberculosis Bovina	Mycobacteria	Vacas, cerdos	Ingestión de leche sin pasteurizar, inhalación de gotículas
Tularemia	Bacteria	Animales salvajes, cerdos, perros	Inoculación por agua o carne contaminada

En cuanto a las medidas de control que han de tomarse, frente al riesgo ya identificado, podrán ser de dos tipos:

- **Control ambiental**, haciendo un adecuado control del foco infeccioso actuando sobre los animales enfermos (destruyendo aquellos que hayan muerto a consecuencia de la enfermedad y vacunando a los que sean susceptibles de padecerlas), actuando sobre los vegetales (con tratamientos fungicidas, etc. ), actuando sobre la materia prima y sobre las condiciones de almacenamiento que muchas veces da lugar a la proliferación de microorganismos.
- **Control personal**. Es importante realizar controles médicos iniciales y periódicos para detectar signos patológicos y de exposición a cualquier germen patógeno. Se vacunará al personal expuesto a estos agentes siempre que sea posible. Se llevará a cabo una estricta higiene personal evitando el comer y fumar en los puestos de trabajo y se hará uso del material de protección personal cuando sea conveniente.

## 2. Sector sanitario

El cuidado de la salud de los trabajadores que cuidan de la salud es un tema de gran actualidad ante la aparición de riesgos emergentes para este colectivo, donde no obstante, se



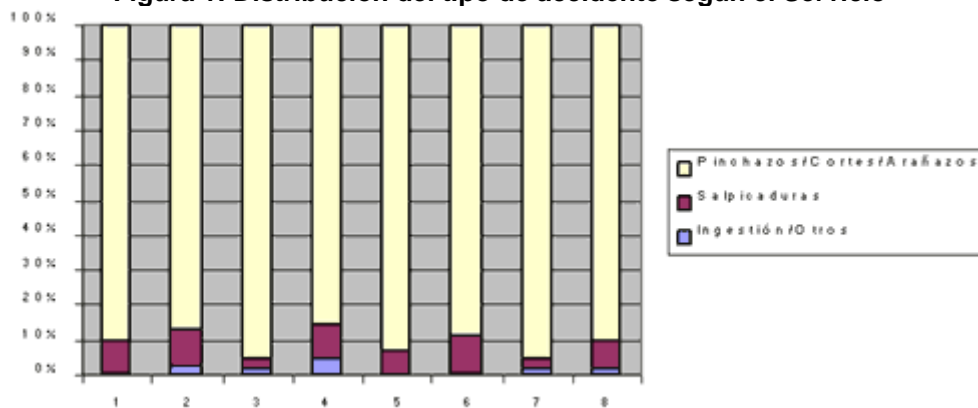
han producido mejoras significativas en el control de riesgos biológicos, mediante profilaxis, inmunización activa y desarrollos de protocolos técnicos de actuación específicos para dicho control.

Los riesgos más frecuentes, consecuencia de las exposiciones a agentes biológicos, son las enfermedades infecciosas. De entre estas, y aunque no son las únicas como se expondrá posteriormente, son las de naturaleza vírica las más importantes.

Diversos estudios realizados han concluido que, de todas las posibles infecciones probables dentro del personal sanitario, aproximadamente un 20% de las infecciones tenían causas conocidas mientras que en el 80% restante eran desconocidas.

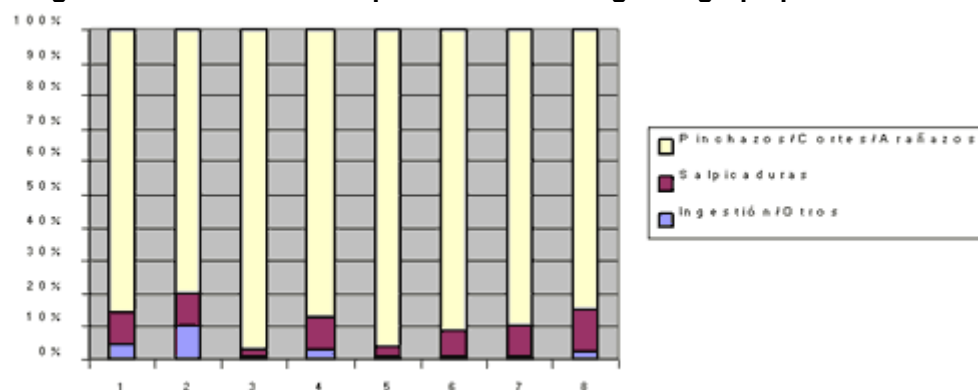
Entre las causas conocidas, las más frecuentes eran inoculación por pinchazo, la mordedura o arañazo de animales, la ingestión al pipetear con la boca o el contacto con salpicaduras o derrames. En las siguientes figuras (Figura 1 y Figura 2), se muestran como se distribuyen estas causas de accidentes según Servicio (Figura 1) y según grupo profesional (Figura 2).

**Figura 1: Distribución del tipo de accidente según el Servicio**



1- Otros Servicios 3- Urgencias 5- Ginecología/Obstetricia 7- Médica  
2- Laboratorio 4- Pediatría 6- Atención intensiva 8- Quirúrgica

**Figura 2: Distribución del tipo de accidente según el grupo profesional**

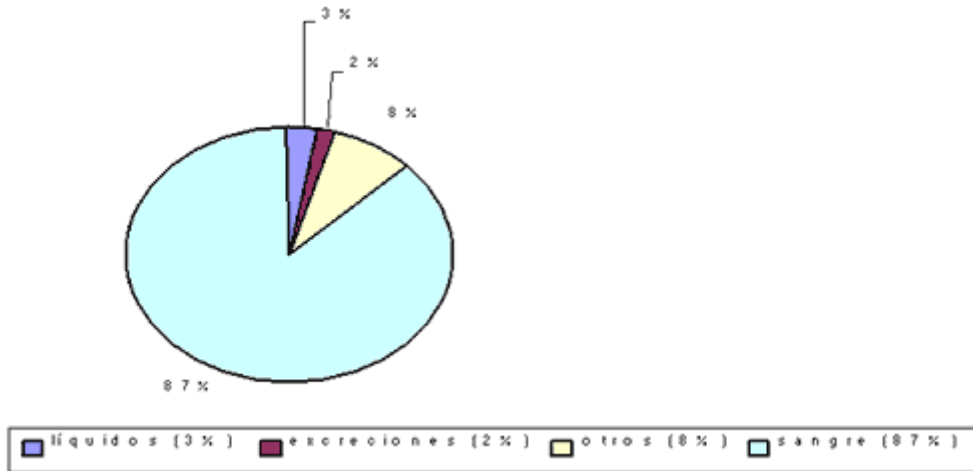


1- Otros 3- Limpieza 5- Alumno 7- Enfermería

2- Celador 4- Técnico laboratorio 6- Auxiliar enfermería 8- Médico

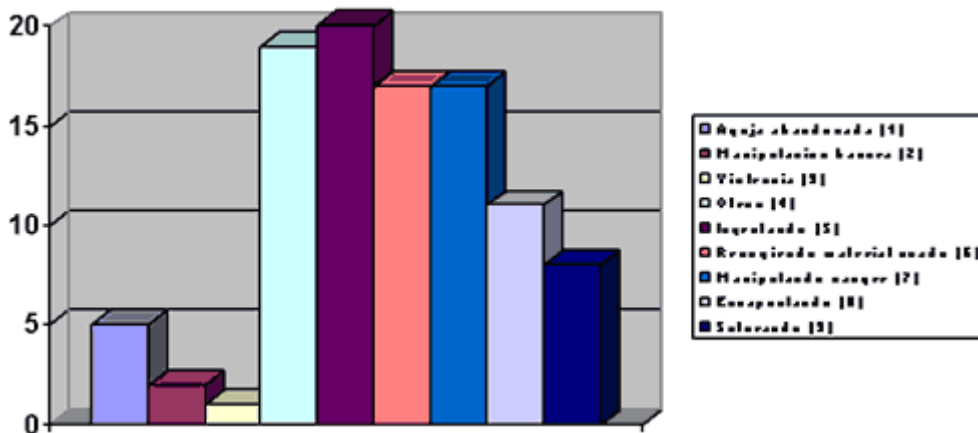
En cuanto al material implicado en los accidentes, se puede observar en la Figura 3 que la sangre y sus derivados son los más comunes, con un 87% de los casos; le siguen, a considerable distancia, otros líquidos corporales (3%), las excreciones (2%) y otros (8%).

Figura 3: Distribución de los accidentes según el vehículo de transmisión.



En la figura 4 se muestra la distribución de los accidentes, según la operación que se estaba realizando en el momento de producirse el mismo; se observa que las tareas de inyección, manipulación de sangre y la recogida de material usado son las más frecuentes.

Figura 4.- Distribución de los accidentes según tareas realizadas



Se comentan, a continuación, sucintamente las enfermedades infecciosas de origen laboral que más frecuentemente afectan al personal sanitario.

Agente(s) etiológico(s)	Hombre: - mycobacterium tuberculosis - mycobacterium leprae Hombre y animales: - mycobacterium bovis - mycobacterium avium
Reservorio	Animal y humano
Transmisión (1) (3) (4)	Humanos: directa <sup>(2)</sup> e indirecta Animales: vía inhalatoria
Prevención	Inmunización activa, antibióticos, antibiograma (cepas multirresistentes)
Colectivo(s) expuesto(s)	Médicos, enfermeras, personal de laboratorio, veterinarios

**Hepatitis virales**

**Hepatitis A**

Agente(s) etiológico(s)	Virus de la hepatitis A
Reservorio	Humano(heces)
Transmisión	Fecal-oral; bebidas o alimentos contaminados
Prevención	Vacunación, agua potable, eliminación de residuos, higiene personal

**Hepatitis B**

Agente(s) etiológico(s)	Virus de la hepatitis B
Características Generales	Cursa como enfermedad aguda, crónica o portador Puede cronificarse, producir hepatocarcinoma y cirrosis Detección del antígeno de superficie HbsAg (suero) Distribución mundial
Período de incubación	8 – 25 semanas
Reservorio	Enfermo, personal sano
Transmisión	Inoculación percutánea (sangre, suero, etc.) Sexual Transplacentaria Aerosoles (laboratorios)
Prevención	Adecuada organización preventiva en los bancos de sangre Vacunación de todo el personal de riesgo (95% eficaz)
Colectivo(s) expuesto(s)	Personal de laboratorio Personal de bancos de sangre Servicios quirúrgicos Servicios de urgencia

**Hepatitis C**

Agente(s) etiológico(s)	Virus de la hepatitis C
Reservorio	Humano (toxicómanos-80%-)
Transmisión	Similar al virus de la hepatitis B
Prevención	Interferón, globulinas anti-HBs, poliglobulinas

**Hepatitis D**

Agente(s) etiológico(s)	Virus de la hepatitis D
Reservorio	Pacientes que han desarrollado una infección crónica por el virus D
Transmisión	Mecanismos iguales que los virus de la hepatitis B
Prevención	Inmunización activa empleada frente al virus de la hepatitis B

**Síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA)**

Agente(s) etiológico(s)	Virus de la inmunodeficiencia humana-VIH- (retrovirus)
Reservorio	Humano (semen, secreciones, sangre)
Transmisión	Contacto directo con fluidos y especímenes biológicos
Prevención	Evitar exposiciones a sangre y fluidos corporales Aplicación de profilaxis post-exposición Aplicación de las precauciones universales
Colectivo(s) expuesto(s)	Médicos, enfermeras, celadores, auxiliares de clínica

**Otras enfermedades nosocomiales**

**Gastroenteritis infecciosas**

Agente(s) etiológico(s)	Bacterias: - Salmonella sp. - Shigella sp. - Campylobacter sp. - Escherichia coli - Yersinia enterocolitica  Protozoos: - Giardia lamblia
Reservorio	Humanos (portadores de patógenos entéricos)
Transmisión	Directa: - manos del personal infectado.  Fecal
Prevención	Higiene personal  Terapia antibiótica adecuada (de no muy larga duración)
Colectivo(s) expuesto(s)	Departamentos de pediatría, centros asistenciales de disminuidos psíquicos.

**Virus del herpes simple (VHS)**

Agente(s) etiológico(s)	Herpetoviridae (tipo 1 y tipo 2)
Reservorio	Humano (ojos, boca, lesiones anales y genitales)
Transmisión	Contacto directo: - Secreciones orales y respiratorias (Herpetoviridae tipo 1) -Contacto sexual (Herpetoviridae tipo 2) Objetos recién contaminados (vasos, cubiertos,...)
Prevención	Evitar contacto directo con pacientes con las lesiones, Guantes (en ambas manos) Lavado cuidadoso después del contacto con pacientes
Colectivo(s) expuesto(s)	Personal de cuidados intensivos, anestesia y odontología

**Infecciones estafilocócicas**

Agente(s) etiológico(s)	Staphylococcus aureus
Reservorio	Humano (lesiones en la piel)
Transmisión	Contacto directo
Prevención	Cultivos microbiológicos control, Separación del personal infectado de los pacientes

**Infecciones estreptocócicas**

Agente(s) Etiológico(s)	Streptococcus (grupo A) Streptococcus (grupo B-poco importante-)
Reservorio	Humano: - Streptococcus grupo A: piel, faringe, recto, tracto genital femenino
Transmisión	Contacto directo, vía inhalatoria (Streptococcus grupo A). Materna (Streptococcus grupo B).
Prevención	Cultivos microbiológicos En caso de resultado positivo, separación de las personas portadoras de los pacientes

**Virus de la varicela zoster (VZ)**

Agente(s) etiológico(s)	Virus de la varicela zoster (VZ)
Reservorio	Humano: - vías respiratorias altas (varicela), piel (varicel y zoster)
Transmisión	Contacto directo persona-persona
Prevención	Aislamiento pacientes con varicela o zoster
Colectivo(s) expuesto(s)	Unidades de pediatría

**Infecciones por citomegalovirus (CMV)**

Agente(s) etiológico(s)	Citomegalovirus
Reservorio	Humano: - Niños infectados con CMV, - Pacientes inmunodeprimidos (por tratamientos oncológicos o los trasplantados) Otros: - Orina, saliva, secreciones respiratorias,..
Transmisión	Contacto íntimo y directo persona-persona Contacto con secreciones contaminadas
Prevención	Medidas de higiene personal estrictas (lavado de manos,..)
Colectivo(s) Expuesto(s)	Personal sanitario femenino embarazadas o susceptible de estarlo

Otras infecciones nosocomiales con incidencia representativa serían: *Neisseria meningitidis*, *Tos ferina*, *Gripe* y *Sarcoptes* (sarna).

Otro de los sectores sanitarios donde pueden originarse riesgos biológicos son los laboratorios. En concreto el personal dedicado a análisis clínicos puede estar expuestos a riesgos biológicos no esperados, ya que cualquier muestra biológica que llega al laboratorio puede ser portadora anónima de algún agente biológico. En definitiva siempre se ha de aplicar el principio de incertidumbre, según el cual

**"todas las muestras biológicas deben manejarse como si fueran infecciosas"**

Haremos hincapié en esta Unidad Didáctica de determinadas operaciones realizadas en los laboratorios que son el origen de la producción de bioaerosoles, como factor de riesgo en la aparición de las patologías ya descritas.

- a) Pipeteo,
- b) Flameado,
- c) Apertura de recipientes,
- d) Agitación,
- e) Trituración,
- f) Centrifugación,

Frente a este riesgo, habrá que tomar las medidas tanto técnicas como operativas ya reseñadas en la U.D. 3.13, como la aplicación de las Precauciones Universales y la utilización de las Cabinas de Seguridad Biológica.

### CAPÍTULO 3: PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SANITARIOS Y BIOCONTAMINADOS

Las actividades de gestión de los residuos (conjunto de operaciones a las que se someten los residuos desde su generación hasta su destino final) que se producen en los centros sanitarios, si no se realizan de modo adecuado pueden generar graves riesgos para la salud tanto del personal que los manipula como para la población general y para la calidad del medio ambiente.

Debido a la falta de unanimidad en cuanto a las legislaciones de las diferentes comunidades autónomas, es lógico pensar que en los centros donde se producen este tipo de residuos habrá que atenerse como mínimo a los requisitos exigidos en la normativa de dicha comunidad.

En lo sucesivo se expondrá todo lo relativo a la gestión de los residuos biocontaminados tomando como referencia lo legislado por la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM).

Evidentemente esto habría que particularizarlo para el resto de las Comunidades Autónomas, según sus legislaciones específicas recogidas en el apartado "Bibliografía".

Para aquellas Comunidades en las que todavía no dispongan de legislación específica, se aplicarán las Normas locales de eliminación de residuos y, en cualquier caso, es de aplicación a nivel nacional la Ley 10/1998 de Residuos (B.O.E. nº 96 de 22 de abril).

De una forma general, los distintos tipos de residuos se definen como:

- **Residuos sanitarios**, "todos los residuos, cualquiera que sea su estado, generados en centros sanitarios, incluidos los envases y residuos de envases que los contengan o los hayan contenido".
- **Residuos biosanitarios**, "residuos sanitarios específicos de la actividad sanitaria propiamente dicha, potencialmente contaminados con sustancias biológicas al haber entrado en contacto con pacientes o líquidos biológicos".
- **Residuos citotóxicos**, "Residuos compuestos por restos de medicamentos citotóxicos y todo material que haya estado en contacto con ellos, que presenten riesgos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos".

#### 1. Clasificación de los residuos

Los residuos sanitarios son clasificados, según la legislación de la CAM, en 7 clases diferentes, si bien se especifica que solamente los de las clases II, III y VI estarán sometidos a lo establecido por dicha legislación (quedan excluidos los de las clases I, IV, V y VII cuya gestión se rige por normativas específicas).

**Clase I: Residuos generales**, sin ningún tipo de contaminación específica, que no presentan riesgo de infección ni en el interior ni en el exterior del centro sanitario. Aquí estarían el papel, cartón, restos de comida, material de cafetería, de jardinería, de oficina, de salas de espera, mobiliario, etc.

**Clase II. Residuos biosanitarios asimilables a urbanos**, son residuos que, aunque proceden de actividad sanitaria propiamente dicha, no ofrecen mayores riesgos para la salud laboral y la salud pública que los residuos generales urbanos aunque hayan estado en contacto con los pacientes y sus líquidos biológicos. Ejemplos de este tipo son las gasas, algodón, vendajes, sondas, yesos, equipos de goteros, guantes, etc., siempre que no procedan de pacientes con enfermedades incluidas en el Anexo Primero, pues en ese caso ya pasarían a clasificarse como de Clase III.

**Clase III. Residuos biosanitarios especiales o biocontaminados**, aquí se incluyen todos los que, siendo también de procedencia sanitaria, tienen un alto potencial infeccioso y deben incluirse, como mínimo, todos los citados en el Anexo Primero del Decreto, que son:

- Procedentes de pacientes con infecciones altamente virulentas, erradicadas, importadas o de muy baja incidencia en España (como la fiebre de Lassa, Ebola, Rabia, Tularemia, etc.),
- Procedentes de pacientes con infecciones de transmisión oral-fecal (cólera, disentería amebiana),
- Procedentes de pacientes con infecciones de

- transmisión por aerosoles (Tuberculosis, Fiebre Q),
- Filtros de diálisis de pacientes infecciosos ( VIH, Hepatitis B, etc. ),
  - Residuos punzantes o cortantes de uso sanitario con independencia de cual sea su origen,
  - Cultivos y reservas de agentes infecciosos,
  - Residuos de animales infecciosos,
  - Cantidades importantes (más de 100 ml.) de líquidos corporales , especialmente sangre humana, y
  - Residuos anatómicos humanos.

**Clase IV. Cadáveres y restos humanos de entidad suficiente**, cuya gestión está regulada por los Reglamentos de Policía Sanitaria Mortuoria.

**Clase V. Residuos químicos**, gestionados según las pautas recogidas en la Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

**Clase VI. Residuos citotóxicos**, compuestos por restos de medicamentos citotóxicos y todo material que haya estado en contacto con ellos, que presentan riesgos carcinogénicos , mutagénicos y teratogénicos ,tanto en el interior como en el exterior de los centros sanitarios.

**Clase VII. Residuos radiactivos**, cuya eliminación es competencia exclusiva de la "Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, Sociedad Anónima" (ENRESA).

Dentro del proceso de la gestión de los residuos de origen sanitario, se suele dividir en dos fases que serían: la "gestión intracentro", que se realiza en el interior de la propia empresa productora y que comprende las acciones de formación e información, producción del residuo, manipulación, clasificación, recogida y envasado en el recipiente adecuado, depósito intermedio, transporte interno y sus circuitos, y el almacenamiento temporal; y la " gestión extracentro" o externa, que es llevada a cabo por una empresa contratada y que se encarga de la recogida del residuo, su transporte por carretera ,tratamiento y descontaminación y eliminación final.

Los grandes centros donde se trabaja con material biológico potencialmente contaminado, como por ejemplo hospitales y laboratorios, suelen tener contratada una empresa externa que se encarga de las últimas fases del proceso descrito; esta contratación sirve a veces de excusa para olvidarse del tema , sin tener en cuenta que la gestión de los residuos es fundamental y que la empresa productora debe conocer en todo momento la gestión de los residuos que genera y su destino final. En otros casos, es la propia empresa productora la que dispone de un sistema de descontaminación o tratamiento del residuo, por ejemplo un pequeño incinerador o un autoclave pudiendo así prescindir de una gestión externa o extracentro.

## 2. Producción de residuos

Es difícil hacer una estimación de la cantidad de residuos potencialmente biocontaminados que se producen, pero podríamos hablar de aproximadamente entre 100 y 400 gramos/cama/día.

Se ha comprobado que el 95% de estos residuos se producen en los hospitales, siendo el 5% restante de la producción de los laboratorios, consultas, clínicas, centros de salud, etc. Una correcta clasificación de los residuos biosanitarios mostraría que, aproximadamente, el 90% de éstos sería asimilable a urbano.

En la actualidad se tiende a reducir al mínimo este tipo de residuos debido a los altos costes que supone el proceso de tratamiento y eliminación ,así como a la posibilidad de descontaminación y reutilización de algunos materiales y equipos.

Una vez que el residuo biocontaminado se ha producido se debe manipular lo menos posible y separarlo del resto de los residuos que seguirán otro tipo de tratamiento; para esto es importante identificar los puntos en donde se generan y colocar los recipientes en donde se depositarán lo más cerca posible para evitar manipulaciones y traslados innecesarios, y que su envase sea inmediato.

## 3. Envasado

Se entiende por envase, "recipiente en el que se acumulan directamente residuos, es decir, que está en contacto directo con los mismos"; siendo el contenedor "recipiente en el que se acumulan envases con residuos, o residuos de envases, sin que exista contacto directo entre los residuos y el contenedor, salvo en caso de rotura o impermeabilidad insuficiente del envase".



Una vez que el personal ha clasificado correctamente los residuos, deben separarse en diferentes contenedores o envases (siempre con la mínima manipulación necesaria) y lo antes posible.

- **Envases para residuos Clase I y Clase II:** Serán de color verde, no generarán emisiones tóxicas por combustión, opacos, impermeables y resistentes a la humedad, y si son bolsas de plástico tendrán una galga mínima de 200 ( Norma UNE 53-147-86.Plásticos. Bolsas de materiales plásticos para la recogida de basuras. Características y métodos de ensayo) y un volumen máximo de entre 60 y 90 litros.

- **Envases para residuos Clase III:** En la normativa de la CAM se especifica claramente que los envases para la acumulación de residuos biosanitarios y citotóxicos serán de un solo uso y una vez cerrados, no se deben volver a abrir. Para esta clase de residuos se contemplan dos tipos de envases que son: los no rígidos y los rígidos o semi-rígidos. Cada uno de ellos debe cumplir una serie de requisitos, pero señalaremos como datos generales que no generarán emisiones tóxicas por combustión, estancos, opacos, impermeables, resistentes a la perforación, estarán señalizados con el pictograma BIOPELIGROSO y su texto asociado; y siempre, para los residuos punzantes o cortantes se utilizarán contenedores rígidos.

Los recipientes o envases para residuos Clase III no deben estar en pasillos ni en las habitaciones, pudiendo colocarse en las salas de curas o en la unidad de enfermería, cerca de donde pueden generarse estos residuos.

- **Los residuos citotóxicos, Clase VI,** deberán acumularse en los envases de forma semejante a los de Clase III, pero de color azul y sustituyendo el pictograma de BIOPELIGROSO por el de CITOTOXICO y su [texto asociado](#).



#### 4. Depósito intermedio, traslado interno y depósito final

Depósito intermedio se refiere al lugar donde se almacenan los envases o contenedores una vez llenos o usados y cerrados, de donde se recogerán para llevar al almacén general o final.

El almacenamiento intermedio de los residuos biosanitarios o citotóxicos se hará sólo en los lugares dispuestos para ello, estando prohibido hacerlo en estancias en las que se realice actividad sanitaria, y en zonas de paso, pasillos, ascensores, entre otras, ni siquiera durante espacios cortos de tiempo. La evacuación desde estos almacenes debe ser como mínimo, diaria.

Se recomienda que se cumplan las condiciones:

- Una habitación de no menos de 4 m<sup>2</sup>.
- Con ventilación forzada.
- Con instalación de lavado de manos y con un desagüe por si hubiera derrames.
- Limpiar y desinfectar al menos 1 vez/día, y siempre que se produzcan derrames.
- Iluminado y señalizado.

Debe definirse un circuito de recogida y traslado de los residuos que debe ser distinto del que sigue el público, con un horario determinado y unos ascensores concretos, donde en esos

momentos se debe prohibir circular a cualquier otro personal que no sea el de recogida (que normalmente es el personal de limpieza).

Los envases no deben arrastrarse por el suelo ni apilarse para su transporte, por ello se utilizarán carritos móviles que serán fáciles de limpiar y desinfectar, y tendrán un uso exclusivo para este fin (no mezclar los residuos con otros suministros, como ropa o comida). El personal estará provisto de guantes de seguridad, y si manejan bolsas las manipularán con sumo cuidado cogiéndolas siempre por la parte más alta del cuello de la bolsa, nunca por el cuerpo de la bolsa, ni la apoyarán sobre los brazos o piernas.

No podrán realizarse, bajo ningún concepto, trasvases de residuos de un envase a otro.

Es el lugar donde se almacenan finalmente todos los residuos de las Clases III y VI producidos en el centro hasta ser recogidos por una empresa autorizada que realice la gestión **externa o extracentro** o, si el propio centro realiza la última fase de la gestión (incinerador propio o autoclave) hasta ser tratados.

Esta área de almacenamiento final también tiene que cumplir una serie de requisitos como:

Estar cubierto, señalizado, tener superficies fáciles de limpiar, tener agua corriente, desagües, métodos de extinción de incendios, estar bien iluminado, y protegidos frente a la entrada de animales.

En cuanto al tiempo de almacenamiento final, dependerá de la cantidad de producción media de este tipo de residuos, que va desde 72 horas (cuando es superior a 1000 kg) hasta 30 días (cuando es inferior a 50 kg).

### **5. Recogida y transporte extracentro**

En ninguna legislación se admite que los residuos Clases III ó VI puedan sufrir un proceso de compactación o trituración, estando prohibidas estas prácticas, que sin embargo sí que pueden sufrir los residuos Clases I y II, por lo tanto, los residuos biocontaminantes o citotóxicos deben ser retirados en sus recipientes originales por una empresa contratada y debidamente autorizada por la Autoridad Competente para la gestión de residuos.

En la Comunidad de Madrid, el transporte por carretera de los residuos Clases III y VI deberá hacerse en vehículos autorizados por la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional y cumpliendo una serie de condiciones como son: Que la caja de carga tenga cerradura de seguridad, impermeable al agua, con superficies lisas y fáciles de limpiar y desinfectar, con luz interna y provistos de extintores dentro y fuera de la cabina, etc. También es imprescindible que estén señalizados con el pictograma de BIOPELIGROSO o el de CITOTOXICO y sus textos asociados.

En cuanto a los conductores, también deben de estar autorizados y evitarán en la medida de lo posible los núcleos urbanos, pantanos y ríos. Se establecerán unos circuitos definidos para que en caso de accidente de cualquier tipo, los riesgos para la salud pública y el medio ambiente sean mínimos. Los transportistas deberán notificar inmediatamente a la autoridad competente los incidentes o accidentes que se produzcan durante el transporte de estos residuos.

En cualquier caso, el transporte externo de residuos de las Clases III y VI debe cumplir la normativa vigente sobre transporte de mercancías peligrosas por carretera.

### **6. Tratamiento y eliminación o destino final**

La eliminación de los residuos de la Clase II (conjunta o separadamente con los de Clase I) deberá respetar, como mínimo, los mismos requisitos técnicos y de seguridad que la normativa vigente para la eliminación de residuos sólidos urbanos.

Para los de las Clases III y VI se prohíbe cualquier forma de reutilización y reciclado y su eliminación puede llevarse a cabo en el propio recinto donde se producen o en una instalación externa.

Los residuos biocontaminados deben ser incinerados o desinfectados, sin embargo para los citotóxicos únicamente se permite la eliminación por incineración.

#### **\* Eliminación de residuos biosanitarios o citotóxicos mediante INCINERACION:**

Es el método más conocido y recomendado clásicamente para la eliminación de estos tipos de residuos (y el único permitido para los citotóxicos - Clase VI). Su problema principal es el del impacto ambiental que provoca debido a la emisión de partículas contaminantes a la atmósfera, sobre todo CO y CO<sub>2</sub>,

dioxinas, NOx y SOx. Las dioxinas, derivados cloroaromáticos, tienen un potencial cancerígeno y se almacenan en los tejidos grasos. Los SOx y NOx pueden dar lugar a la "lluvia ácida" y el CO<sub>2</sub> produce el "efecto invernadero".

Estos problemas se tratan de paliar exigiendo una serie de especificaciones como son por ejemplo, implantar sistemas de tratamiento y depuración de las emisiones, tratar de que entre los residuos exista la menor cantidad de material y sustancias que al ser incineradas produzcan dioxinas como el PVC y sus derivados ( lo cual es difícil debido a la gran cantidad de plásticos que suelen tener estos residuos), alimentación automática del horno incinerador, funcionamiento continuo, toma de muestras de las emisiones en las chimeneas, etc.

\* **Como paso previo a la eliminación de residuos biosanitarios pueden someterse a su tratamiento AUTOCLAVE:** Se trata de un proceso de tratamiento térmico por vapor a presión de los residuos en su estado original, es decir, sin ninguna manipulación previa. Se deben cumplir, para que el proceso sea correcto, una serie de especificaciones como por ejemplo utilizar autoclaves de vacío con un mínimo de dos fases vacío-vapor-vacío; emplear vapor saturado, que los envases de los residuos permitan la entrada y salida de aire y de vapor (en el caso de utilizar bolsas cerradas, la capa impermeable debe romperse en la primera fase de vacío), el llenado de la cámara del autoclave será inferior a dos tercios de su capacidad total, etc.

\* **Otro procedimiento previo a la eliminación puede ser su tratamiento por desinfección o esterilización por CALOR:** Tiene, como método de tratamiento de los residuos biosanitarios, la ventaja de que no es contaminante para la atmósfera. Dentro de este tipo se utiliza el calentamiento por microondas que calienta el residuo desde la profundidad al exterior. Para que sea un proceso eficaz se requiere que el residuo esté triturado (para que puedan llegar las microondas a todos los lugares) y además tenga un cierto grado de humedad necesario para el calentamiento. Por ello, los residuos deben triturarse y humedecerse previamente, funciones que realiza la máquina automáticamente.

\* **Otra opción de tratamiento de residuos es la desinfección QUÍMICA:** Actualmente la desinfección de los residuos infecciosos por medio de agentes químicos es una alternativa no demasiado recomendable, ya que se deben utilizar gases o vapores tóxicos (óxido de etileno, dióxido de cloro, vapor de formaldehído, etc.) o desinfectantes líquidos que pueden dañar el medio ambiente (ácido peracético, glutaraldehído, etc.). En todo caso puede ser una alternativa para aquellos materiales quirúrgicos que no soportan altas temperaturas para su tratamiento.

En cuanto a la eliminación de residuos biosanitarios es importante poder diferenciar qué líquidos biocontaminados pueden eliminarse por los sumideros al alcantarillado normal y cuales no. En la normativa de la Comunidad de Madrid se especifica que todos los residuos de la Clase III pueden verterse por el desagüe a la red de saneamiento del centro excepto aquellos que proceden de pacientes con infecciones altamente virulentas, erradicadas, importadas o de muy baja incidencia en España (recogidas en el grupo 1 del Anexo Primero).

Esta postura se fundamenta en el hecho de que la eliminación de la mayoría de estos residuos por el alcantarillado no produce prácticamente riesgos para la salud pública o ambiental, en comparación con las materias fecales que se vierten por la población general. De todos modos, desde el punto de vista prevencionista no deberían eliminarse por esta vía sin tratamiento previo para evitar ser un foco de contaminación de acuíferos, ríos, mares, etc. Además, muchos de los residuos Clase III procedentes de pacientes con enfermedades de transmisión vía aérea pueden ser infecciosos para el personal que los manipula si se producen aerosoles lo que puede ocurrir en el momento del vertido, aunque posteriormente, una vez en la red de alcantarillado, pierdan su capacidad infectiva.

Igualmente con los líquidos procedentes de pacientes con infecciones de transmisión a través de fluidos orgánicos (Sida, Hepatitis, etc) se pueden producir salpicaduras y derrames durante su vertido de forma que si encuentran una vía de entrada (mucosas o heridas) pueden provocar la infección en el personal que los manipula. Es por todo ello, que si la eliminación no puede hacerse con las suficientes garantías de seguridad para el personal manipulador y, si ya

están envasados o en depósitos cerrados, se eliminen conjuntamente con los residuos sólidos Clase III.

En el caso concreto de las heces, no se considerarán de la Clase III a no ser que estén contaminadas con microorganismos causantes de las enfermedades del Grupo 1 del Anexo Primero (procedentes de pacientes con infecciones altamente virulentas, erradicadas, importadas o de muy baja incidencia en España) y las causantes de infecciones de transmisión feco-hídrica. En estos casos, se procederá a defecar en un recipiente de un solo uso que se deposite como residuo Clase III en bolsa o contenedor apropiado. Si no es posible, añadir lejía concentrada o glutaraldehído en cantidad que cubra las heces y después de un mínimo de 2 horas eliminar al retrete. En el caso de que el enfermo sea dado de alta, instruirle para que realice esta última operación en su casa durante el período que se suponga que elimina microorganismos en las heces.

### **7. Responsabilidades y obligaciones del productor**

El productor deberá elaborar y aplicar un Plan de Ordenación de Residuos Biosanitarios y Citotóxicos, remitiendo una copia a la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional para su aprobación y autorización; además nombrará un responsable de la puesta en marcha y seguimiento de este Plan que estará debidamente formado en el tema.

Deberá tener actualizado en todo momento un libro de registro de los residuos especificando volumen, naturaleza, origen, destino, y cualquier tipo de accidentes o incidentes que se produzca con ellos. También es el responsable de la formación de los trabajadores, de la vacunación del personal, de la utilización de los equipos de protección y de la vigilancia médica de los trabajadores.

Es importante tener en cuenta que, a todos los efectos, los residuos de las Clases III y VI tendrán siempre un titular responsable. Y también será necesario conocer que en la mayoría de las reglamentaciones se prevén una serie de sanciones cuando se cometen infracciones en este terreno de la gestión de los residuos biosanitarios aplicándose el tipo de sanción que corresponda en cada caso.

## **RESUMEN DE LA UNIDAD**

El estudio a la exposición a agentes biológicos, puede conllevar en muchos casos una toma de muestras de los mismos, bien como aerosoles, como contaminantes superficiales o por la medida cuantitativa de productos, componentes o metabolitos cuya concentración sea representativa de la carga biológica a valorar. Cada una de estas opciones de medida es recogida y criticada en esta Unidad.

Los riesgos biológicos afectan a muy diversos sectores de actividad recogiendo en este caso, los específicos del sector relacionado con la manipulación del ganado y el sanitario. El riesgo en el primer sector es la aparición de enfermedades transmitidas por los animales. Se enumeran las zoonosis más características, sus agentes causales y las medidas de control.

Para el sector sanitario, se resumen los grupos profesionales de mayor riesgo y la distribución de accidentes biológicos según las tareas realizadas, así como las enfermedades infecciosas más frecuentes junto con sus agentes etiológicos, modo de transmisión y medidas de prevención más efectivas.

La manipulación de material biológico implica la producción de residuos biocontaminantes, con posible riesgo tanto para el personal directamente expuestos a los mismos, como para la salud pública y el medio ambiente. Esto implica la necesidad de cumplir unos mínimos exigibles en la gestión de dichos residuos, estableciendo una organización y un control de todo el ciclo de vida del residuo.

A de tenerse en cuenta la producción, manipulación, correcta clasificación, envasado, recogida, almacenamiento, transporte, tratamiento y destino final. En definitiva, se deben prever las actuaciones intracentro de los residuos, y la adecuada gestión externa de los mismos, habitualmente por contratación con una empresa especializada. Estas actuaciones deben quedar siempre sujetas a lo específicamente legislado en cada Comunidad Autónoma.

## BIBLIOGRAFÍA

Legislación Autonómica sobre residuos biocontaminantes:

Andalucía: Decreto 283/1995 de 21 de noviembre - BOJA 9/12/1995.  
Aragón: Decreto 29/1995 de 21 de febrero - BOA 6/3/1995.  
Cantabria: Decreto 22/1990 de 7 de mayo - BOC 25/5/1990.  
Castilla León: Decreto 204/1994 de 15 de septiembre - BOC y L 21/9/1994.  
Cataluña: Decreto 71/1994 de 22 de febrero - DOGC 13/4/1994.  
Extremadura: Decreto 135/1996 de 3 de septiembre - DOE 14/9/1996.  
Galicia: Decreto 460/1997 de 21 de noviembre - DOGA 19/12/1997.  
La Rioja: Decreto 51/1993 de 11 de noviembre - BOR 16/11/1993.  
Madrid: Decreto 83/1999 de 3 de junio - BOCM 14/6/1999.  
Navarra: Decreto 181/1994 de 3 de octubre - BON 19/10/1994.  
Valencia: Decreto 240/1994 de 22 de noviembre - DOGV 5/12/1994.  
Comunidad Autónoma del País Vasco: Decreto 313/1996 de 24 de diciembre - BOPV 21/1/1997.

DESAILLE, H. (1986). Medicina del Trabajo. Ed. Masson

ARENAS DÍAZ, C. y otros. Gestión integral de residuos biocontaminados. Jornadas sobre prevención de riesgos biológicos en el trabajo INSHT. Abril 1995.

INSHT Notas Técnicas de Prevención, nºs 203 y 372

Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. OIT. Edita Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales

Guía de actuación frente a la zoonosis en la Comunidad de Madrid. Documento técnico de Salud Pública nº26. Dirección general de Prevención y Promoción de la Salud. CAM

Guardino, X. y otros (1992). Seguridad y Condiciones de Trabajo en el Laboratorio. INSHT. Madrid.

MARTÍ SOLÉ, M<sup>a</sup> C. y otros (1997). Prevención de riesgos biológicos en el laboratorio. INSHT. Madrid

HERNÁNDEZ CALLEJA, A. y otros (2000). Condiciones de trabajo en centros sanitarios. INSHT. Madrid



## 3.1. Ruido

### INTRODUCCIÓN

El ruido se puede considerar el agente físico más común en los puestos de trabajo de cualquier actividad industrial. Sus efectos nocivos son de sobra conocidos, siendo el más estudiado la pérdida de audición. Dichos efectos dependen no solo de su nivel, sino del tiempo al cual se está expuesto, por lo que a la hora de establecer límites de exposición al ruido, hay que considerar estos dos parámetros.

El ruido se define como un sonido no deseado, molesto o desagradable. El sonido es el fenómeno físico que puede medirse y es una vibración mecánica transmitida en forma de ondas, generalmente, a través del aire y capaz de ser percibida por el órgano auditivo.

A partir de la entrada en vigor de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, se exige la Evaluación de Riesgos para, posteriormente, planificar las medidas preventivas.

Esta Evaluación de Riesgos, en el caso de los efectos auditivos del ruido, se debe realizar siguiendo los criterios establecidos en el Real Decreto 1316/1989 que es la disposición fundamental en España que regula la exposición al ruido de los trabajadores.

### OBJETIVOS

#### Objetivos generales

La Ley 31/1995 de Prevención de riesgos laborales establece un nuevo enfoque preventivo cuyos elementos básicos son la planificación de la prevención desde el momento mismo del diseño del proyecto empresarial, la evaluación inicial de los riesgos inherentes al trabajo y su actualización periódica a medida que se alteren las circunstancias, la ordenación de un conjunto coherente y globalizador de medidas de acción preventiva adecuadas a la naturaleza de los riesgos detectados y el control de la efectividad de dichas medidas.

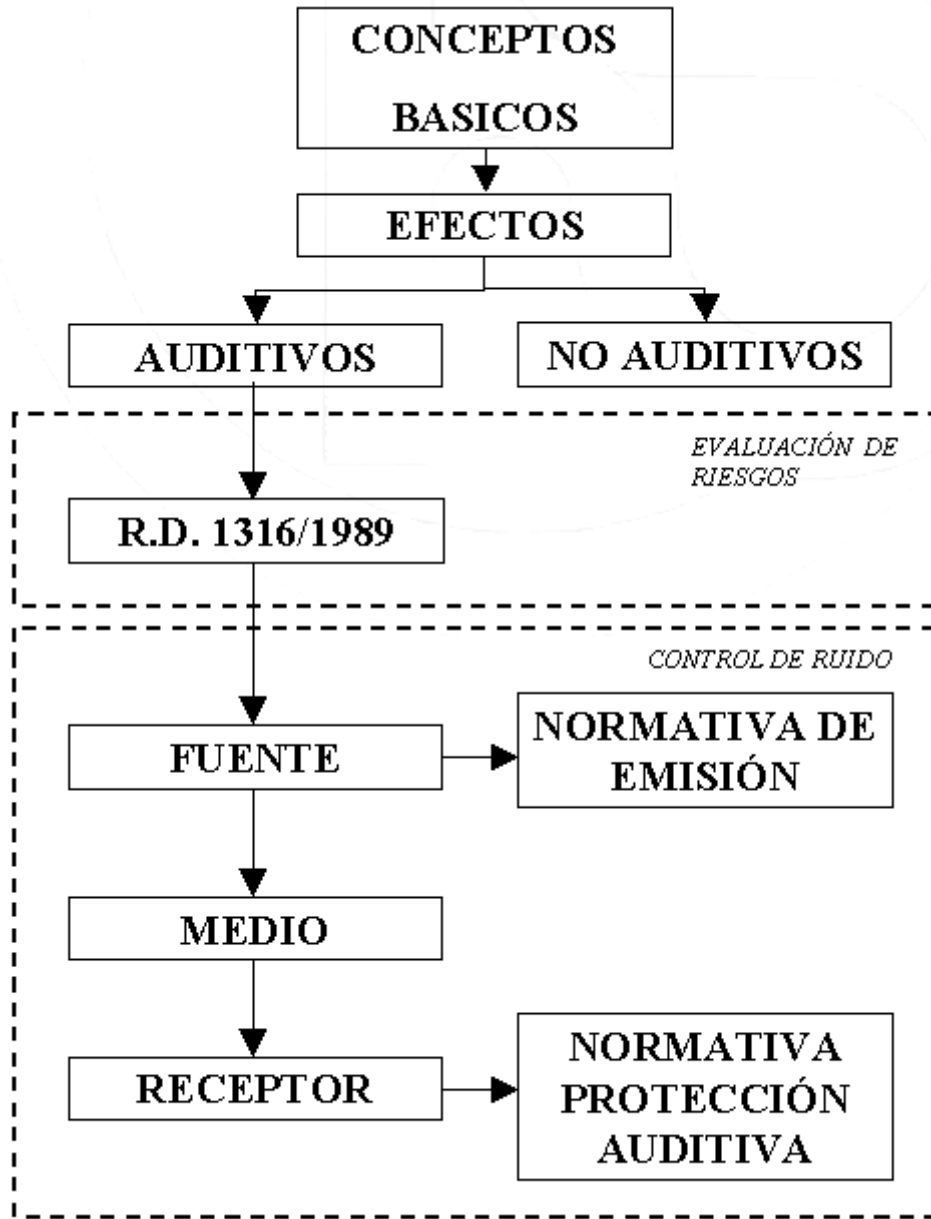
En el desarrollo de dicha Ley, varias normas reglamentarias fijan y concretan aspectos más técnicos de las medidas preventivas. Entre ellas, el Real Decreto 1316/1989 de 27 de octubre, establece una serie de medidas dirigidas a reducir la exposición al ruido durante el trabajo, para disminuir los riesgos para la salud de los trabajadores, particularmente para la audición, derivados de tal exposición.

Mediante esta unidad se pretende que el alumno conozca las actuaciones a realizar según lo establecido en el Real Decreto 1316/1989.

#### Objetivos específicos

- Conocer los conceptos básicos de acústica
- Considerar los diferentes efectos del ruido en la salud de los trabajadores.
- Evaluar una situación de exposición laboral al ruido mediante el Real Decreto 1316/1989.
- Identificar medidas de control básicas de ruido en los puestos de trabajo.
- Conocer los principios básicos de las normativas de emisión de ruido.
- Analizar la legislación y normas técnicas referentes a la protección auditiva.

ESQUEMA DE LA UNIDAD





## CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

Es necesario conocer una serie de conceptos, para poder aplicar y entender adecuadamente la Legislación comunitaria y española en cuanto a la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

### 1. ¿Qué es el ruido?

Entre las distintas definiciones de ruido, encontramos las siguientes:

- Conjunto de **sonidos** no agradables.
- Combinación de **sonidos** no coordinados que originan una sensación desagradable.
- Todo grupo de **sonidos** que interfiera una actividad humana.

En definitiva, el ruido es una apreciación subjetiva de un **sonido**. Un mismo **sonido** puede ser considerado como molesto o agradable dependiendo de la situación y sensibilidad concreta de la persona. Así, el ruido se compone de una parte subjetiva, que es la molestia, y una parte objetiva, y por lo tanto cuantificable, que es el **sonido**.

### 2. ¿Qué es el sonido?

Es un fenómeno vibratorio que, a partir de una perturbación inicial del medio elástico donde se produce, se propaga en ese medio, bajo la forma de una variación periódica de presión sobre la presión atmosférica (Figura 1). En otras palabras: es aquella vibración que el oído humano puede detectar.

El sonido se transmite mediante ondas que necesitan un medio elástico para propagarse, por lo que no se propaga en el vacío. La velocidad de propagación dependerá del medio elástico de que se trate y de las condiciones ambientales (presión, temperatura). En condiciones normales (presión = 1 atmósfera, temperatura = 20 °C) la velocidad de propagación del sonido en algunos medios es:

**Sonido es cualquier variación de presión, sobre la presión atmosférica, que el oído humano pueda detectar.**

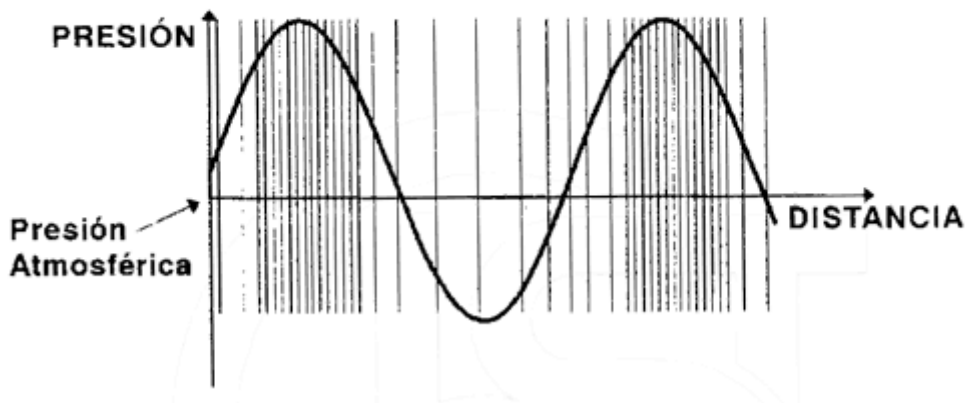


Figura 1.- Representación de una onda sonora.

- aire 340 m/seg
- agua 1460 m/seg
- madera 1000 a 5000 m/seg

### 3. Frecuencia

Si representamos gráficamente una oscilación cualquiera, la frecuencia ( $f$ ) es el número de vibraciones o de oscilaciones completas en la unidad de tiempo (Figura 2). Se mide en ciclos por segundo, que se denomina normalmente Hercios (Hz). Dependiendo de la frecuencia, el sonido tendrá un tono grave (baja frecuencia) como el que produce un compresor, un tono agudo (alta frecuencia) como el de una sierra o un tono medio como el de la voz hablada.

### FRECUENCIA

Número de variaciones de presión en un segundo

*Se mide en Hz*



Frecuencia:  $f$

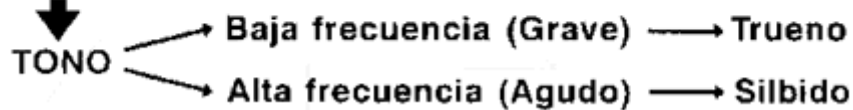


Figura 2.- Frecuencia de una onda sonora.

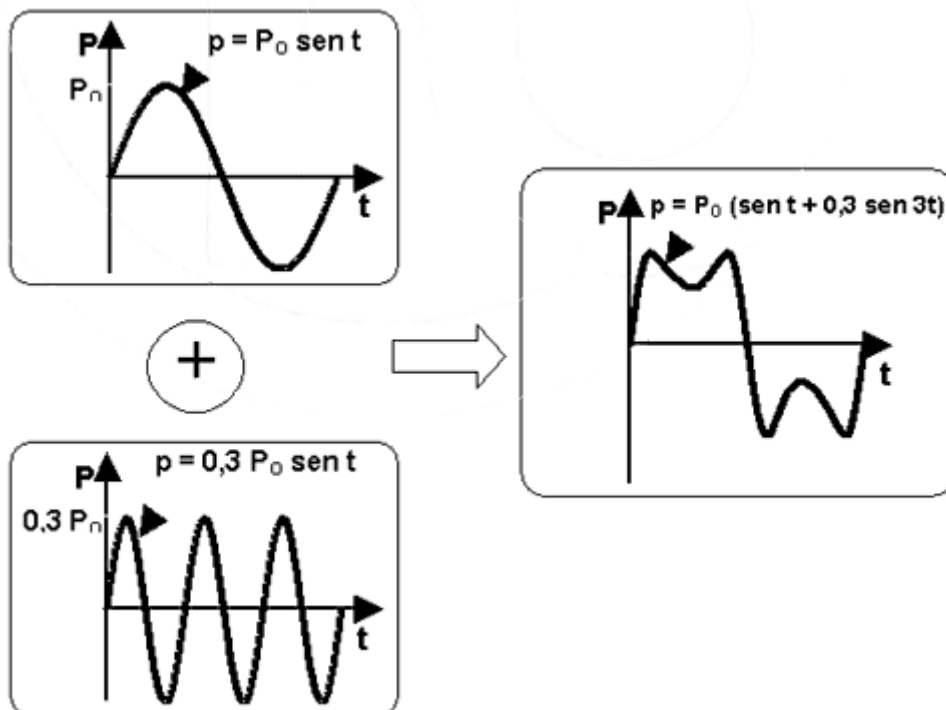


Figura 3.- Tono compuesto formado por dos tonos puros

La mayoría de los ruidos que escuchamos están formados por más de una frecuencia (Figura 3). A nivel industrial los diferentes componentes de una máquina vibran a una frecuencia

distinta, de forma que lo que parece al oído un único sonido, está formado por diferentes frecuencias.

#### 4. Tono Puro

Es un sonido cuyas variaciones de presión dependen de una sola frecuencia. Los sonidos reales están compuestos por la suma de un gran número de tonos puros, por lo que interesa descomponer un sonido real en grupos de tonos puros. Esta operación se **denomina análisis de frecuencias** y es muy útil en el control de ruido y para seleccionar protectores auditivos adecuados.

#### 5. Análisis de frecuencias

Los ruidos complejos tienen componentes en la mayoría de las frecuencias comprendidas en el espectro audible, por lo que es muy difícil y poco práctico determinar una a una las frecuencias componentes.

Por ello se divide el espectro de frecuencias en bandas de ancho proporcional y lo que se hace es medir con unos filtros que dejarán "pasar" el ruido entre unas frecuencias máxima y mínima características. Estos filtros "rechazarán" el ruido cuyas frecuencias sean superiores o inferiores a estos límites. Las bandas más utilizadas en acústica son las **bandas de octava y tercio de octava** (Figura 4).

Se denomina **banda de octava** al grupo de frecuencias comprendidas entre dos frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  que cumplan la relación:  $f_2 = 2 f_1$

Cuando se desea realizar un análisis más detallado, se emplean las **bandas de tercio de octava**, que, como su propio nombre indica, son la tercera parte de una octava. La **frecuencia central** se utiliza para caracterizar a la banda, y es la media geométrica de las frecuencias extremas:  $f_c = (f_1 \cdot f_2)^{1/2}$

Así, la banda de octava de 2000 Hz tiene como frecuencias extremas  $f_1 = 1414$  Hz,  $f_2 = 2828$  Hz. Las frecuencias centrales para las bandas de octava y de tercio de octava están normalizadas en la norma (UNE EN ISO 266).

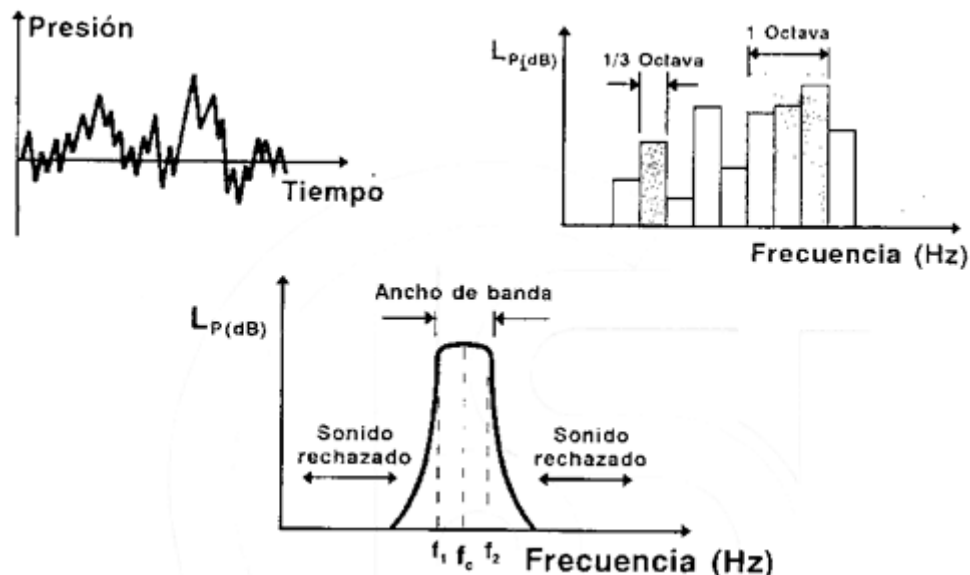


Figura 4.- Análisis de frecuencias en bandas de octava y tercio de octava.

#### 6. Presión acústica

Cuando una onda sonora se propaga en un medio elástico como el aire, se crea una variación de presión sobre la presión atmosférica que es la presión acústica.

Esta variación de presión nos sirve para caracterizar la onda sonora, pero su valor instantáneo varía continuamente con el tiempo. Al conocerse que los efectos producidos por el ruido dependen de su energía, se utiliza el **valor eficaz (rms)** (Figura 5), que es proporcional a la energía de la onda, y es el resultado de la integración de los diferentes niveles de presión instantáneos en un determinado tiempo.

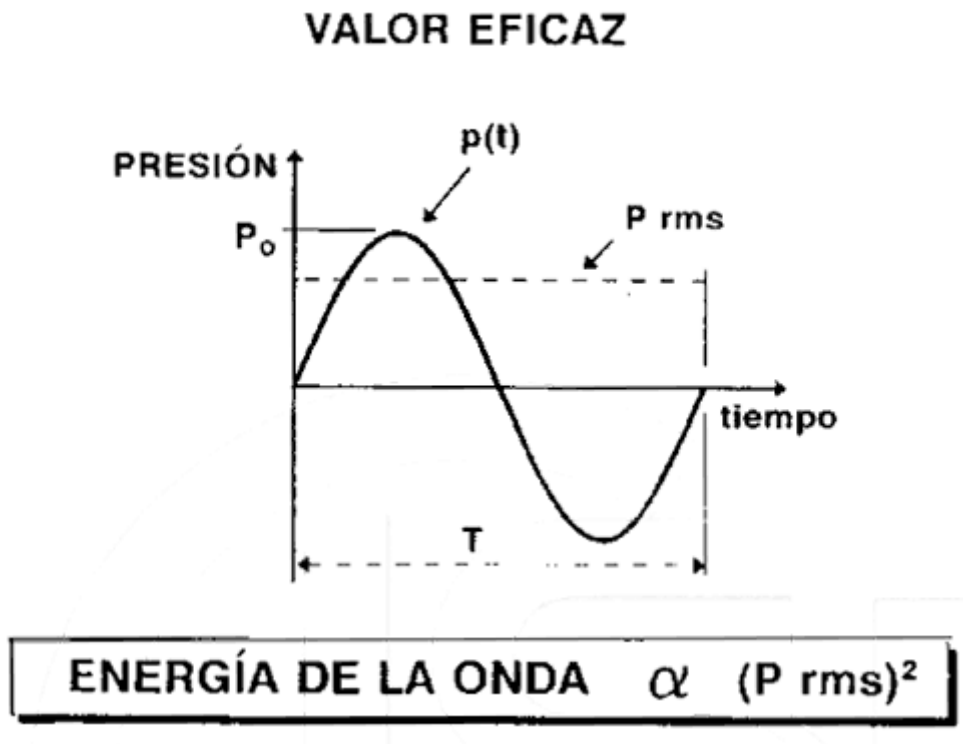


Figura 5.- Presión eficaz (rms)

### 7. Valor Pico

Es el valor máximo de la presión acústica instantánea. (Figura 6). Sirve para evaluar la exposición cuando hay ruidos de impulso (se describirá detalladamente más adelante).

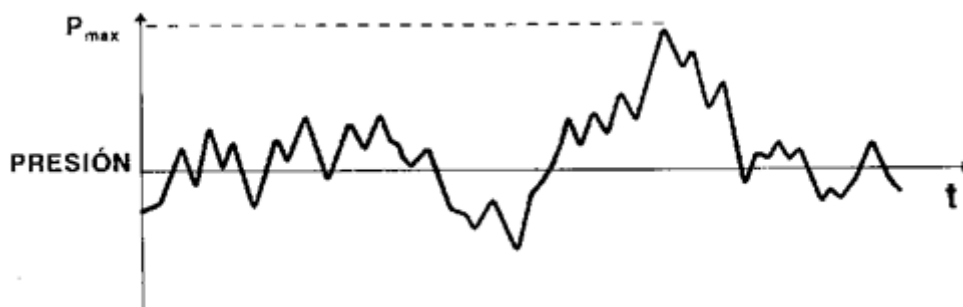


Figura 6.- Valor de pico.

### 8. Sensación sonora

El oído humano es capaz de detectar variaciones de presión acústica comprendidas entre 20  $\mu\text{Pa}$  y 200.000.000  $\mu\text{Pa}$  y de frecuencia entre 20 y 20.000 Hz (Figura 7).

## ¿ QUE OÍMOS ?

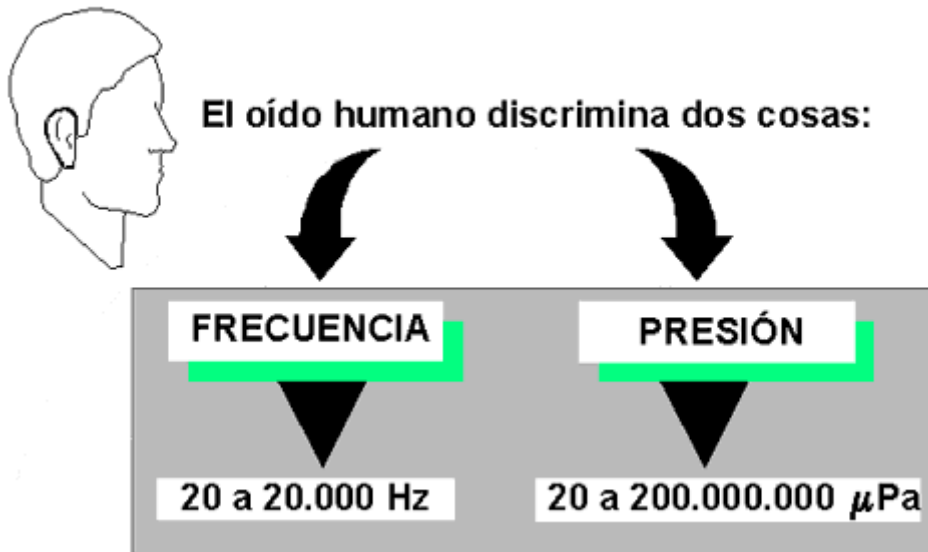


Figura 7.- Discriminación realizada por el oído.

Si la cuantificación de la presión acústica se hiciera en  $\mu\text{Pa}$ , deberíamos utilizar una escala de 20.000.000 de unidades, lo que supone muy poca operatividad.

Mediante la utilización de una fórmula matemática de tipo logarítmico convertimos esta escala en otra llamada **nivel de presión acústica**, que se mide en dB.

El decibelio se define mediante la expresión:  $\text{dB} = 10 \log (P/P_0)_2$

Siendo:

**P:** Valor de la presión acústica en Pa

**P<sub>0</sub>:** Presión de referencia = 20 $\mu\text{Pa}$

Como vemos, no es un valor absoluto sino que se relaciona siempre con un valor de referencia, 20  $\mu\text{Pa}$ , al que se le hace corresponder el valor de 0 dB.

Así, vemos que el rango queda reducido a una escala comprendida entre 0 dB (umbral de audición) y 140 dB (umbral de dolor), como se representa para diferentes ruidos en la Figura 8.

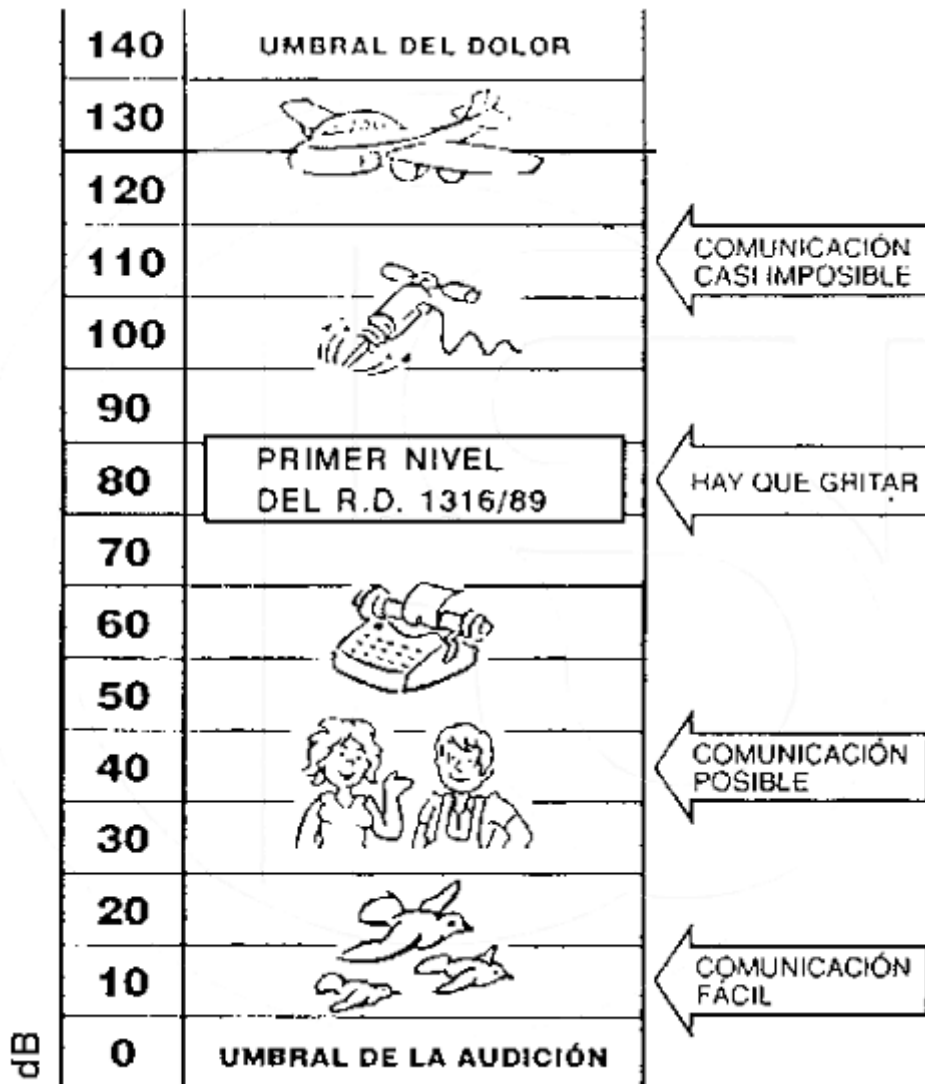
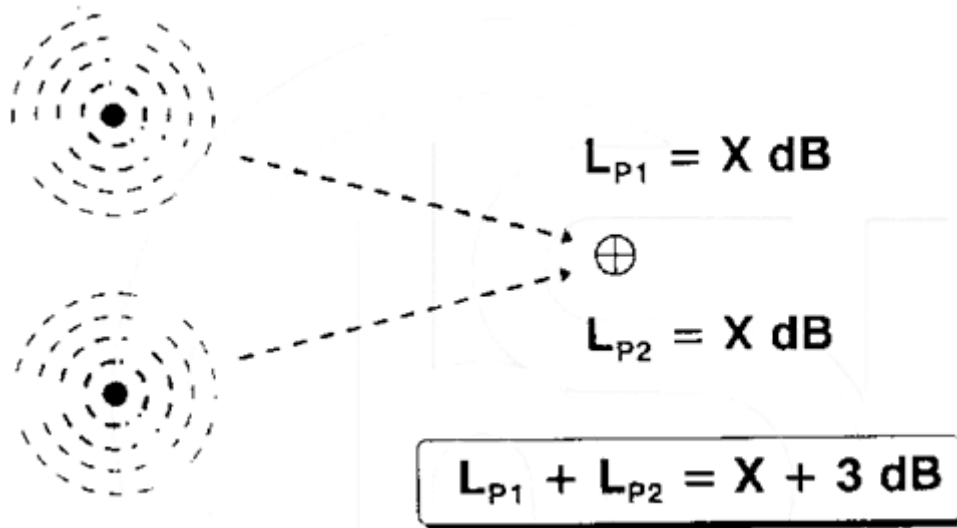


Figura 8.- El decibelio.

Como consecuencia de la propia definición de dB nos encontramos que, para sumar dos o más valores de nivel de presión acústica en dB, no podemos utilizar la suma aritmética normal.

Es necesario, por tanto, conocer que, pequeñas diferencias en la medida de un ruido expresada en dB, representan un aumento importante de energía de dicho ruido y por tanto de su posible agresividad.

Así, a modo de ejemplo, el aumento en 3 dB en el nivel de ruido implica duplicar la energía de la onda (Figura 9).



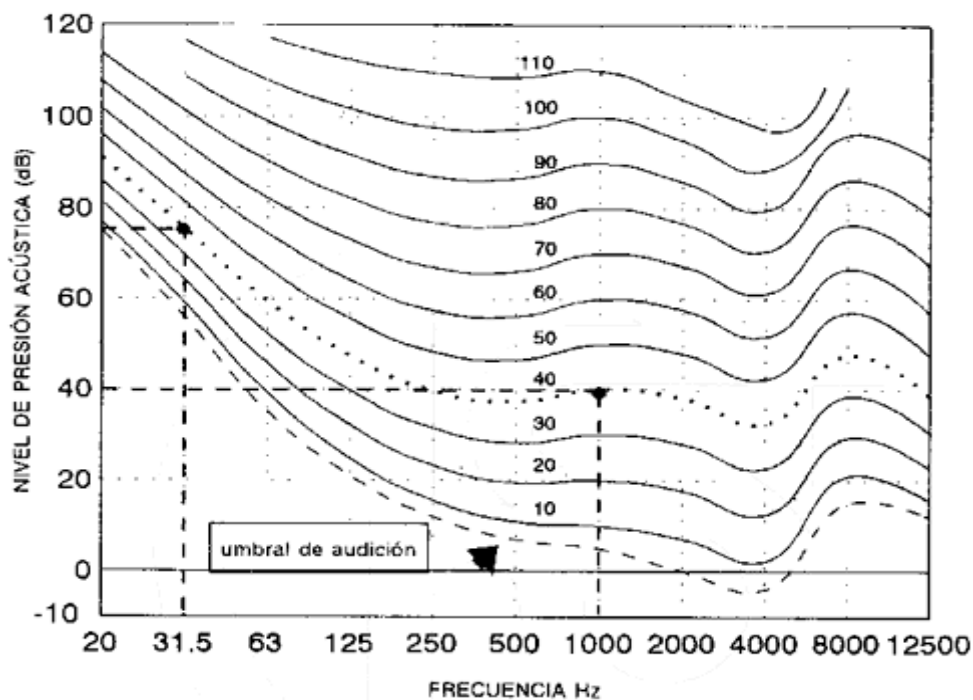
**Figura 9.- Suma de decibelios.**

Por lo tanto, además de las peculiaridades del sistema auditivo de la persona que escucha y de factores subjetivos, hay dos variables físicas fundamentales que modulan la sensación sonora que nosotros percibimos ante un ruido: nivel de presión sonora y frecuencia.

En cuanto a la frecuencia, a la hora de definir un ruido hemos de tener en cuenta su espectro de frecuencias y su nivel de presión sonora.

Una de las principales características de nuestro oído es que discrimina de forma no lineal, o lo que es lo mismo, el oído humano tiene un comportamiento desigual con el aumento de la presión sonora a las distintas frecuencias, atenuando las frecuencias de 20 a 1000 Hz, amplificando de 1000 a 5000 Hz y volviendo a atenuar de 5000 Hz en adelante.

Como vemos en la figura 10, cada curva indica los valores del nivel de presión acústica y de frecuencia que corresponden a una misma sensación sonora.



**Figura 10.- Curvas de igual sensación sonora.**

Así, vemos que tenemos la misma sensación acústica, con una onda de frecuencia 1000 Hz y 40 dB de nivel de presión acústica, que con otra onda de frecuencia 31,5 Hz y 77 dB de nivel de presión acústica.

Esta característica de "no linealidad" del oído humano es la que obliga a que, cuando se vaya a medir el ruido, sea necesario un dispositivo que permita determinar los niveles de presión acústica de forma similar al modo de percibirlos de un oído humano.

### 9 Escala A de ponderación en frecuencia

El comportamiento del oído, basándose en las curvas de igual sensación sonora, hace que se introduzcan, en los aparatos de medición de presión sonora, filtros de ponderación, que aproximen la respuesta a la del oído humano.

La escala A de ponderación en frecuencia está pensada como atenuación similar al oído humano y es la única que recoge el R.D. 1316/89 a la hora de evaluar el ruido en un lugar de trabajo. El resto de escalas de ponderación (C,B) se utilizan para otros tipos de ruido y otros efectos. Cuando se utiliza la escala A, **el nivel de presión acústica se mide en dBA** (Figura 11).

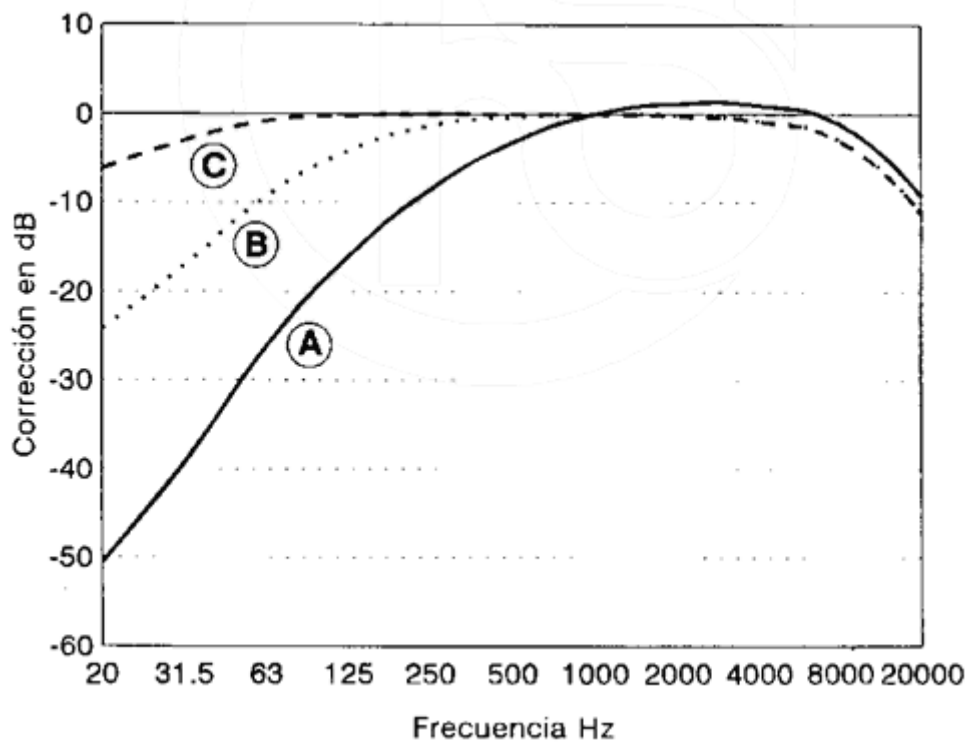


Figura 11.- Escalas de ponderación en frecuencia.



## 10. Tipos de ruido

Dependiendo de su variación en el tiempo, los ruidos se dividen en (Figura 12): :

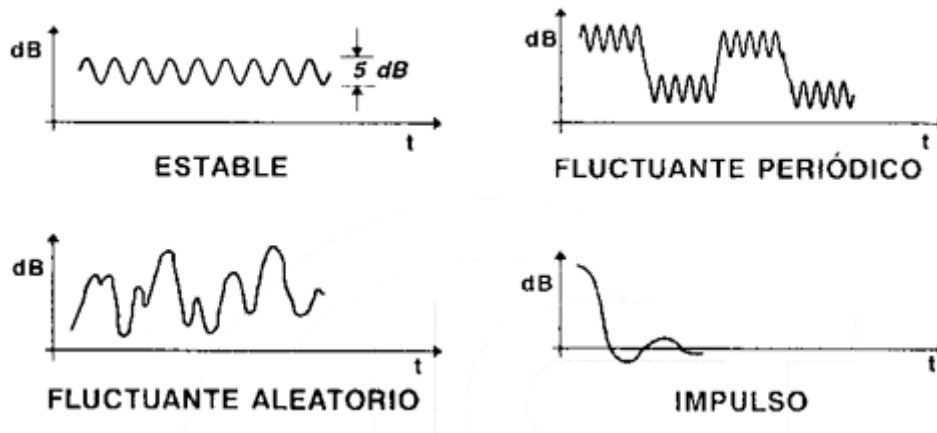


Figura 12.- Tipos de ruido.

- **Ruido estable**

El R.D. 1316/89 en su Artículo 7º del Anexo I, define ruido estable como aquel con nivel prácticamente constante que presenta fluctuaciones menores de 5 dB, durante el período de observación

- **Ruido fluctuante**

Durante la observación, este ruido varía continuamente sin apreciarse estabilidad. Puede ser:

Ruido fluctuante periódico: con una cadencia cíclica.

Ruido fluctuante aleatorio: varía constantemente de una manera aleatoria.

- **Ruido impulsivo**

Se caracteriza por un ascenso brusco de ruido y una duración total del impulso menor de un segundo, y el tiempo transcurrido entre máximos ha de ser igual o superior a un segundo.

**CAPÍTULO 2: UNIDADES Y MAGNITUDES DE MEDIDA**

A continuación se describirán una serie de unidades y magnitudes de medida para la exposición laboral a ruido, necesarias para comprender el contenido de la legislación que se comentará en apartados posteriores.

**1. Nivel de presión acústica ponderado A,  $L_{pA}$**

Es el nivel de presión acústica en dBA, cuya presión eficaz se ha medido a través de un filtro de ponderación A según se describe en la norma UNE EN 60651. Es útil para ruido estable.

**2. Nivel de pico,  $L_{max}$**

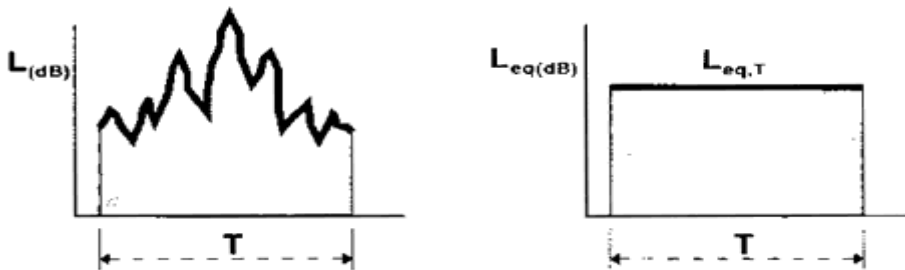
Es el nivel correspondiente a la presión máxima instantánea, midiéndose sin ninguna ponderación de frecuencia, es decir, en dB.

**3. Nivel continuo equivalente,  $L_{eq,T}$**

La gran mayoría de ruidos en los lugares de trabajo tienen niveles de presión acústica variables. Lo que se pretende con el  $L_{eq,T}$  es poder asignar al ruido variable un único valor que refleje el nivel de un ruido constante que tuviese la misma energía que el ruido variable en el período de tiempo estudiado (Figura 13).

A nivel gráfico sería considerado como aquella figura que, con un solo valor, representase igual área bajo la curva (igual energía). A nivel matemático sería representado por una "integración".

**Valor que refleja aquel nivel de ruido constante que tiene la MISMA ENERGÍA que el ruido variable en un período de tiempo determinado**



**Figura 13.- Representación del nivel continuo equivalente.**

Con esta magnitud se introduce un concepto muy importante a la hora de medirlo, que es la correcta determinación del tiempo de exposición, siendo éste un parámetro bastante difícil de conocer en determinados puestos de trabajo.

**4. Nivel continuo equivalente ponderado A,  $L_{Aeq,T}$**

Es el nivel de presión acústica continuo equivalente cuando la presión acústica se mide a través de un filtro de ponderación A, es decir, en dBA (Figura 14).

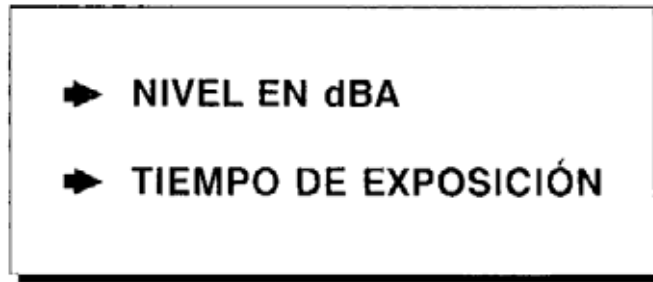


Figura 14.- Parámetros de nivel continuo equivalente en dBA.

5. Nivel diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$

Es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, cuando el tiempo de exposición se refiere a una jornada de trabajo de 8 horas.

Es el parámetro más importante de la legislación española, que nos permite tener una serie de valores comparables a la hora de evaluar la exposición al ruido.

**Es el nivel de presión acústica continuo equivalente en dBA cuando el tiempo de exposición se NORMALIZA a una jornada de trabajo de 8 h**

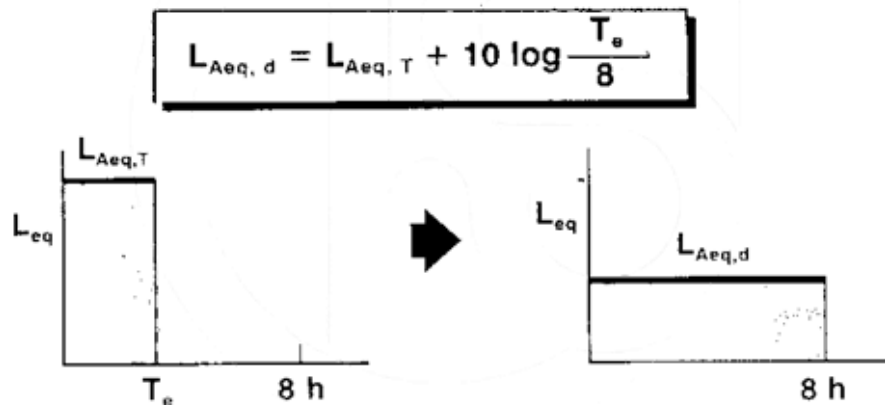
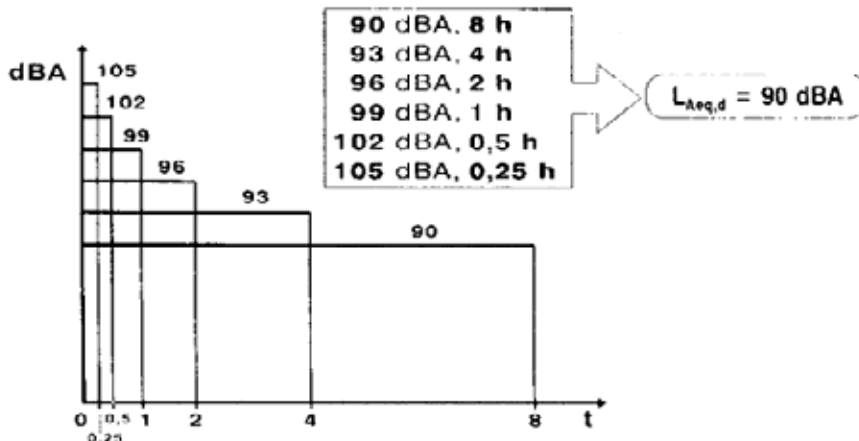


Figura 15.- Nivel diario equivalente cuando el tiempo de exposición es  $T_e$ .

En la figura 15 podemos observar que, si el tiempo de exposición es menor que el tiempo de referencia de 8 horas, el nivel equivalente diario también es menor. Es como si la misma dosis de ruido se tuviese que repartir en más tiempo y que durante ese tiempo el ruido fuese insignificante a la hora de "sumarlo logarítmicamente" (Figura 16).



**Figura 16.- Diferentes niveles de ruido con diferentes tiempos de exposición, todos ellos con un nivel diario equivalente de,  $L_{Aeq,d}$  de 90 dBA.**

La normativa española (R.D. 1316/1989) establece 3 niveles de exposición en términos de  $L_{Aeq,d}$  (80 dBA, 85 dBA, y 90 dBA) que se compararán con los valores medidos en los mismos términos.

**6 Nivel semanal equivalente,  $L_{Aeq,s}$**

Existen puestos en los que hay una gran variación entre los  $L_{Aeq,d}$  de cada día de trabajo, en estos casos se puede utilizar el nivel semanal equivalente calculado por la suma "logarítmica" de los niveles correspondientes a cada uno de los 5 días de trabajo. Únicamente se puede utilizar esta magnitud en las condiciones del Art. 4 del R.D. 1316/1989, con la previa comunicación a la autoridad laboral competente.

**CAPÍTULO 3: EFECTOS DEL RUIDO**

Los efectos de ruido para la salud se pueden clasificar en dos tipos. Por una parte, aquéllos que tienen una relación directa con la exposición al ruido, cuya consecuencia es la pérdida de audición, estos son los efectos auditivos. Por otra parte se encuentran aquéllas alteraciones tanto fisiológicas como psicológicas producidas por el ruido como agente estresante, a estos efectos se les denomina efectos no auditivos.

**1. Efectos auditivos**

Para comprender porqué se produce la pérdida de audición es necesario tratar, aunque sea brevemente, el mecanismo de la fisiología de la audición.

**1.1. Fisiología de la audición**

Como hemos dicho anteriormente, el ruido es una vibración que se transmite en el aire por medio de ondas. Estas vibraciones son "conducidas" por el **conducto auditivo externo** hasta la membrana timpánica, la cual transmite las vibraciones a través de la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo) ubicada en el **oído medio**, hasta el **oído interno**. Dicha cadena osicular amplifica la vibración, es decir, convierte un movimiento vibratorio gaseoso de poca presión en uno de gran presión y lo transmite mediante un medio líquido hasta el órgano receptor del **oído interno** (órgano de Corti) situado en la cóclea o caracol.

Las células receptoras (células ciliadas del órgano de Corti) convierten las ondas vibratorias en impulsos nerviosos que serán transmitidos por el nervio acústico hasta la corteza cerebral, produciéndose así la percepción del sonido. En la figura 17. se representa el interior de un oído con sus diferentes partes.

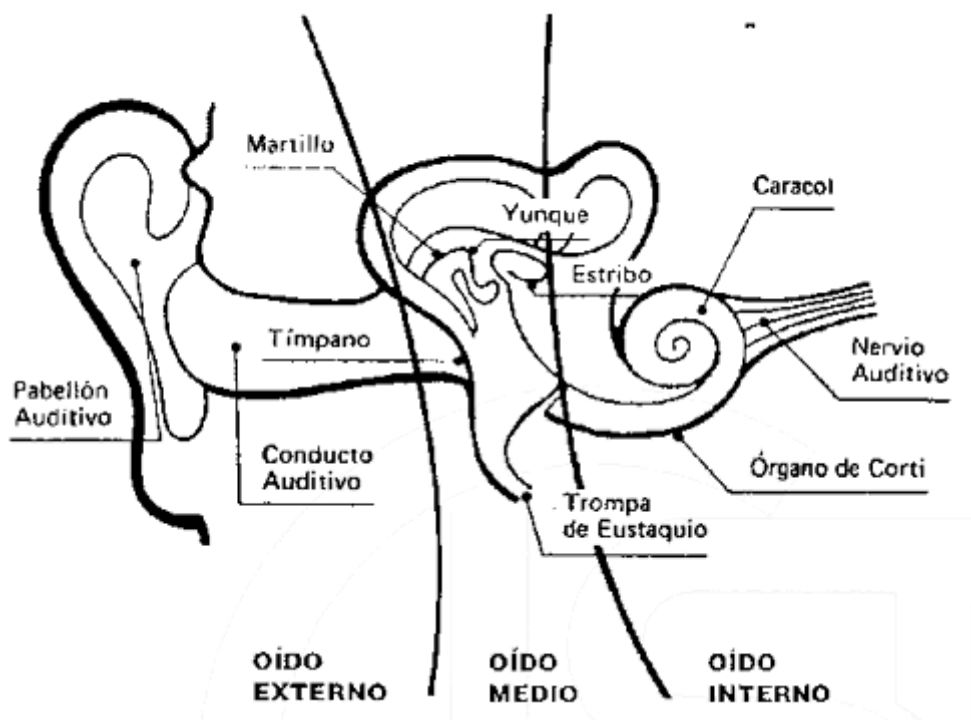


Figura 17. Interior del oído con sus diferentes partes

## 1.2. Efectos del ruido sobre la audición

La función auditiva del oído puede verse afectada por causas orgánicas, funcionales, patógenas o traumáticas. Cada una de estas causas lesiona el órgano auditivo a diferentes niveles dando lugar a diferentes tipos de hipoacusia:

- **Hipoacusia de Transmisión:** por afectación del oído externo o del oído medio, dificultando la transmisión del sonido hasta el oído interno.
- **Hipoacusia de Percepción:** por lesión del oído interno, nervio auditivo, vías o centros de la audición. Se altera la **recepción** del sonido (lesión en las células ciliadas del órgano de Corti) o su llegada, en forma de corriente nerviosa, a los centros auditivos.
- **Hipoacusia Mixta:** es una mezcla de las dos anteriores. Está alterado tanto el mecanismo de transmisión como el de recepción.

**El Ruido lesiona el centro receptor del sonido situado en el oído interno, por lo que da lugar a una HIPOACUSIA DE PERCEPCIÓN<sup>1</sup>**

El grado de la lesión depende de dos factores fundamentales: la **intensidad** del ruido y el **tiempo de exposición**. Al aumentar cualquiera de los dos, aumenta el riesgo de pérdida de audición.

Un ruido muy intenso de corta duración provoca un "**Trauma acústico agudo**" por rotura del tímpano y/o lesión del oído interno. Ruidos intensos con exposiciones prolongadas y repetidas originan un "**Trauma acústico crónico**", en el cual se destruyen las células ciliadas del órgano de Corti, con una precoz y mayor afectación de las células ubicadas en la base del caracol.

- Inicialmente el ruido intenso produce una "**Fatiga auditiva**", que se detecta como una disminución del umbral auditivo o como sensación de ensordecimiento, posterior al estímulo auditivo intenso. Se recupera totalmente con el reposo.

<sup>1</sup> Es una disminución de la capacidad auditiva producida en el órgano de recepción del sonido o en el camino de éste hacia los centros nerviosos. La exposición laboral a ruido produce una Hipoacusia de este tipo en la recepción del sonido, pues se alteran las células ciliadas del Órgano de Corti.

- Si la pérdida auditiva no se recupera con descansos adecuados, se produce el denominado "Trauma acústico crónico", el cual se caracteriza por la pérdida de audición para las altas frecuencias, siendo la frecuencia de 4.000 Hz la más afectada.
- Si la exposición al ruido se mantiene, se dañan las frecuencias adyacentes alterando, con el tiempo, las frecuencias conversacionales (de 500 a 2.000 Hz). De esta forma, se llega a la "**Hipoacusia o Sordera**" que, si es producida como consecuencia de la realización de un determinado trabajo, se denomina SORDERA PROFESIONAL.

La Sordera Profesional se caracteriza por lo siguiente:

- Es una hipoacusia neurosensorial por afectación del oído interno.
- Está asociada a un historial de prolongada exposición al ruido.
- Su desarrollo es gradual.
- La pérdida auditiva se inicia en las frecuencias altas.
- Afectación similar de ambos oídos, salvo excepciones.
- La lesión auditiva no progresa si el trabajador es retirado del ambiente ruidoso.

Para llevar a cabo un control correcto de la función auditiva, se realizan **audiometrías**<sup>2</sup> que detectan la pérdida de audición en las distintas frecuencias, la intensidad del trauma acústico y el tipo de hipoacusia. Los resultados se representan en forma gráfica mediante el audiograma. La figura 18 muestra un ejemplo de audiograma<sup>3</sup> donde se representa la evolución de la sordera siendo:

- Curva A: Trauma acústico inicial.
- Curvas B y C: Hipoacusia que afecta a las frecuencias conversacionales.

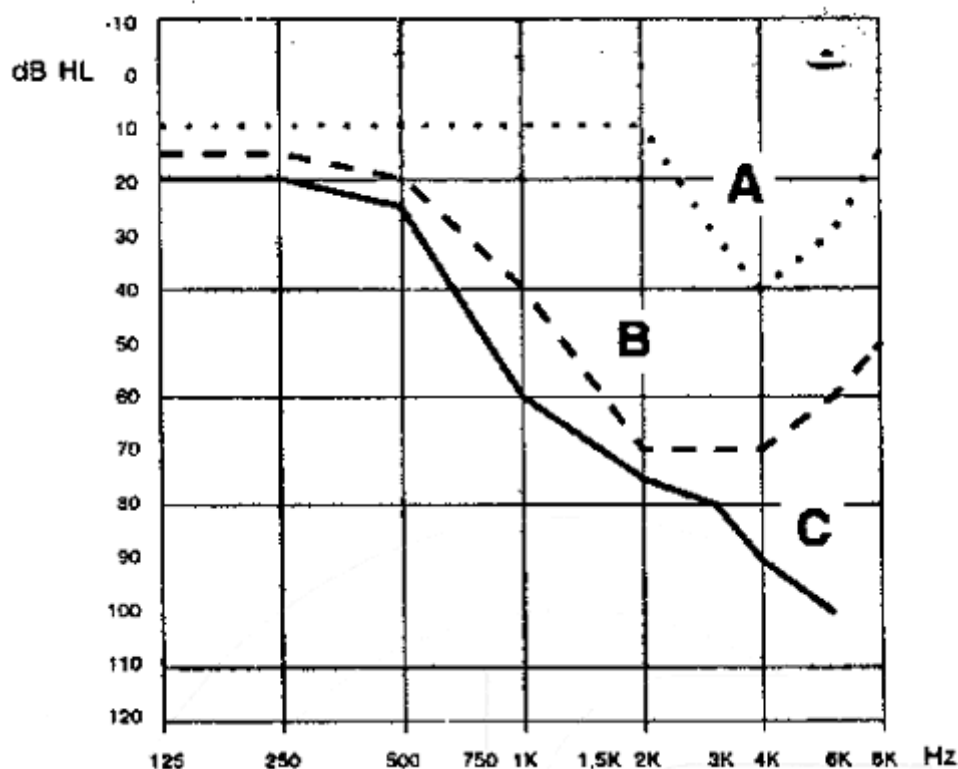


Figura 18. Audiograma: Evolución en el tiempo de las audiometrías

<sup>2</sup> Medida de la capacidad auditiva mediante un equipo llamado audiómetro que produce estímulos acústicos de frecuencia e intensidad conocidas.

<sup>3</sup> Registro de las variaciones de la agudeza auditiva de un individuo para unas frecuencias determinadas.

## 2. Efectos no auditivos

El ruido es uno de los agentes físicos más extendidos en el medio laboral, tanto en industrias cómo en otros ambientes de trabajo.

En ciertos tipos de trabajo, como por ejemplo en oficinas, supermercados, bancos, etc. no se van a producir pérdidas de audición graves dado que los niveles de exposición diarios existentes raramente van a superar aquellos a partir de los cuáles se pueden ocasionar daños al aparato auditivo.

Ahora bien, de todos es conocido que el ruido no sólo puede producir daños para el aparato auditivo, sino también otros problemas relacionados con órganos diferentes a los de la audición, provocar molestias para el desarrollo de algunas tareas e interferir en la comunicación.

Las molestias y problemas ocasionados por el ruido dependen básicamente de los siguientes aspectos:

- **Parámetros acústicos:** la intensidad del ruido existente y su composición espectral en frecuencias.
- **Las exigencias auditivas y de concentración** que demanden las propias tareas a desarrollar.
- **Las características individuales:** actitud, interés, motivación, estado fisiológico, etc.
- **El estado físico y psíquico** de los individuos.

Hoy en día se sabe que los posibles efectos perjudiciales del ruido sobre la salud son muy numerosos y variados (Figura 19) y, muchas veces, la exposición a intensidades de ruido que se podrían considerar, hasta cierto punto, "seguras" para el oído, pueden sin embargo estar afectando negativamente la salud y el bienestar de los trabajadores a otros niveles; este es el caso de ciertos puestos y tareas entre los que están los de oficinas.

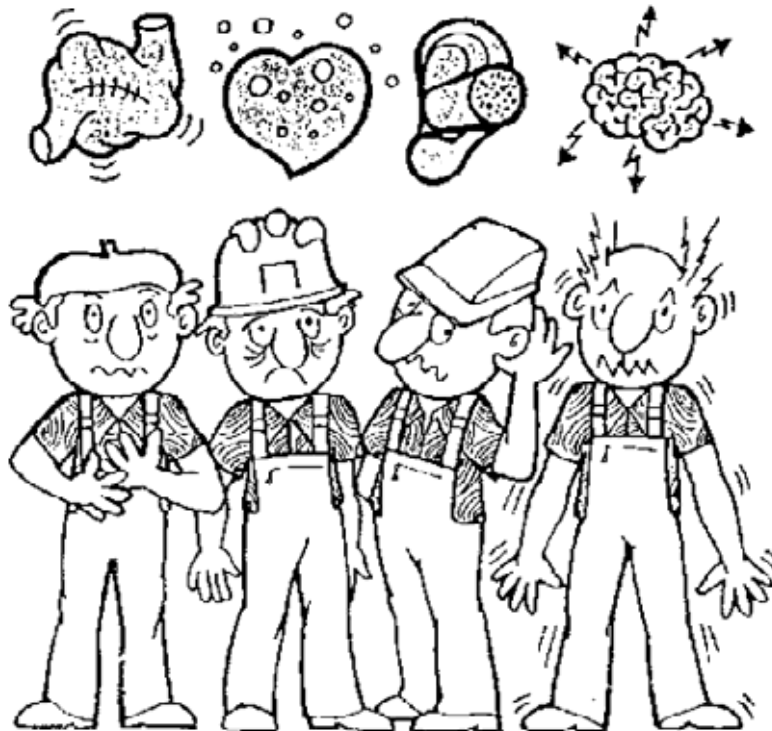


Figura 19

## 2.1. Efectos fisiológicos

El ruido puede producir otros efectos en órganos diferentes al oído. Estos efectos se producen porque las vías auditivas del Sistema Nervioso Central no sólo se corresponden con el centro nervioso de la audición sino con otras conexiones indirectas, y en concreto con el Sistema Nervioso Autónomo, que regula el funcionamiento de otros órganos.

Los principales efectos fisiológicos estudiados derivados de la exposición al ruido son:

- Aumento del ritmo cardíaco
- Vasoconstricción
- Aceleración del ritmo respiratorio
- Disminución de la actividad de los órganos digestivos
- Reducción de la actividad cerebral (con el consiguiente efecto sobre el rendimiento)

Por **ejemplo**, todos hemos tenido alguna vez la sensación de sobresalto por un ruido repentino: el corazón se acelera, la respiración se hace más fuerte, las pupilas se dilatan y la piel queda pálida y sudorosa. Esta es una reacción normal de alerta ante lo que, instintivamente, consideramos una amenaza del medio que nos rodea. Esa sensación es el reflejo de toda una serie de alteraciones nerviosas y hormonales que se producen en el interior de nuestro organismo.

En principio, este tipo de reacciones no supone ningún problema; el cuerpo vuelve poco a poco a la normalidad. Sin embargo, en el caso de exposiciones prolongadas a ruidos muy intensos se pueden producir alteraciones permanentes. Así, en trabajadores de industrias ruidosas se ha observado la aparición de úlceras o alteraciones del corazón con mayor frecuencia.

Sin embargo, no está comprobada la relación entre niveles de exposición y efectos fisiológicos, pudiendo ser debidos, estos efectos, también a otros factores diferentes a las propias características acústicas.

## 2.2. Efectos psicológicos. Interferencia con el sueño

El ruido puede producir modificaciones del carácter o del comportamiento como:

- Agresividad
- Ansiedad
- Disminución de la atención

Estas modificaciones van a depender de diversos factores, unos ligados a la persona y otros a sus condiciones de trabajo:

- La actitud del sujeto frente al ruido
- Sensibilidad del sujeto al ruido
- Evaluación de las posibilidades de reducirlo
- Actitud del sujeto respecto al tipo y condiciones del local
- Momento de la jornada

Además de estos efectos psicológicos, se ha observado que los trabajadores expuestos a ruidos intensos durante el día pueden tener dificultades a la hora de conciliar el sueño o, incluso, despertarse a media noche con mayor frecuencia.

El acortamiento o la interrupción del sueño dificultan la acción reparadora del mismo y por lo tanto el bienestar y la capacidad para el trabajo.

El despertar está ligado a la excitación del Sistema Nervioso Autónomo descrita en el apartado anterior. El hombre, durante el sueño, es sensible a ruidos inesperados o insólitos aunque estos dependen de su propia sensibilidad y estado psicológico.

Algunos autores intentan cuantificar estos efectos mediante manifestaciones como incremento del número de despertares, reducción del tiempo total de sueño, etc.

**No hay una relación directa entre ciertas manifestaciones no auditivas y niveles de exposición al ruido, con lo que la única forma de evitar los efectos es controlar dicha exposición.**



### 2.3. Interferencias con la actividad

La presencia de determinados niveles de ruido afecta a la realización del trabajo: dificulta la concentración, disminuye la atención y actúa como elemento de distracción, disminuyendo el rendimiento.

Se ha señalado que todos estos hechos podrían contribuir a aumentar el número de accidentes de trabajo en puestos de trabajo determinados. La interferencia con el desarrollo de las tareas depende de:

- Dificultad de la tarea y complejidad
- Duración de la tarea
- Características del ruido (nivel, composición espectral y tipo de ruido)
- Predisposición individual y estado del sujeto (motivación, capacidad de concentración, interés por la tarea, etc.).

Un mismo tipo de ruido podría disminuir la concentración en unos casos, o ser estimulante en otros como es el caso de las tareas monótonas o repetitivas.

Si el ruido es intermitente o inesperado puede causar un efecto de sobresalto que, aparte de producir los efectos fisiológicos antes citados, influye negativamente en el desarrollo de cualquier tarea.

Así, por ejemplo, existen valores de nivel de ruido recomendados en la bibliografía, que si **se superan podrían afectar a distintas tareas de oficina:**

- 55BA: Trabajos de oficina, fundamentalmente intelectuales y con grandes exigencias de concentración.
- 65 dBA: Trabajos con máquinas de escribir
- 70 dBA: Trabajos de oficina altamente mecanizados

### 2.4. Molestias provocadas por el ruido

Según la propia Organización Mundial de la Salud, en el ambiente laboral no existe riesgo identificable de pérdidas auditivas para una exposición de Nivel Sonoro Equivalente por debajo de 75 dBA durante la jornada laboral de 8 horas, aunque pueden producirse **molestias** o quejas de los trabajadores a niveles inferiores.

Paradójicamente, personas expuestas a niveles elevados de ruido dicen "acostumbrarse" al ruido, pero, más que una ventaja, ello indica que el organismo se ha "rendido" ante un elemento agresivo presente en su medio, en este caso el ruido. De todas formas, el hecho de estar "acostumbrado" no evitará la aparición de cualquiera de los otros efectos perjudiciales revisados anteriormente.

En el caso de las molestias ocasionadas por el ruido sí se ha observado una relación entre los parámetros acústicos (intensidad y frecuencia) y el grado de molestia.

### 2.5. Interferencia con la comunicación

La inteligibilidad de la palabra es un factor importante a considerar en el diseño de entornos de trabajo. En muchas tareas es imprescindible la comunicación oral, cara a cara, o mediante otros sistemas electroacústicos como teléfonos, interfonos, sistemas de megafonía, etc.

La presencia de niveles de ruido elevados dificulta la comunicación hablada con los compañeros u otras personas, repercutiendo negativamente en el trabajo realizado. Se ha observado que en los trabajadores expuestos a niveles de ruido elevados son más frecuentes las alteraciones de garganta y de laringe (debido a que deben forzar su voz para hacerse entender). Además, la imposibilidad de comunicarse durante la jornada, aumenta el aislamiento de los trabajadores y las condiciones de trabajo son más penosas.

La interferencia del ruido con la comunicación verbal depende fundamentalmente de:

- Nivel y contenido espectral del ruido de fondo existente
- Tono de voz a emplear para la comprensión del mensaje verbal
- Distancia entre el locutor y perceptor
- Exigencias conversacionales de la tarea

#### CAPÍTULO 4: REAL DECRETO 1316/1989 SOBRE PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES FRENTE A LOS RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO DURANTE EL TRABAJO

Antes de analizar el contenido del marco normativo del ruido conviene definir tres conceptos diferentes (Figura 20) ya que la normativa hace referencia a los mismos:

- **Emisión de ruido:** Radiación sonora de una fuente. Es una propiedad característica de la fuente que no depende del entorno ni del local donde se encuentre.
- **Inmisión de ruido:** Impacto del ruido en un puesto determinado. Depende de la distancia al puesto, del entorno y del local donde se encuentre la fuente.
- **Exposición al ruido:** Impacto del ruido en el trabajador. Depende de la movilidad del trabajador y del tiempo de exposición.

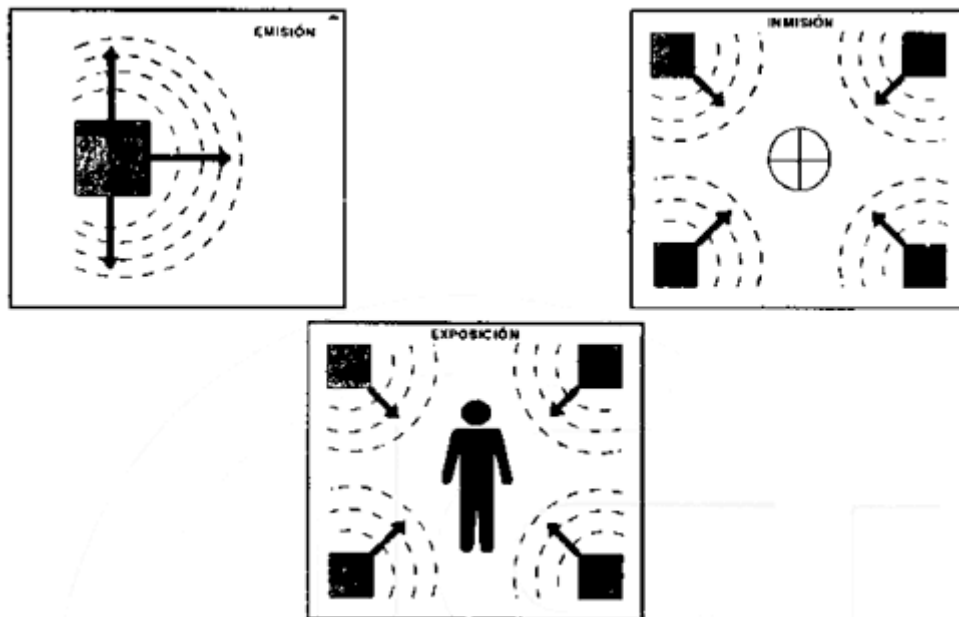


Figura 20: Conceptos de emisión, inmisión y exposición.

La disposición fundamental en España para la protección de los trabajadores de los efectos nocivos de la exposición al ruido es el R.D. 1316/1989, cuyo objetivo es reducir la **exposición al ruido** en el trabajo.

En el R.D. se recogen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo que debe aplicar el empresario en su centro: limitación de la exposición, medición, evaluación y reducción del ruido en el lugar de trabajo, declaración de ruido emitido por las máquinas y reducción de la exposición.

#### 1. Objeto y conceptos generales

El objeto del R.D. es la protección de los riesgos derivados de la exposición al ruido, principalmente **frente a las pérdidas de audición**.

En el Anexo 1 del citado R.D. se definen una serie de conceptos técnicos necesarios a la hora de medir la exposición al ruido, estableciendo que el **nivel diario equivalente<sup>4</sup> en dBA** ( $L_{Aeq,d}$ ) es aquél que será necesario medir y/o calcular para evaluar la exposición al ruido.

**El nivel diario equivalente contiene dos conceptos:**

- **Nivel en dBA de ruido**
- **Tiempo de exposición (referido a 8 horas)**

Para completar la evaluación, también se mide el **nivel de pico<sup>5</sup>**, que no deberá ser superior a 140 dB.

Por último, se define el **ruido estable** como aquel tipo de ruido cuyo nivel de presión acústica ponderado (A) varía (entre un máximo y un mínimo) en menos de 5 dB.

## 2. Obligaciones de carácter general del empresario

El empresario (según Art. 2 del R. D.) tiene la obligación de:

- Reducir al mínimo posible el nivel sonoro de los puestos de trabajo actuando en el origen del mismo prioritariamente, es decir reduciendo la **emisión de ruido** de la fuente sonora.
- Tener en cuenta lo anterior en la concepción de nuevos puestos de trabajo o en la modificación de los ya existentes.
- Cumplir las obligaciones específicas en cada situación de exposición al ruido.

## 3. Evaluación de la exposición

El empresario deberá evaluar la exposición de los trabajadores al ruido con el objeto de compararla con los criterios establecidos en el citado R. D. (Art. 3). Esta evaluación comprenderá:

- Evaluación de los puestos de trabajo existentes antes del 31 de marzo de 1990.
- Evaluaciones adicionales cada vez que se cree o modifique un puesto de trabajo.
- Evaluaciones periódicas que dependerán del nivel de exposición al ruido, no siendo necesarias si el nivel de ruido es manifiestamente inferior a 80 dBA y 140 dB pico.

**La evaluación de la exposición al ruido debe realizarse de acuerdo con el Real Decreto 1316/89, que se refiere a daños para la audición**

Para realizar correctamente esta evaluación se han de tener en cuenta:

- El nivel de ruido en el puesto ha de ser medido con una instrumentación adecuada a cada tipo de ruido y que además cumpla una serie de requisitos que se detallarán en el punto siguiente.
- Las mediciones han de ser representativas de las condiciones de exposición al ruido, es decir, se realizará una determinación correcta del tiempo de exposición en el puesto y en cada operación o tarea dentro del puesto que entrañe diferencias en cuanto al nivel y tipo de ruido.
- La aplicación informática "GADER" del INSHT constituye una guía para la medida y evaluación de la exposición al ruido y permite archivar datos sobre esta exposición y el control de la función auditiva, así como planificar la actuación preventiva a adoptar y realizar el control periódico de su eficacia.

---

<sup>4</sup> Es aquel nivel de ruido equivalente normalizado para 8 horas de jornada de trabajo.

<sup>5</sup> Es el valor máximo instantáneo de presión acústica en dB. Es un parámetro muy necesario para evaluar el riesgo de exposición al ruido ya que un valor instantáneo muy elevado puede producir daños auditivos.

**3.1. Instrumentos de medición**

Para el cálculo del **nivel diario equivalente**,  $L_{Aeq,d}$  se utilizarán diferentes instrumentos de medida, dependiendo del tipo de ruido existente y de la movilidad del trabajador al realizar la tarea, obteniéndose diferentes parámetros de medida según los diferentes instrumentos. Estos instrumentos han de cumplir una serie de condiciones, contenidas en el [Anexo 3 del R.D.](#) y que se encuentran resumidas en el cuadro 1.

El Anexo 3 del R.D. establece que los instrumentos deberán medir el [nivel de pico](#) o detectar si se han superado 140 dB.

El Anexo 2 del R.D. dedicado a la medición del ruido, establece que los instrumentos de medida deberán ser debidamente calibrados antes y después de la medición, que éstas mediciones serán representativas de la exposición, tanto en número como en duración y, por último que las mediciones se realizarán en ausencia del trabajador a la altura de su oído y, si esto no es posible, a una distancia de 10 cm de su oído, teniendo en cuenta todos aquellos factores que pudieran perturbar dicha medición.

**CUADRO 1 CUADRO RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA**

EQUIPO ADECUADO	TIPO DE RUIDO	PARÁMETRO MEDIDO	REQUISITOS
Sonómetro	Ruido estable	Nivel de presión sonora $L_{pA}$ . (El $L_{Aeq,T}$ se calcula a partir de la media de los niveles de presión sonora medidos)	Cumplir con la norma UNE EN 60651 para instrumentos del tipo 2, como mínimo. Respuesta "Slow" y ponderación A.
Sonómetro integrador	Todo tipo de ruido y puestos fijos	Nivel de presión sonora continuo equivalente $L_{Aeq,T}$	Cumplir con la norma UNE EN 60804 para instrumentos del tipo 2, como mínimo.
Dosímetro	Todo tipo de ruido en puestos fijos y móviles	Dosis de ruido expresada en %. (A partir del % de dosis se calcula el $L_{Aeq,d}^3$ )	Cumplir con la norma UNE EN 60804 para instrumentos del tipo 2, como mínimo.

**El  $L_{Aeq,d}$  (NIVEL DIARIO EQUIVALENTE) se calculará a partir del nivel de ruido medido y del tiempo de exposición**

En función de los resultados de la evaluación se deberán realizar las actuaciones que se establecen en los artículos. 5,6 y 7 del R.D.

Estas actuaciones se realizarían al comparar el  $L_{Aeq,d}$  medido y/o calculado en cada caso, con los criterios de evaluación que establece el R.D. en términos de  $L_{Aeq,d}$  (Cuadro 2.).

**CUADRO 2. ACTUACIONES A REALIZAR SEGÚN EL R.D. 1316/1989**

NIVEL DIARIO EQUIVALENTE	ACTUACIONES			
$L_{Aeq,d} > 90$ dBA o Nivel de pico > 140 dB	Evaluación del puesto anual	Control auditivo anual	Uso obligatorio de protectores auditivos	Programa de medidas técnicas u organizativas para reducir el ruido.
$L_{Aeq,d} > 85$ dBA		Control auditivo cada 3 años	Suministro obligatorio de protectores auditivos	
$L_{Aeq,d} > 80$ dBA	Evaluación del puesto cada 3 años	Control auditivo cada 5 años	Suministro de protectores auditivos a los que lo soliciten	

#### 4. Control de la función auditiva

El R. D. establece las circunstancias en que ha de realizarse el control de la función auditiva así como su periodicidad y también las características, requisitos e instrumentación de la misma. El Anexo 4 del R.D. trata de cómo ha de realizarse el control de la función auditiva para prevenir las pérdidas de capacidad auditiva causadas por la exposición a ruido.

Este control comprende un reconocimiento inicial con una serie de características a cumplir y una serie de reconocimientos periódicos, cuya periodicidad depende del nivel de exposición, además, se deben cumplir una serie de requisitos (Cuadro 3).

Para el control de la función auditiva se ha de realizar:

- **Anamnesis.** Cuestionario que recogerá las exposiciones anteriores, antecedentes otológicos familiares, exposiciones al ruido laborales y extralaborales, edad, ingestión de medicamentos ototóxicos, etc.
- **Otoscoopia.** Inspección del conducto auditivo externo, en busca de determinados signos, infecciones, tapones o cualquier otra indicación de posibles anomalías que pueden enmascarar la prueba audiométrica.
- **Control audiométrico.** Según establece el R. D. en su Anexo 4, constará como mínimo de una audiometría de tonos puros para la determinación de umbrales de audición por vía aérea según la norma ISO 6189:1983 (UNE 74-151-92). La audiometría cubrirá la frecuencia de 8 kHz y el nivel sonoro ambiental (en la sala de la prueba) permitirá la medición de un umbral de audición de 0 dB, según ISO 389:1975 (UNE 74-020-91). También ha de cumplirse el requisito de que los audiómetros deberán satisfacer las especificaciones para los del tipo 4, según la norma CEI 645/79 (UNE 20-641-81).

#### 5. Registro, archivo de datos, Información y formación.

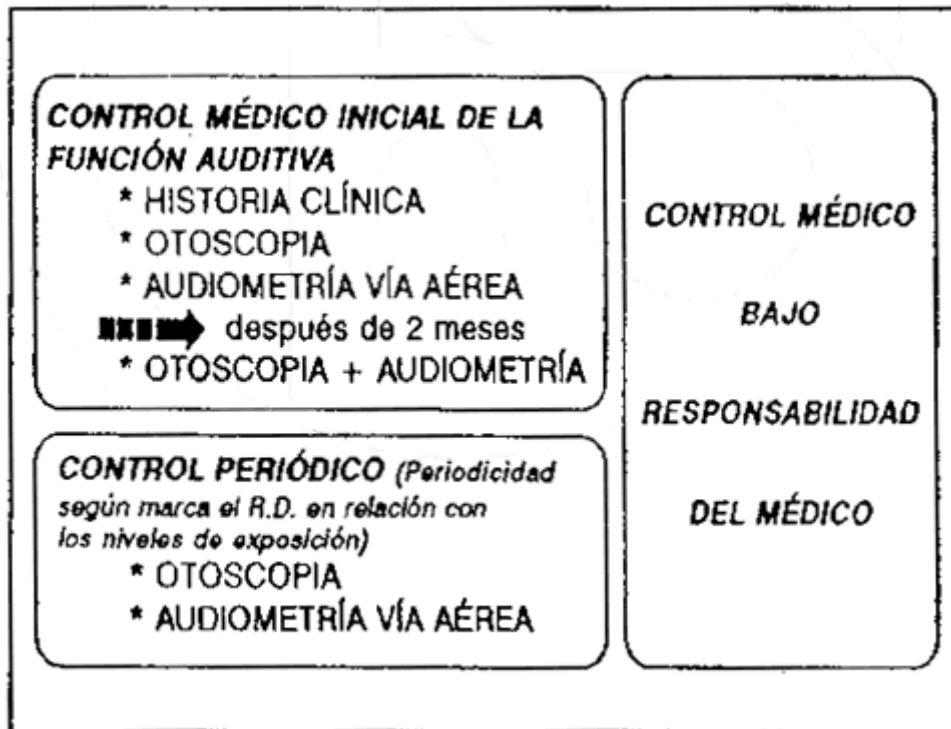
El empresario está obligado a registrar y archivar los datos de las evaluaciones ambientales y de los controles médicos durante 30 años. También se recoge en el Art. 9, lo que debe hacerse con los datos al final del período del archivo o ante la desaparición de la empresa.

Es necesario destacar, en este punto, que la Inspección de trabajo, el INSHT, los organismos competentes en las Comunidades Autónomas, los órganos internos con competencias en Seguridad e Higiene en el Trabajo y los representantes de los trabajadores, tienen el derecho de acceso a la información contenida en los archivos, respetando, claro está, la confidencialidad de los datos médicos. A estos dos últimos grupos también se les **informará**, según el Art. 2, de las medidas preventivas que se adopten con carácter previo a la implantación de las mismas. El Art. 3 del R. D. establece que tienen derecho, tanto a ser informados como a estar presentes en las evaluaciones ambientales.

El Art. 5 del R. D. determina la obligación del empresario de proporcionar a **cada trabajador una información** y, cuando proceda, formación adecuada sobre su evaluación de la exposición

al ruido, los posibles riesgos para su audición, las medidas preventivas, la utilización de los protectores auditivos y los resultados del control de la función auditiva.

**CUADRO 3. CONTROL DE LA FUNCIÓN AUDITIVA SEGÚN EL R.D.1316/1989**



**6. Información sobre los equipos de trabajo**

El Art. 10 del R. D. establece que el fabricante de un determinado equipo suministrará una información sobre la emisión de ruido del equipo que será exigida por el empresario que lo adquiera.

La filosofía sobre la información de emisión de ruido que, en el momento de la elaboración del R. D., era de difícil aplicación, se amplía con el Real Decreto 1435/1992 de 27 de octubre sobre Máquinas, que se tratará posteriormente en otro punto.

Con esta información el empresario podrá estimar los niveles de exposición de los trabajadores.

Se establece, por tanto, una responsabilidad mutua entre vendedor y comprador en lo que al conocimiento del ruido emitido por el equipo se refiere.

**7. Protección personal**

El R. D. define las circunstancias en las que es obligatorio u opcional el empleo de protección auditiva y el suministro por parte del empresario (Arts. 5, 6 y 7).

Por otra parte, el Art. 8 determina los requisitos que han de tener los protectores:

- Ajustarse a la normativa sobre protección auditiva (que será tratada posteriormente).
- Adaptarse a los trabajadores, para lo que se consultará a los mismos.
- Proporcionar la atenuación necesaria.

**Con niveles diarios superiores a 90 dBA o 140 dB de pico, se deberá contar con un programa de medidas técnicas y organizativas para reducir el ruido**

**CAPÍTULO 5: CONTROL DEL RUIDO**

El control del ruido pasa desde elegir medidas fáciles y económicas (mantenimiento adecuado de las máquinas) hasta medidas más complejas y costosas como es el acondicionamiento acústico de algunos locales (Figura 21).



**Figura 21**

Para poder alcanzar una disminución en la exposición al ruido se pueden adoptar tanto medidas técnicas, encaminadas a disminuir el ruido, como medidas organizativas, destinadas a disminuir la exposición al ruido del trabajador, siendo siempre las de elección prioritaria aquéllas que disminuyen el ruido en el origen.

**1. Medidas técnicas**

Las medidas técnicas posibles para controlar el ruido se suelen agrupar en tres:

- Medidas de control en la fuente.
- Medidas de control en el medio.
- Medidas de control en el receptor o trabajador.

**1.1. Control del ruido en la fuente**

Entre ellas se pueden destacar, por orden de prioridad:

- **Diseño y compra de máquinas con bajo nivel de ruido.** Una mejora en la calidad de diseño acústico de las máquinas, dentro de lo posible, será la mejor medida de control del ruido. En este aspecto, la declaración del ruido emitido por las máquinas es un paso importante para alcanzar el objetivo de reducir el nivel de ruido en la fuente (este tema será tratado más adelante).
- **Mantenimiento adecuado de las máquinas.** Es sabido que las máquinas viejas suelen producir más ruido que las nuevas; aunque a veces se puede corregir por medio de una lubricación adecuada, sustitución de piezas gastadas o defectuosas, eliminación de ruidos innecesarios, limpieza, etc. al mismo tiempo se alarga la vida de la máquina.
- **Sustitución de materiales.** Siempre que sea posible, se pueden sustituir materiales radiantes de ruido por otros que no lo sean. Por ejemplo, para máquinas que operen con cargas pequeñas, se pueden sustituir los engranajes de metal por otros de plástico.
- **Cerramientos totales o parciales con materiales aislantes.** Se debe destacar que las aberturas en los cerramientos, por pequeñas que sean, pueden disminuir mucho la efectividad de éstos.

## El mejor método de control es la actuación en la fuente de ruido

### 1.2. Control del ruido en el medio de transmisión

En principio, el ruido se puede transmitir por dos "camino": el aire y las estructuras conectadas con la máquina emisora. Para cada uno de estos medios se podrán aplicar una serie de medidas.

**Ruido aéreo** es el ruido transmitido por el aire que llega al trabajador, bien directamente desde la fuente, o bien debido a las reflexiones en paredes, suelo, techo u objetos que encuentra a su paso. Para disminuir este tipo de ruido se suele emplear **pantallas acústicas, distribución adecuada de máquinas** (alejando las máquinas de paredes y objetos reflectantes), **e interposición de materiales absorbentes**.

**Ruido transmitido por las estructuras.** Es aquel ruido que se transmitirá a través de las estructuras sólidas. Se deberán aislar las estructuras entre sí o lograr un aislamiento de las máquinas al suelo, mediante conexiones flexibles.

### 1.3. Control del ruido en el receptor

Es la última solución a aplicar, y las posibilidades fundamentales son:

- **Construcción de cabinas insonorizadas** en las que el operario pase la mayor parte del tiempo de su trabajo, como en el caso de procesos automatizados.
- **Utilización de protectores auditivos.** Esta alternativa, desde el punto de vista preventivo, debe tener un carácter temporal y complementario, mientras se adopten otra serie de medidas técnicas y organizativas para reducir el nivel de ruido soportado por los trabajadores (este tema se tratará más adelante).

**La protección auditiva es la última medida a tener en cuenta**

## 2. Medidas organizativas

Con este tipo de medidas no se pretende disminuir el ruido, sino disminuir la exposición al ruido del trabajador.

Como hemos visto, el nivel diario equivalente al que está expuesto un trabajador no depende sólo del nivel de ruido, sino también del tiempo de exposición.

Entre algunas medidas organizativas podemos mencionar la **reubicación local de los trabajadores, rotación de puestos** en tareas ruidosas y poco ruidosas, **pausas sin ruido** (en lugares sin ruido) y, por último, la **formación e información** para concienciar a los trabajadores de los riesgos existentes y de las medidas preventivas .

Siempre que se hace un planteamiento de control de ruido, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El control de ruido es un problema del conjunto máquina, medio, receptor.
- El objetivo del control es lograr un ambiente acústico aceptable con un coste también aceptable.
- El éxito del control se mide mediante la reducción del ruido conseguida.
- Un diseño acústico adecuado deberá ser compatible con otros aspectos generales (seguridad, calidad y accesibilidad).

## CAPÍTULO 6: NORMATIVA DE EMISIÓN DE RUIDO. LA DECLARACIÓN DE RUIDO: SU UTILIDAD Y CONSECUENCIAS.

Según hemos visto en el capítulo anterior, las medidas de control tienen como prioridad la actuación en la **fente emisora** de ruido, siempre que sea posible.

Una manera lógica de actuar sobre la fuente del ruido es utilizar la **información sobre el ruido emitido** por las máquinas para que, al adquirir una máquina, se pueda seleccionar la más silenciosa.

Se entiende como declaración de ruido, la información cuantitativa sobre el ruido emitido por la máquina, que debe ser facilitada por el fabricante. La declaración de ruido se exige en:

- Artículo 10 del R.D. 1316/1989.
- Anexo I, Artículos 1.7.4 (d) y (f) del R.D. 1435/1992 de 27 de Noviembre



- R.D 254/1989 sobre determinación y limitación de la potencia acústica admisible de determinado material y maquinaria de obra

Los dos objetivos más importantes de la declaración de ruido son:

1) Permitir a los potenciales compradores la comparación entre las emisiones de ruido de las máquinas existentes en el mercado, facilitando la elección de la más silenciosa.

Para que este proceso funcione bien, es necesario que los datos de emisión de ruido, dentro de la familia de máquinas, sean determinados de idéntica forma, siguiendo normas.

2) Una adecuada explotación de los datos de emisión de ruido de una familia de máquinas, determinados siguiendo Normas comunes, puede servir para crear una base de datos comunitaria que contenga los datos de emisión de la familia en función de algún parámetro de funcionamiento, por ejemplo, la capacidad de producción.

La declaración de ruido es una poderosa estrategia que tiene como fin último la reducción del ruido en la fuente. El fabricante está obligado a declarar el ruido emitido por lo que el empresario que adquiere una máquina, además de poder seleccionar la más silenciosa, conocerá a priori el nivel del ruido emitido y podrá calcular los niveles que se originarán en su fábrica al instalar la nueva máquina.

Los fabricantes se darán cuenta que reduciendo el nivel de ruido emitido por sus máquinas, aumentarán sus ventas. Son por tanto las fuerzas del mercado las que llevarán a fabricar máquinas más silenciosas.

## CAPÍTULO 7: PROTECCIÓN AUDITIVA

Un **protector auditivo** es un equipo de protección individual utilizado para disminuir el ruido que percibe un trabajador situado en un ambiente ruidoso. Se pueden clasificar en varios grupos:

- a) Orejeras. Es un protector auditivo que envuelve totalmente el pabellón auditivo. Están formadas por los **casquetes**, que son unas piezas de plástico duro que cubren y rodean la oreja con un material absorbente en su interior, y el **arnés**, que sujeta y presiona los casquetes contra la cabeza.
- b) Tapones. Es un protector auditivo que se inserta en el conducto auditivo externo, obturándolo. Existen tapones de varios materiales entre los que destacan los de espuma plástica, silicona, plástico y goma flexible. En este tipo de protectores es muy importante realizar una limpieza frecuente, para evitar el riesgo de infecciones.
- c) Orejeras con cascos. En determinadas situaciones de trabajo donde es necesaria una protección de la cabeza, se utilizan cascos que cubren toda la cabeza asociados a orejeras para evitar la transmisión del ruido.
- d) Protectores activos. Incorporan un sistema electrónico que detecta el ruido en el exterior del protector y genera un ruido en su interior que cancela parcialmente el ruido incidente.

### 1. Legislación sobre Protección Auditiva

La protección personal auditiva debe ser considerada como la última medida a tener en cuenta para proteger la salud de los trabajadores, en tanto se consigue reducir el ruido en el origen y se impide su propagación hasta alcanzar niveles seguros.

Aparte de lo comentado en el apartado referente a protección personal del R.D. 1316/1989, se está realizando un gran esfuerzo normativo comunitario en lo que se refiere a los Equipos de

Protección Individual (EPIs) \*, habiéndose elaborado dos Directivas en este campo, las cuales ya están transpuestas al Ordenamiento Jurídico Español.

**1.1. Real Decreto 1407/1992 de 20 de Noviembre sobre comercialización de Equipos de Protección Individual (transposición de la Directiva 89/686/CEE)**

Según el citado Real Decreto, los equipos de protección auditiva deberán indicar el valor de la atenuación acústica que proporcionan. También establece el procedimiento de certificación, quedando clasificados, por exclusión, los protectores auditivos dentro del grupo segundo de la clasificación de protectores según la gravedad del riesgo a los que se destinan.

Para poder comercializar libremente los protectores auditivos tendrán que llevar el marcado CE e ir acompañados de una declaración del fabricante, indicando los requisitos básicos y sometiéndose antes de su fabricación a un "examen CE de tipo" por un Organismo de control. En este " examen CE de tipo" se deberá verificar que estos protectores cumplen con las condiciones y exigencias establecidas, considerando en todo momento que las Normas Armonizadas dan presunción de conformidad. (Figura 23).



Figura 23

El plazo previsto en la Directiva 89/686/CEE para que, en ausencia de Normas Armonizadas, continúen vigentes los mecanismos nacionales anteriores finalizó el 31 de Diciembre de 1992. Ante la ausencia de Normas Armonizadas sobre EPI, se modificó la Directiva para ampliar el plazo hasta el 30 de junio de 1995 (93/95/CEE), que se recoge en la O.M. de 16 de mayo.

- El Real Decreto 1407/1992 sobre comercialización de EPI establece los requisitos mínimos que debe cumplir el fabricante de EPI.
- El cumplimiento de los requisitos mínimos se indica por el marcado CE.
- Todos los EPI deben ir acompañados de un folleto informativo con las instrucciones de uso, fecha de caducidad, recomendaciones para la limpieza, mantenimiento, etc.

**1.2. Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo sobre utilización de Equipos de Protección Individual (transposición de la Directiva 89/656/CEE)**

Establece las condiciones de selección, uso y mantenimiento de EPIs. En cuanto a los protectores auditivos, el empresario debe evaluar, en primer lugar, el riesgo existente, para después instaurar las medidas técnicas que sean necesarias; si éstas no fuesen suficientes, se

deberían utilizar los protectores auditivos más adecuados al riesgo, teniendo en cuenta las prestaciones de los modelos existentes.

Resalta el Real Decreto que, en el momento de selección de los protectores, el empresario deberá hacer partícipes a los trabajadores y consultarles sobre la adaptación del protector auditivo al usuario.

El empresario determinará las condiciones de utilización; como el tiempo, el mantenimiento y la información que se debe dar a los trabajadores sobre la utilización de los mismos.

Es importante comentar, en este punto, que la atenuación conseguida puede ser inferior a la esperada si el protector:

- No se coloca correctamente
- No se mantiene adecuadamente
- Es incómodo y poco confortable algunas veces
- No se ha seleccionado dependiendo del nivel de ruido y la frecuencia o no se lleva el tiempo completo de exposición

Es importante utilizar el protector todo el tiempo de exposición al ruido

El Real Decreto 773/1997 sobre utilización de EPIs establece una serie de consideraciones y obligaciones para empresarios y trabajadores.

Entre otros aspectos, se destaca que:

**El empresario debe:** Suministrar gratuitamente el EPI. Mantener y revisar periódicamente el EPI según indique el fabricante. Dar formación e información en el uso de los EPI.

**El trabajador debe:** Utilizar y cuidar correctamente el EPI. Colocar el EPI en su lugar, después del uso. Participar activamente en su selección.

**El empresario es el responsable de la formación e información en el uso de los EPI**

## 2. Normativa sobre protección auditiva

Como se ha expuesto anteriormente, para la interpretación y aplicación de los requisitos impuestos por las Directivas se desarrollarán normas europeas específicas elaboradas sobre condiciones de verificación, funcionamiento, calidad, diseño y medida de la atenuación acústica de los protectores auditivos.

Estas normas tienen el fin de aportar especificaciones técnicas desarrollando más ampliamente los requisitos establecidos en las Directivas y, al mismo tiempo, armonizar y conciliar puntos de vista e intereses de fabricantes, usuarios, países, etc.

En este momento existen pocas normas sobre protectores auditivos pero sí existen varios proyectos de normas ISO y proyectos de normas europeas que, posteriormente España deberá convertir en normas UNE.

### 2.1. Normas sobre la medida de la atenuación

#### Método de referencia subjetivo para la medida de la atenuación sonora

Este método se encuentra en la norma ISO 4869-1. Establece un ensayo que consiste básicamente en conocer la atenuación en cada banda de frecuencia del protector.

Para cada banda de octava y para cada persona, se determina la atenuación acústica en unas condiciones de ensayo determinadas por la norma siendo, la atenuación, la diferencia entre el umbral de audición con y sin protector auditivo.

## Estimación de la reducción de ruido cuando se llevan los protectores auditivos

Este método está recogido en la Norma ISO 4869-2 .

El método más idóneo para calcular el nivel de ruido en dBA resultante al utilizar un protector auditivo es el que parte del conocimiento del espectro de frecuencias del ruido en bandas de octava y de los datos de atenuación del protector que se está valorando.

Pero hay muchas situaciones en las que no se dispone de esta información. En este documento se proponen dos métodos alternativos al primero que se pueden utilizar cuando no se disponga del espectro de frecuencias del ruido.

La aplicación informática para la prevención "AUDIPRO". Control de ruido: Selección de protectores auditivos del I.N.S.H.T., permite la selección más adecuada a cada exposición laboral al ruido, permitiendo, además, el registro, explotación estadística y archivo de los datos obtenidos.

### 2.2. Requisitos de los protectores y ensayos de verificación.

A fin de poder cumplir con la Directiva 86/686/CEE existe un conjunto de normas y proyectos de normas europeas en donde se establecen los requisitos y ensayos para cada tipo de protectores (tapones, orejeras, cascos, etc) que serán necesarios para la certificación de los mismos.

### 2.3. Recomendaciones para la selección, uso, cuidado y mantenimiento de protectores auditivos.

La norma europea EN 458 clasifica, previamente, los diferentes protectores auditivos en orejeras, tapones (con todas las subclases) y otros protectores especiales (dependientes de nivel, protectores activos, etc.).

**Las Directivas Europeas sobre EPIs cuentan con una serie de normas técnicas que ayudan al cumplimiento de los Requisitos Esenciales de dichas Directivas**

Asimismo se dan criterios para la **selección** (protectores certificados, que no provoquen dificultades de comunicación, que sigan criterios de comodidad, que las personas que los usen participen en su elección), existiendo criterios de selección atendiendo a la atenuación y al ambiente en el que se van a utilizar.

También se aportan recomendaciones para el **uso** de los protectores y también para el **cuidado**, la limpieza, las condiciones de almacenamiento, **mantenimiento** e inspección.

## RESUMEN DE LA UNIDAD

- El ruido se puede considerar el agente físico más común en los puestos de trabajo de cualquier actividad industrial. Sus efectos nocivos son de sobra conocidos, siendo el más estudiado la pérdida de audición (hipoacusia). Dichos efectos dependen no solo de su nivel sino, del tiempo al cual se está expuesto
- La hipoacusia producida por el ruido se denomina hipoacusia de percepción.
- El ruido produce efectos no auditivos como molestias, interferencia en la comunicación, alteraciones en el desarrollo de ciertas tareas y efectos tanto psicológicos como fisiológicos.
- Los efectos no auditivos del ruido dependen del nivel de ruido y de la frecuencia y de otros factores tanto físicos como psíquicos de los individuos y, también, de las exigencias de las tareas.
- El nivel diario depende del nivel de ruido y del tiempo de exposición referido a 8 horas. Es decir, **no se puede saber si un nivel de ruido puede producir riesgo de sordera sin saber en que términos está expresado y el tiempo de exposición al que se refiere.**

- La evaluación de la exposición al ruido debe realizarse de acuerdo con el Real Decreto 1316/1989, que se refiere a daños para la audición.
- Para evaluar un puesto de trabajo se deberá medir el nivel diario equivalente y el nivel de pico.
- Se deberán seguir las actuaciones que establece el Real Decreto 1316/1989 para cada nivel de exposición al ruido (Cuadro 2.).
- Cuando se supera un nivel diario de 90 dBA o 140 dB de pico, se debe contar con un programa de medidas técnicas u organizativas destinadas a reducir el ruido.
- La mejor medida de reducción de ruido es la actuación en la fuente.
- La protección auditiva es la última medida a tener en cuenta.
- La declaración de ruido es la información cuantitativa del fabricante sobre el ruido que emite su máquina.
- La declaración de ruido es un paso importante para (a rellenar por el alumno)
- El empresario es el responsable de la formación e información en el uso de EPI.
- Los protectores auditivos tienen que pasar el examen CE de tipo.
- Es importante utilizar el protector auditivo todo el tiempo de exposición al ruido.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, J., ÁLVAREZ, C., PORTELA, J. (1994) AUDIPRO: Control del ruido. Selección de protectores auditivos. AIP, Madrid : INSHT.
- ALONSO, J., ÁLVAREZ, C., MELGAR, M., MORENO, A. (1996) GADER: Guía para la aplicación del Real Decreto 1316/89. AIP, Madrid: INSHT.
- ÁLVAREZ, C., GÓMEZ-CANO, M., LEZCANO, M. "Control del ruido. marco normativo para la selección de protectores auditivos", Salud y Trabajo, nº 110 (1995) INSHT.
- ÁLVAREZ, C., LÓPEZ, G. (1996) La exposición laboral al ruido. Serie de Documentos Divulgativos DD.019, Madrid: INSHT.
- ARNÁIZ, M. (1996) Ruido emitido por las máquinas. Ficha de Divulgación Normativa FDN 009, Madrid: INSHT.
- GAYNES, E., GOÑI, A. (1993) Hipoacusia laboral por exposición al ruido: evaluación clínica y diagnóstico. NTP-287, Barcelona: INSHT.
- GÓMEZ-CANO, M. "Aspectos ergonómicos del ruido". Salud y Trabajo nº 102 (1994) INSHT.
- LÓPEZ, G.(1992) El ruido en el trabajo, Madrid: INSHT.
- LÓPEZ, G "Una visión actual de la estrategia comunitaria en la lucha contra el ruido en el lugar de trabajo". Salud y Trabajo nº 90 (1992) INSHT
- MOLINÉ, J.L., SOLÉ, M.D. (1993) Audiometría tonal liminar. NTP-284, Barcelona: INSHT.
- VILAS, J. (1983) Audiometrías. NTP-85, Barcelona: INSHT.
- WERNER, A., MÉNDEZ, A. SALAZAR, E. (1990) El Ruido y la Audición, Buenos Aires: AD-HOC.

## BIBLIOGRAFÍA NORMATIVA

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales (B.O.E. nº 269 de 10.11.95).
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, Reglamento de los Servicios de Prevención (B.O.E. nº 27 de 31.03.97).
- Real Decreto 245/1989 de 27 de febrero, sobre determinación y limitación de la potencia sonora admisible de determinado material y maquinaria de obra. (B.O.E. nº 60 de 11.6.89).
- Real Decreto 1316/1989 de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.(B.O.E. nº 263 de 2.11.89, B.O.E nº 295 de 9.12.89 y B.O.E. nº 126 de 26.6.90).
- Real Decreto 1407/1992 de 20 de noviembre, por el que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los Equipos de Protección Individual.(B.O.E. nº 311 de 28.12.92 y B.O.E nº 47 de 24.2.93).

- Real Decreto 1435/1992 de 27 de noviembre, relativo a la aproximación de las legislaciones de los estados sobre máquinas. (B.O.E. nº 297 de 11.12.92).
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo, relativo a la utilización de los Equipos de Protección Individual.(B.O.E .nº 140 de 12.6.97).

## **ADENDA**

La publicación del RD 286/2006, de 10 de marzo sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, de transposición de la Directiva 2003/10/CE, de 6 de febrero de 2003, ha supuesto el establecimiento de una serie de disposiciones mínimas que tienen como objeto la protección de los trabajadores contra los riesgos, para su seguridad y su salud, derivados de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición.





## 1. Objetivo

---

Se plantea este tema como ampliación del correspondiente al expuesto en la parte obligatoria común del Programa formativo para Técnico en Prevención de Riesgos Laborales de Nivel Superior, con aplicaciones prácticas y su correspondiente discusión desde el punto de vista técnico y normativo.

## 2. Conceptos básicos

---

**RUIDO.** Sonido que resulta molesto, inútil y desagradable al que lo escucha.

Desde el punto de vista objetivo, es la combinación de tonos puros a distintas frecuencias que posee un espectro de frecuencia continua, de amplitud y longitud de onda irregulares.

El ruido es todo sonido molesto e innecesario

El sonido es un fenómeno físico  
"Molesto" e "innecesario" son apreciaciones humanas

### 2.1. EL CAMPO DE AUDICIÓN

---

**INFRASONIDOS**, o *subsónicos*, cuando su frecuencia es inferior a 20 Hz, no producen sensación sonora en el hombre.

**SONIDOS**, cuando sus frecuencias se encuentran entre 20 Hz y 20.000 Hz, producen sensación auditiva en el hombre.

**ULTRASONIDOS**, cuando sus frecuencias son superiores a 20.000 Hz, no producen sensación auditiva.

Las frecuencias con capacidad de producir la sensación auditiva en el hombre están comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz

### 2.2. NIVEL SONORO, EL DECIBELIO

---

El decibelio es una cantidad adimensional que expresa el valor relativo de una energía respecto a su valor de referencia; expresado de este modo se denomina *nivel*.

$$dB = 10 \log \frac{E}{E_0}$$

Nivel de presión sonora:

$$N_p = 10 \log \frac{P^2_{EF}}{P^2_{EF_0}} \quad N_p = 20 \log \frac{P_{EF}}{P_{EF_0}} \quad P_{EF_0} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$P^2_{EF_0} = 10^{i0} \times (2 \times 10^{-5})^2$$

### 2.3. SUMA DE NIVELES SONOROS

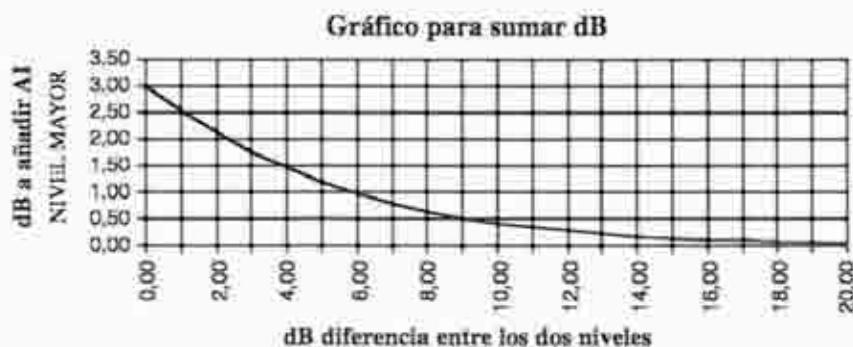
Esta magnitud adimensional se encuentra afectada por una expresión logarítmica; su manejo necesita la aplicación correcta de las leyes matemáticas que la afectan.

$$N_t = 10 \log \sum_i 10^{N_i/10}$$

En el caso de  $n$  fuentes iguales el nivel total será:

$$N_t = N + 10 \times \log n$$

La suma y la resta de decibelios no es operación aritmética porque el dB es un valor logarítmico



En la suma de dos niveles sonoros entre los que hay una diferencia  $\geq 10$  dB el resultado es superior al nivel más alto en  $\leq 0,42$  dB. Si consideramos que los equipos de uso normal para la medición del nivel sonoro, Sonómetros de tipo II, tienen una tolerancia de  $\pm 1$  dB, resulta que, en la práctica, cuando sumamos dos niveles de ruido que tienen una diferencia igual o superior a 10 dB el nivel inferior no se considera.

#### Ejemplo de aplicación.

En un punto del área de trabajo en una nave se recibe el ruido procedente de varios equipos.

#### DATOS

Equipo	Nivel dB(A)
A	83
B	79
C	84
D	82
E	83

Resolución por cálculo:

$$N_t = 10 \log \sum_i 10^{\frac{N_i}{10}}$$

$$N_t = 10 \log \sum_i 10^{\frac{N_i}{10}} = 10 \times \log(10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{79}{10}} + 10^{\frac{84}{10}} + 10^{\frac{82}{10}} + 10^{\frac{83}{10}}) = 89,48 \text{ dB(A)}$$

Resolución por gráfico:

*Consideración inicial: La lectura sobre gráficos genera resultados menos exactos que el cálculo.*

*Sumar de dos en dos ordenados de menor a mayor.*

79 más 82; diferencia (82-79=3); lectura en el gráfico para una diferencia de 3 resulta un valor en el eje Y de 1,7 como valor a añadir al mayor; resultado de 82+1,7 = 83,7.

83,7 más 83; diferencia 0,7; lectura en el gráfico 2,3; resultado 83,7+2,3=86.

86 más 83; diferencia 3; lectura en el gráfico 1,7; resultado 86+1,7=87,7;

87,7 más 84; diferencia 2,7; lectura en el gráfico 1,8; resultado 87,7+1,8=89,5.

Resultado: 89,5 dB(A).

**Ejemplo de aplicación.**

Una instalación dispone de 4 máquinas, en un punto de la nave cada una de estas máquinas aporta 81 dB(A). Calcular el nivel de ruido en ese punto con el funcionamiento simultáneo de todas las máquinas.

$$N_t = N + 10 \times \log n = 81 + 10 \times \log 4 = 87,02 \text{ dB(A)}$$

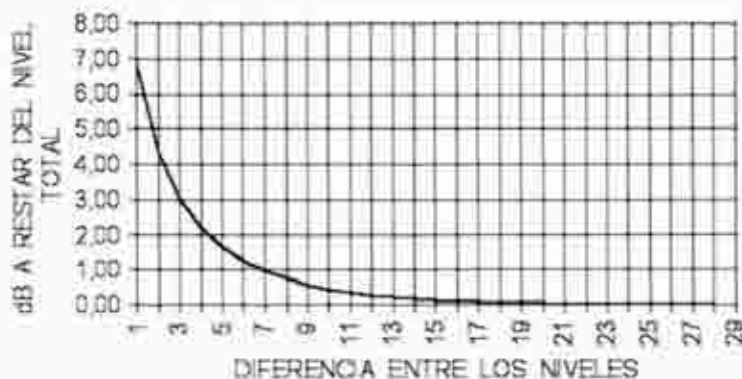
## 2.4. RESTA DE NIVELES SONOROS

$$N_2 = 10 \log \left( 10^{\frac{N_T}{10}} - 10^{\frac{N_1}{10}} \right)$$

$N_1$ , nivel de presión sonora de la fuente 1.

$N_2$ , nivel de presión sonora de la fuente 2.

$N_T$ , nivel de presión sonora suma de ambas fuentes.



En el caso de atenuaciones la resta es aritmética

**Ejemplo de aplicación.**

Interesa conocer el nivel de ruido de un equipo instalado en una nave en la que se encuentran multitud de máquinas en funcionamiento continuo. Se realizan las determinaciones siguientes:

- Nivel total, todas las máquinas, incluso la máquina problema, 93 dB(A).
- Nivel de ruido de fondo, todas las máquinas excluida la máquina problema, 91 dB(A).

Resolución por cálculo:

$$N_2 = 10 \log \left( 10^{\frac{93}{10}} - 10^{\frac{91}{10}} \right) = 10 \times \log \left( 10^{\frac{93}{10}} - 10^{\frac{91}{10}} \right) = 88,7 \text{ dB(A)}$$

Resolución por gráficos:

93 menos 91; diferencia 2; lectura en el gráfico 4,2; resultado  $93 - 4,2 = 88,8$ .

Resultado 88,8 dB(A).

El nivel de ruido que es atenuado por un aislamiento se determina restando del nivel de ruido sin atenuar los dB correspondientes a la atenuación. Esta operación es aritmética.

## 2.5. DETERMINACIÓN DEL NIVEL SONORO MEDIO

En los casos en los que se realizan varias determinaciones es a veces necesario calcular su valor medio.

Procedimiento:

- Determinar para cada nivel de la Presión efectiva,

$$P_{\text{eff}}^2 = 10^{\frac{N}{10} - 4,09897}$$

- Calcular la media aritmética de las presiones efectivas.

$$P_{\text{efectiva media}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_{\text{eff},i}^2}{n}$$

- Establecer el nivel sonoro que le corresponde a la media de las presiones anteriores.

$$N_{\text{medio}} = 10 \times \log \frac{P_{\text{eff,media}}^2}{P_{\text{eff},0}^2}$$

En el ejemplo de la tabla siguiente se observa claramente la diferencia existente entre la media aritmética de los niveles sonoros, 97,4 dB, y el valor del nivel medio, 104,7 dB.

No es lo mismo media de los niveles sonoros que el nivel sonoro medio de los niveles sonoros

Tabla 1. Determinación del nivel medio.

Niveles, dB	$P_{EF}^2$	
95,40	1,387	
90,00	0,400	
78,00	0,025	
110,00	40,000	
105,00	12,649	
106,00	15,924	
	<b>70,386</b>	<b>Total <math>P_{EF}^2</math></b>
112,5		Nivel total
97,40		Media aritmética de los niveles
	<b>11,731</b>	<b>Media aritmética de <math>P_{EF}^2</math></b>
<b>104,7</b>		<b>Nivel sonoro medio</b>

En los resultados alcanzados en el ejemplo propuesto anteriormente, claramente se observa la diferencia que existe entre ambos valores.

## 2.6. NIVEL DE RUIDO CONTINUO EQUIVALENTE

El nivel de ruido equivalente representa la integración de la curva

$$N = f(t)$$

La legislación española y comunitaria (Real Decreto 286/2006 y Directiva 2003/10/CE) establecen la determinación del ruido en los ambientes laborales utilizando el concepto de *nivel de ruido equivalente diario*, donde el tiempo  $t$  de integración de la curva se establece en 8 horas, con independencia del tiempo que dure la jornada diaria.

El Real Decreto 286/2006, en el Anexo 1, Definiciones, establece los siguientes conceptos:

- “3. *Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A,  $L_{Aeq,T}$* : El nivel, en decibelios A, dado por la ecuación:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 \times dt \right]$$

donde  $T = t_2 - t_1$  es el tiempo de exposición del trabajador al ruido.

4. *Nivel diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$* : El nivel, en decibelios A, dado por la ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

donde  $T$  es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día...”

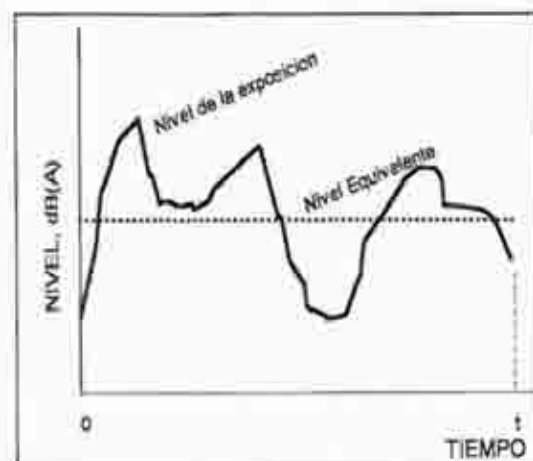


Figura n.º 1. Curva de la exposición, nivel-tiempo.

El nivel de ruido continuo equivalente diario se refiere siempre a 8 horas/día, con independencia de la duración de la jornada laboral o del tiempo de exposición a ruido durante esa jornada

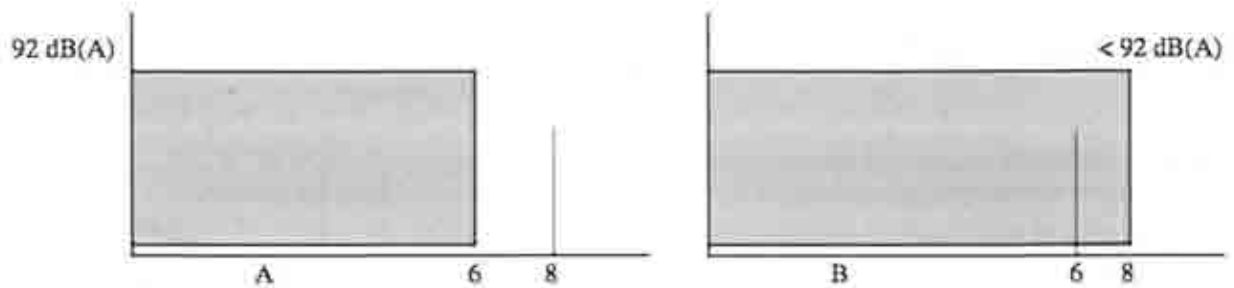
Es importante que se tenga claro que si  $T$  se expresa en *horas/jornada de trabajo* que el trabajador está expuesto, siempre se referencia a 8 horas/día, que es el tiempo de la jornada estándar; en caso de expresar  $T$  en minutos/jornada de trabajo, la referencia de la jornada estándar serán 480 minutos/jornada.

En definitiva, el nivel de ruido equivalente representa, en forma de nivel de ruido, la energía que el trabajador recibe durante el tiempo de exposición, y el tiempo de exposición en la higiene industrial siempre se referencia a 8 horas/día y 40 horas/semana.

**A modo de ejemplo:**

Un trabajador realiza una jornada de 6 horas diarias y está expuesto durante ese tiempo a un nivel de ruido continuo equivalente de 92 dB(A). ¿Cuál será su nivel de ruido continuo equivalente diario?

Antes de realizar los cálculos y con el fin de afianzar el concepto debemos hacernos la pregunta siguiente: ¿El  $L_{Aeq,d}$  resultará: inferior, igual, superior a 92 dB(A)?



La superficie del rectángulo A es proporcional a la cantidad de energía recibida por el trabajador; podemos usar la expresión de exposición recibida a modo de un contaminante químico:

$$D = k \times c \times t$$

$c$  es la exposición del contaminante, aquí, el nivel de ruido.

$T$  es el tiempo de exposición al contaminante, aquí, ruido.

$c \times t$  representa el área del rectángulo.

La superficie del rectángulo B representa la misma superficie que el A; si aumenta la magnitud sobre el eje X necesariamente disminuye sobre el eje Y.

En consecuencia, para alcanzar la misma exposición, si:

- La duración de la exposición a un nivel determinado de ruido continuo equivalente es superior a 8 horas el nivel equivalente diario es superior al que el trabajador ha estado expuesto.
- La duración de la exposición a un nivel determinado de ruido continuo equivalente es inferior a 8 horas el nivel equivalente diario es inferior al que el trabajador ha estado expuesto.

Mediante cálculo:

$$L_{Aeq,D} = 92 + 10 \times \log \frac{6}{8} = 90,75 \text{ dB(A)}$$

El Anexo 1, en el punto 4, determina el ruido equivalente de cada una de las tareas que el trabajador realiza en su puesto de trabajo cuando dice:

"(...)

Si un trabajador está expuesto a «m» distintos tipos de ruido y, a efectos de la evaluación higiénica, se ha analizado cada uno de ellos separadamente: el nivel diario equivalente se calculará según las siguientes ecuaciones:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1 \times (L_{Aeq,d})_i} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=m} T_i \times 10^{0,1 \times L_{Aeq,i}}$$

donde  $L_{Aeq,T_i}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A correspondiente al tipo de ruido «i» al que el trabajador está expuesto  $T_i$  horas por día, y  $(L_{Aeq,d})_i$  es el nivel diario equivalente que resultaría si solo existiese dicho tipo de ruido.

"(...)"

La Norma establece dos ecuaciones, la segunda es la aplicación conjunta de la primera en unión a la establecida en el punto anterior.

Con la aplicación de la segunda ecuación se alcanza el nivel de ruido equivalente diario de forma global, de modo que no se pone de manifiesto la carga sonora que aporta cada tarea al total del puesto de trabajo.

Sin embargo, para poder aplicar la primera de las ecuaciones propuestas es necesario conocer  $(L_{Aeq,d})_i$ , el nivel diario equivalente que resultaría si solo existiese dicho tipo de ruido; de otra forma, se resalta el aporte que cada una de las tareas aporta a la exposición total, al nivel de ruido equivalente diario del puesto de trabajo, incluso permite aplicar los datos en otros puestos de trabajo que pueden tener tareas comunes pero con distintos tiempos de ejecución por cada una de las tareas realizadas y ya conocidas.

### Ejemplo de aplicación.

En el puesto de trabajo de A se realizan las tareas siguientes:

1. Supervisión de la sala de compresores, duración 40 minutos (periodos de 5 minutos cada hora), nivel sonoro equivalente de esta tarea 94,5 dB(A).
2. Supervisión de la instalación general, 2 horas 40 minutos (ronda de 20 minutos cada hora), nivel sonoro equivalente de esta tarea 89,5 dB(A). En esta zona existe una instalación de megafonía para órdenes y avisos, operada desde la sala de control central y desde la centralita telefónica, que alcanza un nivel medio en dicha área de 101 dB(A) y una duración total, estimada por muestreo aleatorio y consenso con las partes implicadas, de 5 minutos durante las 2 horas 40 minutos de supervisión de la instalación.
3. El resto del tiempo de jornada de 8 horas diarias, el trabajador permanece en una cabina insonorizada en la que se determina un nivel equivalente de 79 dB(A).

En el puesto de trabajo de B, catalogado como Ayudante de A, se realizan las mismas tareas a excepción de la tarea 1; el ayudante durante ese tiempo realiza la tarea:

4. Supervisión de la sala de ventiladores de alta presión para transporte neumático y otros de media presión para el sistema de extracción localizada sobre equipos emisores de polvo durante un total de 40 minutos; nivel sonoro equivalente de esta tarea 91 dB(A).

**Determinación del aporte de cada tarea al Nivel sonoro equivalente diario.**

Tarea	Tiempo	$L_{eq}$ dB(A)	$L_{eq,D}$ dB(A)
I	40	94,5	83,7
II	160	89,5	84,7
III	280	70,0	67,7
IV	40	96,0	85,2
Nivel equivalente diario puesto de trabajo A (I, II y III), dB(A)			87,31
Nivel equivalente diario puesto de trabajo B (IV, II y III), dB(A)			88,03

Para cada una de las tareas se realiza la determinación del nivel sonoro de ruido continuo equivalente diario, que representa la energía sonora que esa tarea aporta a la jornada.

Para la tarea I:

$$L_{eq,d,A} = 94,5 + 10 \times \log \frac{40}{480} = 83,70 \text{ dB(A)}$$

Realizando este mismo cálculo para cada una de las tareas.

**Determinación del nivel sonoro continuo equivalente para cada uno de los puestos de trabajo:**

El nivel equivalente diario para el puesto de trabajo es aquel que se corresponde con la energía sonora total recibida, la suma de la que recibe en cada una de las tareas, están representadas por sus respectivos niveles sonoros; en consecuencia es la suma de los niveles sonoros equivalentes diarios de cada una de las tareas realizadas en la jornada.

Para el puesto A:

$$L_{eq,d,A} = 10 \times \log 10^{\frac{83,7}{10}} + 10 \times \log 10^{\frac{84,7}{10}} + 10 \times \log 10^{\frac{67,7}{10}} = 87,3 \text{ dB(A)}$$

Para el puesto B:

$$L_{eq,d,B} = 10 \times \log 10^{\frac{85,2}{10}} + 10 \times \log 10^{\frac{84,7}{10}} + 10 \times \log 10^{\frac{67,7}{10}} = 88,03 \text{ dB(A)}$$

Al higienista siempre le interesa tener la mayor información posible cuando trata de calificar el riesgo y también cuando ha de establecer las medidas correctoras. En este caso la Tarea II está afectada por el ruido procedente de dos fuentes, megafonía y resto de equipos.

Conocemos que ambas fuentes alcanzan un nivel de ruido equivalente diario de 84,7 dB(A).

**Determinación del nivel de ruido continuo equivalente alcanzado por la megafonía.**

- Tiempo de funcionamiento de la megafonía: 7 minutos.
- Nivel sonoro producido por la instalación de megafonía: 101 dB(A).
- Nivel sonoro equivalente diario que la megafonía aporta al total diario de la tarea II:

$$L_{eq,d,A,megafonía} = L_{eq,A} + 10 \times \log \frac{t_{\text{minutos de exposición}}}{480 \text{ minutos (8 horas)}} = 101 + 10 \times \log \frac{5}{480} = 82,6 \text{ dB(A)}$$



**Nivel sonoro equivalente diario que la instalación general aporta al total diario de la tarea II:**

- Nivel sonoro equivalente diario correspondiente a la tarea II: 83,7 dB(A).
- Aporte por megafonía: 82,6 dB(A).
- Aporte por la instalación general:

$$L_{e,q,d,A,instalación} = 10 \times \log \left( 10^{\frac{N_{eq,d,instal}}{10}} - 10^{\frac{N_{eq,d,megafonía}}{10}} \right)$$

$$L_{e,q,d,A,instalación} = 10 \times \log \left( 10^{\frac{84,7}{10}} - 10^{\frac{82,6}{10}} \right) = 80,5 \text{ dB(A)}$$

Realizado el cálculo de esta forma se pone de manifiesto los objetivos sobre los que el técnico tiene que actuar preferentemente:

1. Sala de compresores y sala de ventiladores: estudio de cada uno de los equipos instalados en su interior que permita disminuir la emisión sonora en cada una de las fuentes al nivel más bajo posible. Uso de protectores auditivos durante el tiempo de estancia en el interior, con señalización de obligatoriedad en el acceso.
2. Sustituir el sistema de comunicación ordinario, megafonía, por sistemas de telefonía móvil, dotando a cada trabajador de equipos receptores dotados de vibrador. El sistema actual de megafonía se recomienda sea mantenido para las actuaciones de emergencia incluidas dentro del Manual de Autoprotección.

Realizada la medida de control recomendada en el punto 2 se alcanzan los siguientes niveles sonoros equivalentes diarios:

#### Determinación del aporte de cada tarea al Nivel sonoro equivalente diario

Tarea	Tiempo	$L_{eq}$ dB(A)	$L_{eq,D}$ dB(A)
I	40	94,5	83,7
II	160		80,5
III	280	70,0	67,7
IV	40	96,0	85,5
Nivel equivalente diario puesto de trabajo AB (I, II y III), dB(A)			85,48
Nivel equivalente diario puesto de trabajo CD (IV, II y III), dB(A)			86,75

Se puede razonar que el cálculo del nivel equivalente semanal, contemplado en el artículo 5.3 del Real Decreto 286/2006, es un caso del estudio del puesto de trabajo por tareas, considerando que cada tarea dura un día de trabajo y por tanto utilizando las mismas expresiones anteriores aplicando como tiempo de referencia 5 días/semana en lugar de 8 horas diarias.

El Anexo 1 del Real Decreto 286/2006 dice:

"Nivel semanal equivalente,  $L_{Aeq,s}$ : El nivel, en decibelios A, dado por la ecuación:

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,di}}$$

donde «m» es el número de días a la semana en que el trabajador está expuesto al ruido y  $L_{Aeq,di}$  es el nivel diario equivalente correspondiente al día «i»."

Se remarca que el denominador 5 se corresponde con los días de la semana, que no tiene por qué corresponderse con el valor de "m".

### Ejemplo de aplicación.

Determinar el nivel de ruido equivalente semanal para un puesto de trabajo en el que se realizan distintas tareas cada día y distintos tiempos de duración según se establece en la tabla de datos y resultados siguiente:

Día de la semana	Tarea	T min. tarea	T min. media	Lectura	Dosis	N eq. d. Tarea	N eq. d.	Notas
Lunes	A	240	28	22	188,57	92,8		
	B	180	32	36	202,50	93,1		
	C	125	12	24	250,00	94,0		
<i>Total del día</i>		545			641,07	98,1	98,1	
Martes	E	325	125	20	52,00	87,2		
	F	25	10	6	15,00	81,8		
<i>Total del día</i>		350			67,00	88,3	88,3	
Miércoles	A	480	28	22	377,14	95,8		1
<i>Total del día</i>		480			377,14	95,5	95,8	
Jueves	B	100	32	36	112,50	90,5		1
	F	400	10	6	240,00	93,8		1
<i>Total del día</i>		500			352,50	95,5	95,5	
Viernes	C	124	12	24	248,00	93,9		1
	E	45	125	20	7,20	78,6		1
	F	90	10	6	54,00	87,3		1
	B	200	32	36	225,00	93,5		1
<i>Total del día</i>		459			534,20	97,3	97,3	
Sábado	F	240	60	10	40,00	86,0		2
<i>Total del día</i>		240			40,00	86,0	86,0	
<b>SEMANA</b>							<b>96,1</b>	

Se realizan "paso a paso" los cálculos para el martes:

Datos:

Tarea E: Duración de la tarea 325 minutos, duración de la dosimetría 125 minutos, lectura de la dosimetría 20%.

Tarea F: Duración de la tarea 25 minutos, duración de la dosimetría 10 minutos, lectura de la dosimetría 6%.

Cálculos:

Determinación de la dosis Tarea E:

$$\frac{20\%}{125 \text{ min}} \times 325 \text{ min} = 52,0\%$$

durante 125 minutos el dosímetro alcanza una lectura del 20%, durante la duración completa de la tarea, 325 minutos alcanzaría el valor de 52%.

Determinación de la dosis Tarea F:

$$\frac{6\%}{10 \text{ min}} \times 25 \text{ min} = 15,0\%$$

**Determinación del nivel equivalente diario**

Se pueden emplear dos procedimientos:

Dosis total recibida en la jornada de trabajo.

Por la tarea E .....52%

Por la tarea F .....15%

Total .....67%

$$L_{Aeq,d} = 90 + 10 \times \log \frac{\text{lectura total } \%}{100} = 90 + 10 \times \log \frac{67}{100} = 88,26dB(A)$$

$$\Rightarrow 88,3dB(A)$$

Para el segundo procedimiento debemos calcular el aporte del nivel sonoro de cada una de fases al nivel de ruido diario.

**Determinación del nivel equivalente diario por la Tarea E:**

$$L_{Aeq,d} = 90 + 10 \times \log \frac{\text{lectura total } \%}{100} = 90 + 10 \times \log \frac{52}{100} = 87,16dB(A)$$

$$\Rightarrow 87,2dB(A)$$

**Determinación del nivel equivalente diario por la Tarea F:**

$$L_{Aeq,d} = 90 + 10 \times \log \frac{\text{lectura total } \%}{100} = 90 + 10 \times \log \frac{15}{100} = 81,76dB(A)$$

$$\Rightarrow 81,8dB(A)$$

**Determinación del nivel equivalente diario:**

**Discusión:** El trabajador durante la jornada diaria recibe la energía correspondiente a cada uno de niveles equivalentes diarios recibidos; consecuentemente, el nivel de ruido equivalente diario es la suma de cada uno de los aportes que recibe.

$$N_{eq,d} = 10 \times \log(10^{\frac{87,2}{10}} + 10^{\frac{81,8}{10}}) = 88,30dB(A)$$

**Notas:** *T min. tarea*, Duración de la tarea en minutos.

*t min. media*, Duración de la medición, tiempo que se considera representativo de la tarea.

**Lectura**, Que se alcanza durante el tiempo de medición.

**Dosis**, Lectura que alcanzaría el dosímetro si el tiempo de medición se correspondiera con el total de la tarea.

***N eq d, tarea***, Nivel equivalente diario que le corresponde a la tarea, aporte sonoro que la tarea realiza al total del nivel sonoro equivalente diario del puesto de trabajo.

***N eq, d***, Nivel sonoro equivalente diario. Se calcula mediante cualquiera de las expresiones siguientes:

$$L_{Aeq,d} = 90 + 10 \times \log \frac{\text{lectura total } \%}{100}$$

$$L_{Aeq,d} = 10 \times \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

***N eq, s***, Nivel sonoro equivalente semanal calculado según la expresión

$$L_{Aeq,s} = 10 \times \log \frac{1}{5} \times \sum_{i=1}^{52} 10^{\frac{L_{i,t}}{10}}$$

Día de la semana	Tarea	T min. tarea	T min. media	Lectura	Dosis	N eq. d. Tarea	N eq. d.	Notas
								1
								2

Realizando el estudio por tareas se puede montar un ciclo en el que se realicen todas o algunas de las tareas ya estudiadas durante tiempos distintos

1. Las tareas correspondientes han sido ya medidas en otros días, considerándose que son representativas al no producirse variación en el campo sónico propio ni en el general del local.
2. Se plantea la misma situación señalada en la nota anterior; sin embargo el sábado desciende notoriamente la actividad produciendo una variación en el campo sónico del taller.

**Real Decreto 286/2006, artículo 5:**

3. En circunstancias debidamente justificadas y siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, a efectos de la aplicación de los valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, podrá utilizarse el nivel de exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condición de que:
  - a) el nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A), y
  - b) se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades".

Cuando se presentan ciclos de una semana con niveles diarios muy diferenciados, con el permiso de la autoridad laboral, se puede calcular el nivel equivalente semanal

En la práctica del Higienista se pueden presentar situaciones aún más complejas como consecuencia de los ciclos de trabajo realizados en algunos puestos, trabajos a turnos, trabajos rotativos y la combinación de los dos.

El puesto de trabajo en el turno de las 6 a las 14 horas —turno de la mañana— suele ser más ruidoso por la influencia que pueden producir trabajos de mantenimiento, otros puestos de trabajo con jornada única, continua o partida —carga y expedición del producto, recepción de materias primas, etc.—.

En el turno de las 22 a las 6 horas —turno de la noche—, normalmente solo permanecen los puestos mínimos de producción, e incluso algunos equipos no funcionan durante este horario. En consecuencia el ciclo de trabajo puede durar tres, cuatro, incluso cinco semanas:

- Instalaciones con trabajo a tres turnos y para rotación semanal, el ciclo dura tres semanas.
- Instalaciones con funcionamiento continuo a tres turnos, el ciclo dura cuatro semanas, ya que se desarrolla por cuatro relevos, un relevo por turno y uno más, que es el encargado de cubrir los descansos.
- Ciclos de cinco semanas en las instalaciones con cuatro turnos desarrollados por cuatro relevos más un quinto relevo para los descansos.

Cuando los ciclos de trabajo duran más de una semana es posible la determinación del nivel equivalente del ciclo

El Real Decreto 286/2006 contempla, solamente, la determinación del nivel de ruido continuo equivalente diario o semanal, y señala que las determinaciones tienen que ser representativas, que tienen que permitir tomar decisiones.

El Higienista debe mantener que su objetivo es HACER PREVENCIÓN y que debe realizar las determinaciones ambientales que le permitan tomar una decisión preventiva. Las situaciones anteriores no presentan mayor dificultad en la técnica preventiva, si bien son más complejas.

Basándose en que la pérdida permanente de audición ocasionada por la exposición a niveles elevados de ruido se puede considerar como un efecto acumulativo consecuencia de la energía recibida, se plantea el procedimiento de cálculo basado en el ciclo completo de trabajo, considerando el Nivel de ruido equivalente diario de cada jornada de trabajo como una tarea y aplicando el cálculo ya descrito y desarrollado en el ejercicio anterior.

Si la evaluación del  $L_{Aeq,s}$  establece la obligatoriedad de comunicarlo a la autoridad laboral, que se reserva la facultad de verificar la motivación de este sistema de evaluación, cabe pensar que en este caso también debe realizarse dicha notificación, que deberá acompañarse de la correspondiente motivación técnica para su ejecución.

### 3. Evaluación del riesgo por ruido en los ambientes laborales

El Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (BOE núm. 60, de 11 de marzo) incorpora al Derecho español la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, que se desarrolla siguiendo la política preventiva que establece la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, Ley 31/1995, de 8 de noviembre, que parcialmente ya contemplaba el Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo, ahora derogado.

#### 3.1. OBJETIVO Y CONCEPTOS BÁSICOS NORMATIVOS

El Real Decreto 286/2006, en su art. 1, Objeto, establece su aplicación a todos los trabajadores y retrasa la aplicación a sectores de ocio y música hasta el 15 de febrero de 2008. Mantiene el criterio anterior establecido por el Real Decreto 1316/1989 en cuanto a la protección frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular para la audición; consecuentemente, su desarrollo normativo solo establece las prescripciones frente al riesgo de daño auditivo.

El prevencionista no debe olvidar que el ruido produce otros efectos incluidos dentro del llamado trauma sonoro —carga y fatiga mental, estrés, producción de errores, etc.—, que ya aparecen a niveles muy inferiores a aquellos con capacidad de producir daños auditivos y cuya política preventiva queda incluida en el art. 15 de la Ley 31/1995 y en la normativa que la desarrolla.

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (BOE de 18 de noviembre de 2003), establece como objetivo los daños que puedan derivarse de la contaminación acústica, exceptuando la que pueda producirse en los lugares de trabajo. El prevencionista puede obtener de esta Ley conceptos y otros criterios que puede aplicar en la actividad laboral como criterios técnicos avalados por la fuente de la que provienen, pero en ningún caso como criterios legales en el ámbito de la prevención de riesgos laborales.

En el Real Decreto 1316/1989 se señalaba que el empresario debería reducir el nivel de ruido al más bajo razonablemente posible considerando el progreso técnico, la disponibilidad de medidas de control del riesgo particularmente en el origen y otras.

El nuevo Real Decreto 286/2006, siguiendo la política preventiva que establece la Ley 31/1995 en su art. 15, desarrolla en su art. 4 una serie de medidas de control encaminadas a la eliminación del ruido o a reducir su generación a los niveles más bajos posibles, y otras medidas tendentes a la disminución del ruido en su transmisión, aérea o estructural, así como al

mantenimiento de los equipos, además de aquellas otras acciones tendentes a disminuir el número de trabajadores expuestos y la duración de la exposición mediante actuaciones sobre los métodos y la organización del trabajo, limitaciones de acceso y señalización de las áreas ruidosas.

Este Real Decreto recuerda y cita expresamente la necesidad de adaptar las medidas de control del riesgo por ruido a las limitaciones que presenten los trabajadores sensibles. El prevencionista debe prever la posible presencia de estos trabajadores que pueden incorporarse a un puesto de trabajo o que, no haciéndolo pueden serlo de forma temporal o permanente, ya que las actuaciones anteriores tratan de alcanzar la eliminación o al menos la minimización del riesgo. La Ley 31/1995, en su art. 16, señala que los riesgos que no se han podido evitar deberán ser evaluados; consecuentemente, también debemos evaluar aquellos "riesgos residuales" o minimizados pero no eliminados.

El art. 5 del Real Decreto 286/2006 establece unos criterios de referencia estableciendo tres tipos de valores:

Valor inferior de la exposición que da lugar a una acción:

$$L_{Aeq,d} = 80 \text{ dB}(A) \quad \text{y} \quad L_{p(C)} = 135 \text{ dB}(C)$$

Valor superior de la exposición que da lugar a una acción:

$$L_{Aeq,d} = 85 \text{ dB}(A) \quad \text{y} \quad L_{p(C)} = 137 \text{ dB}(C)$$

Valor límite de la exposición:

$$L_{Aeq,d} = 87 \text{ dB}(A) \quad \text{y} \quad L_{p(C)} = 140 \text{ dB}(C)$$

Se resalta que:

- Es importante el descenso en los valores establecidos como criterios de evaluación. Tomando como referencia el valor en el que establece la obligatoriedad del empresario para establecer y ejecutar un programa de medidas técnicas y/o de organización éste desciende en 5 dB, lo que significa en términos de energía acústica un factor reductor de 0,316, una muy importante reducción.
- Los niveles de pico se establecen con ponderación de la curva C, cuyos datos de ponderación se especifican en este tema más adelante.
- Se implanta un valor límite que no se puede superar; en su evaluación se ha de considerar la atenuación producida por los protectores auditivos utilizados y la incertidumbre que estos EPI introducen en la representatividad de los resultados. Cuando se supera la exposición límite se establece la obligatoriedad del empresario en cuanto a la determinación de las causas por las que se supera dicho límite, de las actuaciones a ejecutar y de la información sobre el suceso que debe ofrecer.
- En cuanto a los valores que dan lugar a una acción no se consideran las atenuaciones que pudieran procurar los protectores auditivos utilizados. Cuando se superen los valores superiores que dan lugar a una acción el empresario establecerá y ejecutará las medidas técnicas y de organización integradas en la planificación preventiva tendentes al control de los riesgos, incluso la señalización y la posible limitación de accesos a las áreas ruidosas.

El art. 6 del Real Decreto 286/2006 establece los principios para la evaluación de riesgos de ambientes sonoros "basada en la medición de los niveles de ruido a que estén expuestos los trabajadores" y más adelante especifica: "la medición no será necesaria en los casos en que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de la misma".

En este artículo quedan expresados formalmente los conceptos que repetidamente se han defendido en este texto respecto a la realización de las determinaciones ambientales, que se harán con el objetivo de que el prevencionista alcance la información suficiente que le permita tomar decisiones preventivas. En este sentido me remito al tema 2, Evaluación de la exposición: la encuesta inicial y la determinación ambiental, apartado 3, Sistemática de actuación para la evaluación, en donde se desarrolla la evaluación por pericia o subjetiva y la evaluación objetiva aplicada al riesgo químico, siendo igualmente de total aplicación para el caso del ruido.

La realización de las determinaciones deberá ser representativa de la exposición personal de los trabajadores tal como señala la norma comentada en el art. 6 punto 3.

En cuanto a la forma así como el número y duración de las determinaciones este Real Decreto en su Anexo II establece que las determinaciones se realizarán en el punto que ocupará el oído del trabajador durante la realización o desarrollo de las actividades de su puesto de trabajo, o a una distancia de unos 10 cm del oído del trabajador. En la práctica es muy difícil la determinación del nivel de la exposición por ruido en ausencia del trabajador por múltiples factores, entre los que cito:

- La movilidad y tiempo de permanencia en cada posición, ya que en cada una de las posiciones el trabajador recibirá el nivel sonoro que exista en ese punto y durante el tiempo que permanezca en él.
- La actividad del propio trabajador genera ruido (manejo de máquinas, herramientas, etc.).

Respecto al nivel de representatividad de los resultados este se ha de establecer en función de la finalidad para la que se realizan las determinaciones ambientales; en prevención se debe lograr la representatividad suficiente que permita al prevencionista tomar decisiones correctas en su ámbito de actuación.

La periodicidad con la que se deben realizar las evaluaciones se establece en:

Revisión mínima cada tres años cuando:

$$85 \text{ dB}(A) \leq L_{\text{req,d}} \leq 80 \text{ dB}(A) \quad \text{y} \quad 137 \text{ dB}(C) \geq L_{\text{PCG}} \geq 135 \text{ dB}(C)$$

Revisión mínima anual cuando:

$$L_{\text{req,d}} \geq 85 \text{ dB}(A) \quad \text{y} \quad L_{\text{PCG}} \geq 137 \text{ dB}(C)$$

además de las prescripciones generales establecidas en el Real Decreto 39/1997 referentes a las variaciones producidas en las condiciones de trabajo y como resultado de la vigilancia de la salud.

Entre los aspectos sobre los que se demanda la atención del empresario se incluyen todos los efectos para la salud y seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las sustancias ototóxicas relacionadas con el trabajo, y entre el ruido y las vibraciones.

Dentro del programa de formación en materia de prevención de riesgos se debe informar facilitando la lista de las sustancias que producen efectos nocivos sobre el sistema auditivo, efectos que se manifiestan a nivel coclear y a nivel vestibular, con síntomas que pueden aparecer de forma brusca o aguda, de forma crónica incluso después de haber cesado la administración del producto; los daños producidos suelen ser proporcionales a las dosis suministradas. Estas sustancias son muy numerosas, se han listado más de 130, tanto de uso farmacológico como no farmacológico, encontrándose entre las más comunes:

No farmacológicas: Tabaco y alcohol, exposiciones a mercurio, plata, oro, plomo, otros metales pesados, monóxido de carbono, solventes orgánicos, etc.

Farmacológicas:

- Antibióticos del grupo de los aminoglucósidos (estreptomina, gentamicina, amikacina, netilmicina, paromomicina, tobramicina, neomicina, etc.) y otros tales como la vancomicina, la polimixina y la minociclina.
- Diuréticos: ácido etacrínico, usado para tratar la hipertensión; furosemida, diurético usado para reducir la inflamación y la retención de líquido.
- Analgésicos: ácido acetil-salicílico (aspirina), otros.
- Antitumorales: mostazas nitrogenadas, bleomicina y cis-platino.
- Otros: quinina, cloroquina, quinidina...

### 3.2. MAPAS DE RUIDO

La ejecución de MAPAS DE RUIDO no se puede considerar como la evaluación del puesto de trabajo, si bien tiene aplicaciones muy interesantes para la ejecución técnica de la prevención.

La ejecución de mapas de ruido no se puede considerar como una evaluación del puesto de trabajo

El posible uso de **Mapas de Ruido**, conjuntamente con el tiempo que el trabajador desarrolla su actividad en cada una de las áreas comprendidas entre dos líneas isosónicas, puede permitir determinaciones del nivel de ruido continuo equivalente diario del puesto de trabajo, con distinto grado de fiabilidad en función de:

- La fiabilidad alcanzada en la asignación del tiempo durante el que se encuentra el trabajador en cada una de las áreas en las que se ha determinado el nivel sonoro.
- La acotación del tiempo que se corresponde con cada tarea e incluso su situación respecto a las líneas isosónicas resulta difícil.
- Debemos recordar que en cada función (operación sobre una válvula, lectura de un equipo de medida, manejo de una electromuela portátil, etc.), la distancia a la que se encuentran los oídos del trabajador de las fuentes es muy inferior a aquella a la que se han realizado las lecturas para construir el mapa de ruido; se recuerda que el nivel de ruido disminuye en progresión cuadrática en relación con la distancia.

#### VARIACIÓN DEL NIVEL SONORO RESPECTO A LA DISTANCIA DE LA FUENTE

El nivel de presión sonora a la distancia **D**, respecto al nivel de presión sonora a la distancia **d**, responde a:

$$N_2 = N_1 - 10 \log \left( \frac{D}{d} \right)^2$$

Donde:

$N_2$ , nivel sonoro correspondiente a la distancia **D**.

$N_1$ , nivel sonoro correspondiente a la distancia **d**.

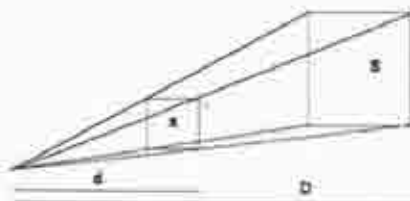


Tabla 2. Pérdida de nivel sonoro en función de la distancia a la fuente generadora.

D/d	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
N2 - N1	0	3,52	6,02	7,96	9,54	10,88	12,04	13,06	13,98	14,81	15,56



Estos valores son válidos para un campo sin reverberación. En un campo con reverberación las diferencias de la tabla anterior son menores en función de la importancia que ésta tenga.

Igualmente se ha de considerar la dirección de emisión de la fuente, que determina niveles diferentes a la misma distancia en el entorno de la máquina.

Tanto el número de determinaciones como el incremento del nivel de ruido entre líneas de igual nivel son factores importantes en la exactitud del mapa de ruido

**EL NÚMERO DE DETERMINACIONES REALIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MAPA DE RUIDOS**

**El salto o incremento entre las líneas isosónicas**

- Tanto el número de determinaciones como el incremento de nivel entre las líneas de igual nivel de ruido son factores importantes en la exactitud del mapa de ruido. Un elevado número de determinaciones permite la construcción de las curvas isosónicas con mayor precisión y más cercanas entre sí.
- La lectura del nivel de ruido en un punto del mapa presenta la inexactitud propia de toda lectura realizada sobre gráficos.

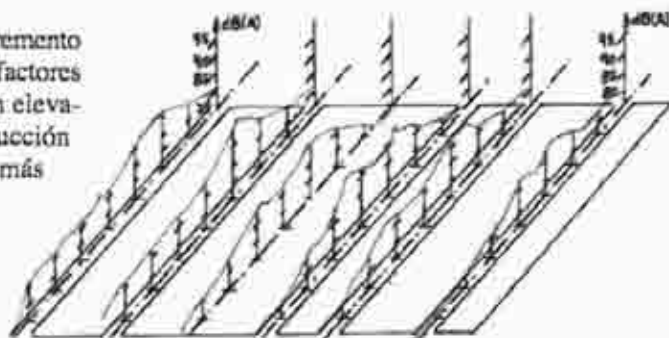


Figura n.º 2. Mapa de ruido construido con perfiles de nivel.

**La fiabilidad de estas determinaciones**

- Los mapas de ruido se suelen construir a partir de lecturas sonométricas momentáneas, en el mejor de los casos con sonómetros integradores con tiempos de integración muy cortos, 30 segundos, manejados directamente por un operador que añade nuevos errores debidos a los posibles apantallamientos que él mismo produce. En instalaciones con nivel sonoro muy uniforme los errores que se cometen mediante mediciones puntuales son menores, pero elevados en relación directa a las fluctuaciones de los niveles de ruido.

El mapa de ruidos por puntos permite conocer el nivel esperado dentro del taller mediante los cálculos siguientes:

Siendo:

- $S$ , Superficie del taller.
- $s$ , Superficie ocupada por los equipos según su contorno virtual.
- $L_i$ , Nivel de la cuadrícula  $i$ .
- $N$ , Número de espacios de superficies virtuales.
- $n_i$ , Número de cuadrículas; se considera como buen criterio que sea  $10 \times N$ .
- $\Delta(S - s)_i$ , Superficie de cada cuadrícula.

$$L = 10 \times \log \frac{1}{S - s} \times \sum_i 10^{\frac{L_i}{10}} \times \Delta(S - s)_i$$

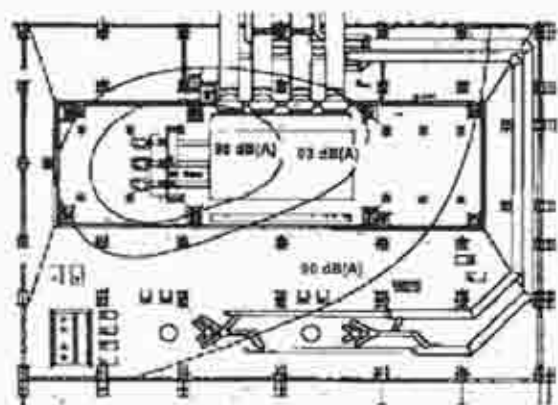


Figura n.º 3. Mapa de ruido construido con curvas de isonivel.

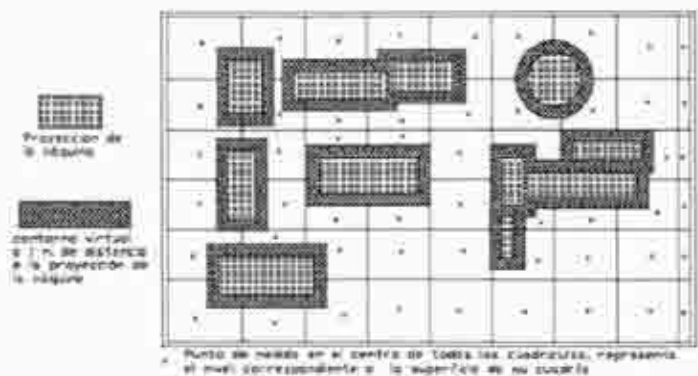


Figura n.º 4. Mapa de ruidos por puntos.

### Recomendaciones para la construcción de un mapa:

- Los puntos en los que se realizan las determinaciones deben ser fácilmente reconocibles e identificables para las posteriores verificaciones.
- Se recomienda disponer de un plano de la planta de la instalación; en otro caso realizar un croquis de la instalación, y sobre él señalar los puntos donde se realiza la medida referenciándolos a puntos fácilmente reconocibles, pilares u otro elemento constructivo, que permanezcan en el tiempo y que no estén cercanos a superficies reverberantes u objetos que apantallen el micrófono.

### 3.3. EL CICLO DE TRABAJO

Ante la flexibilización de los puestos de trabajo, se está imponiendo la ejecución de las evaluaciones de riesgos por tareas simples y, por suma de éstas y sus riesgos, alcanzar la evaluación del puesto

La indeterminación funcional y temporal de tareas cada día es más acentuada, ocasionada, entre otros factores, por la competitividad de los mercados, que origina una mayor flexibilización de la actividad empresarial; también se mantiene en la microempresa, donde "todos hacemos de todo", y "todos hacemos lo que nos encargan". Este problema no solo es de la evaluación de ruido sino que se presenta en todas las evaluaciones de riesgos laborales.

Por la razón anterior está apareciendo la tendencia de realizar las evaluaciones por tareas y adjudicar a cada "puesto de trabajo" las tareas que realiza, y de este modo montar la evaluación del puesto desarrollado por suma de tareas, tal como se explicó en la determinación de niveles equivalentes.

El Higienista se encontrará con puestos de trabajo en los que, en la práctica, no es posible determinar un ciclo de trabajo, y el número de tareas puede ser tan amplio que no permita determinar el nivel de ruido continuo equivalente de cada tarea. Lo dicho ocurre, fundamentalmente, en los equipos de mantenimiento, donde una misma tarea sónicamente puede ser muy distinta dependiendo del área donde se ubique —sustituir una luminaria en el despacho de dirección, en el taller general, en la sala de ventiladores soplantes de una central térmica...—.

Estos factores lesionan la representatividad de las determinaciones de nivel sonoro que permiten establecer el nivel de ruido continuo equivalente diario.

Cuando es difícil establecer el nivel de ruido continuo equivalente diario se recomienda practicar una encuesta inicial para después planificar y establecer la adecuada estrategia de actuación

### 3.4. CRITERIOS DE ACTUACIÓN

Ante esta situación ¿cómo debe actuar el Higienista?

A la vista de las normas y en el convencimiento pleno de que **el objetivo de todo Prevencionista es asesorar al empresario para que haga prevención**, y recordando la introducción realizada en el apartado anterior sobre la evaluación higiénica, cuando se aplica al contaminante ruido se recomienda:

#### 3.4.1. Encuesta inicial

##### Información previa

Lectura de otras normas que pueden ser de aplicación, en atención al artículo 1 de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos laborales. Son todas aquellas que contengan, en este caso, prescripciones sobre ruido y que puedan afectar a los trabajadores. Se citan:

- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para las Instalaciones Térmicas de los Edificios (ITE 02.2.3. Ruidos y Vibraciones).

- Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, por el que se regula la norma básica de la edificación NBE-CA-81, sobre condiciones acústicas en los edificios. Con la publicación del Real Decreto 2115/1982, de 12 de agosto, pasa a denominarse NBE CA-82, "Condiciones Acústicas en los Edificios". Por la Orden de 29 de septiembre de 1988, por la que se aclaran y corrigen diversos aspectos de los anexos a la norma básica de la edificación NBE-CA-82 sobre "condiciones acústicas en los edificios", pasa a denominarse NBE CA-88, "Condiciones Acústicas en los Edificios".
- Convenio de la OIT núm. 148, de 20 de junio de 1977. Ratificado por Instrumento de 24 de noviembre de 1980, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo.
- Convenios colectivos que afecten a la actividad en estudio.
- Otras normas emitidas por las administraciones autonómicas y locales.
- Normas UNE citadas en el RD 286/2006.

Igualmente es necesario conocer, al menos de forma básica, el proceso que se va a evaluar y que podremos encontrar en publicaciones técnicas.

### Trabajo de campo

En la presentación a la Dirección de la empresa se solicitará que designe una persona conocedora de los procesos y puestos de trabajo sometidos a estudio y la presencia de los Representantes de los Trabajadores, formando e informando de las actuaciones a realizar, en cumplimiento de:

La Ley 31/1995, que en el punto 2 de su artículo 18: Información, consulta y participación de los trabajadores, señala lo siguiente:

*"2. El empresario deberá consultar a los trabajadores, y permitir su participación, en el marco de todas las cuestiones que afecten a la seguridad y a la salud en el trabajo, de conformidad con lo dispuesto en el capítulo V de la presente Ley.*

*Los trabajadores tendrán derecho a efectuar propuestas al empresario, así como a los órganos de participación y representación previstos en el capítulo V de esta Ley, dirigidas a la mejora de los niveles de protección de la seguridad y la salud en la empresa".*

El Real Decreto 286/2006, que en su artículo 10, Consulta y participación de los trabajadores, insiste en la participación y consulta de los trabajadores señalando:

*"La consulta y la participación de los trabajadores o de sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto y, en particular, respecto a las indicadas a continuación, se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el artículo 18.2 de la Ley 31/1995:*

- a) la evaluación de los riesgos y la determinación de las medidas que se han de tomar contempladas en el artículo 6;*
- b) las medidas destinadas a eliminar o reducir los riesgos derivados de la exposición al ruido contempladas en el artículo 4;*
- c) la elección de protectores auditivos individuales contemplados en el artículo 7.1.c)".*

El prevencionista puede encontrarse que los órganos internos competentes y/o los representantes de los trabajadores no desean estar presentes, o, simplemente, no están. Ante esta situación la primera de las aclaraciones a considerar es que se trata de un derecho que tienen los trabajadores y en consecuencia pueden o no hacer uso de ese derecho.

Para practicar el trabajo de campo se solicitará a la empresa la designación de una persona conocedora de los procesos y puestos de trabajo objeto de estudio

Los órganos internos competentes en seguridad e higiene y los representantes de los trabajadores pueden no hacer uso de su derecho a estar presentes en el desarrollo de la evaluación del riesgo. Ante esta situación, el empresario basta con que tenga constancia documental de que han sido consultados e informados sobre esta actuación

La primera evaluación debe referirse a la totalidad de los puestos de trabajo

En este caso el empresario debe tener constancia documental de que los trabajadores han sido consultados e informados sobre la actuación en materia preventiva que se va a realizar, con mención expresa de los derechos que tienen y que quedan recogidos en las normas anteriormente citadas.

Asimismo dispondrá de las evaluaciones de ruido, junto con la planificación y el grado de ejecución que se haya alcanzado con las actuaciones anteriores realizadas de conformidad con el Real Decreto 1316/1989.

La recopilación de datos debe incluir las conclusiones emitidas por la Unidad Médica sobre los posibles daños profesionales causados por la exposición a ruido, con las limitaciones que la confidencialidad media establece.

#### Visita inicial a los puestos de trabajo en estudio

En esta actuación igualmente tienen que participar los representantes de los trabajadores y el trabajador designado por la dirección.

Definición de los puestos de trabajo, número de trabajadores, equipos, procesos, métodos y tareas que intervienen. Posibles influencias sónicas generadas en los puestos de trabajo.

Se solicitarán informaciones complementarias a los propios trabajadores que ocupan los puestos.

Un nivel de ruido frente a un oído fatigado produce menos sensación sonora que frente a un oído no fatigado

- Es muy importante que los trabajadores señalen aquellos ruidos que más les molestan. Debido a la temporalidad de la visita que se realiza a las instalaciones pueden no ser observadas las variaciones tanto en el funcionamiento de los equipos como de las producciones y en consecuencia la emisión del ruido. Las diferencias entre los distintos turnos ya ha sido comentada.
- En los puestos de trabajo ruidosos, a la pregunta ¿tiene molestias por ruido?, la contestación típica suele ser: *"El ruido se nota al entrar, después de un tiempo de estar en el taller hay menos ruido, se acostumbra uno a él"*. Ello no se debe interpretar en el sentido de que al comenzar la jornada el nivel de ruido sea superior que al cabo de unas horas, sino que se produce un efecto de fatiga auditiva. La fatiga auditiva aumenta el nivel del dintel auditivo; por ello un mismo nivel de ruido frente a un oído fatigado produce menos sensación sonora que frente a un oído no fatigado.
- Al contrario, cuando manteniendo una conversación a menos de un metro de distancia en la que no realizan un esfuerzo adicional ni el emisor ni el receptor, sanos de oído, para alcanzar un buen nivel de inteligibilidad el trabajador responde señalando graves perjuicios como consecuencia del ruido, hemos de considerar que el trabajador puede ser hipersensible al ruido —o a otras condiciones de trabajo de origen multifactorial—, ya que para que se cumplan las condiciones de inteligibilidad en la situación señalada se ha de esperar que el nivel de ruido resulte inferior a 80 dB(A).

Se observarán detenidamente:

- Los equipos, su estado, sus apoyos y su mantenimiento.
- Los procesos, los métodos y tareas, la organización y planificación.
- Las acciones para el control de los efectos del ruido: uso y características de los protectores auditivos y de otros equipos de protección personal utilizados...

Tras una visita a los puestos de trabajo el Higienista recomendará acciones preventivas tendentes a eliminar o, si no fuera posible, minimizar el riesgo. Sólo se justifica acudir a mediciones en razón de objetivos específicos

Todo lo anterior permitirá al Higienista, en la medida que su experiencia, sus conocimientos técnicos y normativos le permitan, recomendar acciones preventivas concretas tendentes directamente a eliminar o, si no fuera posible, minimizar el riesgo, y que son las que presentan una mayor eficacia preventiva; solamente se justifica acceder directamente a la realización de mediciones en razón de objetivos específicos.

En el caso de que el Técnico tenga dudas sobre la situación de riesgo debe realizar mediciones *"teniendo en cuenta que el objetivo básico de éstas es el de posibilitar la toma de decisiones sobre el tipo de actuación preventiva que deberá emprenderse"*.

Hay importantes razones para planificar, organizar y ejecutar actuaciones preventivas tendentes a eliminar los **incumplimientos normativos**, a proponer y ejecutar variaciones del método de trabajo de la organización de los puestos de trabajo, y también la instalación de pantallas, cabinas, etc., que eliminan o minimizan los efectos del ruido.

Algunos ejemplos muy comunes son:

- Válvulas de descarga de un circuito neumático sin silenciosos.
- Máquinas mal apoyadas, desequilibradas.
- Equipos a los que se les ha anulado alguna carcasa, se ha disminuido su efectividad por un cierre defectuoso, u otras.
- Máquinas con mantenimiento defectuoso o incompleto.
- Trabajadores en áreas ruidosas con tareas que no tienen ninguna relación con el proceso generador del ruido.
- Tareas de vigilancia periódica de equipos, permaneciendo los tiempos de espera en la misma área.
- Zonas de paso por áreas ruidosas cuando pueden realizarse por otros lugares más silenciosos.

Todo ello se justifica normativamente en aplicación del artículo 4 del Real Decreto 286/2006, en el que expresamente se ordena:

*"1. Los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen.*

*La reducción de estos riesgos se basará en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995..."*

Las actuaciones señaladas en este artículo **obligan** a la realización de acciones preventivas. El empresario, en muchas ocasiones, se considera eximido de esta obligación con la simple manifestación verbal de que "no se puede hacer nada", "es una inversión muy elevada", "siempre lo hemos hecho de la misma forma", "en todos los sitios hay ruidos" y otras, además de pensar que no es un contaminante que haga demasiado daño.

Ciertamente, el ruido es el contaminante más costoso de controlar, tanto técnica como económicamente, pero en muchas ocasiones se pueden realizar actuaciones con pequeños costos y fácil implantación que disminuyen la exposición al ruido.

La simple afirmación de que no se puede hacer nada, que cuesta mucho u otras similares no justifica el incumplimiento de este artículo, y sólo una justificación documentada y fundamentada realizada por un técnico competente sobre las causas — técnicas, organizativas, económicas — que impiden reducir el nivel sonoro al que se está expuesto justifican la no eliminación o minoración del ruido en su generación o en su transmisión.

Una vez que se han ejecutado las acciones preventivas cuya necesidad y viabilidad era manifiesta y que el Técnico recomendó basándose en la normativa y en su experiencia, éste debe evaluar y valorar el riesgo residual resultante en cada puesto de trabajo con el objeto de:

- Verificar la eficacia de las acciones realizadas.
- Establecer otras acciones preventivas

Con la información recibida, estudiada, participada, informada y rematada, se ha llegado a la completa identificación de las condiciones peligrosas residuales, conociendo:

- *DÓNDE se genera el ruido.*
- *CÓMO se genera y transmite el ruido hasta el trabajador.*
- *CUÁNDO se genera y produce la exposición del trabajador.*
- *POR QUÉ se genera el ruido y se expone al trabajador.*

La falta de reducción de los niveles de ruido a los valores técnica y razonablemente más bajos posibles debe ser documentada por técnico competente

Para que las decisiones preventivas además de efectivas sean eficaces deben planificarse, ejecutarse y controlarse, siendo consultadas y participadas por todas las partes interesadas

Como consecuencia de los conocimientos ya adquiridos del problema planteado, y no olvidando que el objetivo de las determinaciones ambientales es permitir tomar decisiones preventivas que además de efectivas sean eficaces, para ello se debe planificar y ejecutar una estrategia de mediciones, participada e informada a todas las partes interesadas.

### 3.4.2. Planificación y estrategia para las determinaciones de ambientes sonoros

Al plantearse la necesidad de realizar determinaciones ambientales surgen diversas cuestiones; la respuesta a cada una condiciona la respuesta a las otras.

¿Cuál es el objetivo por el que se mide?

Para el control del riesgo por ruido, además de la formación, información y vigilancia médica, se emplea la dotación de EPI, el análisis de los motivos por los que se superan los niveles límite de ruido y el desarrollo de medidas técnicas y organizativas

Establecer las acciones preventivas que alcancen el mínimo determinado en el Real Decreto 286/2006, donde se fija como primer objetivo la eliminación del ruido; en el caso de que este objetivo no se alcance el empresario deberá evaluar la exposición de los trabajadores al ruido residual con el objeto de determinar si se superan los límites o niveles fijados en la presente norma, aplicando en tal caso las medidas preventivas prescritas.

Entre ellas encontramos, además de la formación, información y vigilancia médica específica, otras acciones:

- Dotación, voluntaria u obligatoria, de protectores auditivos y su uso voluntario u obligatorio.
- Análisis de los motivos por los que se superan los límites que la norma establece.
- Desarrollo de un programa de medidas técnicas destinado a disminuir la generación o la propagación del ruido, u organizativas encaminadas a reducir la exposición de los trabajadores al ruido.

Para realizar estas acciones se deben:

- Planificar las distintas actuaciones.
- Determinar la organización necesaria.
- Dotar de los medios humanos materiales y temporales necesarios.
- Ejecutar las actuaciones planificadas.
- Controlar su eficacia respecto al objetivo establecido.

#### Planificación de las distintas actuaciones

Una vez realizada la encuesta previa al centro de trabajo en los términos ya comentados, se dispone de los datos necesarios para planificar la evaluación del riesgo residual.

Factores que influyen en la planificación:

Son muchos los factores que influyen en la planificación del riesgo de ruido: número de puestos de trabajo y de trabajadores, la organización y los medios con que se cuenta, el ciclo de trabajo y la representatividad que se pretende alcanzar

- Número de puestos de trabajo a evaluar y trabajadores en cada puesto.
- La organización y medios con los que se cuenta, o con los que se puede contar.
- Ciclo de trabajo.
  - Si está determinado el ciclo de trabajo de cada uno de los puestos a estudiar, se debe hacer un muestreo de ciclos completos.
  - En la gran mayoría de los casos no hay un ciclo real de trabajo, en cuyo caso se puede:
    - considerar que el ciclo de trabajo es temporal en lugar de funcional, y asimilar el ciclo de trabajo a la jornada realizada, o bien

- analizar las tareas que se realizan en el centro de trabajo y hacer la determinación del nivel de ruido continuo equivalente diario por la suma de tareas para cada una de las unidades a valorar.
- Representatividad que se pretende alcanzar.

Repetidamente se ha señalado que nuestro objetivo preventivo es obtener la información suficiente que nos permita tomar las decisiones correspondientes establecidas en el Real Decreto 286/2006.

Para el Higienista, en su actuación netamente prevencionista, una imprecisión de 0,5 dB(A) e incluso superior en el nivel de ruido continuo equivalente, en la mayoría de los casos, no varía el criterio de actuación para el control en un ambiente sonoro. Sin embargo 0,5 dB(A) llegan a tener importancia cuando, entre los valores inferior y superior de la banda de incertidumbre como consecuencia de los valores alcanzados en las determinaciones, quedan incluidos los criterios de referencia establecidos en el Real Decreto 286/2006.

La aplicación de criterios estadísticos para conseguir una fiabilidad del 95% puede exigir alto costo por el número de determinaciones a realizar y consecuentemente mucho tiempo para dar un resultado que permita tomar una decisión, llegando incluso a invalidarse ante la necesidad de tomar esa decisión sin disponer de los resultados de las determinaciones sonoras. También puede requerir el empleo de equipos de alta precisión; como veremos más adelante, a los equipos de medición del Tipo II, permitidos por la norma, se les aplica una tolerancia de  $\pm 1$  dB(A).

Se presentan ocasionalmente situaciones, normalmente por conflicto entre las partes interesadas, en que se solicita al Prevencionista que alcance la fiabilidad de certeza técnica. El Prevencionista debe realizar una labor formativa, de concienciación y de negociación entre y con las partes en conflicto, basándose en:

- Formación e información en torno a:
  - El nivel sonoro (hay que reducirlo al valor más bajo posible).
  - No se puede utilizar la prevención como herramienta de negociación.
  - El costo y el tiempo que la aplicación de una estrategia de muestreo puede requerir para alcanzar la fiabilidad solicitada pueden ser importantes.
- Negociación y concertación:
  - Proponer y hacer participar a todas las partes en litigio para adoptar un sistema de gestión para la evaluación completo y cuyos resultados sean asumidos.
  - Proponer una metodología que contemple el número de determinaciones; fecha, duración y horario de cada una de ellas; a cuántos trabajadores de cada puesto; qué tareas le corresponde desarrollar a cada puesto; el equipo a utilizar; el número de representantes de cada una de las partes en conflicto que van a presenciar las determinaciones; razones por las que se puede impugnar una determinación, etc. Del acuerdo alcanzado el Prevencionista solicitará un acta y con su cumplimiento alcanzará unos valores de nivel sonoro y su banda de indeterminación, aplicando el valor más alto de la banda según establece el punto 4 del Anexo II, todo ello con independencia del grado de confianza alcanzado.

En conclusión, el Prevencionista tiene que convencer a sus interlocutores de que:

***La finalidad de todos es hacer prevención.***

Y según el refranero:

***“Lo perfecto puede ser enemigo de lo bueno”.***

Una imprecisión de 0,5 dB(A) puede llegar a tener una cierta relevancia cuando entre los valores inferior y superior de la banda de incertidumbre quedan incluidos niveles de 80 dB(A) o de 85 dB(A)

El número de trabajadores a muestrear y el número de determinaciones a realizar está en función de la finalidad para la que se realizan las determinaciones

Hechas estas consideraciones, la planificación debe establecer:

- Puestos de trabajo a estudiar:
  - Si se trata de la evaluación inicial —hay centros de trabajo en los que no se ha realizado— se incluirán todos los puestos de trabajo, ruidosos y no ruidosos. Conviene recordar que para evaluar una situación ambiental no siempre es obligatorio realizar determinaciones ambientales.
  - Si se trata de una evaluación periódica o consecuencia de un cambio que produce una variación en el campo sónico, y en aplicación del artículo 3.1 del Real Decreto 1316/198, deberán ser evaluados todos los puestos de trabajo afectados y anualmente todos aquellos en los que el nivel diario de ruido equivalente supere los 85 dB(A) o se produzcan picos superiores a 140 dB.
- Cuántos trabajadores de cada puesto, cuántas determinaciones en cada puesto.

La realización de un número elevado de determinaciones puede que no genere mejor criterio prevencionista que el que se hubiera alcanzado con un número reducido de ellas

El mínimo que nos permita formar el criterio suficiente sobre la catalogación del puesto de trabajo en los márgenes establecidos en los artículos 5, 6 y 7 del Real Decreto 1316/1989. No se puede establecer una receta de aplicación, ya que la casuística que se puede presentar es todo lo amplia que queramos, por lo que me remito al punto anterior cuando se discutía la representatividad de los resultados. Consensuar un acuerdo suele ser lo más efectivo, en el que, incluso, se puede dejar sin fijar el número de determinaciones, quedando pendiente en función de los resultados que se vayan alcanzando.

**Ejemplo de aplicación.**

*Supuesto de un centro de trabajo ocupado por 20 trabajadores; se concierta:*

- *Asimilar el ciclo a la jornada de trabajo.*
- *Toma de muestras durante cuatro jornadas, una a la semana:*
  - 1.ª semana, lunes.*
  - 2.ª semana, martes.*
  - 3.ª semana, miércoles.*
  - 4.ª semana, jueves.*
- *Sistema de determinaciones: dosimetría.*
- *Trabajadores portadores de los equipos de determinación: aleatoriamente, 12 trabajadores, 3 cada día.*
- *Duración de la medición: al menos el 70% de la jornada.*

Fecha	Trabajador 1		Trabajador 2		Trabajador 3		Media $P_{EF}^2$	Nivel Eq. Medio $L_{Aeq}$
	$L_{Aeq}$	$P_{EF}^2$	$L_{Aeq}$	$P_{EF}^2$	$L_{Aeq}$	$P_{EF}^2$		
Día 1.º	108,0	25,2	105,0	12,6	103,0	8,0	15,3	105,8
Día 2.º	106,0	15,9	107,0	20,0	105,0	12,6	16,2	106,1
Día 3.º	102,0	6,3	108,0	25,2	100,0	4,0	11,9	104,7
Día 4.º	105,0	12,6	104,0	10,0	101,0	5,0	9,2	103,6
Media $P_{EF}^2$		15,0		17,0		7,4	13,1	105,2
Nivel eq. medio $L_{Aeq}$			105,8		106,3		102,7	105,2



Supuesto que fueran solo dos trabajadores, tomemos los dos con menor nivel para alcanzar la mayor diferencia respecto a la media.

Fecha	Trabajador 1		Trabajador 2		Trabajador 3		Media $P_{EF}^2$	Nivel Eq. Medio $L_{A,eq,0}$
	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$		
Día 1.º			105,0	12,6	103,0	8,0	10,3	104,1
Día 2.º			107,0	20,0	105,0	12,6	16,3	106,1
Día 3.º			108,0	25,2	100,0	4,0	14,6	105,6
Día 4.º			104,0	10,0	101,0	5,0	7,5	102,8
Media $P_{EF}^2$				17,0		7,4	12,2	104,8
Nivel eq. medio $L_{A,eq,0}$					106,3		102,7	104,8

Supuesto que midamos solo dos jornadas, igualmente las dos de menor nivel.

Fecha	Trabajador 1		Trabajador 2		Trabajador 3		Media $P_{EF}^2$	Nivel Eq. Medio $L_{A,eq,0}$
	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$		
Día 1.º								
Día 2.º								
Día 3.º	102,0	6,3	108,0	25,2	100,0	4,0	11,9	104,7
Día 4.º	105,0	12,6	104,0	10,0	101,0	5,0	9,2	103,6
Media $P_{EF}^2$		9,5		17,6		4,5	10,6	104,2
Nivel eq. medio $L_{A,eq,0}$			103,8		106,4		100,5	104,2

Finalmente, supuesto en que solo han sido dos trabajadores, y solo dos jornadas.

Fecha	Trabajador 1		Trabajador 2		Trabajador 3		Media $P_{EF}^2$	Nivel Eq. Medio $L_{A,eq,0}$
	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$	$L_{A,eq,d}$	$P_{EF}^2$		
Día 1.º								
Día 2.º								
Día 3.º			108,0	25,2	100,0	4,0	14,6	105,6
Día 4.º			104,0	10,0	101,0	5,0	7,5	102,8
Media $P_{EF}^2$				17,6		4,5	11,1	104,4
Nivel eq. medio $L_{A,eq,0}$					106,4		100,5	104,4

En conclusión:

Para catalogar el puesto de trabajo de conformidad con el Real Decreto 286/2006, el Higienista, en razón de su grado de experiencia y con el conocimiento del puesto alcanzado durante la encuesta previa, podría haber reducido el número de determinaciones.

El acuerdo debería haberse establecido abierto en función de los resultados que se fueran alcanzando, y la medición del primer día habría sido suficiente.

El ejercicio anterior no presenta dudas sobre las conclusiones; sin embargo, cuando el valor del nivel medio se encuentra cercano a uno de los límites que establece el Real Decreto y fundamentalmente el de 85dB(A), y haciendo predominar el criterio legalista sobre el prevencionista, para la toma de decisiones puede ser necesario llegar a establecer una estrategia estadística en cuanto al número de trabajadores a muestrear y el número de determinaciones a realizar.

Cuando la finalidad de las determinaciones es el avalar con una certeza técnica el cumplimiento de una norma lleva implícito la aplicación de una estrategia de muestreo estadística

### 3.4.3. Organización necesaria, medios humanos y materiales

Medios humanos:

El art. 6 del Real Decreto 286/2006 dice:

*"4. (...) Dichas evaluaciones y mediciones serán realizadas por personal con la debida cualificación, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 36 y 37 y en el Capítulo III del Real Decreto 39/1997, en cuanto a la organización de recursos para el desarrollo de actividades preventivas".*

El Reglamento de los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales, Real Decreto 39/1997, establece distintos niveles de formación que capacitan para el desarrollo de las correspondientes funciones de cada nivel de formación.

La evaluación de la exposición al ruido exige el establecimiento de estrategias e interpretación y manejo de datos no mecánicos. Por ello el técnico de prevención debe disponer de formación de nivel superior en la especialidad de Higiene en el Trabajo

*"CAPÍTULO VI; Funciones y niveles de cualificación.*

*Artículo 34. Clasificación de las funciones. (...)*

*Las funciones que se recogen en los artículos siguientes serán las que orienten los distintos proyectos y programas formativos desarrollados para cada nivel.*

*Estos proyectos y programas deberán ajustarse a los criterios generales y a los contenidos formativos mínimos que se establecen para cada nivel en los anexos III a VI.*

*(...)*

*Artículo 35. Funciones de nivel básico. (...)*

*f) Cooperar con los servicios de prevención, en su caso.*

*(...)*

*Artículo 36. Funciones de nivel intermedio. (...)*

*g) Colaborar con los servicios de prevención, en su caso.*

*h) Cualquier otra función asignada como auxiliar, complementaria o de colaboración del nivel superior.*

*(...)*

*Artículo 37. Funciones de nivel superior. (...)*

*b) La realización de aquellas evaluaciones de riesgos cuyo desarrollo exija:*

*1.º El establecimiento de una estrategia de medición para asegurar que los resultados obtenidos caracterizan efectivamente la situación que se valora, o*

*2.º Una interpretación o aplicación no mecánica de los criterios de evaluación.*

*(...)*

*d) La planificación de la acción preventiva a desarrollar en las situaciones en las que el control o reducción de los riesgos supone la realización de actividades diferentes, que implican la intervención de distintos especialistas.*

*(...)"*

El número de técnicos que han de intervenir en la evaluación del riesgo por ruido va en función de la carga de trabajo, de los equipos y de la dispersión de los puestos de trabajo

Las funciones a realizar en la evaluación de ruido quedan integradas dentro de las de nivel superior. Consecuentemente, el técnico responsable de las determinaciones ambienta-

les debe ser técnico de prevención de riesgos laborales de nivel superior con la especialización en Higiene en el Trabajo.

Se completa la calificación de medios humanos con la participación de un técnico con la formación intermedia en el ejercicio de las funciones señaladas en el artículo 36.h).

Respecto al número de técnicos de los distintos niveles, ello va en función de la carga de trabajo y del número de equipos materiales disponibles, y de la dispersión de los trabajadores de un mismo puesto o de los distintos puestos que se pueden estudiar simultáneamente.

El Real Decreto 39/1997, en el artículo 17, Requisitos de las entidades especializadas para poder actuar como servicios de prevención, dice:

*"Podrán actuar como servicios de prevención las entidades especializadas que reúnan los siguientes requisitos:*

- a) Disponer de la organización, instalaciones, personal y equipo necesarios para el desempeño de su actividad.."*

El Real Decreto 286/2006 no establece la dotación mínima de medios técnicos, solamente expone las características técnicas que deben reunir y que más adelante se comentan:

- Sonómetro integrador dotado de analizador de bandas (uno).
- Dosímetros. No hay nada establecido respecto al número de dosímetros que un técnico puede manejar; la experiencia indica que durante las determinaciones se deben tomar notas de las tareas que realiza el trabajador portador del equipo de medición, y realizar otras determinaciones mediante sonometrías. Esta tarea está muy influenciada por la dispersión de los trabajadores y la complejidad de las tareas que se realicen. Como máximo un equipo de evaluación —Técnico Superior y auxiliar— puede manejar 10 dosímetros.

Planteemos un pequeño estudio de costes basado en estos datos:

Coste aproximado de un dosímetro de tipo medio-alto: 1.500 euros.

Coste-hora de un técnico superior adscrito a un servicio ajeno de prevención, incluida la prorrata de gastos generales, administrativos, desplazamientos, etc.: 40 euros.

Si lo aplicamos al ejercicio anterior: Para realizar 12 determinaciones con un solo dosímetro hubieran sido necesarias 12 jornadas de trabajo de los evaluadores.

Resulta un coste de:

$$12 \text{ jornadas} \times 8 \text{ horas} \times 40 \text{ euros/hora} = 3.840 \text{ euros.}$$

Si fueran 3 dosímetros son 4 las jornadas ocupadas en realizar las determinaciones.

$$4 \text{ jornadas} \times 8 \text{ horas} \times 40 \text{ euros/hora} = 1.280 \text{ euros.}$$

Diferencia: 2.560 euros.

Se pone claramente de manifiesto que dotaciones mínimas no son rentables, la evaluación del ejemplo realizada como inicialmente se concertó supondría la amortización práctica de dos dosímetros.

- Calibrador; al menos uno válido para sonómetros y dosímetros, en otro caso uno para cada tipo de equipo.
- Aconsejable que se disponga de un cronómetro.

El RD 286/2006 no establece el número de equipos que deben emplearse, solamente expone las características técnicas que deben reunir los sonómetros, dosímetros y calibradores

Una vez practicadas las mediciones y determinado el nivel de ruido continuo equivalente se catalogarán los puestos de trabajo

### 3.4.4. Ejecución de las actuaciones planificadas

Determinar el nivel sonoro equivalente al que se encuentra un trabajador en la ejecución de las tareas correspondientes a su puesto de trabajo presenta una serie de dificultades, todas ellas consecuencia de la variabilidad del nivel sonoro al que se encuentra sometido el trabajador en el transcurso de la jornada de trabajo, ya que su situación relativa respecto a las fuentes varía, como varía la emisión sonora de estas fuentes tanto en número como en nivel.

La experiencia nos dice que en la práctica es muy difícil realizar la determinación del nivel sonoro de un puesto de trabajo en ausencia del trabajador que lo ocupa

La aplicación de un sonómetro, de un sonómetro integrador o de un dosímetro depende de la estabilidad del nivel sonoro, lo que se desarrolla más adelante cuando se estudian las características de cada tipo de equipo y de cada tipo de ruido.

Se considera que la determinación con la que se alcanzan los mejores resultados de representatividad es la dosimetría personal al trabajador en el desarrollo de su puesto de trabajo.

Operativamente el micrófono o captador de la señal acústica del dosímetro debe situarse en las cercanías del oído que se considera de mayor exposición, normalmente a la altura de cuello de la camisa con el equipo colgado del cinturón, en un bolsillo de la camisa o del buzo, etc., sujetando el conducto que lo une al micrófono con una pinza a la ropa del trabajador. Se debe prestar especial atención a no incrementar los riesgos o interferir en la operatividad del trabajador con la situación o colocación de los equipos (por ejemplo, producir puntos de enganche con el conducto sujeto sobre la ropa de trabajo).

Lo señalado en el párrafo anterior entra en conflicto con la norma cuando establece que las determinaciones se deben realizar en ausencia del trabajador, cuestión ya expuesta y sobre la que se añaden otros matices.

La norma establece la medición en un campo sónico sin perturbaciones, sin superficies reflectoras o absorbentes o apantallantes de la energía sonora, lo que entendemos como que han de ser ajenas al campo sónico ordinario. El trabajador como sujeto de la evaluación forma parte del campo sonoro; por lo tanto las perturbaciones que su presencia origina deben ser consideradas como, por ejemplo, las que produce una columna de la estructura de la nave, que también forma parte del espacio de trabajo; la cabeza del trabajador actúa de apantallamiento del ruido frente al ruido directo generado por fuentes cercanas desde un costado del trabajador —por ejemplo el daño acústico de un cazador es superior en el oído derecho para aquellos cazadores diestros y en el lado izquierdo para los cazadores zurdos—.

Respecto a los fenómenos de absorción y de reflexión de las ondas sonoras que se producen sobre la superficie corporal del trabajador, debemos tener en cuenta que estos fenómenos varían en razón de las características sónicas de la ropa, poniendo como casos extremos ropa aluminizada, ropa impermeable sin poros, ropa de abrigo no impermeable o ropa de verano.

El Higienista durante la ejecución de las mediciones debe tratar de no incorporar elementos que interfieran en el campo sónico a evaluar

El legislador nos quiere transmitir que el campo sónico puede ser perturbado durante la ejecución de la medición. En la realización de las determinaciones ambientales, al Higienista suelen acompañarlo, lo que siempre es aconsejable, otras personas que tienen derecho a hacerlo; en estas situaciones el Técnico debe preocuparse de que él mismo y las otras personas observen la ejecución de las determinaciones a una distancia prudencial y en ningún caso se sitúen entre las fuentes generadoras del ruido y el trabajador objeto de estudio, e incluso que las conversaciones mantenidas entre ellos no se transformen en una nueva fuente sonora.

## 4. Sonómetro, sus componentes básicos

Para la ejecución de las determinaciones del nivel de ruido continuo equivalente diario conforme al Real Decreto 1316/1989 se debe disponer de los equipos que cumplan las normas que se establecen en su Anexo II: Instrumentos de medición y condiciones de aplicación.

La incorporación de la tecnología electrónica e informática a los sonómetros está aumentando las prestaciones de los equipos, facilitando cada día mayor información sobre las características del sonido.

Los equipos de medición fueron estudiados elementalmente en la Parte Básica Común; se considera que se debe ampliar el estudio partiendo del esquema de bloques ya utilizado.

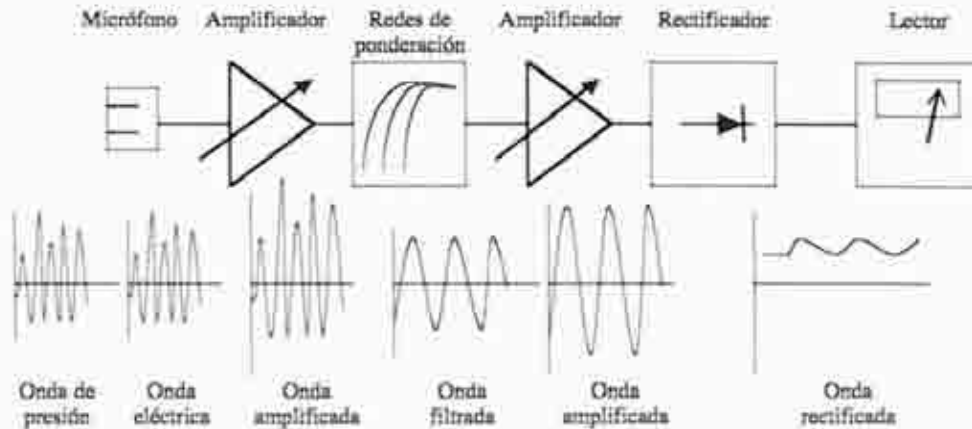


Figura n.º 5. Sonómetro básico.

### 4.1. MICRÓFONO, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

El micrófono suele ser el componente más caro del equipo y el que más expuesto está a golpes y choques. Para su montaje no deben usarse herramientas, se aprieta a mano.

Transforma las variaciones de presión de las ondas sonoras en señales eléctricas. Las características que debería poseer un micrófono son:

- La onda eléctrica generada se debe corresponder con la onda de presión en todos los parámetros que la definen.
- La presencia del micrófono no debe producir perturbaciones en el campo sónico.
- La respuesta en frecuencias del micrófono debe ser plana.
- Para el ámbito de potencias sonoras y el de frecuencias que es de aplicación el micrófono la respuesta eléctrica debe ser lineal respecto a la presión sonora.

El micrófono transforma la onda de presión en onda eléctrica con las mismas características de frecuencia y amplitud

El tipo de micrófono que se acerca más a las condiciones ideales es el de condensador.

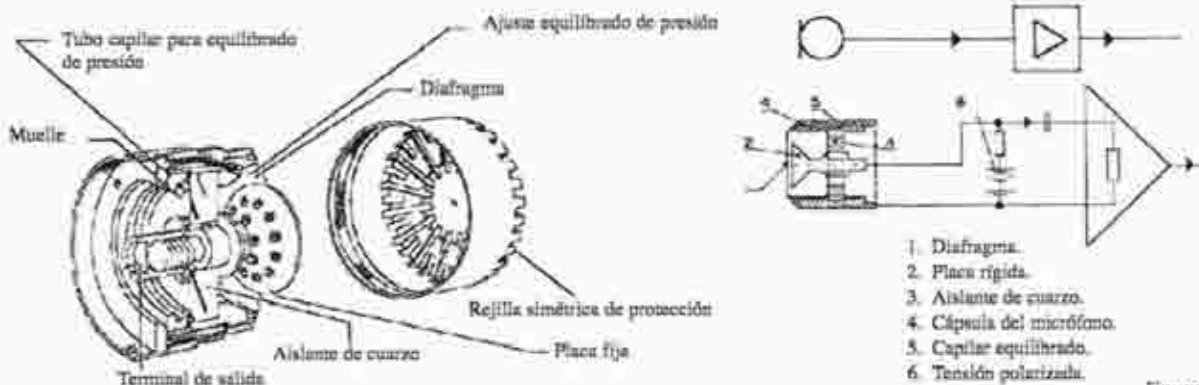


Figura n.º 6. Secciones y esquemas de un micrófono de condensador.

## Micrófonos de condensador, su funcionamiento

El diafragma y la placa rígida forman un condensador que se alimenta con una polarización, creando una diferencia de tensión entre el diafragma y la placa fija. La onda de presión, al chocar contra el diafragma, produce una variación en la distancia entre este y la placa fija variando la capacidad del condensador en función de la amplitud y de la frecuencia del tren de ondas que recibe, y así produce una señal eléctrica que se corresponde con la excitación exterior que recibe.

El soporte de la placa fija se efectúa sobre un disco aislante de cierre que divide la cápsula del micrófono en dos sectores unidos por un tubo capilar para que equilibre la presión entre ambas partes.

La polarización del condensador puede realizarse desde una fuente externa o desde una fuente interna para los llamados micrófonos prepolarizados. La fuente interna está formada por una capa de material polímero especial, Electret, de tal modo que en una cara de esta capa se sitúan las cargas positivas y en la otra las negativas.

Se encuentran dos tipos de prepolarizados, según la capa fina de material Electret se sitúe sobre la membrana o sobre la placa fija.

## Micrófonos piezoeléctricos o cerámicos

Los micrófonos piezoeléctricos presentan ventajas respecto a los de condensador, ya que son menos sensibles a la humedad, más resistentes y no necesitan voltaje externo para funcionar

El diafragma en este tipo de micrófonos está unido mecánicamente a un elemento piezoeléctrico, normalmente cuarzo.

Presentan ventajas respecto a los micrófonos de condensador:

- Son menos sensibles a la humedad.
- Son más resistentes mecánicamente, les afecta menos un uso brusco.
- No es necesario un voltaje externo para su funcionamiento.

Y también presenta alguna desventaja frente a los anteriores:

- Poseen una sensibilidad relativamente más baja.
- Son más sensibles a las vibraciones que los de condensador.
- Son más sensibles a la temperatura ambiental.

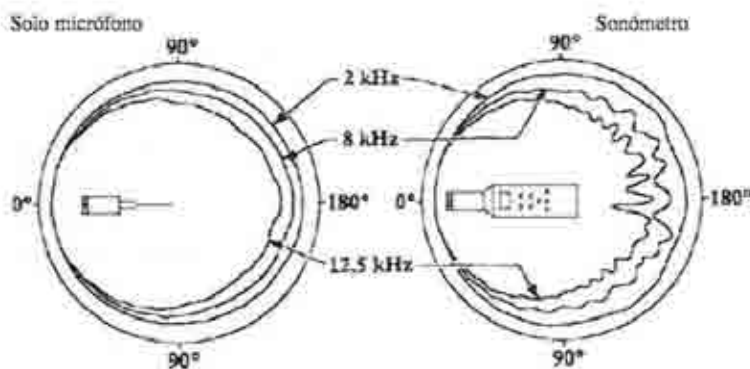


Figura n.º 7. Gráfico polar de respuesta de micrófono y del equipo omnidireccional según el ángulo de incidencia del tren de ondas.

un diámetro menor de media pulgada y se consideran omnidireccionales para frecuencias menores de 5 kHz.

Con la misma calidad, la sensibilidad del micrófono aumenta de forma directa con su diámetro.

## Sensibilidad de un micrófono

Se define como la relación entre la salida eléctrica y el nivel de presión sonora que recibe el diafragma.

Se expresa en mV/Pa; el valor normal para micrófonos de alta sensibilidad es 50 mV/Pa.

La sensibilidad va en función del ángulo de incidencia de la onda de presión sobre la membrana del micrófono.

La mayoría de los micrófonos utilizados en las determinaciones ambientales de sonido tienen un diámetro menor de media pulgada y se consideran omnidireccionales para frecuencias menores de 5 kHz.

Existen micrófonos específicamente fabricados para respuestas al tren de ondas llegado desde ángulos determinados respecto al plano de la membrana, o micrófonos direccionales; estos micrófonos, pensados para aplicaciones especiales, no se utilizan para realizar determinaciones sonoras del control del ruido.

*Gama dinámica:* Se define como la banda de valores mínimo y máximo de nivel de presión sonora entre los que la respuesta del micrófono es lineal.

## 4.2. PREAMPLIFICADOR

Normalmente situado en la caña de acoplamiento del micrófono, y en otros casos en el interior de la carcasa del equipo.

Adapta la señal eléctrica de salida del micrófono a la de entrada del amplificador; las características que los hacen idóneos son que tengan un bajo ruido eléctrico y una amplia respuesta en frecuencias y gama dinámica.

## 4.3. AMPLIFICADOR

Ha de contar, fundamentalmente, con las características siguientes:

- Ampliar la señal recibida para que permita las determinaciones de los niveles sonoros más bajos posibles.
- Respuesta plana en la gama de frecuencias entre 10 Hz y 20 kHz.
- El nivel de ruido eléctrico debe ser el más bajo posible, y en todo caso inferior al nivel de presión sonora que se pretende medir dentro de la gama de frecuencias del micrófono.
- Mantener constante el factor de amplificación en toda la gama de frecuencias del aparato.

## 4.4. REDES DE PONDERACIÓN

Los sonómetros para dar respuesta a las necesidades de la evaluación higiénica establecida según el Real Decreto 286/2006 deben estar dotados de respuestas con ponderaciones de frecuencia designadas A y C.

Pueden además poseer otras ponderaciones de frecuencia designadas B, Lin y D.

### Ponderación A

En la Parte Básica Común se hablaba de la fisioacústica y se definían los dB(A) en función de las curvas de *misma sensación acústica* según los ensayos realizados por Fletcher y Munson en las que demostraban que el oído humano no responde por igual a todas las frecuencias; por esta razón se incorporan unos filtros que establecen la relación directa a la sensación auditiva, el filtro o ponderación A.

No se han confirmado que las ponderaciones frecuenciales estén asociadas a las respuestas del oído humano tal como había sido admitido históricamente debiendo estas respuestas ser consideradas como convencionales.

La respuesta caracterizada A, dB(A), es la que se establece en la normativa europea y española para la evaluación de ambientes ruidosos no impulsos.

### Ponderación B

También se estableció la ponderación B, que hoy día no suele incluirse en los sonómetros.

Históricamente los filtros de ponderación frecuencial se incorporaban para determinar el nivel de ruido con relación directa a la sensación auditiva; hoy no se ha demostrado esa asociación y estas respuestas se han de considerar convencionales

El nivel sonoro en dB(A) es el nivel de la sensación acústica en las personas

### Ponderación C

La ponderación que junto con la A incorporan los sonómetros es la ponderación C. La curva dB(C) es bastante uniforme entre los 50 y 200 Hz. Cuando un sonómetro no incluye la ponderación plana o lineal se puede utilizar, con una buena aproximación, el nivel global en C. El uso de la ponderación C, esto es, la determinación del nivel en dB(C), tiene aplicación en el cálculo de la atenuación de los protectores auditivos.

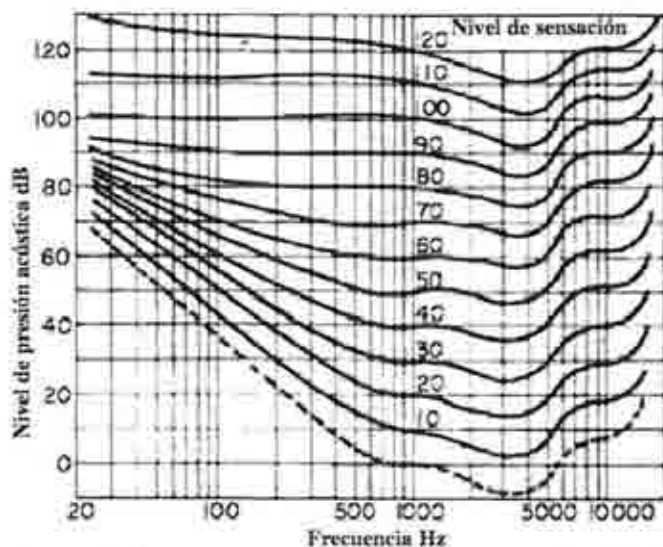


Figura n.º 8. Curvas de igual sonoridad por Fiecher y Munson.

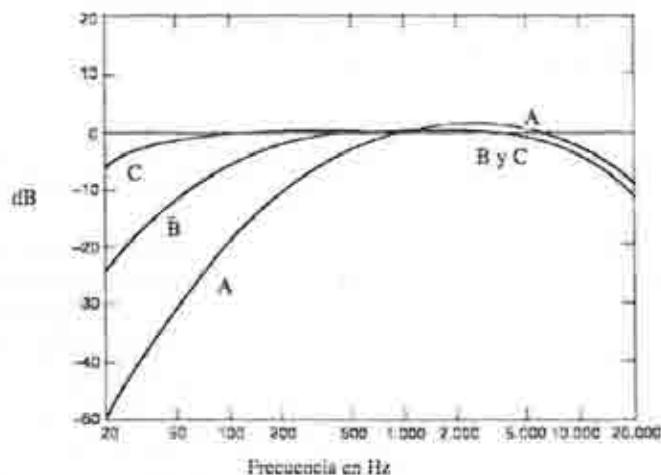


Figura n.º 9. Representación gráfica de las redes de ponderación A, B y C.

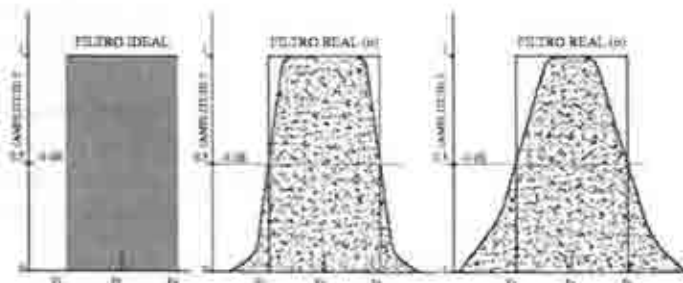


Figura n.º 10. Representación gráfica del corte de distintos filtros.

El Real Decreto 286/2006 establece los niveles de pico en dB(C); la anterior norma los establecía en dB físicos o lineales, sin ponderación, implicando ligeras atenuaciones en las bandas de 31,5 Hz y de 63 Hz por la parte inferior y en las bandas de 2.000 Hz, 4.000 Hz y de 8.000 Hz.

Véanse la tabla y las curvas representativas de cada tipo de ponderación.

Tabla 3. Atenuación de los Filtros A, B, C.

Hz	Aten. A	Aten. B	Aten. C
31,50	-39,40	-17	-3
63	-26,20	-9	-0,8
125	-16,10	-4	-0,2
250	-8,60	-1	0
500	-3,20	0	0
1.000	0,00	0	0
2.000	1,20	0	-0,2
4.000	1,00	-1	-0,8
8.000	-1,10	-3	-3

### Ponderación D

Se utiliza para la determinación de niveles sonoros de aeronaves.

### Ponderación plana o lineal

Se corresponde con el nivel de presión acústica ambiental como fenómeno físico, sin sufrir atenuaciones para ajustarse a algún tipo de respuesta normalizada, y se expresa en dB. Cuando se habla de este valor se puede emplear la expresión "decibelios físicos o lineales".

## 4.5. FILTROS

La onda que choca contra la membrana del micrófono es una onda compleja portadora de todas o de un gran número de frecuencias.



Se presenta la necesidad de tener un mayor conocimiento de esa onda compleja con el estudio más profundo del fenómeno, normalmente expresado como análisis del ruido.

El filtro podemos definirlo como un sistema electrónico en el cual el factor de transferencia para las frecuencias para las que se construye es la unidad y cero para el resto.

En la figura 10 se representa gráficamente el filtro ideal, que solo permite el paso de las frecuencias comprendidas entre la inferior y la superior; sin embargo el filtro real no define tan nítidamente las frecuencias. Se establece que el ancho de banda en el filtro real es el correspondiente a una caída en el nivel de 3 dB, o lo que es lo mismo para la mitad de presión acústica.

Los filtros de banda, además de definir el ancho de banda, deben definir la calidad del filtro. El procedimiento más empleado es definir la pendiente de los flancos indicando la frecuencia para una atenuación determinada. En las representaciones gráficas anteriores el Filtro real (a) es de mayor calidad que el Filtro real (b). Para los filtros de banda de una octava y de tercio de octava se establecen y definen sus tolerancias en la norma UNE 21328/4.

Se utilizan distintos tipos de filtro de conformidad con el tipo de análisis que se desee hacer:

*Ancho de banda constante:* la diferencia entre la frecuencia inferior y la superior es constante, con independencia del valor que tengan estas. Filtro ancho de banda de 50 Hz.

*Ancho de banda de porcentaje:* el ancho de banda cumple la relación:

$$Banda_N = Banda_{N-1} \times \left(1 + \frac{X\%}{100}\right)$$

$$F_2 = F_1 \times \left(1 + \frac{X\%}{100}\right)$$

De este modo, en un ancho de banda del 10% cada ancho de banda contiene el 10% de frecuencias más que la anterior.

Banda del 10%

$F_1$	$F_2$	Ancho
500,0	550,0	50,0
550,0	605,0	55,0
605,0	665,5	60,5
665,5	732,1	66,6
732,1	805,3	73,2
805,3	885,8	80,5
885,8	974,4	88,6
974,4	1071,8	97,4
1071,8	1179,0	107,2

Banda del 100%

$F_1$	$F_2$	Ancho
22,3	44,5	22,3
44,5	89,1	44,5
89,1	178,2	89,1
178,2	356,3	178,2
356,3	712,6	356,3
712,6	1425,3	712,6
1425,3	2850,6	1425,3
2850,6	5701,1	2850,6
5701,1	11402,2	5701,1
11402,2	22804,5	11402,2

*Ancho de banda proporcional:* el ancho de banda cumple la siguiente relación:

- Los filtros de banda de octava tienen un ancho de  $f_2 = 2f_1$ .
- Los filtros de banda de un tercio de octava tienen un ancho de  $f_2 = \sqrt[3]{f_1^2 \times f_1} = f_1 \times \sqrt[3]{2}$ .

Uno de los problemas que se presenta al realizar el análisis de banda es la variabilidad del nivel sonoro durante el tiempo empleado por el operador en las lecturas del nivel en cada

El análisis de un ruido permite conocer el nivel en cada una de las bandas empleadas en el estudio. Dicho análisis es necesario para el estudio detallado de la atenuación con protectores auditivos

En la frecuencia de 1.000 Hz los valores de las curvas A, B, C y lineales son iguales

Los equipos sonométricos modernos y de medias prestaciones no presentan el problema de la variabilidad de nivel sonoro durante el tiempo empleado por el operador en las lecturas del nivel en cada banda

banda; los equipos sonométricos modernos y de medias prestaciones no presentan este problema, ya que vienen dotados de memoria y analizador de banda de una octava y/o de tercio de octava con respuesta en tiempo real del total del espectro del ruido recibido y vertido de los datos a un sistema informático.

**Tabla 4. Valores normalizados para las distintas bandas.**

Octava			Tercio de octava		
F. inferior	F. central	F. superior	F. inferior	F. central	F. superior
22	32	45	22	25	28
			28	32	35
			35	40	45
45	63	89	45	50	56
			56	63	71
			71	79	89
88	125	177	88	99	111
			111	125	140
			140	157	177
177	250	354	177	198	223
			223	250	281
			281	315	354
354	500	707	354	397	445
			445	500	561
			561	630	707
707	1.000	1.414	707	794	891
			891	1.000	1.122
			1.122	1.260	1.414
1.414	2.000	2.828	1.414	1.587	1.782
			1.782	2.000	2.245
			2.245	2.520	2.828
2.828	4.000	5.657	2.828	3.175	3.564
			3.564	4.000	4.490
			4.490	5.040	5.657
5.657	8.000	11.314	5.657	6.350	7.127
			7.127	8.000	8.980
			8.980	10.079	11.314
11.314	16.000	22.627	11.314	12.699	14.254
			14.254	16.000	17.959
			17.959	20.159	22.627

#### 4.6. CIRCUITO RECTIFICADOR E INTEGRADOR

La señal ya ponderada y analizada en frecuencias (si se dispone de filtros de banda) se amplifica para obtener valores eléctricos más fácilmente manejables: se eleva al cuadrado para obtener su valor eficaz.

Se podría realizar la lectura en este punto, pero las variaciones del ruido producen movimientos rapidísimos y por tanto el lector no tiene capacidad para realizar su lectura. Este problema se resuelve mediante la incorporación de un promediador de tiempo de tipo exponencial. Los tiempos de integración normalizados, de conformidad con la norma UNE-EN 61672:2003, son:

*"slow", resultando una constante de tiempo de 1 segundo.*

*"fast", resultando una constante de tiempo de 125 milisegundos.*

*"impulse", le corresponde una constante de tiempo de 35 milisegundos.*

*"peak", con una constante de tiempo extremadamente pequeña, 50 microsegundos.*

Este tipo de respuestas condiciona el uso de los sonómetros y dosímetros frente a los distintos tipos de ruido.

Ruidos continuos constantes mantienen el nivel con fluctuaciones inferiores a 5 dB; puede utilizarse la constante de tiempo "slow".

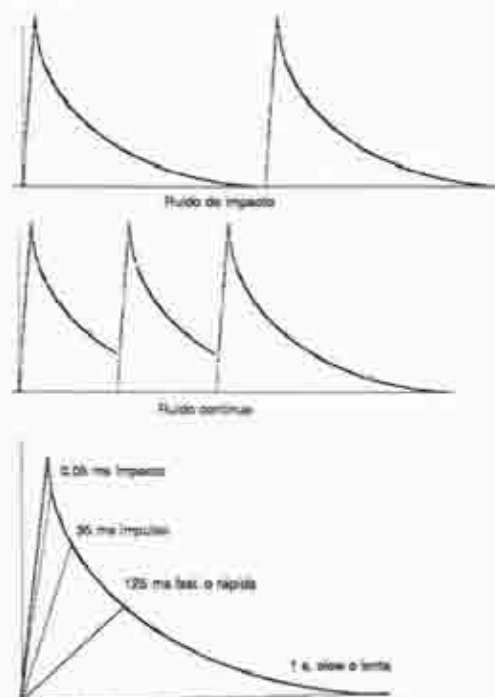
En ruidos continuos variables los niveles de presión sonora tienen fluctuaciones superiores a 5 dB, por lo que es adecuado utilizar la constante de tiempo "fast".

El ruido de impulso es un ruido de generación rápida que a la vez que produce la onda sonora genera una onda de presión de aire como consecuencia de un aporte gaseoso al ambiente y que, una vez producido, la fuente que lo provoca desaparece, como una palmada o un disparo. Se utilizaría la ponderación temporal de "impulse". Al igual que el ruido de impacto, su determinación se realiza ajustándose a la ponderación de frecuencia significada C y el nivel se expresa en dB(C).

El ruido de impacto, de generación más rápida que el de impulso, se determina mediante sonómetros con ponderación temporal de "pico" o "peak". En el Anexo III.2 del Real Decreto 286/2006 se especifica que los sonómetros deben contar con una constante de tiempo en ascenso igual o inferior a 100 microsegundos.

El nivel de pico se expresa en dB(C).

La sucesión de ruidos de impacto puede llegar a constituir un ruido continuo. No se establece la frecuencia que determina la frontera entre impacto o continuo ya que ello depende del tiempo de reverberación del local o área en la se produce. Cuando se producen impactos separados un tiempo superior al que tarda la onda reverberante en desaparecer estamos ante una situación de ruidos de impacto, y al contrario se consideraría como ruido continuo.



#### 4.7. INDICADOR

Los lectores han sido tradicionalmente de tipo analógico, sistema que se mantiene en algunos equipos de nueva adquisición y en muchos de los que están en uso; la presentación de los datos en forma analógica se realiza en dB sobre pantallas que pueden estar graduadas lineal o logarítmicamente dependiendo del tipo de circuito que las alimenta. Se especifica que la presentación de lectores analógicos no alcance intervalos superiores a 15 dB.

Hoy día ya los sonómetros de calidad media presentan los resultados mediante lectores digitales; la respuesta es mucho más rápida, ya que el analógico debe vencer la inercia del sistema mecánico del movimiento de la aguja. El diseño de estos lectores suele hacerlos más precisos y robustos.

#### 4.8. CLASES DE PRECISIÓN DE LOS SONÓMETROS

Los sonómetros tienen que cumplir una serie de normas internacionales al objeto de que los resultados sean perfectamente comparables. Por esta razón se han normalizado las calidades y la tolerancia de los resultados según la norma UNE-EN 61672:2003, que adopta íntegramente la norma CEI 651-1979 y anula y sustituye la UNE 20-464,

Para que los resultados sean comparables se han normalizado las cantidades y la tolerancia de los resultados de los sonómetros

Respecto a la precisión los sonómetros se clasifican en las clases 0, 1, 2 y 3, en relación con la linealidad de la respuesta del sistema formado por detector, aparato indicador y selectores, debiendo alcanzar tolerancias inferiores a:

Lecturas	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Dentro del margen de medida de los equipos	$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$

**Ejemplo de aplicación.**

*La determinación del nivel de ruido en un puesto de trabajo se realiza mediante dosímetros clase 2; se alcanza un resultado del nivel equivalente diarios de 79,3 dB(A), debiéndose tomar las acciones correctoras correspondientes establecidas en el Real Decreto 286/2006.*

*No se adoptan medidas de control de riesgo porque normativamente no es necesario adoptarlas, ya que el resultado alcanzado es inferior a 80 dB(A), valor inferior de exposición que da lugar a una acción.*

**Comentario:**

*No se considera correcta la evaluación ya que, de conformidad con la tolerancia que tienen los equipos de clase 2,  $\pm 1$  dB, el nivel sonoro determinado está comprendido entre 78,3 dB(A) y 80,3 dB(A), debiendo ser considerado el valor superior de la banda de incertidumbre por ser el más preventivo; por tanto deben adoptarse las medidas correctoras normativas.*



Figura n.º 11. Sonómetro Cel.



Figura n.º 12. Sonómetros Brüel & Kjær.

## 5. Sonómetros con lectura de pico

Estos instrumentos capturan y mantienen el nivel de ruido instantáneo (pico o impacto). El circuito que mantiene el valor del pico debe tener una constante de tiempo inferior a 50 microsegundos ( $\mu s$ ) o menor, y con respuesta ponderada C, en dB(C), y retener esa lectura hasta que se produzca otra de mayor nivel.

## 6. Sonómetros con lectura de impulso

La generación del ruido de impulso (explosión de un globo de feria, una palmada) es más lenta que la generación de ruido de impacto (un martillazo, un golpe de prensa), por lo que los equipos de impulso deben reunir las mismas características de retención de lectura máxima que los equipos de impacto, diferenciándose la constante de tiempo —generación del ruido más lenta, constante de tiempo del equipo más amplia—, que en este caso es de 35 milisegundos (ms) y ponderación C, dB(C).

## 7. Sonómetros integradores

El sonómetro integrador mantiene los bloques con la configuración del sonómetro convencional, permitiendo variar el tiempo de integración del sonido desde varios segundos a horas.

Igualmente mantienen las características de clase y tolerancia.

El resultado que se alcanza con los sonómetros integradores es el Nivel de ruido equivalente durante el tiempo t, el tiempo que el sonómetro ha integrado el ruido.

## 8. Medidores personales de exposición sonora. Dosímetros

Al igual que el sonómetro integrador, el dosímetro mantiene la estructura y funcionamiento del sonómetro, incorporando un circuito en el que se recibe la energía eléctrica proporcional a la energía sónica ambiental que acumula durante el tiempo de exposición, siendo su aplicación principal la determinación exposición sonora en las cercanías del oído.

El principio de funcionamiento es la tasa de intercambio de igual energía, por la que se produce un aumento al doble de exposición por cada tres decibelios de incremento en el nivel para un tiempo de exposición constante, o un aumento al doble del tiempo de exposición manteniendo el nivel sonoro constante (o lo que es lo mismo, se produce una disminución a la mitad de lectura por un descenso del nivel sonoro de tres decibelios).

Ordinariamente los dosímetros se han construido de tal forma que la lectura refleja el porcentaje de la dosis límite legal y esta era la condición que se establecía en el Real Decreto 1316/1989, que instauró el límite legal en 90 dB(A) y estableció la transformación de la lectura mediante las siguientes expresiones porcentuales de la exposición máxima permitida en nivel equivalente diario:

Cuando la lectura del equipo se corresponde con el total de la jornada de trabajo, con independencia de la duración que tenga dicha jornada:

$$L_{A,eq,D} = 90 + 10 \times \log\left(\frac{\text{lectura}}{100}\right)$$

Cuando se realizan lecturas durante tiempos parciales representativos de la jornada o de una tarea:

$$L_{A,eq,D} = 90 + 10 \times \log\left(\frac{l \times T}{t \times 100}\right)$$

donde:

- $l$  = lectura del dosímetro durante el tiempo de medición.
- $t$  = tiempo de medición representativo de la tarea o de la jornada.
- $T$  = tiempo de la tarea o de la jornada para el que es representativo  $t$ .

El Real Decreto 286/2006 en su Anexo III establece que los dosímetros, medidores personales de ruido, son de aplicación para la determinación del nivel de ruido equivalente diario de cualquier tipo de ruido y que deben ajustarse a la norma UNE-EN 61252:198, norma que es la versión española de la EN 61252:1995 y adopta la CEI 1252:1993; no implanta la condición de respuesta del 100% para un determinado nivel ruido equivalente diario.

La variación de los límites legales entre distintos países especifica que los equipos deben presentar la lectura en pascales al cuadrado por hora y que la presentación de unidades distintas está permitida siempre que el fabricante facilite un procedimiento para convertir dicha lectura en la unidad normativa.

En la actualidad los dosímetros de los que están dotados los servicios de prevención cumplen la condición anterior, esto es la lectura se corresponde con un porcentaje de la dosis correspondiente a una exposición de 90 dB(A) de nivel de ruido continuo equivalente diario. Algunos equipos también facilitan el resultado del nivel de ruido equivalente diario, dB(A), e incluso algún fabricante en sus modelos de gama superior facilita dicho resultado en dB(A) y en dB(C).

Ante la nueva norma, Real Decreto 286/2006, se puede plantear la validez de dichos equipos con lectura porcentual de dosis para exposiciones de nivel sonoro equivalente diario de 90 dB(A). Estos equipos cumplen la condición de doblar la lectura por cada tres



Figura n.º 13. Dosímetro Cel.



Figura n.º 14. Dosímetros Quest.

dB(A) de incremento del nivel sonoro equivalente diario y disponen del procedimiento para transformar la lectura en nivel sonoro; en definitiva, la única variación que se produce es en la toma de decisiones consecuencia de los nuevos valores límite de la exposición y valores que dan lugar a una acción.

También, y como consecuencia de todo lo anterior, se considera más adecuado designar el valor presentado en pantalla como "lectura" y no como dosis.

### 8.1. FACTOR DE CRESTA

El factor de cresta representa la capacidad que tiene este tipo de equipos de capturar señales de muy corta duración y por tanto acumular su energía (ruidos elevados que se producen en tiempos muy cortos).

Se define el factor de cresta como:

*"Relación del valor de pico al valor eficaz de la señal medida durante un intervalo especificado, habiendo sido medidos los valores instantáneos con relación al valor medio con relación al valor medio aritmético".*

$$\text{Factor cresta: } \frac{u'}{u} = \sqrt{\frac{T}{t_1}} - 1$$

donde:

$u'$  = valor de pico de la señal, medido en relación a su valor medio aritmético.

$u$  = valor eficaz de la señal, medido en relación a su valor medio aritmético.

$T$  = periodo fundamental de la señal.

$t_1$  = tiempo durante el que la señal alcanza el valor de pico  $u'$ .

### 8.2. EL NIVEL DE CORTE

Algunos equipos desestiman el nivel de ruido por debajo de un cierto valor que no produce daño auditivo mediante un circuito discriminador de nivel, de tal modo que no acumulan la energía de niveles inferiores a dicho nivel.

La normativa específica no cita el nivel de corte como característica que deben cumplir los dosímetros, y en consecuencia los dosímetros empleados en la determinación del nivel de ruido continuo equivalente diario en aplicación del Real Decreto 286/2006 no deben tener nivel de corte.

¿Qué importancia tiene realizar determinaciones ambientales con un dosímetro que tiene establecido un nivel de corte? Una importancia formal manifestada por el cumplimiento o incumplimiento de la norma. En la práctica preventiva la importancia del nivel de corte puede ser ínfima.

#### *Ejemplo:*

*Determinación del nivel de ruido continuo equivalente en un puesto de trabajo de calderero—montador de construcciones metálicas— que realiza tres tareas:*

*Tarea A: trabajo ordinario de calderero.*

*Tarea B: Trabajo con cortadora de disco rápido en local independiente.*

*Tarea C: Trabajo administrativo y estudio de planos en oficina.*

Los dosímetros no almacenan energía por debajo del nivel sonoro de corte, ya que desconocen la existencia de sonidos por debajo de dicho nivel

En la práctica preventiva la importancia del nivel de corte puede ser ínfima o determinante

Tarea		Determinación mediante dosímetro			
Tipo	Duración, h.	Medición		Lectura total de la tarea	Neq,d
		minutos	lectura		
A	6	60	25	150	91,76091
B	0,5	15	150	300	94,77121
C	2,5	150	3	3	74,77121
Nivel equivalente diario sin corte					96,56098
Nivel equivalente diario con corte a 75 dB(A) - sin la tarea C					96,53213

*Nota:* El uso de 5 cifras decimales trata de significar la diferencia de resultados solo a efectos didácticos; en la práctica se deben utilizar menos de dos cifras decimales.

En este caso, que el dosímetro tenga un nivel de corte de 75 dB(A), esto es, no almacene la energía producida por niveles de presión acústica inferior a 75 dB(A), en la práctica preventiva carece de importancia.

### Ejemplo:

En un despacho administrativo se desarrollan dos tareas; se realizan determinaciones representativas de cada una de ellas, cuyos datos figuran en la tabla siguiente.

Tarea		Determinación mediante dosímetro			
Tipo	Duración, h.	Medición		Lectura total de la tarea	Neq,d
		minutos	lectura		
A	90	60	1	1,50	71,76091
B	400	300	2	2,67	74,25969
Nivel equivalente diario sin corte					76,02060
Nivel equivalente diario con corte a 75 dB(A)					.....

*Nota:* El uso de 5 cifras decimales trata de significar la diferencia de resultados solo a efectos didácticos; en la práctica se deben utilizar menos de dos cifras decimales.

En este caso el dosímetro con nivel de corte en 75 dB(A) no nos habría dado la lectura pues estamos ante un nivel sonoro uniforme y en todo momento por debajo de 75 dB(A). En los ruidos de nivel variable el equipo retiene la energía correspondiente a las puntas superiores a 75 dB(A).

### Ejemplo:

Determinación del nivel de ruido continuo equivalente de un puesto de trabajo en el que se realizan dos tareas, con la duración y los niveles que figuran en la siguiente tabla de resumen de cálculos.

Tarea		Determinación mediante dosímetro			
Tipo	Duración, h.	Medición		Lectura total de la tarea	Neq,d
		minutos	lectura		
A	15	10	20	30,00	84,77121
B	465	240	1,4	2,71	74,33370
Nivel equivalente diario sin corte					85,14714
Nivel equivalente diario con corte a 75 dB(A)					84,77121

*Nota:* El uso de 5 cifras decimales trata de significar la diferencia de resultados solo a efectos didácticos; en la práctica se deben utilizar menos de dos cifras decimales.

Si los equipos de medición tienen un margen de error o tolerancia de  $\pm 0,7$  dB en los de clase 1 y de  $\pm 1$  dB los de clase 2 no se deben emplear más de dos decimales en los resultados

Se debe recordar que las dosis responden a una función aritmética

En este caso, desde una visión puramente normativa, el corte en 75 dB(A) es determinante en la catalogación del puesto de trabajo como mayor de 85 dB(A) o mayor de 80 dB(A), lo que trae como consecuencia la aplicación de las medidas correctoras establecidas para cada nivel de ruido continuo equivalente diario.

## 9. Calibradores

Los calibradores acústicos son aparatos que producen un nivel sonoro conocido en el diafragma del sonómetro que se inserta en la cavidad del calibrador.

Pueden ser de dos tipos: pistófonos y de altavoz.



Figura n.º 15.  
Calibrador Brüel & Kjær.

### Pistófonos

Reproducen la variación de la presión sonora mediante pistones que entran en una cavidad que se cierra mediante el micrófono. Los pistones se introducen en la cámara mediante unas levas movidas por un motor, produciendo un cambio en la presión de la cámara casi senoidal en las frecuencias en las que la respuesta del micrófono es prácticamente plana. Tiene la posibilidad de cambiar la frecuencia de las bandas según estén centradas a 125, 250, 500, 1.000 y 2.000 Hz.

### De tipo altavoz

Normalmente sólo llamados calibradores.

Produce el nivel sonoro de 114 dB en el interior de una pequeña cavidad mediante un altavoz, menor de 50 mm de diámetro.

## 10. Equipo auxiliar

Se han utilizado y aún se usan equipos auxiliares tales como grabadoras en soporte magnético o en soporte papel que permiten realizar estudios en el laboratorio de las señales recibidas en las determinaciones de campo.

Hoy cada vez son menos los equipos de sonometría dotados de auxiliares externos. Los equipos modernos incluyen en su estructura interna circuitos y unidades de memoria que permiten retener los datos; su visualización puede hacerse en tiempo real o posterior sobre su pantalla digital y también mediante un ordenador que de este modo se incorpora como equipo auxiliar con todas las herramientas que la informática aporta.

## 11. Aplicación de los equipos de medida a los distintos tipos de ruido

El Real Decreto 286/2009, en su Anexo III (Instrumentos de medición y condiciones de aplicación), desarrolla la aplicación de los distintos tipos de sonómetros y dosímetros en relación con los distintos tipos de ruido para determinar el nivel de ruido continuo equivalente y, en su caso, los niveles de ruido de pico, estableciendo que:



- El sonómetro sólo debe emplearse para la medición del nivel equivalente de ruido estable; el promedio de una serie de mediciones se considera como el nivel equivalente para el periodo en el que se realizaron las determinaciones o para aquel en que el tiempo medido se considera representativo del ruido.

El ruido estable se define en el punto 7 del Anexo I del Real Decreto 286/2006 señalando que es un ruido continuo de nivel constante con ligeras diferencias entre la punta máxima y mínima siempre inferiores a 5 dB(A), medido con ponderación temporal S, "SLOW".

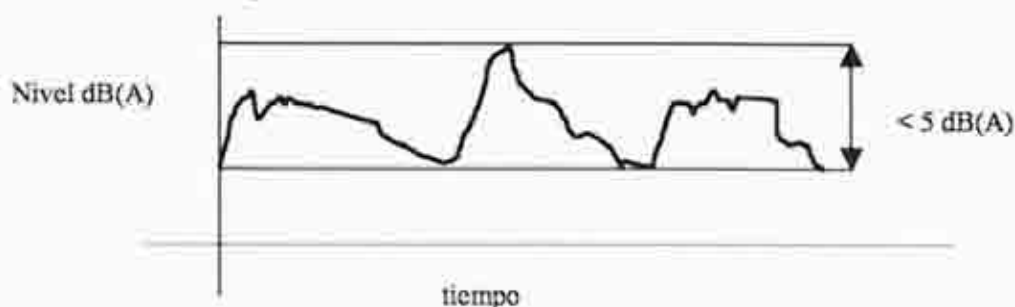


Figura n.º 16. Ruido estable.

La calidad de la respuesta para los sonómetros debe ser la correspondiente al Tipo II y en ponderación frecuencial designada A [dB(A)].

- Los sonómetros integradores-promediadores serán utilizados para la determinación del nivel de ruido continuo equivalente tanto de características estables como variables, en respuesta de ponderación temporal designada por F, "fast". La calidad de los equipos debe ser de Tipo II o superior.

La aplicación práctica de la determinación del nivel de ruido continuo equivalente diario de un puesto de trabajo es limitada por la movilidad del trabajador en la realización de las labores que desarrolla en el puesto de trabajo que se pretende valorar, y también por la variabilidad en el nivel del campo sónico que se produce en el transcurso de la jornada. Estas limitaciones son consecuencia de:

- Los sonómetros son equipos pesados y voluminosos, si bien cada día menos, que durante la realización de las determinaciones hay que mantener a un máximo de 10 cm del oído del trabajador y durante el tiempo que dura la determinación.
- Las dificultades de manejo que se señalan en el párrafo anterior provocan que los tiempos de integración-promediación del equipo sean cortos: 30 segundos, o 1 o 2 minutos, lesionando la representatividad de las determinaciones y teniendo que realizar un número elevado de ellas.
- Para la realización del cálculo del nivel sonoro equivalente diario se realiza la siguiente consideración:

Cada una de las determinaciones realizadas,  $L_{p_i}$ , es representativa del tiempo,  $t_i$ , en el que el nivel del campo sónico se mantiene, realizando el siguiente cálculo:

$$L_{\text{eq},d} = 10 \times \log \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=n} t_i \times 10^{L_{p_i}/10}$$

- Las dificultades disminuyen en relación directa a la movilidad del trabajador y a la variabilidad de los niveles del campo sónico, aumentando la representatividad de los resultados alcanzados.

Sin perjuicio de lo dicho, los sonómetros son muy útiles, incluso imprescindibles, en la práctica preventiva de la higiene, ya que permiten la realización de otras determinaciones específicas, tales como: detectar las máquinas o equipos más rui-

El sonómetro debe emplearse para la medición del nivel equivalente de ruido estable

Los sonómetros integradores-promediadores serán utilizados para la determinación del nivel de ruido continuo equivalente tanto de características estables como variables



Figura n.º 17. Conjunto de dosimetría. Dosímetro y calibrador Brüel & Kjær.

El dosímetro es el equipo más útil en la determinación de los niveles de ruido continuo equivalente

dosos, realizar análisis de ruidos, hacer un mapa de ruidos, ratificar los resultados alcanzados por los dosímetros [esto es, si en un área correspondiente a un puesto de trabajo las sonometrías realizadas están entre 95 dB(A) y 100 dB(A); no parece probable, al menos habría que investigar la razón, que el nivel de ruido equivalente supere los 100 dB(A)].

- El dosímetro es el equipo más útil en la determinación de los niveles de ruido continuo equivalente, por su portabilidad y por los tiempos de integración de la curva  $L_{A,eq,T} = f(T)$ .

Las mejoras que los nuevos dosímetros van incorporando permiten obtener una serie de datos de la exposición al ambiente sónico. Y la conexión a los equipos informáticos aumenta sus posibilidades.

- El sonómetro con nivel de pico es un sonómetro que puede reunir todas, o parte, de las características anteriores, y además disponer de una ponderación temporal muy rápida, no superior a 100  $\mu$ s; hoy se construyen equipos cuyo valor es menor de 50  $\mu$ s y de ponderación de frecuencias designadas C, dB(C).

## 12. Control de la función auditiva de los trabajadores

Con los objetivos de realizar el diagnóstico preventivo y de preservar de la capacidad auditiva, el Real Decreto 286/2006 en su art. 11 establece la obligatoriedad del empresario de llevar a cabo la vigilancia de la salud de los trabajadores que desarrollan puestos de trabajo en los que la evaluación haya puesto en evidencia la existencia de riesgo. Igualmente establece la obligatoriedad de los trabajadores de someterse a dichos reconocimientos médicos.

Esta obligatoriedad constituye una excepción del artículo 22 de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, que viene motivada de esta forma:

*"1. (...) Esta vigilancia sólo podrá llevarse a cabo cuando el trabajador preste su consentimiento. De este carácter voluntario sólo se exceptuarán, previo informe de los representantes de los trabajadores (...) cuando así esté establecido en una disposición legal en relación con la protección de riesgos específicos y actividades de especial peligrosidad.*

*En todo caso se deberá optar por la realización de aquellos reconocimientos o pruebas que causen las menores molestias al trabajador y que sean proporcionales al riesgo".*

Se remarca que la realización de los reconocimientos audiométricos constituyen una excepción a la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, exigiendo el informe de los representantes de los trabajadores.

Tendrá como objetivo la prevención de las pérdidas de capacidad auditiva que pudieran sufrir los trabajadores expuestos al ruido existente en el ambiente de trabajo, y establecer las medidas preventivas necesarias para la consecución del mencionado objetivo.

La vigilancia médica comprenderá los siguientes tipos de reconocimientos:

- Un reconocimiento inicial, antes de la exposición al ruido o al comienzo de ésta.
- Reconocimientos periódicos, que se realizarán de conformidad con lo establecido en los artículos 11 del Real Decreto 286/2006 y podrán realizarse con mayor frecuencia según criterio del Médico responsable.
- Cuando se supera el valor superior de la exposición que da lugar a una acción debe realizarse el reconocimiento médico al menos cada tres años.

Los reconocimientos médicos audiométricos se realizarán a los trabajadores en los términos que establecen el art. 11 del RD 286/2006 y el art. 22 de la Ley 31/1995

- Cuando se supera el valor inferior de la exposición que da lugar a una acción debe realizarse el reconocimiento médico al menos cada cinco años.

Los reconocimientos serán efectuados por médicos u otras personas cualificadas bajo la responsabilidad de un médico dentro de la organización preventiva que haya adoptado la empresa.

Los procedimientos y pruebas deben seguir el "Protocolo de vigilancia sanitaria específica para los/as trabajadores/as expuestos a Ruido"; en todo caso se debe optar por la realización de aquellos reconocimientos o pruebas que causen las menores molestias al trabajador y que sean proporcionales al riesgo.

Los trabajadores deben ser informados sobre el resultado del reconocimiento en el caso de que se detecte una lesión auditiva consecuente de la exposición al ruido el trabajador debe ser informado por el médico u otro personal sanitario competente.

Cuando se detecta una lesión consecuente al ruido el empresario debe revisar la evaluación de riesgos y las medidas de control de riesgo que fueron implantadas y aplicar las recomendaciones médicas, incluso la posibilidad de cambio de puesto de trabajo del trabajador afectado, realizando la revisión a los trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.

Los resultados facilitados deben referirse a la capacidad para desarrollar el trabajo correspondiente al puesto de trabajo y aquellas medidas preventivas que se deben adoptar respecto a ese trabajador específico.

Al trabajador afectado suele especificársele el resultado como porcentaje de la pérdida auditiva en uno o en los dos oídos, calculado con las expresiones siguientes:

$$\% \text{ de pérdida en un oído} = \left( \frac{P_{500} + P_{1000} + P_{2000} + P_{3000}}{4} - 25 \right) \times 1,5$$

$$\% \text{ de pérdida en los dos oídos} = \frac{(5 \times \text{pérdida oído mejor}) + \text{pérdida oído peor}}{6}$$

Se hace notar que en los cálculos anteriores se introduce la frecuencia de 3000 Hz, el cual no es un valor normalizado para las bandas de octava.

En la norma ISO se establece como daño por encima del cual se considera que afecta a la comunicación oral entre las personas:

$$\frac{P_{500} + P_{1000} + P_{2000}}{4} < 25$$

La diferencia entre los términos hipoacusia y trauma sonoro estriba en la existencia o no de la pérdida de audición de las frecuencias que abarcan el área conversacional, 500 Hz, 1.000 Hz y 2.000 Hz

## 13. La representatividad de los resultados

### CÁLCULO DEL NIVEL EQUIVALENTE DIARIO INFERIOR Y SUPERIOR

Ya se ha expuesto, incluso reiteradamente, que el objetivo de las determinaciones es permitir adoptar un criterio preventivo para el control de la situación de riesgo detectada.

Sin perjuicio de lo dicho en el párrafo anterior el Prevencionista, ocasionalmente, tiene que establecer una estrategia para la ejecución de las determinaciones que le permita emitir un resultado con un nivel de confianza de certeza técnica.

En este desarrollo no se pretenden dar las pautas estadísticas completas para el modo de actuación, simplemente unas pequeñas normas que permitan al Higienista resolver el problema de la forma más ágil posible, ya que en otro caso estaríamos ante un problema muy

Para verificar que los resultados de los valores de los niveles de ruido equivalente diario obtenidos siguen una distribución normal es necesario utilizar el test Kolmogorov-Smirnov

complejo que supera el ámbito de este curso general. En consecuencia los resultados representativos del nivel de ruido continuo equivalente diario se obtienen por determinaciones realizadas a distintos trabajadores seleccionados aleatoriamente y en número que, en la mayoría de los casos, es consecuencia de la disponibilidad de equipos y del tiempo necesario para realizar las determinaciones.

Para verificar que los  $n$  resultados de los valores  $L_{A,eq,d}$  siguen una distribución normal es necesario utilizar el test Kolmogorov-Smirnov; si la distribución de los resultados no sigue una ley normal no se puede aplicar el procedimiento que se señala.

En la serie de resultados alcanzados se calculan la media aritmética ( $L$ ) y la desviación típica ( $\sigma$ ):

$$L_{qd,m} = \frac{\sum L_{qd,i}}{n}$$

Siendo:  $L$ , nivel;  $q$ , equivalente;  $d$ , diario;  $m$ , medio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum L_{qd,i}^2 - L_{qd,m}^2}{n-1}} \quad \Delta = \frac{\tau_a \times \sigma}{\sqrt{n}} \quad \begin{aligned} L_{qd, inferior} &= L_{qd,m} - \Delta \\ L_{qd, superior} &= L_{qd,m} + \Delta \end{aligned}$$

Para un valor de confianza del 0,95.

N	$\tau(n)$	$\frac{\tau_a}{\sqrt{n}}$	N	$\tau(n)$	$\frac{\tau_a}{\sqrt{n}}$	N	$\tau(n)$	$\frac{\tau_a}{\sqrt{n}}$
2	12,70	8,980	9	2,31	0,770	16	2,13	0,533
3	4,30	2,483	10	2,26	0,715	17	2,12	0,514
4	3,18	1,590	11	2,23	0,672	18	2,11	0,497
5	2,77	1,239	12	2,20	0,635	19	2,10	0,482
6	2,57	1,049	13	2,18	0,605	20	2,09	0,467
7	2,45	0,926	14	2,16	0,577			
8	2,36	0,834	15	2,14	0,553			

**Ejemplo:**

Trabajador	$L_{qd}$ (dB)	Trabajador	$L_{qd}$ (dB)	Trabajador	$L_{qd}$ (dB)
1	81,24	1	81,24	1	81,24
2	82,31	2	82,31	2	82,31
3	86,25	3	86,25	3	86,25
		4	80,86	4	80,86
		5	82,75	5	82,75
				6	82,80
				7	80,43
				8	86,95
				9	85,59
				10	85,55
n	5,00	n	5,00	n	10,00
media	83,27	media	82,68	media	83,47
$\sigma$	2,64	$\sigma$	2,14	$\sigma$	2,40
$\Delta/\sigma$	2,48	$\Delta/\sigma$	1,24	$\Delta/\sigma$	0,72
$\Delta$	6,55	$\Delta$	2,65	$\Delta$	1,72
$L_{qd, inf}$	76,72	$L_{qd, inf}$	80,03	$L_{qd, inf}$	81,75
$L_{qd, sup}$	89,82	$L_{qd, sup}$	85,33	$L_{qd, sup}$	85,19

Si las determinaciones se realizan mediante un equipo clase 2 que tiene una precisión de  $\pm 1$  dB resulta:

media	84,27	media	83,68	media	84,47
$L_{\text{od, inf}}$	75,72	$L_{\text{od, inf}}$	79,03	$L_{\text{od, inf}}$	80,75
$L_{\text{od, sup}}$	90,82	$L_{\text{od, sup}}$	86,33	$L_{\text{od, sup}}$	86,19

Comentarios sobre los resultados alcanzados en cada una de las series de mediciones realizadas.

Respecto a la primera serie de tres determinaciones:

- El valor de la media de los niveles, incluida la tolerancia del equipo, está bastante cercano al nivel de 85 dB(A); puede deducirse que el puesto será catalogado como de nivel sonoro superior a dicho nivel.
- La banda de incertidumbre permite afirmar que la exposición sonora del puesto estudiado es superior a 75,72 dB(A) e inferior a 90,8 dB(A), quedando incluidos los valores de referencia establecidos en el Real Decreto 286/2006, no permitiendo ello adoptar ninguna resolución normativa.
- El puesto de trabajo, de conformidad con lo establecido en el Real Decreto 286/2006, Anexo II, 2, debe ser calificado con el valor más alto de la incertidumbre, 90 dB(A), con lo que superaría ampliamente el valor del límite de la exposición.

Respecto a la segunda serie de cinco determinaciones, las tres ya hechas más otras dos:

- El valor de la media de los niveles se acerca más al nivel de 85 dB(A); puede adoptarse la misma conclusión que en el caso anterior.
- La banda de incertidumbre se ha cerrado y permite afirmar que no se supera el valor límite de la exposición.
- El puesto de trabajo, de acuerdo con los mismos criterios, sufre una exposición resultante más elevada que el valor superior admitido, lo que da lugar a una acción.

Respecto a la tercera serie de diez determinaciones, las cinco ya hechas más otras cinco:

- El valor de la media de los niveles es inferior al nivel de 85 dB(A), pero sensiblemente cercano; puede adoptarse la misma conclusión que ya teníamos con solo tres determinaciones.
- La banda de incertidumbre se acorta pero no permite variar la conclusión ya alcanzada con la serie anterior de cinco determinaciones.
- El incremento de cinco determinaciones, que en este caso es el doble de las realizadas en la serie anterior, no nos aporta suficientes datos como para variar las conclusiones anteriores.

Podemos deducir de este ejemplo que para la evaluación higiénica cuya finalidad es estrictamente preventiva no es necesario realizar una toma de muestras con un número muy elevado de determinaciones para llegar a tener un criterio suficiente para que le permita al técnico alcanzar el criterio prevencionista.

## 14. Emisión de ruido de los equipos

Establece normas sobre las emisiones de ruido de los equipos la siguiente legislación:

**Real Decreto 1435/1992**, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas:

Cuando la media de los resultados de las determinaciones más la tolerancia del equipo se encuentra cerca de la frontera establecida por los valores límite y cuando el objetivo de las determinaciones sea la prevención del riesgo, se recomienda no continuar con las determinaciones y concluir considerando que se supera la frontera

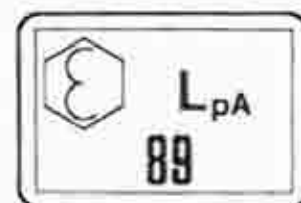


Figura n.º 18. Modelo de inscripción que indica el nivel de presión acústica en la posición del operador.



Figura n.º 19. Modelo de inscripción que indica el nivel de potencia acústica.

El reglamento de máquinas establece que la reducción del ruido en los equipos debe realizarse en la fuente

El técnico de prevención dispone de normas generales, Ley 31/1995 y RD 39/1997, y específicas, RD 286/2006, RD 1435/1992 y RD 1215/1997, que le permiten emprender acciones preventivas

### "1.5. Medidas de seguridad contra otros peligros.

#### 8. Ruido.

*La máquina estará diseñada y fabricada para que los riesgos que resulten de la emisión del ruido aéreo producido se reduzcan al más bajo nivel posible, teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción del ruido, especialmente en su fuente".*

Tiene singular importancia que en esta norma, en la que se establecen las prescripciones para que los equipos sean certificados CE, establece que la reducción del ruido debe realizarse en la fuente.

Más adelante, en el punto 1.7 (Indicaciones), 4 (Manual de instrucciones), cuando da las indicaciones respecto al contenido de mínimos que debe figurar en este documento recoge aspectos tan importantes como que las "prescripciones relativas a la instalación y al montaje dirigidas a reducir el ruido y las vibraciones producidas (por ejemplo, utilización de amortiguadores, tipo y masa de la fundación, etc.)"; con ello trata de eliminar la transmisión de los ruidos y vibraciones por las estructuras de apoyo de los equipos.

Tiene singular importancia el apartado f.

"f) En el manual de instrucciones se darán las siguientes indicaciones sobre el ruido aéreo emitido por la máquina (valor real o valor calculado partiendo de la medición efectuada en una máquina idéntica):

- El nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A en los puestos de trabajo, cuando supere los 70 dB(A); si este nivel fuera inferior o igual a 70 dB(A), deberá mencionarse.
- El valor máximo de la presión acústica instantánea ponderada C, cuando supere los 63 Pa (130 dB con relación a 20 µPa).
- El nivel de potencia acústica emitido por la máquina, si el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A supera, en los puestos de trabajo, los 85 dB (A).

(...)

*Cuando el o los puestos de trabajo no estén definidos o no puedan definirse, la medición del nivel de presión acústica se efectuará a 1 metro de la superficie de la máquina y a una altura de 1,60 metros por encima del suelo o de la plataforma de acceso. Se indicará la posición y el valor de la presión acústica máxima".*

Este Real Decreto establece un valor de presión acústica máxima de 70 dB(A), lo que es más restrictivo que el límite que estaba marcado en el Real Decreto 1316/1989. Finalmente establece las informaciones correspondientes sobre los niveles en el puesto de trabajo si se superan los 85 dB(A) y, cuando el puesto de trabajo no esté definido, la propia norma indica a qué distancia y en qué posición debe realizarse la determinación.

Ya con posterioridad a la Ley 31/1995 y en la normativa que la desarrolla, el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, establece en el punto 1, Disposiciones mínimas generales aplicables a los equipos de trabajo:

"17. Todo equipo de trabajo que entrañe riesgos por ruido, vibraciones o radiaciones deberá disponer de las protecciones o dispositivos adecuados para limitar, en la medida de lo posible, la generación y propagación de estos agentes físicos".

En los equipos anteriores a la entrada en vigor del RD 1435/1992 deben establecer las medidas correctoras a las que se refiere el párrafo anterior.

## 15. La evaluación del riesgo por ruido

Ni el Real Decreto 1316/1989, ya derogado, ni el Real Decreto 286/2006, vigente, evalúan de forma directa el riesgo por ruido, aunque este último lo hace de forma indirecta cuando establece las medidas correctoras en relación con los niveles de exposición y solo frente a los efectos auditivos.

Recordemos las definiciones de:

**RIESGO:** Combinación de la frecuencia o probabilidad que pueden derivarse de la materialización de un peligro. El concepto riesgo siempre tiene dos elementos: la frecuencia con la que se materializa el riesgo y las consecuencias que de él pueden derivarse.

**PELIGRO:** Fuente o situación con capacidad de daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o una combinación de todos ellos.

En caso de una cuantificación del riesgo de pérdida auditiva por ruido se suele aplicar la norma ISO 1999 (Evolución de la Exposición laboral al ruido para conservación de la capacidad auditiva), que cuantifica el nivel del riesgo cuando establece el porcentaje de trabajadores, la probabilidad que se espera de que alcancen un efecto, pérdidas auditivas, y un tamaño superior al del efecto de control, como resultante de la exposición, nivel-tiempo, a la que se encuentran los trabajadores.

### CRITERIO ISO - R.1999

Esta Norma establece una relación práctica entre la población expuesta al ruido y la respuesta esperada, en donde se considera que el efecto de control es la pérdida de 25 dB de valor medio en las frecuencias conversacionales, 500, 1.000 y 2.000 Hz.

En la Norma se establecen los siguientes conceptos:

— Índice parcial de la exposición al ruido:

$$E_i = \frac{T_i}{40} \times 10^{(N_i - 70)/10}$$

donde:

$E_i$  Índice parcial de exposición para la clase  $i$ .

$N_i$  Nivel sonoro dB(A) para la clase  $i$ .

$T_i$  Tiempo de exposición, en horas/semana de la clase  $i$ .

— Índice semanal de la exposición al ruido:

$$E_s = \sum_i E_i$$

en donde:

$E_s$  Índice semanal de exposición.

— Nivel de ruido continuo equivalente:

$$N_{eq} = 70 + 10 \times \log E_s$$

#### Ejemplo:

*Determinar el nivel de riesgo para una población de trabajadores con una edad física de 35 años —se considera una exposición de 35-20 = 15 años— que ha reali-*

zadas las tareas y ha estado sometido a los niveles durante los tiempos que se establecen en la tabla siguiente.

Tareas	N eq. dB(A)	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	semana	Índ. parcial
		h	h	h	h	h	h	
A	75	2	3		2		7	0,55
B	90	2		3	1	1	7	17,50
D	92	1	2	2	1	2	8	31,70
E	94	4	1	1	1	1	8	50,24
F	96		2	3	3	3	11	109,48
G	65		1			1	2	0,02
Total	93,21	9	9	9	8	8	43	209,48

Solución:

Determinación del índice parcial "paso a paso" para la tarea A:

$$E_{i,TAREA A} = \frac{(2+3+2=7)}{40} \times 10^{\frac{75-70}{10}} = 0,5534$$

Determinación del índice semanal:

$$E_{SEMANAL} = 0,55 + 17,50 + 31,70 + 50,24 + 109,48 + 0,02 = 209,48$$

Cálculo del nivel equivalente semanal:

$$N_{EQUIVALENTE} = 27 + 10 \times \log 209,48 = 93,21 \text{ dB(A)}$$

Superados ciertos niveles de ruido continuo equivalente y de pico, el RD 286/2006 especifica directamente las acciones que se deben adoptar sin cuantificar el riesgo en términos de frecuencia o probabilidad

Determinación del riesgo:

En la tabla que continúa se representa el porcentaje de personas que presentan el efecto de control:

*b*, percentil total de las personas que padecen el efecto de control.

*a*, percentil de personas que sufren el efecto solo como consecuencia del ruido.

N <sub>eq</sub>	Riesgo %	Años de exposición									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	a %										0
	b %						1	1	2	3	50
85	a %									1	7
	b %				1	1	1	2	3	4	57
90	a %			1	1	1	1	1	2	2	15
	b %			1	1	2	2	3	4	5	65
95	a %			1	2	2	2	3	3	2	23
	b %			2	2	3	3	4	5	6	73
100	a %		1	2	3	4	4	4	4	4	33
	b %		1	3	4	4	5	5	6	7	83
105	a %		1	2	5	5	6	6	6	5	41
	b %		2	2	5	6	7	7	8	8	91
110	a %		2	5	7	7	7	7	7	6	45
	b %		2	5	7	8	8	9	9	9	95
115	a %		3	7	8	8	8	8	7	6	47
	b %		3	7	8	9	9	9	9	9	97



Tiempo en el puesto de trabajo.....	15 años
Nivel equivalente en el puesto .....	93 dB(A)

Valores para una exposición de 15 años:

Nivel de 90 dB(A) .....	14 %
Nivel de 95 dB(A) .....	24 %
Nivel de 83 dB(A) (extrapolado).....	20 %

Este resultado nos indica que el 20% de los trabajadores que desarrollan las tareas estudiadas en el ejemplo anterior, en donde resulta que el nivel equivalente semanal es de 93 dB(A), al cabo de 15 años de exposición pueden alcanzar el efecto de control.

**Ejemplo:**

Determinar el riesgo para una población de trabajadores con una exposición durante 35 años a un nivel equivalente de 90 dB(A).

Se establecen los percentiles de:

- 41% para el total de la población, expuesta y no expuesta a ruido.
- 21% para la población no expuesta.
- 20% para la población expuesta.

El RD 286/2006 sólo se refiere a los efectos sobre el sistema auditivo; no tiene en cuenta otros afectos, no menos importantes, que el ruido puede provocar; vibraciones, fatiga, estrés, taquicardias, interferencia en las comunicaciones orales y señales acústicas, etc.

## 16. Criterios de valoración para el ruido en ambientes no industriales

Los efectos del ruido no sólo se producen en el sistema de audición. Pueden también constituir una situación de trauma sonoro, y allí se incluye también una serie de efectos no específicos, propios de niveles sonoros inferiores a aquellos con capacidad de producir efectos auditivos.

El hombre, tanto durante la jornada laboral como durante los periodos de descanso, es agredido por el ruido. Esta afección puede interferir en su trabajo, en sus conversaciones, y en su descanso, e incluso puede llegar a producir lesiones auditivas o alteraciones en el equilibrio psicossomático y social.

La magnitud de estas interferencias se mide mediante índices que son valores numéricos que se calculan partiendo de los parámetros físicos de medición del ruido objeto de estudio; este cálculo se realiza de forma que el valor hallado esté en relación con el nivel de interferencia provocada por el ruido.

Los criterios más usuales se basan en los distintos efectos que se desea evaluar.

Dentro de los efectos más comúnmente utilizados se encuentra el efecto de las interferencias producidas en la comunicación oral entre dos personas —Índices S.I.L. (Speech Interference Level), o P.S.I.L. (Preferred Speech Interference Level)—.

Otros se basan en las inferencias sobre la calidad y confort ambiental; se citan en este grupo los Niveles de Sonoridad (Loudness Level, L.L.) y las curvas de Noise Rating Number (N.R.).

**S.I.L.**

Es la media aritmética de las lecturas en dB del análisis en banda de octava del nivel de ruido en las bandas de 600 a 1.200, de 1.200 a 2.400 y de 2.400 a 4.800 Hz.

Los efectos del ruido no sólo se producen en el sistema de audición

**P.S.I.L.**

La magnitud de las interferencias que el ruido puede provocar se mide mediante índices calculados a partir de los parámetros físicos de medición del ruido objeto del estudio

Tiene un significado semejante al anterior con la diferencia de que en este caso se utilizan las bandas normalizadas de 500, 1.000 y 2.000 Hz.

$$PSIL = \frac{N_{500} + N_{1000} + N_{2000}}{3}$$

Existe una relación aproximada entre éste y el nivel dB(A).

$$PSIL \approx N_{TOTAL, dB(A)} - 7$$

**L.L. (Nivel de sonoridad)**

Se define como el nivel de presión sonora de un ruido en banda estrecha o tono puro de 1.000 Hz, que produce el mismo efecto que el ruido en ensayo.

**N.R.**

Es el valor numérico del nivel de presión sonora a 1.000 Hz. Su representación en curvas se utiliza para dar el espectro de ruido, de tal forma que no sobrepase un determinado N.R.

De forma aproximada puede relacionarse con el nivel global de presión sonora mediante la expresión:

$$NR = N_{TOTAL, dB(A)} - 5$$

En la tabla siguiente se señala la relación entre los criterios anteriores.

**Tabla 5. Calidad de la comunicación de la palabra.**

Índice	Buena	Regular	Mala	Muy mala
S.I.L.	45	45 a 60	60 a 75	> 75
N.R.	50	50 a 60	60 a 75	> 75
L.L.	62	62 a 80	80 a 97	> 97

Los criterios anteriormente citados no son muy utilizados en la práctica, y actualmente se ha desarrollado un criterio de confort que responde más objetivamente a las necesidades del bienestar acústico requerido.

**N.C. (Curvas "Noise Criteria")**

Este criterio suministra información sobre el contenido espectral que debe exigirse a un ruido de fondo para que pueda desarrollarse una determinada actividad.

Se basan, al igual que los L.L. (Niveles de sonoridad), en la determinación con personas expuestas a sonidos de igual sonoridad, con la salvedad de que se tienen presentes las propiedades de la interferencia entre el ruido y la conversación.

El N.C. es uno de los índices más utilizados para la evaluación del ruido en el interior de viviendas

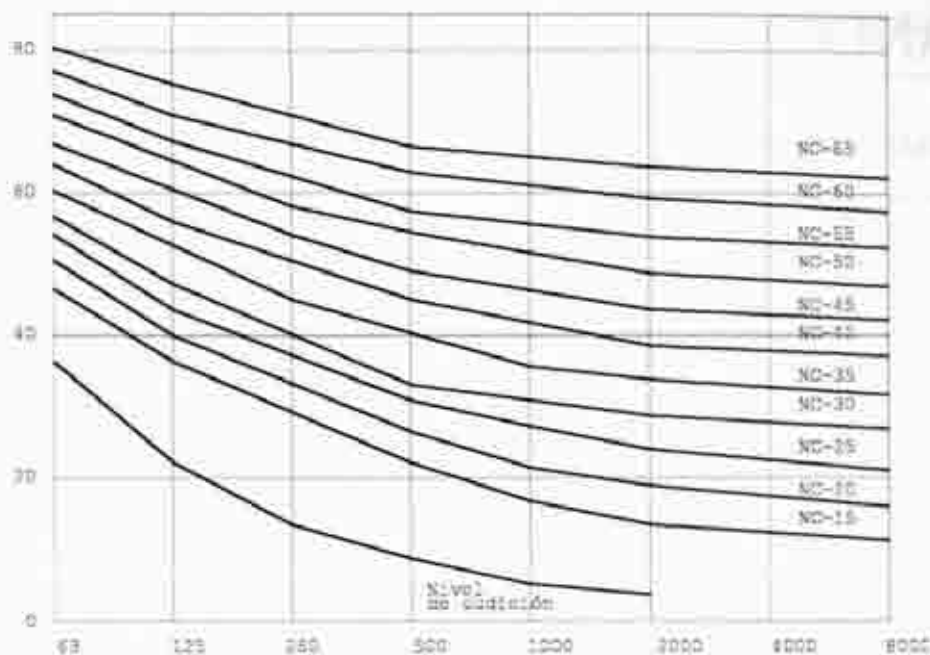


Figura n.º 20. Curvas "Noise Criteria".

Es uno de los índices más ampliamente utilizados para la evaluación de ruido en el interior de viviendas.

Se establece una relación aproximada con el nivel de presión sonora mediante la expresión siguiente:

$$NC = N_{eq} \text{ dB(A)} \pm 2$$

### N.P.L. (Noise Pollution Level)

Debido a que los ruidos que afectan a las comunidades no suelen ser continuos, y que los criterios anteriores no contemplan estas variaciones, se ha elaborado el índice de contaminación de ruido, en el que se considera que:

- 1.º La molestia está relacionada con la intensidad o la energía total del ruido, medido por todo un período de tiempo, tal como 24 horas, o durante el período de sueño o vigilia.
- 2.º La molestia se incrementa con las variaciones del ruido para una misma energía total durante el periodo de tiempo considerado.

Para su estudio es necesario conocer el desarrollo estadístico de los niveles sonoros.

La fórmula para hallar el Nivel de Polución de Ruido, NPL, es la siguiente:

$$NPL = N_{eq} + 2,56 \times \sigma$$

donde:

- $N_{eq}$  = Media cuadrática de los niveles de ruido atenuación A durante un tiempo de medición lo suficientemente largo.
- $\sigma$  = Desviación estándar de las mediciones del nivel sonoro atenuación A.

## ANEXO I. Protectores auditivos

### EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL – EPI – PROTECTORES AUDITIVOS

#### EPI de Categoría II

#### Marcado CE de Conformidad

Requisitos establecidos por el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual:

- Certificado CE expedido por un Organismo Notificado.
- Declaración CE de conformidad.
- Folleto informativo.

#### Normativa EN aplicable:

- EN 352-2: Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 2: Tapones.
- EN 458: Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, precauciones de empleo y mantenimiento.

En el supuesto de que se alcancen situaciones de riesgo y que las técnicas de prevención y las soluciones administrativas razonablemente posibles no sean suficientemente efectivas se debe recurrir a la protección personal.

Los protectores auditivos tienen como misión disminuir el efecto del ruido sobre las personas atenuando el que llega al oído.

Los criterios higiénicos del ruido establecen que los trabajadores no estarán expuestos a niveles sonoros que puedan ser nocivos para su salud.

#### Los criterios normativos

Real Decreto 1316/1989, anteriormente citado: establece el desarrollo normativo para el uso de los protectores auditivos. En su artículo 8º 1 especifica que los protectores auditivos deben ajustarse a lo dispuesto en la normativa general sobre medios de protección personal.

Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre: regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

Directiva 89/656/CEE: Disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual. Esta Directiva entró en vigor el 1 de enero de 1993, encontrándose en trámite de transposición al ordenamiento jurídico español.

#### Tipos principales de protectores auditivos

**Orejas:** formadas por dos conchas que envuelven el pabellón auditivo, unidas por un soporte o arnés, que tiene la misión de sujetarlas y apretarlas sobre la cabeza para alcanzar un correcto cierre.



Figura n.º 21.  
Protectores auditivos.  
Orejas sobre casco  
y sobre arnés.

**Tapones:** elementos que se introducen en el conducto auditivo cerrándolo. Existe una gran variedad en formas y en materiales.

### Crterios de seleccin

Establecida la necesidad de dotacin voluntaria u obligatoria, y el uso igualmente voluntario u obligatorio, se procede a la seleccin del protector adecuado basndose en los siguientes criterios:

- 1.º Marca de certificacin en cumplimiento del Real Decreto 1407/1992 ya citado.
- 2.º Atenuacin acstica suficiente.

- La atenuacin debe lograr que el nivel de ruido recibido por el trabajador quede por debajo del criterio de actuacin.
- El aumento de la atenuacin por encima de la necesaria, alcanzando una sobreproteccin, produce un aumento del sentimiento de aislamiento en el usuario y dificultades para la percepcin de sonidos, lesiona innecesariamente la comunicacin oral entre las personas, son ms incmodas, etc.
- El documento de certificacin de marca CE... indica las atenuaciones producidas por el protector en las condiciones normalizadas de ensayo:
  - Para cada una de las bandas de octava —125 a 8.000 Hz— el valor de la atenuacin media y su desviacin tpica.

**APV o proteccin asumida para cada frecuencia:** valor para cada una de las bandas de frecuencia determinado al restar una desviacin estandar al correspondiente valor de atenuacin media para las frecuencias de 125 Hz a 8.000 Hz.

- Las atenuaciones en el campo de las altas, medias y bajas frecuencias.

**H, M, L:** atenuacin media alcanzada por el protector para ruidos tpicos de:

Alta frecuencia, cumple la condicin:  $L_C - L_A = -2dB$

Medias frecuencias, cumple la condicin:  $L_C - L_A = +2dB$

Bajas frecuencias, cumple la condicin:  $L_C - L_A = +10dB$

- La atenuacin nica.

**SRN:** atenuacin global resultante frente a un ruido rosa.

Cada tipo de datos facilitados para el protector se aplica en relacin a los datos disponibles del ruido al que se encuentra expuesto el trabajador a proteger, generando tres mtodos de clculo de la atenuacin efectiva producida por el protector.

- 3.º La comodidad de utilizacin.
  - Las caractersticas y los materiales empleados en la construccin del protector son parmetros que influyen en el confort de uso.
  - Es conveniente que el protector sea elegido por el trabajador y es obligada la consulta de los representantes de los trabajadores —artculo 8º 1 del Real Decreto 1316/1989—.
- 4.º Ambiente de trabajo. En la seleccin del protector auditivo se deben considerar las caractersticas ambientales y principalmente la temperatura y/o la humedad, el



Figura n.º 22. Protectores auditivos. Tapones de distintos tipos.

Los protectores auditivos, como cualquier otro equipo de trabajo, deben disponer de marcado CE y manual de instrucciones que incluya las instrucciones de uso y de mantenimiento

polvo, la presencia de ruidos elevados de corta duración, y los sonidos de advertencia, de transmisión de mensajes y/o indicativos de la marcha de un proceso.

- 5.º Problemas de salud. Patologías en el sistema auditivo pueden generar problemas para la utilización de protectores auditivos, en cuyo caso es necesaria la consulta médica.
- 6.º El uso de otras prendas de protección. La utilización de casco, mascarillas, gafas y otras prendas de cabeza influyen en las características de confort y en la atenuación del protector.

### Utilización de los protectores auditivos

Ante la utilización de los protectores auditivos los trabajadores presentan reticencias que es necesario vencer mediante la motivación, la información, y una correcta elección.

La formación y la información de los trabajadores es de obligado cumplimiento según queda señalado en el artículo 5º 1 del Real Decreto 1316/1989.

### Tiempo de utilización de los protectores auditivos

Para que la protección sea efectiva deben llevarse correctamente instalados durante todo el tiempo que dure la exposición a niveles elevados.

### Cálculo de la atenuación producida por un protector auditivo

En relación con los datos disponibles que caracterizan al ruido al que se encuentra expuesto el trabajador se determinan tres métodos de cálculo de la atenuación:

#### Método I

Datos:

Análisis de banda de octava del ruido ambiental,  $N_f$ .

Atenuaciones del protector auditivo en las bandas de octava,  $A_f$  y de sus desviaciones típicas,  $\sigma_f$ .

Atenuaciones del filtro  $A$ ,  $A_A$ .

Cálculo:

- Determinar los niveles del ruido ambiental en dB(A).

$$N_f \text{ dB(A)} = N_f \text{ dB} - A_A$$

- Determinar el Valor de Protección Asumida —APV— del protector en cada una de las frecuencias de análisis para alcanzar una fiabilidad de 0,84.

$$APV_f = A_f - \sigma_f$$

- Determinar el nivel sonoro resultante en cada una de las bandas.

$$N_{f,R} \text{ dB(A)} = N_{f,A} - APV_f$$

Los EPI deben llevarse durante todo el tiempo que dure la exposición a niveles elevados de ruido.

- Determinar el nivel total del ruido recibido por el trabajador (ya se han estudiado las expresiones de cálculo).

**Ejemplo de cálculo. Método I.**

Rango Hz	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	Total	
<b>Ambiente</b>									
Nivel	89	78	90	93	94	65	62	98,0	dB
Aten. "A"	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1		
Nivel	72,9	69,4	86,8	93,0	95,2	66,0	60,9	97,6	dB(A)
<b>Protector</b>									
Atenuac.	21,0	22,0	23,0	29,0	41,0	43,0	37,0		
Desviac.	3,7	3,3	3,8	4,7	3,3	2,7	6,6		
APV	17,3	18,7	19,2	24,3	37,7	40,3	30,4		
<b>Receptor</b>									
Nivel	55,6	50,7	67,6	68,7	57,5	25,7	30,5	71,5	dB(A)

**Método II**

Método conocido con las siglas HML.

Datos:

Nivel sonoro en dB(A), y en dB(C).

Atenuaciones del protector auditivo en los campos de altas, medias y bajas frecuencias.

**Ejemplo de cálculo. Método II.**

Determinación del valor de reducción predictivo, PNR.

- a) Si  $dB(C) - dB(A) \leq 2$ , el valor

$$PNR = M - \frac{H-M}{4} \times (dB(C) - dB(A) - 2)$$

- b) Si  $dB(C) - dB(A) \geq 2$ , el valor

$$PNR = M - \frac{M-L}{8} \times (dB(C) - dB(A) - 2)$$

**Ejemplo de cálculo. Método II.**

Datos del protector: H = 25 dB, M = 18 dB, L = 13 dB.

Datos del nivel de ruido ambiental: 103 dB(C), 104 dB(A).

Determinación de PNR:

$$PNR = 18 - \frac{25-18}{4} \times (103 - 104 - 2) = 23,3 \text{ dB}$$

Determinación del nivel de ruido recibido:

$$N_{\text{ATENUADO}} = 104 \text{ dB(A)} - 23,3 \text{ dB} = 80,7 \text{ dB(A)}$$

### Método III

Método conocido con las siglas SRN.

Datos:

- Nivel sonoro en dB(C), en su defecto en dB.
- Valor de atenuación única del protector, SNR.

Cálculo:

$$N_{\text{ATENUADO}} = \text{dB(C)} - \text{SNR} = \text{dB(A)}$$

### Ejemplo de cálculo. Método III.

Datos:

- Nivel sonoro, 103 dB(C).
- Valor de atenuación única del protector, SNR, 22 dB.

Cálculo:

$$N_{\text{ATENUADO}} = 103 \text{ dB(C)} - 22 \text{ dB} = 81 \text{ dB(A)}$$

### Criterios de atenuación

El nivel de ruido que recibe el trabajador debe ser inferior a aquel que ocasiona el daño establecido por la norma ISO en 80 dB(A) equivalentes diarios, estableciéndose el criterio, técnico y no normativo, que se señala en la tabla siguiente:

Una sobreprotección ante el riesgo de ruido puede provocar problemas de aislamiento y de comunicación

Nivel sonoro atenuado	Calificación de idoneidad
$80 > L_T \geq 77$	ACEPTABLE (por alto)
$77 > L_T \geq 74$	ADECUADO
$74 > L_T \geq 71$	ACEPTABLE (por bajo)
$60 > L_T$	SOBREPROTECCIÓN

Este criterio se establece basándose en que por cada 3 dB que se desciende y para el mismo tiempo de exposición se reduce la dosis a la mitad.

La sobreprotección se debe evitar en razón a las consecuencias de:

- Aislamiento.
- Dificultad para captar señales acústicas.
- Dificulta la comunicación innecesariamente.



## ANEXO II. Herramientas de aplicación

### OBJETIVO:

- Se presentan tablas de aplicación práctica, lo que permite la toma de decisiones rápidas con determinaciones muy simples y rápidas.
- Su aplicación es tan solo para que el Técnico Prevencionista tenga una orientación sobre los niveles sonoros equivalentes diarios previsible y ello le permita tomar decisiones preventivas.

Tabla 6. Tiempo diario de exposición a un nivel para alcanzar el equivalente diario,  $L_{eq,d}$ , de 80 dB(A), de 85 dB(A) y 87 dB(A)

Nivel exp. dB(A)	80,00	85,00	87,00	Nivel exp. dB(A)	80,00	85,00	87,00
	Horas para alcanzar el $L_{eq,d}$				Horas para alcanzar el $L_{eq,d}$		
80	8,00			96	0,20	0,64	2,01
81	6,35			97	0,16	0,50	1,60
82	5,05	15,96		98	0,13	0,40	1,27
83	4,01	12,68		99	0,10	0,32	1,01
84	3,18	10,07	15,96	100	0,08	0,25	0,80
85	2,53	8,00	12,68	101	0,06	0,20	0,64
86	2,01	6,35	10,07	102	0,05	0,16	0,50
87	1,60	5,05	8,00	103		0,13	0,40
88	1,27	4,01	6,35	104		0,10	0,32
89	1,01	3,18	5,05	105		0,08	0,25
90	0,80	2,53	4,01	106		0,06	0,20
91	0,64	2,01	3,18	107		0,05	0,16
92	0,50	1,60	2,53	108			0,13
93	0,40	1,27	2,01	109			0,10
94	0,32	1,01	1,60	110			0,08
95	0,25	0,80	1,27	111			0,06

La tabla anterior permite conocer para un nivel de ruido continuo equivalente el tiempo de exposición, en horas, que es necesario para alcanzar el nivel de ruido continuo equivalente diario de 80 dB(A), de 85 dB(A) y de 87 dB(A).

*Ejemplo:* Se determina mediante un sonómetro que un trabajador en ejecución de una tarea en la que manifiesta estar diariamente en torno a unas tres horas y cuarto (3,25 horas/día) tiene un nivel sonoro de 86 dB(A).

En aplicación de la tabla anterior se observa que:

- Supera el nivel equivalente diario de 80 dB(A) al cabo de 2,01 horas/día.
- Para superar el nivel equivalente diario de 85 dB(A) debe tener una exposición superior a 6,35 horas/día.
- Para superar el nivel equivalente diario de 87 dB(A) debe tener una exposición superior a 10,07 horas/día.

Se puede afirmar que este puesto tiene un nivel sonoro equivalente diario superior a 80 dB(A) e inferior a 85 dB(A), lo que permite adoptar las medidas preventivas legales correspondientes.

Tabla 7. Respuesta de dosímetro.

Nivel dB(A)	M i n u t o s					
	1	5	30	60	480	600
80	0,021	0,104	0,625	1,25	10,0	13
80,5	0,023	0,117	0,701	1,40	11,2	14
81	0,026	0,131	0,787	1,57	12,6	16
81,5	0,029	0,147	0,883	1,77	14,1	18
82	0,033	0,165	0,991	1,98	15,8	20
82,5	0,037	0,185	1,111	2,22	17,8	22
83	0,042	0,208	1,247	2,49	20,0	25
83,5	0,047	0,233	1,399	2,80	22,4	28
84	0,052	0,262	1,570	3,14	25,1	31
84,5	0,059	0,294	1,761	3,52	28,2	35
85	0,066	0,329	1,976	3,95	31,6	40
85,5	0,074	0,370	2,218	4,44	35,5	44
86	0,083	0,415	2,488	4,98	39,8	50
86,5	0,093	0,465	2,792	5,58	44,7	56
87	0,104	0,522	3,132	6,26	50,1	63
87,5	0,117	0,586	3,515	7,03	56,2	70
88	0,131	0,657	3,943	7,89	63,1	79
88,5	0,147	0,737	4,425	8,85	70,8	88
89	0,165	0,827	4,965	9,93	79,4	99
89,5	0,186	0,928	5,570	11,14	89,1	111
90	0,208	1,042	6,250	12,50	100,0	125
90,5	0,234	1,169	7,013	14,03	112,2	140
91	0,262	1,311	7,868	15,74	125,9	157
91,5	0,294	1,471	8,828	17,66	141,3	177
92	0,330	1,651	9,906	19,81	158,5	198
92,5	0,370	1,852	11,114	22,23	177,8	222
93	0,416	2,078	12,470	24,94	199,5	249
93,5	0,466	2,332	13,992	27,98	223,9	280
94	0,523	2,617	15,699	31,40	251,2	314
94,5	0,587	2,936	17,615	35,23	281,8	352
95	0,659	3,294	19,764	39,53	316,2	395
95,5	0,739	3,696	22,176	44,35	354,8	444
96	0,829	4,147	24,882	49,76	398,1	498
96,5	0,931	4,653	27,918	55,84	446,7	558
97	1,044	5,221	31,324	62,65	501,2	626
97,5	1,172	5,858	35,146	70,29	562,3	703
98	1,314	6,572	39,435	78,87	631,0	789
98,5	1,475	7,374	44,247	88,49	707,9	885
99	1,655	8,274	49,646	99,29	794,3	993
99,5	1,857	9,284	55,703	111,41	891,5	1.114
100	2,083	10,417	62,500	125,00	1.000,0	1.250
100,5	2,338	11,688	70,126	140,25	1.122,0	1.403
101	2,623	13,114	78,683	157,37	1.258,9	1.574
101,5	2,943	14,714	88,284	176,57	1.412,5	1.766
102	3,302	16,509	99,056	198,11	1.584,9	1.981
102,5	3,705	18,524	111,143	222,29	1.778,3	2.223
103	4,157	20,784	124,704	249,41	1.995,3	2.494
103,5	4,664	23,320	139,920	279,84	2.238,7	2.798
104	5,233	26,166	156,993	313,99	2.511,9	3.140

(continuación)

Nivel dB(A)	M i n u t o s					
	1	5	30	60	480	600
104,5	5,872	29,358	176,149	352,30	2.818,4	3.523
105	6,588	32,940	197,643	395,29	3.162,3	3.953
105,5	7,392	36,960	221,759	443,52	3.548,1	4.435
106	8,294	41,470	248,818	497,64	3.981,1	4.976
106,5	9,306	46,530	279,178	558,36	4.466,8	5.584
107	10,441	52,207	313,243	626,49	5.011,9	6.265
107,5	11,715	58,577	351,464	702,93	5.623,4	7.029
108	13,145	65,725	394,349	788,70	6.309,6	7.887
108,5	14,749	73,745	442,467	884,93	7.079,5	8.849
109	16,549	82,743	496,457	992,91	7.943,3	9.929
109,5	18,568	92,839	557,033	1.114,07	8.912,5	11.141
110	20,833	104,167	625,002	1.250,00	10.000,0	12.500
110,5	23,375	116,877	701,264	1.402,53	11.220,2	14.025
111	26,228	131,138	786,831	1.573,66	12.589,3	15.737
111,5	29,428	147,140	882,838	1.765,68	14.125,4	17.657
112	33,019	165,094	990,561	1.981,12	15.849,0	19.811
112,5	37,048	185,238	1.111,428	2.222,86	17.782,8	22.229
113	41,568	207,840	1.247,042	2.494,08	19.952,7	24.941
113,5	46,640	233,201	1.399,205	2.798,41	22.387,3	27.984
114	52,331	261,656	1.569,933	3.139,87	25.118,9	31.399
114,5	58,716	293,582	1.761,494	3.522,99	28.183,9	35.230
115	65,881	329,405	1.976,429	3.952,86	31.622,9	39.529
115,5	73,920	369,598	2.217,590	4.435,18	35.481,4	44.352
116	82,939	414,696	2.488,177	4.976,35	39.810,8	49.764
116,5	93,059	465,297	2.791,780	5.583,56	44.668,5	55.836
117	104,414	522,072	3.132,429	6.264,86	50.118,9	62.649
117,5	117,155	585,774	3.514,643	7.029,29	56.234,3	70.293
118	131,450	657,249	3.943,495	7.886,99	63.095,9	78.870
118,5	147,489	737,446	4.424,674	8.849,35	70.794,8	88.493
119	165,486	827,428	4.964,566	9.929,13	79.433,0	99.291
119,5	185,678	928,389	5.570,334	11.140,67	89.125,3	111.407
120	208,334	1.041,670	6.250,018	12.500,04	100.000,3	125.000

En la tabla anterior se establece la lectura que señalaría un dosímetro que permanece en un ambiente sonoro con nivel equivalente durante el tiempo en minutos correspondiente con cada columna.

Un trabajador durante 95 minutos se encuentra a 100,5 dB(A), la lectura del dosímetro sería:

Por 5 minutos: 11,688

Por 30 minutos: 70,126

Por 60 minutos: 140,25

**Total: 222,064**

En la columna de 480 minutos, 8 horas, busquemos el valor 222,064 o aquel más próximo por exceso o por defecto. Se encuentra el valor 223,9 que corresponde con el nivel 93,5 dB(A); este es el valor del nivel de ruido continuo equivalente que esa tarea de 95 minutos a 100,5 dB(A) aporta al nivel de ruido continuo equivalente diario.

Se realizan las siguientes tareas cuyos niveles han sido determinados (fecha y hora) mediante sonómetro promediador (marca y modelo) durante tiempos que se consideran representativos de cada una de las tareas realizadas en el puesto estudiado con la participación de los Delegados de Prevención (D. .... y D. ....), alcanzándose los siguientes resultados:

Tarea A (denominación y descripción):  $L_{A,eq}$  de esta tarea 92 dB(A), duración de la tarea 2 h.

Tarea B (denominación y descripción):  $L_{A,eq}$  de esta tarea 97 dB(A), duración de la tarea 0,5 h.

Tarea C (denominación y descripción):  $L_{A,eq}$  de esta tarea 88 dB(A), duración de la tarea 8 h.

Aplicación de las tablas anteriores:

Tarea	$L_{A,eq}$	Duración, h.	% dosis	$L_{A,eq}$ (por la tarea)
A	92	2	$2 \times 19,81 = 39,62$	86
B	97	0,5	31,324	85
C	88	8	63,01	88
PUESTO DE TRABAJO			127,5 (129,9)	91

## ANEXO III. Documentación específica de las actuaciones en materia preventiva del riesgo por ruido

### INTRODUCCIÓN

En este Anexo se pretende aportar una serie de recomendaciones específicas al tema tratado en este capítulo, que permitan al Prevencionista integrado en un servicio de prevención propio o mancomunado documentar las actuaciones realizadas en materia de prevención de riesgos por ruido, facilitando la labor de las auditorías internas y externas, además de los controles o inspecciones de la Administración y de las organizaciones internas con competencia en esta materia.

Para desarrollar lo anterior nos basaremos en el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (BOE núm. 60, de 11 de marzo), norma de obligado cumplimiento, además de aportaciones de otras fuentes.

Algunos de los documentos específicos que se considera deben de prepararse, en todo o en parte de su contenido, pudieran no ser obligatorios en el riguroso cumplimiento de la letra de la legislación específica sin embargo se consideran convenientes.

De la misma forma solamente se refieren los documentos específicos del correspondiente tema y no señalan aquellos de carácter general de la prevención, investigación de daños profesionales, formación en los temas no específicos, etc.

Actuaciones	Documentos específicos
Reducir el nivel de ruido al más bajo posible	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Listado de equipos y procesos ruidosos.</li> <li>— Plan de actuación para la reducción de ruido.</li> <li>— Justificación técnica suficiente para las fuentes en las que no se puede reducir el nivel de ruido. (Debe estar realizado por técnico con competencia justificada).</li> <li>— Instrucciones escritas suficientes a los servicios de estudios y proyectos, reformas, mantenimiento, adquisiciones, etc. que integren en su gestión las características sónicas que sean aplicables.</li> </ul>
Evaluar el riesgo por la exposición de los trabajadores al ruido	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Evaluación inicial; debe extenderse a todos los puestos de trabajo [en aquellos manifiestamente menores a 80 dB(A) no son necesarias determinaciones]. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben identificar y definir las fuentes emisoras de ruido y que afectan al puesto de trabajo evaluado, así como el tipo de ruido generado.</li> <li>• Cada uno de los trabajadores, en forma nominativa, debe quedar adscrito al puesto de trabajo evaluado.</li> <li>• Se describen y temporalizan cada una de las tareas que constituyen el puesto de trabajo a evaluar.</li> <li>• Justificación, si procede, de que el puesto de trabajo se ha evaluado por pericia profesional. Debe incluir la calificación del técnico que realiza la valoración pericial.</li> </ul> </li> <li>— Se han de realizar evaluaciones adicionales para los casos en los que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se crea un puesto de trabajo.</li> <li>• Se cambia a un trabajador del puesto o se incorpora un nuevo trabajador.</li> <li>• Se modifican las condiciones de trabajo de un puesto o las de cualquier otro que afecten a las características sónicas del puesto en evaluado.</li> <li>• Cuando se ponga de manifiesto algún daño auditivo consecuencia de la exposición al ruido.</li> </ul> </li> <li>— Se deben realizar evaluaciones periódicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anualmente en los puestos de trabajo en los que: <math display="block">L_{Aeq,d} \geq 85 \text{ dB(A)} \quad \text{y} \quad L_{TPCO} \geq 137 \text{ dB(C)}</math> </li> <li>• Cada de tres años en los puestos de trabajo en los que: <math display="block">85 \text{ dB(A)} \leq L_{Aeq,d} &lt; 80 \text{ dB(A)} \quad \text{y} \quad 137 \text{ dB(C)} \geq L_{TPCO} &lt; 135 \text{ dB(C)}</math> </li> </ul> </li> <li>— La evaluación debe ser diseñada y/o realizada por un Experto de Nivel Superior en el área de Higiene Industrial, justificación suficiente de la cualificación del evaluador según se establece en los arts. 36 y 37 del RD 39/1997.</li> </ul>
Los equipos empleados en la realización de las determinaciones en las que se basa la evaluación de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Se incluye en la evaluación de riesgos. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resultados de la mediciones realizadas.</li> <li>• Definición de los equipos utilizados (incorporar de la documentación suficiente de los instrumentos de medida que permita establecer el cumplimiento de las especificaciones establecidas en el RD 286/2006 en sus Anexos II y III).</li> <li>• Métodos y procedimiento empleado en las determinaciones.</li> <li>• Normas que afectan a las mediciones realizadas.</li> <li>• Resultados de las calibraciones realizadas mediante un calibrador acústico antes y después de las mediciones.</li> </ul> </li> </ul>

Actuaciones	Documentos específicos
<p>Protectores auditivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— En la evaluación de riesgos se deben establecerse las características de atenuación mínimas necesarias, así como cualquier otro factor que pueda influir en su uso y eficacia.</li> <li>— Los protectores auditivos adquiridos y suministrados a los trabajadores deben cumplir las especificaciones y características propias establecidas en la evaluación de riesgos. Dispondrán del documento del fabricante con las especificaciones técnicas, instrucciones de uso y de mantenimiento y una certificación de las atenuaciones que producen.</li> <li>— Documento de entrega y recepción de los protectores auditivos incluyendo instrucciones de uso y mantenimiento y especificando la recomendación u obligación de utilización.</li> </ul>
<p>Formación e información</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Documento acreditativo de la formación impartida a los trabajadores especificando el temario, que, al menos, ha de desarrollar:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• La evaluación de su exposición al ruido y los riesgos potenciales para su audición.</li> <li>• Las medidas preventivas adoptadas, tanto técnicas como organizativas, con especificación de las que tengan que ser llevadas a cabo directamente por el trabajador.</li> <li>• La utilización, mantenimiento y capacidad de atenuación de los protectores auditivos.</li> <li>• Los procedimientos para la detección de los indicios del daño auditivo.</li> <li>• El desarrollo y finalidad de la vigilancia médica auditiva, cuándo y quiénes deben someterse a ella.</li> <li>• Los métodos y procedimientos y otras actuaciones tendentes a la integración de la prevención frente al riesgo por ruido en todos y cada uno de los puestos de trabajo y de las actividades de la empresa.</li> </ul> </li> <li>— Listado de los trabajadores que han sido formados.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificando el tiempo, fechas y horario.</li> <li>• Especificando del servido de prevención que lo ha impartido.</li> </ul> </li> <li>— Documento acreditativo de la información a cada trabajador de los resultados del control médico de su audición.</li> <li>— Documento acreditativo de la información a los delegados cuando se produzca una exposición superior al límite establecido <math>L_{Aeq,d} \geq 87 \text{ dB(A)}</math> incluyendo la atenuación procurada por los protectores auditivos.</li> </ul>
<p>Vigilancia de la salud</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Documento de consulta a los representantes de los trabajadores al constituir una de las excepciones establecidas al art. 22 de la Ley 31/1995.</li> <li>— Documento acreditativo de los reconocimientos adicionales por sobreexposiciones a ruido y/o por criterio médico.</li> <li>— Documento acreditativo de reconocimiento auditivo trianual a los trabajadores cuya exposición es superior a 85 dB(A).             <math display="block">L_{Aeq,d} \geq 85 \text{ dB(A)} \quad \text{y} \quad L_{pPCO} \geq 137 \text{ dB(C)}</math> </li> <li>— Documento acreditativo de reconocimiento auditivo anual a los trabajadores cuya exposición sea:             <math display="block">85 \text{ dB(A)} \leq L_{Aeq,d} \leq 80 \text{ dB(A)} \quad \text{y} \quad 137 \text{ dB(C)} \geq L_{pPCO} \geq 135 \text{ dB(C)}</math> </li> <li>— Documento acreditativo de reconocimiento auditivo a los trabajadores que hayan tenido una exposición similar a la sufrida por un trabajador al que se le ha detectado daño auditivo.</li> <li>— Documento de resultados de aptitud para el desarrollo de las funciones correspondientes a su puesto de trabajo y/o limitaciones y/o medidas preventivas específicas personalizadas para el trabajador.</li> </ul>

Actuaciones	Documentos específicos
Representantes de los trabajadores: Participación y consulta.	<p>— Documento/s acreditativo/s de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar presentes en el desarrollo de las evaluaciones previstas en esta norma.</li> <li>• Ser informados sobre los resultados de ellas, pudiendo solicitar las aclaraciones necesarias para la mejor comprensión de su significado.</li> <li>• Ser informados sobre las medidas preventivas que deberán adoptarse, a la vista de los resultados de la evaluación, en aplicación de lo dispuesto en la presente norma.</li> </ul> <p>— Documento sobre la comunicación, consulta y participación en todas y cada una de las actuaciones en materia de prevención de riesgos o susceptible de serlo desarrolladas con carácter previo a su puesta en marcha.</p> <p>— Documento de consulta para la realización de los reconocimientos médicos fechado al menos 15 días antes de la ejecución de los reconocimientos.</p>
Planificación de las actuaciones derivadas de la evaluación	<p>— Programación de todas y cada una de las actuaciones correctoras o de control de la exposición de los trabajadores al ruido.</p> <p>Programación, perfectamente definidas todas sus características técnicas, organizativas, e integradas en toda la actividad y a todos los niveles de la empresa, de todas las actuaciones tendentes a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La eliminación del ruido en su generación, en su transmisión y en su recepción.</li> <li>• La vigilancia de la salud.</li> <li>• La selección y uso de los EPI adecuados para la atenuación del efecto sonoro.</li> <li>• La previsión frente a los cambios: trabajadores, procesos, puestos de trabajo, adquisiciones de equipos.</li> <li>• Los programas para la información y la formación de los trabajadores.</li> <li>• Las campañas de sensibilización frente a la vigilancia médica y al uso de los protectores auditivos.</li> <li>• La programación, métodos y procedimientos para ejecución de las revisiones periódicas para detección de nuevos riesgos y el control de la eficacia de las medidas correctoras adoptadas.</li> </ul> <p>Estableciendo para cada una de ellas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El responsable de ejecución.</li> <li>• La fecha de ejecución.</li> <li>• El plazo para la ejecución.</li> <li>• El costo estimado.</li> </ul>
Vigilancia de la salud	

## ANEXO IV. Lista guía, orientativa y no exhaustiva para la realización de la evaluación del riesgo por ruido

### INTRODUCCIÓN

En este Anexo se enumeran una serie de actuaciones que el prevencionista debe considerar en la realización de la evaluación higiénica de un ambiente ruidoso se señala que esta relación no es exhaustiva y que no incluye las actuaciones de carácter general de toda evaluación.

1. Información previa:

- Normativa afectada, aquella estrictamente laboral y aquella otra considerada en el artículo 1 de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Informaciones técnicas de los procesos y de los equipos y procedimientos empleados.

2. Encuesta inicial:

- Formación e información a los representantes de los trabajadores y a los mandos y directivos del centro de trabajo.
- Sistema de gestión preventiva que tiene la empresa, centro o puestos de trabajo afectados.
- Recogida de datos en el centro de trabajo sometido a estudio, evaluaciones de riesgos y otras determinaciones sónicas realizadas, proceso, puestos de trabajo, trabajadores en cada puesto, presencia de trabajadores sensibles, resultados médicos y siniestralidad del centro de trabajo.
- Visita a las instalaciones, recepción oral de información de los trabajadores, de sus representantes, de los mandos intermedios, de los técnicos y de cualquier otra persona afectada, detección de defectos con incidencia en el campo sónico y de los incumplimientos normativos, y otros que la experiencia del profesional considere que debe realizar.
- Informe escrito con indicación de los defectos detectados e indicando y motivando las medidas de control que deben emprenderse.

3. Verificar la ejecución de las medidas de control recomendadas y/o adoptadas.

4. Planificación de la evaluación del riesgo residual y de la efectividad de las actuaciones de control del riesgo realizadas.

- Consulta con los representantes de los trabajadores y mandos de los puestos afectados.

El Técnico debe alcanzar el convencimiento de que los representantes de los trabajadores y sus mandos disponen de los conocimientos suficientes en materia de ruido para que su participación en la ejecución de las determinaciones sea efectiva; si no fuera así debe formarlos e informarles.

- Determinar el ciclo de trabajo.  
En muchas ocasiones va a ser necesario consensuar un número de determinaciones o muestreos con los que se considera que se puede alcanzar la representatividad suficiente para determinar las actuaciones preventivas necesarias.
- Establecer las fechas y horario para la realización de las determinaciones en cada uno de los puestos de trabajo a estudiar.
- Nombrar a los trabajadores o sus representantes y a los representantes de la dirección que van a presenciar las determinaciones.
- Determinación de cuánto tiempo durará cada medición.
- Determinación de cuántos trabajadores por puesto van a ser objeto de las determinaciones.
- Determinación de cuántas veces haremos las determinaciones.
- (...)
- Verificar los medios instrumentales y humanos disponibles:
  - Sonómetro, CEI 651, Tipo 2 o superior, si el ruido no es fluctuante.
  - Sonómetro integrador, dosímetro CEI 804 Tipo 2 o mejor si el ruido es variable.



- Sonómetro con capacidad de lectura de pico y/o de impulso.
  - Sonómetro con capacidad de análisis de banda de una octava.
  - Comprobador de nivel sonoro, pistófono o calibrador.
  - Certificados de calibración de los instrumentos disponibles.
  - Calculadora y equipo informático, si procede.
5. Expresión de los datos y resultados de la evaluación e informe:
- Identificación de los trabajadores de cada puesto de trabajo.
  - Identificación clara y total del peligro, equipo, fuente y proceso que genera el ruido.
  - Resultados de las determinaciones realizadas en cada uno de los puestos de trabajo, tiempo de medición y nivel, nombre de los trabajadores portadores de los dosímetros y equipos utilizados y calibraciones efectuadas.
  - Estudio de los resultados e investigación de las causas que motivan los resultados que no se consideran ajustados a la realidad vivida por el técnico según las notas tomadas durante las determinaciones.
  - Justificación de la representatividad de los resultados alcanzada.  
Cuando en un puesto de trabajo el nivel medio, más el valor de la tolerancia del equipo, se encuentra cercano a una de las fronteras de calificación del puesto de trabajo es muy difícil que los valores inferior y superior de la incertidumbre permitan asegurar con una fiabilidad técnica que el nivel equivalente para el puesto es superior o inferior a dicha frontera.
  - Nivel equivalente diario de ruido continuo equivalente y nivel de pico máximo para cada puesto de trabajo.
  - Actuaciones preventivas tendentes a la eliminación del peligro y a la eliminación o minimización del riesgo.
2. Planificación de las acciones preventivas consecuencia de la evaluación de riesgos.



## 3.2. Vibraciones

### INTRODUCCIÓN

Como ya vimos en la Unidad Didáctica 3.8 de la parte común, hay una gran diversidad de procesos y operaciones industriales, trabajos forestales y agrícolas, y obras públicas pueden exponer a los trabajadores a vibraciones mecánicas nocivas, de forma regular y prolongada, a través de:



- las empuñaduras de herramientas portátiles o guiadas por la mano (por ejemplo, sierras de cadena, buriladores, etc.), cuando sujeta piezas vibratorias así como controladores vibratorios manuales, tipo manillares de motocicletas o volantes de vehículos. Se dice que este trabajador está expuesto a **vibraciones mano-brazo (VMB)**.
- el asiento o por los pies en vehículos (tierra, mar o aire), en embarcaciones y en superficies vibrantes. Se dice que este trabajador está expuesto a **vibraciones de cuerpo completo (VCC)**.



Por tanto, cuando los trabajadores están expuestos a los riesgos derivados de la exposición a vibraciones, debe planificarse la acción preventiva siempre partiendo de la evaluación de los riesgos derivados de dicha exposición.

Esta evaluación de riesgos se realiza conforme a los criterios recogidos en las **normas técnicas** porque, actualmente, se carece de una legislación específica sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición a vibraciones durante el trabajo.

**OBJETIVOS**

**Objetivo general**

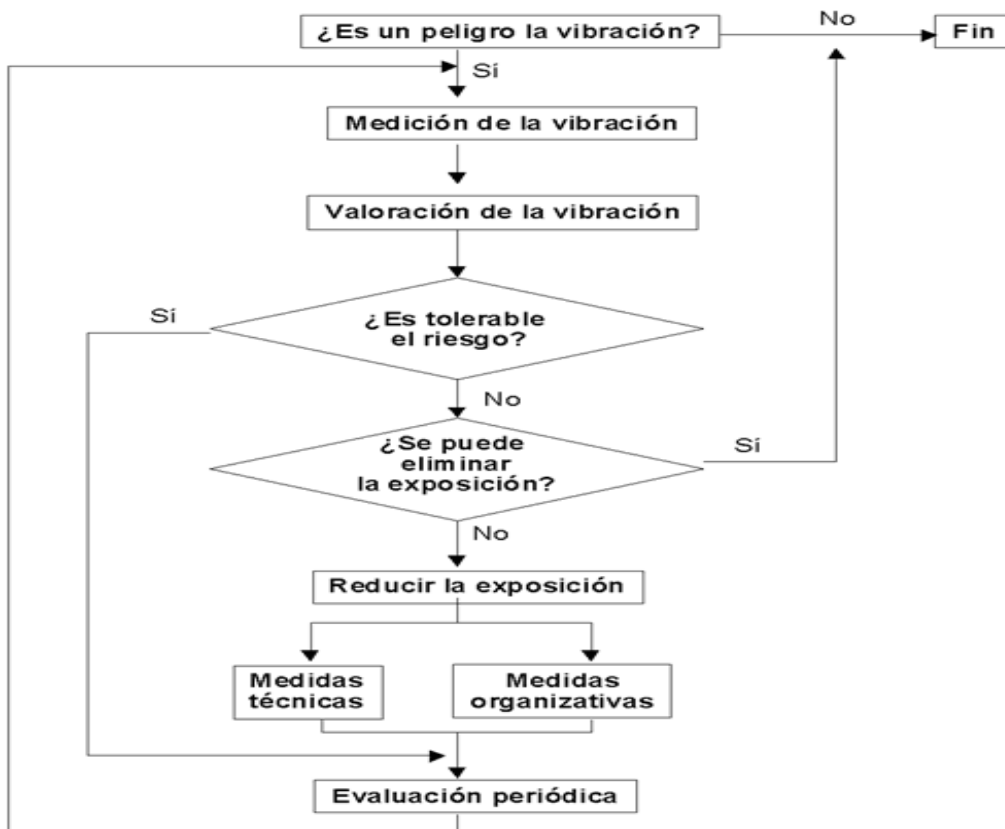
Esta Unidad Didáctica pretende que el alumno pueda planificar la actuación preventiva a partir de una evaluación inicial de los riesgos derivados de la exposición a vibraciones en el lugar de trabajo.

**Objetivos específicos**

Para ello le ayuda a:

- Identificar las situaciones donde es preciso realizar una evaluación de riesgos por vibraciones.
- Identificar cuáles son los aspectos necesarios para poder realizar el planteamiento de cualquier estudio de vibraciones.
- Analizar en detalle los criterios recogidos en las normas técnicas para realizar la evaluación de riesgos por vibraciones.
- Analizar en detalle la futura legislación europea sobre exposición a vibraciones.
- Conocer la instrumentación utilizada en las mediciones de las vibraciones.
- Adquirir la capacidad de proponer medidas preventivas y de control de los riesgos por vibraciones.

**ESQUEMA DE LA UNIDAD**



## CAPÍTULO 1: EMISIÓN Y EXPOSICIÓN A VIBRACIONES

Conviene tener claros los conceptos de emisión y exposición a vibraciones y cuál es el ámbito de aplicación de cada uno de ellos.

La **emisión de vibraciones** es la generación de vibraciones por parte de una fuente o máquina. Es una característica intrínseca de la fuente que vibra y que depende de las condiciones de servicio y es independiente del tiempo de funcionamiento y del trabajador. Se mide en condiciones de laboratorio y requiere que el procedimiento o la manera en que la máquina o herramienta son utilizadas durante la medición estén definidas perfectamente. Generalmente, dicho procedimiento será característico de la utilización de la herramienta o máquina en la práctica.

Estas mediciones deben ser precisas y reproducibles y el valor obtenido permite comparar las vibraciones generadas por distintas herramientas o máquinas, o simplemente por modelos diferentes de la misma herramienta.

Los resultados de las mediciones deben incluirse en las instrucciones de uso y documentación técnica de ciertas máquinas si superan unos valores determinados en la legislación mientras que en el caso de que sean inferiores bastará con indicar simplemente este dato.

La **exposición a vibraciones** es el impacto de las vibraciones sobre los trabajadores. Los valores de vibraciones medidos en el puesto de trabajo dependen de las condiciones reales de uso de la máquina en dicho puesto, del tiempo de exposición y del trabajador.

La combinación de las aceleraciones medidas y el tiempo de exposición en el que la herramienta o máquina se utiliza a lo largo de una jornada de trabajo típica permite determinar la dosis de vibración. Estas mediciones se denominan mediciones in situ.

Los valores de vibración medidos deben obtenerse en condiciones representativas de una situación de trabajo real para poder evaluar el riesgo derivado de la exposición a vibraciones.

Las mediciones in situ exigen medidas vibratorias precisas asociadas a un tiempo de exposición apropiado y el resultado depende de forma importante del proceso particular o de la forma en que se usa la herramienta o máquina.

En resumen, dada la naturaleza de cada una de las mediciones, es obvio que las mediciones realizadas en laboratorio no pueden reemplazar a las mediciones in situ para evaluar la exposición a vibraciones en el puesto de trabajo.

## CAPÍTULO 2: MODELO MECÁNICO DEL CUERPO HUMANO

El cuerpo humano es un sistema extraordinariamente complejo. Para comprender y predecir los efectos biodinámicos de la vibración sobre el cuerpo humano, se diseñan en laboratorio los modelos matemáticos, que permiten simular la respuesta del cuerpo a las vibraciones.

En la figura 2.1 se indica uno de tales modelos. Cada parte del cuerpo se representa por una masa, un muelle y un amortiguador.

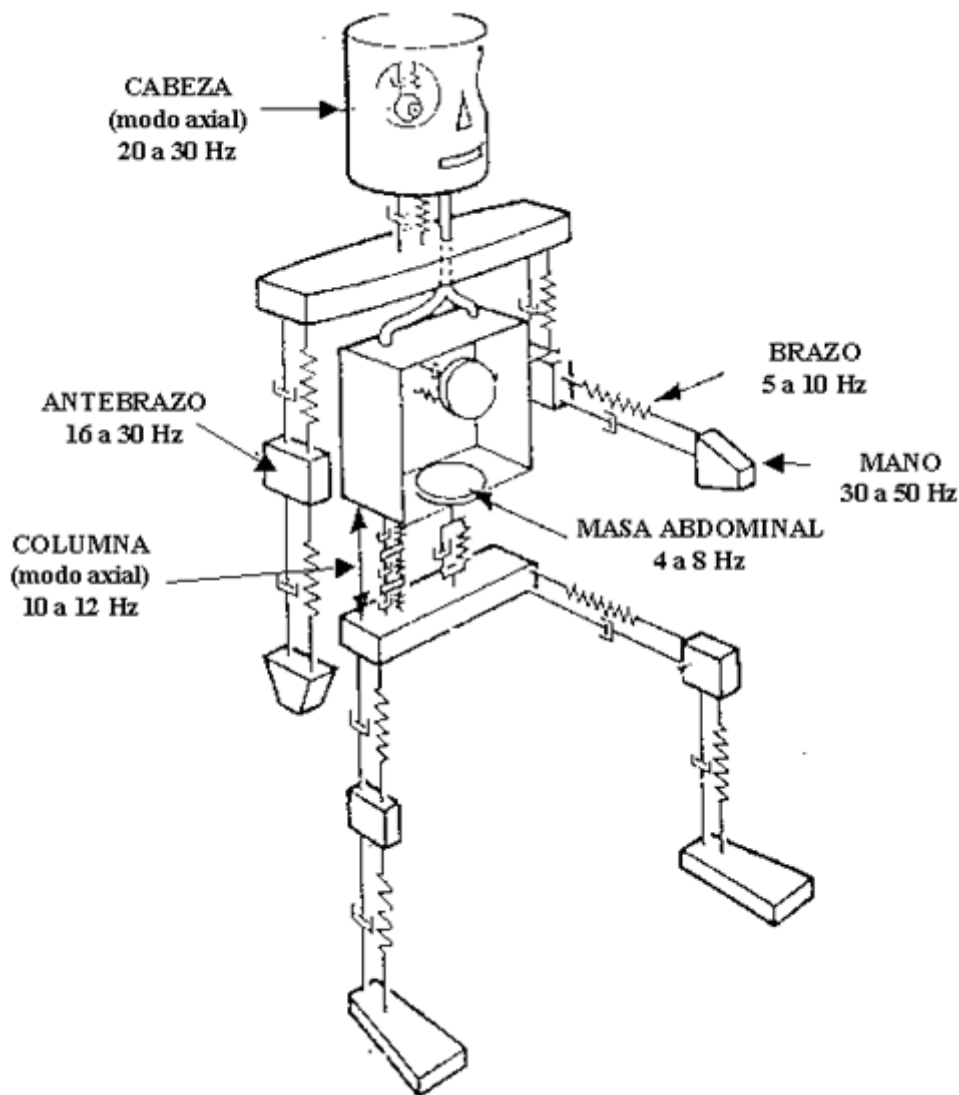


Figura 2.1. - Modelo mecánico del cuerpo humano

En la investigación realizada en laboratorio se observa que cuando el cuerpo humano está en contacto con un dispositivo mecánico que genera vibraciones, la transmisión de energía mecánica al organismo desplaza una cierta cantidad de masa muscular, huesos, etc. sobre su posición estacionaria de referencia. Esta transferencia de energía mecánica origina una serie de efectos negativos sobre el cuerpo humano.

Además, como cada parte del cuerpo humano es una estructura física, cuando recibe energía mecánica vibra a una frecuencia natural de vibración. Cuando la vibración inducida se da en ciertas frecuencias que son características de la estructura receptora, se produce el fenómeno de **resonancia**. Desde el punto de vista energético, lo que sucede en resonancia es que la fuerza excitadora cada vez introduce más energía y se amplifica la intensidad de la vibración, por lo que una pequeña cantidad de energía provoca una gran respuesta de la estructura receptora.

Las cifras en Hz señaladas en la figura 2.1 indica las bandas de frecuencias en las que se produce resonancia.

Tanto la investigación de laboratorio como los estudios epidemiológicos realizados se centran en los efectos de las vibraciones sobre la salud de los trabajadores y no cubren los efectos potenciales sobre el rendimiento o percepción de las vibraciones.

Las conclusiones principales obtenidas de la investigación de laboratorio, entre otras, son las siguientes:

- cada parte del cuerpo tiene su mayor sensibilidad en diferentes rangos de frecuencia (véase la figura 2.1), y
- el cuerpo humano no es simétrico por lo que su respuesta a las vibraciones también depende de la dirección en la cual se aplica.
- los efectos de las vibraciones dependen, fundamentalmente, de las características físicas de la vibración y del modo en que se transmiten.

### CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES

En los ambientes industriales, el trabajador está expuesto simultáneamente a vibraciones aleatorias, es decir, a vibraciones que se presentan en varias direcciones y que varían ampliamente con el tiempo, tanto en frecuencia como en aceleración.

La caracterización de las vibraciones transmitidas a los trabajadores expuestos tanto a VMB como a VCC se basa, principalmente, en una serie de aspectos que han sido vistos en la Unidad Didáctica 3.8 de la parte común, pero su referencia en esta Unidad Didáctica facilita el desarrollo del contenido de la misma. Estos aspectos son los siguientes:

- espectro de frecuencias de la vibración
- dirección de la vibración
- aceleración de la vibración
- tiempo de exposición

Hay otros aspectos que también intervienen como la postura del cuerpo y del brazo, método de trabajo, etc. pero se necesitan más estudios para conocer con mayor detalle la importancia de cada uno de ellos.

#### 1 Espectro de frecuencias de la vibración

Debe centrarse la atención en las componentes en frecuencia de la señal de vibración que coincide con aquellas frecuencias características de la estructura receptora y son las que ocasionan los efectos más severos sobre la salud.

¿Cuáles son los rangos de frecuencia de interés?

- Para **exposición a VMB**, el rango de frecuencias, expresado en bandas de octava, que comprende las frecuencias centrales **entre 8 Hz y 1000 Hz**.
- Para **exposición a VCC**, el rango de frecuencias, expresado en bandas de octava, que comprende las frecuencias centrales **entre 1 Hz y 80 Hz**.

Por ejemplo, si se estudia la exposición de un trabajador a VMB, solo debe interesar la cantidad de energía vibratoria transmitida dentro del rango de frecuencias comprendido entre 8 y 1000 Hz (cuando se expresa en bandas de tercios de octava, entre 6,3 Hz y 1250 Hz). Esto quiere decir que por encima del límite superior o por debajo del límite inferior de este rango de frecuencias, actualmente, no se considera que puedan presentarse efectos perjudiciales sobre la salud del trabajador. En la figura 3.1 se presenta el espectro de frecuencias de un trabajador expuesto a VMB.

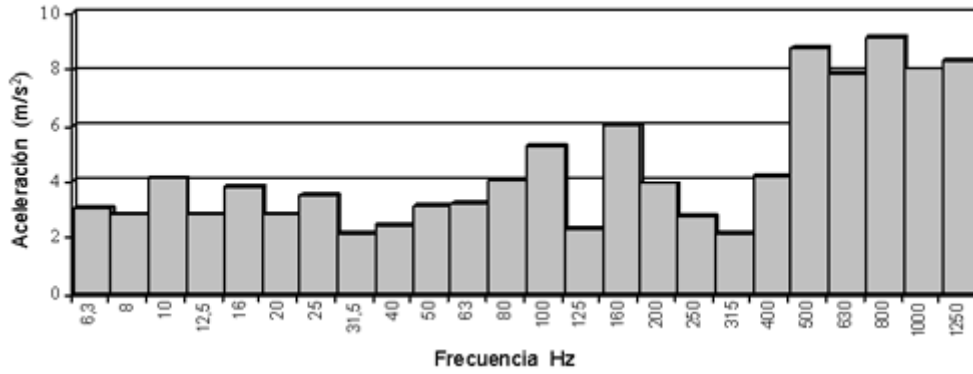


Figura 3.1. - Espectro de frecuencias de un trabajador expuesto a VMB

## 2 Dirección de la vibración

La vibración es el movimiento de un objeto de su posición de referencia a otra posición en las tres direcciones (lineales (y/o rotacionales). Para simplificar este movimiento vibratorio sólo se va a considerar el movimiento lineal en cada una de las tres direcciones **x**, **y** y **z** de un sistema de coordenadas ortogonal.

Entonces, cuando se van a estimar los efectos sobre el cuerpo humano de las vibraciones recibidas por el trabajador, las mediciones deben hacerse en las direcciones adecuadas. En las figuras 3.2 y 3.3 se representan los sistemas de coordenadas ortogonales definidos para la medición de VMB y VCC.

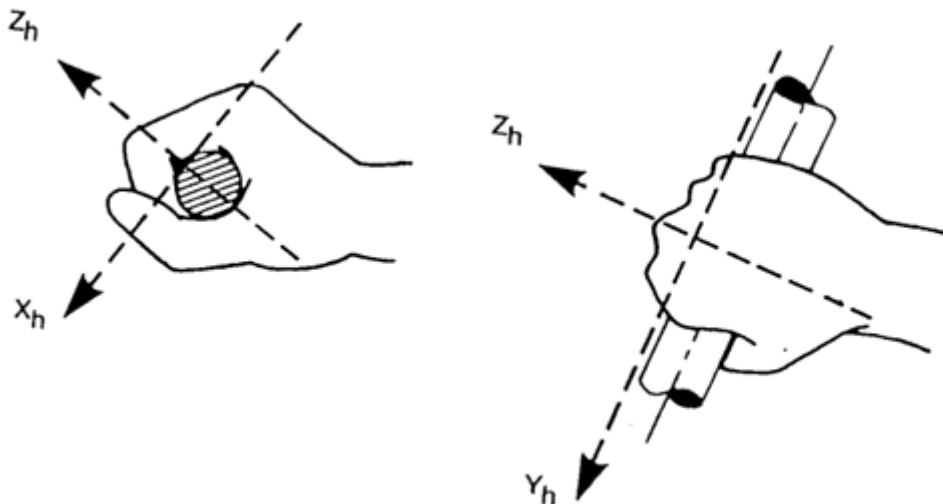


Figura 3.2 - Ejes de referencia para la medición de vibraciones mano-brazo



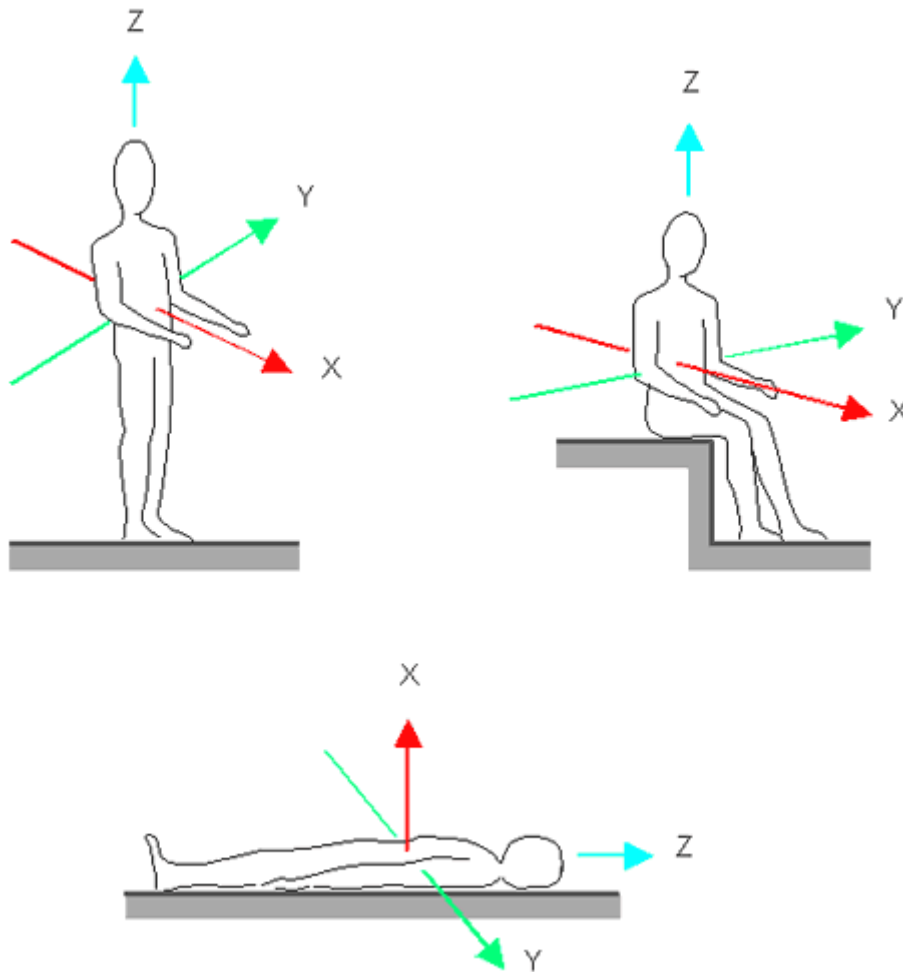


Figura 3.3 - Ejes de referencia para la medición de vibraciones de cuerpo completo

### 3 Aceleración de la vibración

La cantidad de energía de la señal de vibración se expresa como **aceleración continua equivalente** para un tiempo  $T$ ,  $A_{eq,T}$  que refleja con un solo valor aquella aceleración constante que tiene la misma energía que la señal de vibración variable en un período de tiempo.

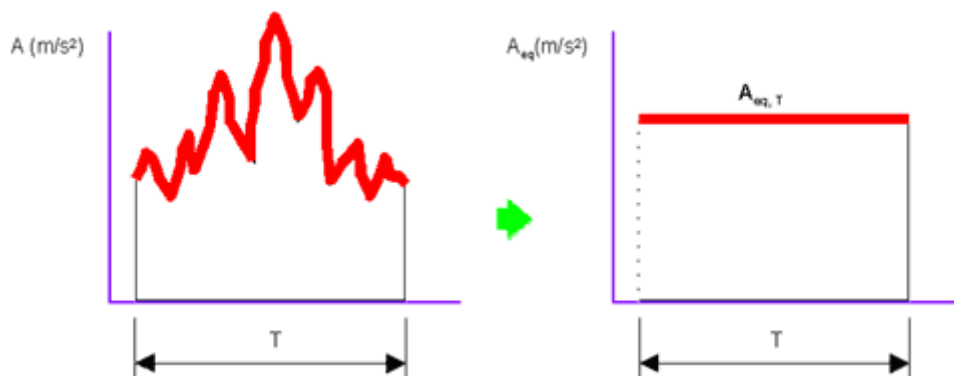


Figura 3.4 - Aceleración continua equivalente en un tiempo determinado

#### 4 Tiempo de exposición

Debe estimarse el tiempo de exposición diario a cada fuente de vibración que será el tiempo de exposición real en la jornada de trabajo. Cuando la vibración ha sido promediada durante un ciclo completo de trabajo, el tiempo de exposición diario es simplemente la duración del ciclo de trabajo multiplicado por el número de ciclos diarios.

Para algunos tipos de trabajo, el tiempo de exposición varía de un día a otro, por ejemplo en la construcción o en la industria de fabricación de barcos y su reparación. Ahora bien, aunque en estos casos resulta muy difícil determinar el tiempo de exposición diario pero habrá que dedicar el esfuerzo necesario para estimarlo. Debemos tener presente que la correcta evaluación de la exposición a vibraciones depende de la calidad de la medición y de la estimación del tiempo de exposición.

#### CAPÍTULO 4: PONDERACIÓN EN FRECUENCIA

La percepción de la vibración es un fenómeno complejo, que depende de la frecuencia y de la magnitud de la aceleración, no existiendo linealidad entre ambas variables. También, hay que considerar la dirección de entrada de la vibración ya que el cuerpo humano no es simétrico.

Entonces, cuando se van a valorar los riesgos derivados de la exposición a la vibración de los trabajadores, hay que conseguir que la medida de la aceleración sea, de algún modo, reflejo de la forma en la que el trabajador percibe la vibración. Para ello, es preciso ponderar en frecuencia la vibración recibida por el trabajador.

La ponderación en frecuencia combina la dirección de entrada de la vibración y la diferente sensibilidad que tiene el cuerpo humano a las distintas componentes en frecuencia incluidas en los rangos de frecuencias perjudiciales. Esto quiere decir que cuando se mide la vibración en una dirección particular, se mide el nivel de vibración en todas las frecuencias que están en el rango de estudio y aquellas frecuencias a las cuales el cuerpo humano es más sensible tienen un mayor peso en la ponderación que en las frecuencias a las cuales el cuerpo es menos sensible. Esta ponderación da una buena correlación entre el nivel de vibración medido y la sensación subjetiva o impacto producido por la vibración.

Para ponderar la señal de vibración, el equipo de medida lleva integrado una serie de filtros de ponderación normalizados que reflejan cuanto vibración llega realmente al trabajador. Estos filtros de ponderación tienen como función atenuar los niveles de aceleración en función de la frecuencia y son diferentes para el caso de VMB y VCC.

Los valores numéricos de los filtros de ponderación en tercios de octava y de octava están definidos en las tablas del anexo A. De este modo, se observa en la tabla A.1 del anexo A que, para VMB, el sistema mano-brazo presenta la mayor sensibilidad dentro del rango de frecuencias comprendido entre 8 y 16 Hz, igual para los tres ejes (x, y, z), mientras que en la tabla A.3 de dicho anexo que, para VCC, en la dirección del eje z, el cuerpo humano presenta la mayor sensibilidad dentro del rango de frecuencias comprendido entre 4 y 8 Hz y, para las direcciones de los ejes x e y, entre 1 y 2 Hz.

Una vez ponderada la señal de vibración, el resultado de las mediciones se expresa como **aceleración ponderada en frecuencia para un determinado tiempo, T,  $(A_w)_{eq,T}$** , en  $m/s^2$ .

En la figura 4.1 se muestra el espectro de frecuencias de la figura 3.1 y superpuesto el mismo espectro de frecuencias una vez que se ha ponderado en frecuencia.

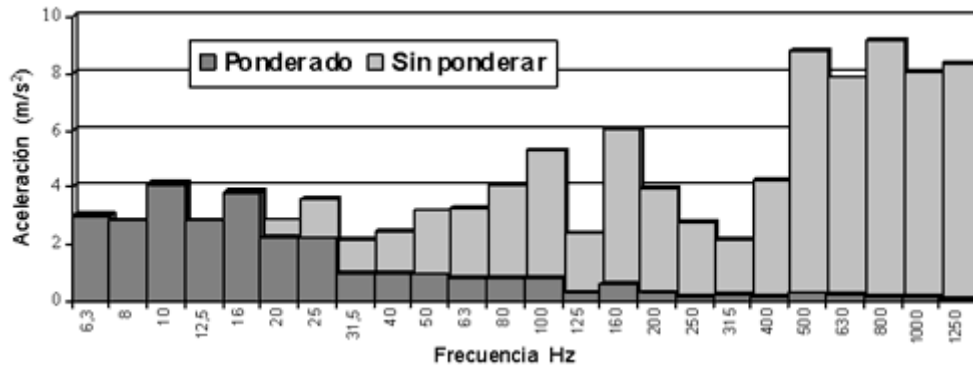


Figura 4.1 - Espectros de frecuencias ponderado y sin ponderar de un trabajador expuesto a VMB

## CAPÍTULO 5: INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS VIBRACIONES

La medición de las vibraciones permite determinar las vibraciones recibidas por los trabajadores mediante el uso de herramientas manuales vibrantes (guiadas y sostenidas), por la conducción de vehículos industriales, etc. que pueden ocasionar daños para la salud.

La Norma UNE-ENV 28041:1994 (ISO 8041:1990) "Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida" fija los requisitos relativos de la instrumentación adecuada para evaluar las vibraciones a las cuales están expuestos los trabajadores en sus lugares de trabajo. Los sistemas de medición de vibraciones usan, generalmente, los acelerómetros para detectar el movimiento de la superficie vibrante. El acelerómetro es un transductor electromecánico adherido a la superficie vibrante que produce en sus terminales de salida un voltaje (o carga) proporcional a la aceleración a que está sometido.

A partir del acelerómetro la señal de vibración puede procesarse de diferentes formas para alcanzar una medida de la aceleración ponderada en frecuencia.

Para la mayoría de las situaciones, es suficiente realizar la medición usando un equipo integrador de vibraciones que se denomina vibrómetro (véase figura 5.1). Está diseñado y construido para dar una respuesta ante una vibración de una forma aproximada a como lo haría el cuerpo humano, dando medidas objetivas y reproducibles. En el vibrómetro se introducen los filtros de ponderación en frecuencia específicos para VMB y VCC e integra la señal de vibración en el tiempo.

En otras ocasiones, se utilizan los analizadores en tiempo real que son sistemas de medida más que permiten almacenar la información en el tiempo y obtener el análisis en frecuencia. El análisis en frecuencia se recomienda para comprobar la validez de las mediciones y para suministrar información para la mejora de los diseños de las máquinas o herramientas.

Los sistemas de análisis en tiempo real son más complejos y caros que los equipos integradores de medida.



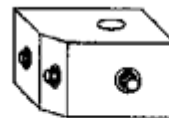
Figura 5.1 - Disposición del equipo medidor de vibraciones

### 1. Acelerómetro

Existe en el mercado una amplia gama de acelerómetros, siendo fundamental en su elección considerar las siguientes características: sensibilidad, masa, rango dinámico, respuesta en frecuencia, etc.

En general, los acelerómetros piezoeléctricos presentan una serie de propiedades que los hacen ser los transductores más adecuados para la medida de vibraciones.

Para la medida de VMB y VCC se utilizan diferentes acelerómetros porque se necesitan diferentes requisitos técnicos. En la figura 5.2 se pueden observar dos tipos de acelerómetros que presentan características técnicas que les hacen ser más adecuados para un determinado campo de aplicación. Así, el tipo de acelerómetro de la figura 5.2a) sería apropiado para la medida de las VMB y el acelerómetro triaxial de la figura 5.2b) para la medida de las VCC.



a) para vibraciones mano-brazo

b) para vibraciones de cuerpo completo

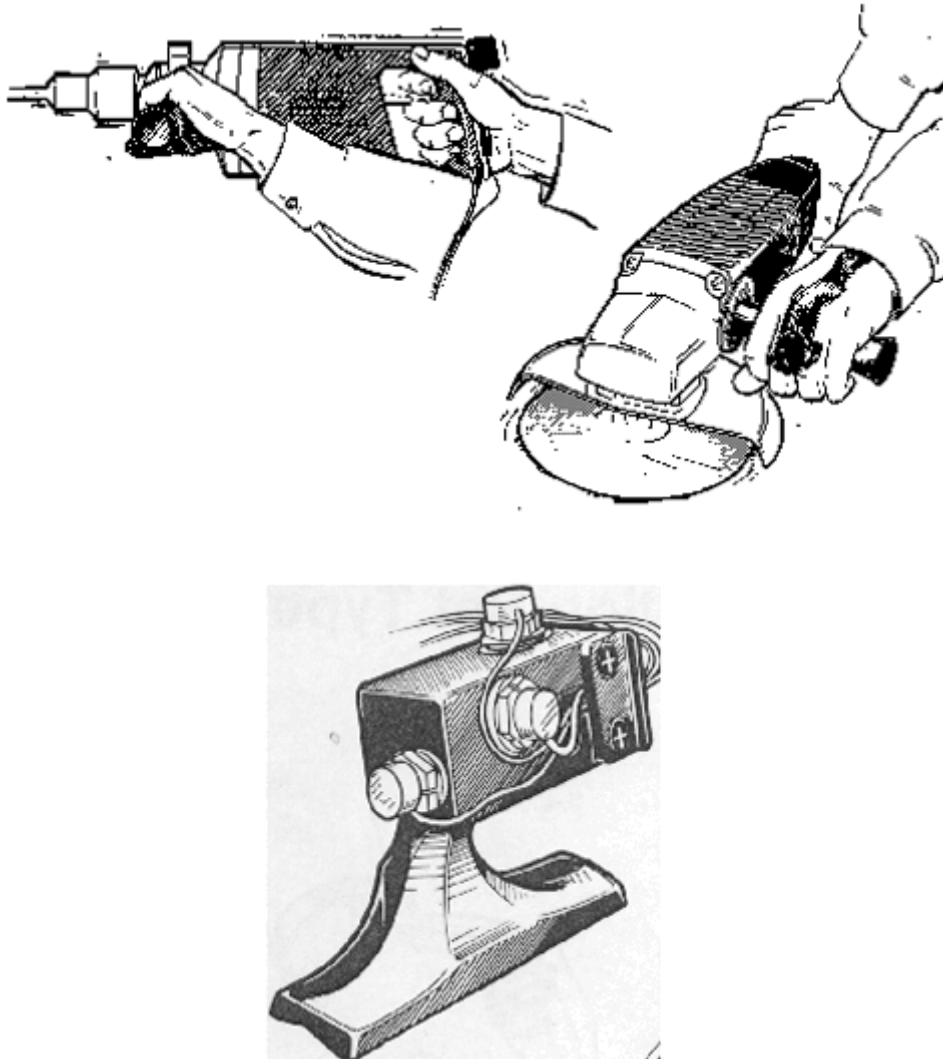
Figura 5.2 - Ejemplos de acelerómetros de diferente aplicación

Para la medida de vibraciones el acelerómetro debería colocarse entre la superficie vibrante (empuñadura de la herramienta, asiento, respaldo, etc.) y la parte del cuerpo en contacto con dicha superficie porque es donde se alcanza el valor máximo de vibraciones.

### 2 Medición de vibraciones mano-brazo

Como la vibración transmitida a la mano debe medirse en los tres ejes ortogonales referidos en la figura 3.2 y el tipo de acelerómetro presentado en la figura 5.2a es sensible a la aceleración a lo largo de un solo eje, es necesario disponer de dos acelerómetros más para poder medir simultáneamente en los tres ejes ortogonales o bien hacer medidas en cada uno de los ejes de forma consecutiva.

Existen dispositivos para montajes de los acelerómetros que facilitan la medida de la vibración en los tres ejes ortogonales de forma simultánea y permiten situar los acelerómetros tan juntos como sea posible. (Figura 5.3).



**Figura 5.3 - Dispositivo para montaje de los acelerómetros**

### **3 Medición de vibraciones de cuerpo completo**

El acelerómetro de la figura 5.2b sirve para medidas triaxiales con lo cual su diseño facilita la medida de la vibración de acuerdo con el sistema de coordenadas referido en la figura 3.3.

La vibración que se transmite al cuerpo debe medirse entre el cuerpo y la superficie que vibra, para facilitar esta medida el acelerómetro triaxial se dispone en un soporte adecuado que es un disco semirrígido. En la figura 5.4 se muestra el diseño de un disco semirrígido para el montaje de este acelerómetro, recogido en la Norma UNE EN 30326-1:1994.

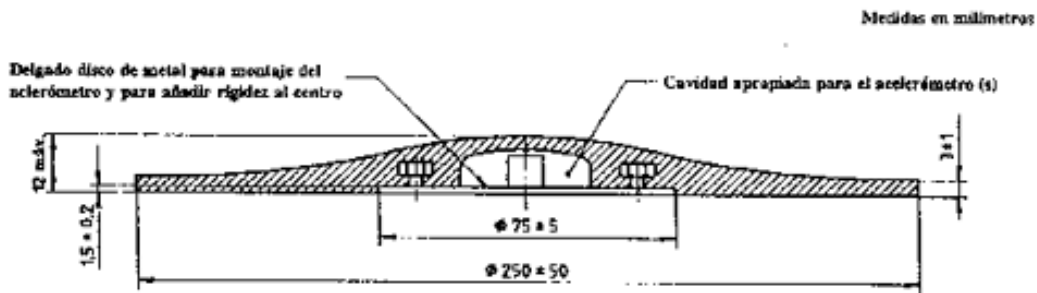


Figura 5.4 - Disco semirrígido

**CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES.**

La evaluación de los riesgos derivados de la exposición a vibraciones se basa en la exposición diaria y se expresa mediante la **aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de referencia de 8 horas,  $(A_w)_{eq(8)}$  o  $A(8)$ .**

Para calcular la  $(A_w)_{eq(8)}$  o  $A(8)$  se necesita medir la aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de tiempo T,  $(A_w)_{eq,T}$  y estimar el tiempo de exposición, T, (referido a 8 horas).

El valor de  $A(8)$  permite valorar la exposición diaria de un trabajador y, también, facilita las comparaciones entre exposiciones diarias de diferentes tiempos de exposición.

En la figura 8.1 se destaca la parte del esquema general de esta Unidad Didáctica que interesa para el desarrollo de este apartado.

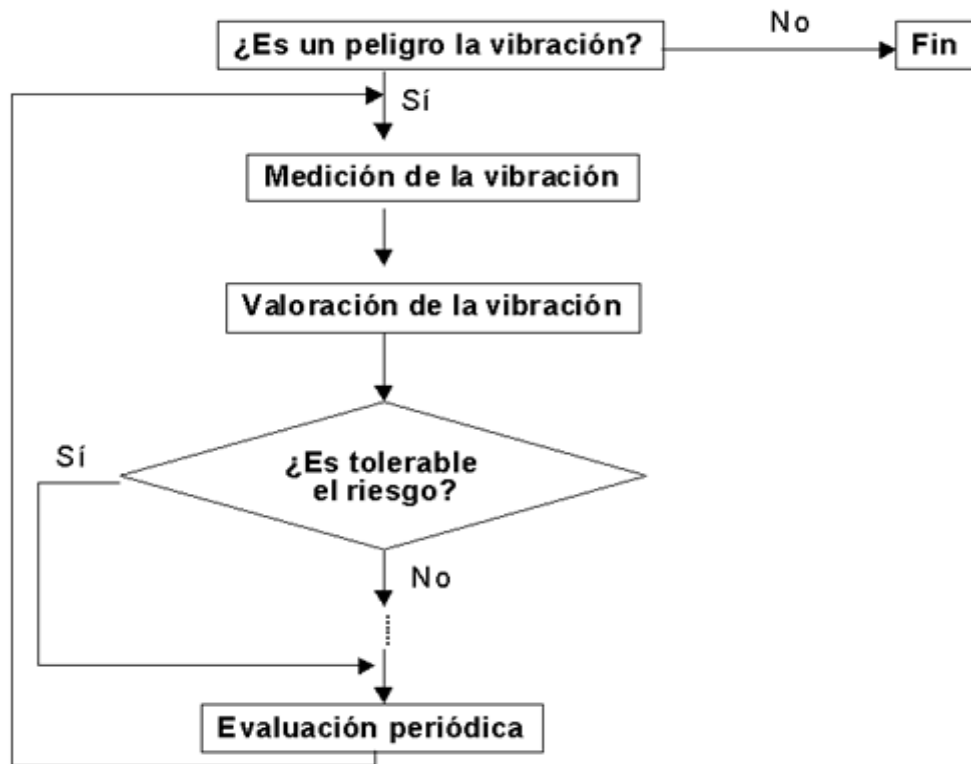


Figura 8.1

La evaluación de los riesgos comprende una identificación del peligro por vibraciones, una medición de la vibración para estimar el riesgo y, por último, una valoración de la vibración.

Con la medida de la vibración se sabe de qué orden de magnitud es el riesgo y al comparar este valor medido con el criterio de valoración elegido se puede determinar si el riesgo está controlado o por el contrario es intolerable y es necesario adoptar medidas correctoras para eliminarlo o reducirlo al mínimo tolerable

Para asegurar una prevención eficaz del riesgo por vibraciones se necesita hacer, además, un seguimiento o comprobación de que las medidas adoptadas han surtido efecto y realizar una vigilancia periódica de acuerdo a la frecuencia establecida que dependerá del nivel de riesgo y de la garantía de buen funcionamiento de las medidas de control implantadas.

A continuación, se estudian en detalle cada uno de las etapas de este procedimiento de actuación y en los apartados 7 y 8 se proporcionan las directrices específicas recogidas en las normas técnicas para poder realizar la evaluación de los riesgos derivados de la exposición a VMB y VCC, respectivamente.

### 1 Determinar si las vibraciones son un peligro

El R.D. 1435/1992 de Máquinas (para mayor información, véase apartado 9.1.1) obliga al fabricante a declarar el valor de aceleración eficaz ponderada en frecuencia emitido por:

- las máquinas portátiles y máquinas guiadas a mano cuando exceda de 2,5 m/s<sup>2</sup>. En el caso de que no exceda dicho valor, se deberá mencionar este particular.
- las máquinas móviles cuando exceda de 0,5 m/s<sup>2</sup>. Como en el caso anterior, si no se supera este valor, se deberá mencionar.

Entonces, en primer lugar, es necesario hacer una lista de las máquinas y de las herramientas vibrantes que utilizan los trabajadores para identificar las fuentes de exposición a las vibraciones. En todos estos casos se consideran que los trabajadores están expuestos a una situación peligrosa y, potencialmente, al riesgo.

En un principio, este procedimiento de actuación sugiere que, cuando sea posible, se puede "estimar" la exposición a vibraciones a partir del valor de emisión de vibraciones declarado por el fabricante de la máquina. Esto debe considerarse solo una primera aproximación porque no debe olvidarse que los datos proporcionados por los fabricantes obtenidos en condiciones de laboratorio no pueden reemplazar a las mediciones in situ.

Esta **primera aproximación** de la exposición diaria se basa en el cálculo del valor de "A(8)" a partir del valor de emisión de vibraciones declarado por el fabricante y del tiempo de exposición que se utilizaría la máquina mediante la siguiente expresión:

$$A(8) = A_w \cdot \sqrt{\frac{T}{8}} \quad [6.1]$$

donde

$A_w$  es la aceleración eficaz ponderada en m/s<sup>2</sup> proporcionada por el fabricante  
T es el tiempo de exposición requerido en horas.

Con el valor obtenido de "A(8)" se puede determinar en "qué nivel" se podría encontrar la exposición y decidir si es preciso adoptar medidas en el puesto de trabajo. Para ello el valor obtenido de "A(8)" se compara con el criterio de valoración elegido.

En nuestro caso, el criterio de valoración elegido es la propuesta modificada de Directiva del Consejo sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos elaborada por la Comisión de la Unión Europea y publicada en el D.O.C.E. N° C230/3 del 19.8.94 . En ella se incluyen, tanto la exposición a vibraciones mano-brazo, como a vibraciones de cuerpo completo.

En esta propuesta modificada de Directiva del Consejo se proponen tres valores: nivel umbral, nivel de acción y valor límite de exposición (véanse tabla 6.1 y apartado 6.3).

Excepto en el caso de que la estimación de la exposición se encuentre de forma manifiesta por debajo del nivel umbral (por ejemplo, para exposición a VCC, la  $A(8) < 0,25 \text{ m/s}^2$ ), deberá hacerse una medida de la vibración.

## 2 Medición de las vibraciones

El trabajador a lo largo de su jornada de trabajo puede realizar una serie de tareas que le exponen a vibraciones. Esta exposición a vibraciones puede variar de forma importante de una tarea a otra por el uso de diferentes máquinas o por los diferentes modos de funcionamiento de una máquina. Por tanto, hay que identificar aquellas tareas que, probablemente, producen las principales exposiciones a vibraciones del trabajador.

Para cada una de estas tareas hay que decidir cuál es el procedimiento de medición más adecuado para que las medidas sean representativas de las condiciones de exposición del trabajador y conforme a los criterios recogidos en las normas técnicas correspondientes, así como estimar los tiempos de exposición de cada operación estudiada.

Una vez realizadas las mediciones y estimados los tiempos de exposición parciales, se calcula el valor de aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia,  $(A_w)_{eq,T}$  correspondiente al tiempo total de exposición T en la jornada de trabajo. A continuación, se determina el valor de aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de referencia de 8 horas.

## 3 Valoración de vibraciones

En la propuesta modificada de Directiva del Consejo se proponen tres valores: nivel umbral, nivel de acción y valor límite de exposición para un período de referencia normalizado de 8 horas. ¿Qué representa cada uno de ellos?

### Nivel umbral

*Valor de la exposición por debajo del cual la exposición continua o repetida carece de efectos negativos sobre la salud y la seguridad de los trabajadores.*

### Nivel de acción

*Valor de la exposición a partir del cual se debe dar información a los trabajadores expuestos a este nivel; impartir formación sobre la aplicación de medidas de control; proporcionar información sobre la vibración producida por los equipos de trabajo en un período de referencia de 8 horas; y establecer el programa de medidas técnicas y/o de organización del trabajo destinadas a reducir la exposición.*

### Valor límite

Valor de la exposición a partir del cual la persona no protegida corre riesgos inaceptables. Sobrepasar este valor está prohibido.

En la tabla 6.1 se presentan los valores propuestos para exposición a VMB y VCC por la propuesta modificada de Directiva de agentes físicos.

**TABLA 6.1: VALORES DADOS POR LA PROPUESTA MODIFICADA DE DIRECTIVA DEL CONSEJO PARA VMB Y VCC**

	Nivel umbral A(8)	Nivel de acción A(8)	Valor límite A(8)
VMB	1 m/s <sup>2</sup>	2,5 m/s <sup>2</sup>	5 m/s <sup>2</sup>
VCC	0,25 m/s <sup>2</sup>	0,5 m/s <sup>2</sup>	0,75 m/s <sup>2</sup>



Al comparar el resultado obtenido A(8) con los valores propuestos por este criterio de valoración, se está en situación de calificar como **riesgo tolerable**: aquella exposición que se encuentra manifiestamente por debajo del nivel umbral y de **riesgo intolerable**, el resto de las exposiciones.

En situaciones donde el riesgo se califica como intolerable, hay que adoptar medidas para controlar el riesgo (véase apartado 9).

Una vez que el riesgo es calificado de tolerable o intolerable, la evaluación de los riesgos por exposición a vibraciones ha terminado.

Ahora bien, es importante volver a destacar, sin ánimo de ser reiterativo, que la evaluación de riesgos es un proceso dinámico que debe revisarse periódicamente y actualizarse ante cualquier cambio significativo en el proceso o actividad de trabajo y que habrá que realizar evaluaciones periódicas tanto cuando el riesgo es tolerable para tener la seguridad que esta situación se sigue manteniendo como cuando el riesgo es intolerable con el fin de comprobar que las medidas de control siguen siendo adecuadas.

## CAPÍTULO 7: NORMA UNE ENV 25349: ESTIMACIÓN DEL RIESGO DERIVADO DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES MANO-BRAZO.

(Antes de continuar con este apartado, es preciso leer y comprender el apartado 6).

Para la medida de las vibraciones transmitidas a las manos del trabajador se recomienda seguir los criterios técnicos recogidos en la Norma **UNE\_ENV 25349:1992** "Vibraciones mecánicas. Directrices para la medida y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano" (ISO 5349:1986).

### 1 Vibración multiaxial

Las mediciones deben hacerse preferentemente en los tres ejes de referencia ( $x_h$ ,  $y_h$ ,  $z_h$ ) de un sistema de coordenadas ortogonal (véase figura 3.2). Entonces, para cada uno de los tres ejes de referencia se obtiene su valor de aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia ( $A_{x,h,w}$ ,  $A_{y,h,w}$ ,  $A_{z,h,w}$ ) y a partir de ellos se determina el valor global de aceleración equivalente mediante la siguiente expresión:

$$(A_{h,w})_{eq(T)} = \sqrt{(A_{x,h,w})^2 + (A_{y,h,w})^2 + (A_{z,h,w})^2} \quad [7.1]$$

Si hay un eje dominante, se puede hacer la medición sólo en este eje. En este caso el valor de aceleración global equivalente será el valor correspondiente a este eje. Se considera que la aceleración eficaz ponderada en frecuencia es dominante en un eje si la aceleración ponderada eficaz en los otros ejes no excede el 50% del valor del eje dominante.

Ejemplo 7.1:

En una explotación forestal, un trabajador utiliza una motosierra para talar árboles durante un tiempo determinado. A partir de la medición, se han obtenido los siguientes valores de aceleración ponderada en frecuencia para cada eje:

$$\begin{aligned} (A_{x,h,w})_{(T)} &= 2,5 \text{ m/s}^2 \\ (A_{y,h,w})_{(T)} &= 2,9 \text{ m/s}^2 \\ (A_{z,h,w})_{(T)} &= 3,2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Calcular el  $(A_{h,w})_{eq(T)}$ .

$$(A_{h,w})_{eq(T)} = \sqrt{(2,5)^2 + (2,9)^2 + (3,2)^2} = 5 \text{ m/s}^2$$

**2 Cálculo de la exposición diaria**

Si un trabajador está expuesto a un determinado valor de aceleración,  $(A_{h,w})_{eq(T)}$ , durante un tiempo de exposición estimado, T, se calcula la exposición diaria a partir del valor de  $(A_{h,w})_{eq(8)}$  o A(8) mediante la siguiente expresión:.

$$(A_{h,w})_{eq(8)} = (A_{h,w})_{eq(T)} \sqrt{\frac{T}{8}} \quad [7.2]$$

Ejemplo 7.2:

Si el trabajador del ejemplo 7.1 utiliza la motosierra de forma continua durante 4 horas de su jornada de trabajo, ¿cuál es el valor de  $(A_{h,w})_{eq(8)}$ ?

$$(A_{h,w})_{eq(8)} = 5 \sqrt{\frac{4}{8}} = 3,53 \text{ m/s}^2$$

En el caso de que el trabajador esté expuesto a diferentes niveles de vibraciones por el uso de diferentes máquinas o por diferentes modos de funcionamiento de una máquina, se dice que la exposición diaria comprende varias exposiciones de diferentes magnitudes. Para cada una de las exposiciones se obtiene un  $(A_{h,w})_{eq(T_i)}$  y se estima un tiempo de exposición. El valor diario de aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$(A_{h,w})_{eq(Total)} = \sqrt{\frac{(A_{h,w})_{eq(T_1)}^2 \cdot T_1 + \dots + (A_{h,w})_{eq(T_n)}^2 \cdot T_n}{T_1 + \dots + T_n}} \quad [7.3]$$

Con el valor obtenido se puede determinar la  $(A_{h,w})_{eq(8)}$  mediante la expresión [7.2].

También, se puede calcular la  $(A_{h,w})_{eq(8)}$  a partir de los valores diarios de la exposición parcial para cada una de las fuentes de vibración. Es decir, para cada fuente de vibración se obtiene un valor de A<sub>i</sub>(8) mediante la expresión:

$$(A_i)_{eq(8)} = A_{h,w} \sqrt{\frac{T_i}{8}} \quad [7.4]$$

Y luego se calcula la exposición diaria a vibraciones,  $(A_{h,w})_{eq(8)}$  a partir de la expresión:

$$(A_{h,w})_{eq(8)} = \sqrt{(A_1)_{eq(8)}^2 + \dots + (A_n)_{eq(8)}^2} \quad [7.5]$$

Ejemplo 7.3:

Si en la misma explotación forestal del ejemplo 7.1, otro trabajador tala árboles con la motosierra durante 3 horas y el valor de  $(A_{h,w})_{eq(3)}$  medido es de 4,8 m/s<sup>2</sup>. A continuación, utiliza la misma máquina durante 2 horas para quitar las ramas de los árboles talados y el valor de  $(A_{h,w})_{eq(2)}$  medido es de 3 m/s<sup>2</sup>. ¿Cuál es el valor de  $(A_{h,w})_{eq(8)}$

Si se calcula de forma directa:

$$(A_{h,w})_{eq(T)} = \sqrt{\frac{4,8^2 \cdot 3 + 3^2 \cdot 2}{3 + 2}} = 4,2 \text{ m/s}^2$$

$$(A_{h,w})_{eq(8)} = 4,2 \sqrt{\frac{5}{8}} = 3,3 \text{ m/s}^2$$

Si se calcula de forma parcial:

$$(A_{h,w})_{eq(Tarea1)} = 4,8 \sqrt{\frac{3}{8}} = 3 \text{ m/s}^2$$

$$(A_{h,w})_{eq(Tarea2)} = 3 \sqrt{\frac{2}{8}} = 1,5 \text{ m/s}^2$$

$$(A_{h,w})_{eq(8)} = \sqrt{3^2 + 1,5^2} = 3,3 \text{ m/s}^2$$

## 2.1 Conversión de aceleraciones medidas en bandas de tercios de octava y de octava a aceleración ponderada en frecuencia

Generalmente, el análisis en frecuencia se hace en bandas de tercios de octava y de octava y los resultados de este análisis pueden usarse para estimar la correspondiente aceleración eficaz ponderada en frecuencia.

En primer lugar, para calcular la aceleración eficaz ponderada en frecuencia hay que multiplicar el valor de aceleración de cada banda de frecuencia por el factor de ponderación y, luego, sumar los datos de cada banda de frecuencia mediante la expresión siguiente:

$$A_{h,w} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (K_j \cdot A_{h,j})^2} \quad [7.6]$$

donde:

$K_j$  es el factor de ponderación de frecuencia para la  $j$ -ésima banda de tercios de octava y de octava. En las tablas A.1 y A.2 del anexo A se recogen los

factores de ponderación para las bandas de tercios de octava y de octava, respectivamente.

$A_{h,j}$  es la aceleración medida en la j-ésima banda de tercios de octava y de octava.

### 3 Valoración del riesgo de VMB

Para realizar la **valoración del riesgo** por exposición a VMB, se compara el valor de calculado de  $A(8)$  con los valores dados en la **propuesta modificada de Directiva de agentes físicos** (véase tabla 6.1).

Se considera **riesgo tolerable**: aquella exposición que se encuentra manifiestamente por debajo del nivel umbral, es decir,  $A(8) < 1 \text{ m/s}^2$  y de riesgo intolerable, el resto de las exposiciones.

En situaciones donde el riesgo se califica como intolerable, hay que adoptar medidas para controlar el riesgo (véase apartado 9).

## CAPÍTULO 8: NORMA ISO 2631-1: ESTIMACIÓN DEL RIESGO DERIVADO DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO

(Antes de continuar con este apartado, es preciso leer y comprender el apartado 6).

Para la medida y evaluación de las vibraciones de cuerpo completo se recomienda seguir los criterios técnicos recogidos en la Norma Internacional **ISO 2631-1:1997** "Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo completo. Parte 1: Requisitos generales".

Se aplica a personas sentadas puesto que se desconocen los efectos de las vibraciones en la salud de personas de pie, reclinadas y en posición yacente.

### 1 Vibración multiaxial

Para cada uno de los ejes (x, y, z) del sistema de coordenadas ortogonal definido en la figura 3.3), debe medirse la aceleración eficaz ponderada en frecuencia ( $A_{x,w}$ ,  $A_{y,w}$ ,  $A_{z,w}$ ). Cuando los valores de las aceleraciones ponderadas en frecuencia medidas en dos o más ejes tienen valores comparables, es necesario calcular el valor total de la aceleración, mediante la expresión:

$$(A_w)_{eq(T)} = \sqrt{(1,4 \cdot A_{x,w})^2 + (1,4 \cdot A_{y,w})^2 + (A_{z,w})^2} \quad [8.1]$$

En la expresión 8.1 se puede considerar irrelevante cualquier término de la suma vectorial que sea inferior al 66% del valor más elevado.

### 2 Cálculo de la exposición diaria

Si un trabajador está expuesto a un determinado valor de aceleración,  $(A_w)_{eq(T)}$ , durante un tiempo de exposición estimado, T, se calcula el valor de  $(A_w)_{eq(8)}$  o  $A(8)$  mediante la siguiente expresión:

$$(A_w)_{eq(8)} = (A_w)_{eq(T)} \sqrt{\frac{T}{8}} \quad [8.2]$$

Cuando la exposición a la vibración se compone de dos o más períodos de exposición de diferentes magnitudes y duraciones, para cada una de las exposiciones se obtiene un valor de aceleración eficaz ponderado  $(A_w)_{eq(T_i)}$  y se estima un tiempo de exposición,  $T_i$ . El valor diario de aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia se determina a partir de la siguiente expresión:

$$(A_w)_{eq(Total)} = \sqrt{\frac{(A_w)_{eq(T_1)}^2 \cdot T_1 + \dots + (A_w)_{eq(T_n)}^2 \cdot T_n}{T_1 + \dots + T_n}} \quad [8.3]$$

Con el valor obtenido se puede determinar la  $(A_w)_{eq(8)}$  mediante la expresión [8.2].

También se puede calcular la  $(A_{h,w})_{eq(8)}$  a partir de los valores diarios de la exposición parcial para cada una de las fuentes de vibración. Es decir, para cada fuente de vibración se obtiene un valor de  $A_i(8)$  mediante la expresión:

$$(A_i)_{eq(8)} = A_w \sqrt{\frac{T_i}{8}} \quad [8.4]$$

Y luego se calcula la exposición diaria a vibraciones,  $(A_{h,w})_{eq(8)}$ ,

$$(A_w)_{eq(8)} = \sqrt{(A_1)_{eq(8)}^2 + \dots + (A_n)_{eq(8)}^2} \quad [8.5]$$

### 2.1 Conversión de aceleraciones medidas en bandas de tercios de octava y de octava a aceleración ponderada en frecuencia

Al igual que en el apartado 7.2.1, la aceleración eficaz ponderada en frecuencia puede determinarse multiplicando el valor obtenido de aceleración en cada banda de frecuencia por el factor de ponderación correspondiente y sumando los datos por la expresión siguiente:

$$A_w = \sqrt{\sum_{i=0}^{i=n} (w_i \cdot A_i)^2} \quad [8.6]$$

Donde:

$A_w$  es la aceleración global ponderada en  $m/s^2$

$w_i$  es el factor de ponderación de frecuencia para la  $i$ -ésima banda de tercios de octava y de octava. En las tablas A.3 y A.4 se recogen los factores de ponderación para las bandas de tercios de octava.

$A_i$  es el valor eficaz de la aceleración medida en la  $i$ -ésima banda de tercios de octava y de octava.

Normalmente, para el estudio de vibraciones se emplean las bandas de tercios de octava pero, para simplificar, el ejemplo dado en el anexo B se utilizan bandas de octava.

### 3 Valoración del riesgo por VCC

Para realizar la **valoración del riesgo** por exposición a VCC, se compara el valor de  $(A_w)_{eq(8)}$  o  $A(8)$  calculado con los valores dados en la **propuesta modificada de Directiva de agentes físicos** (véase tabla 6.1).

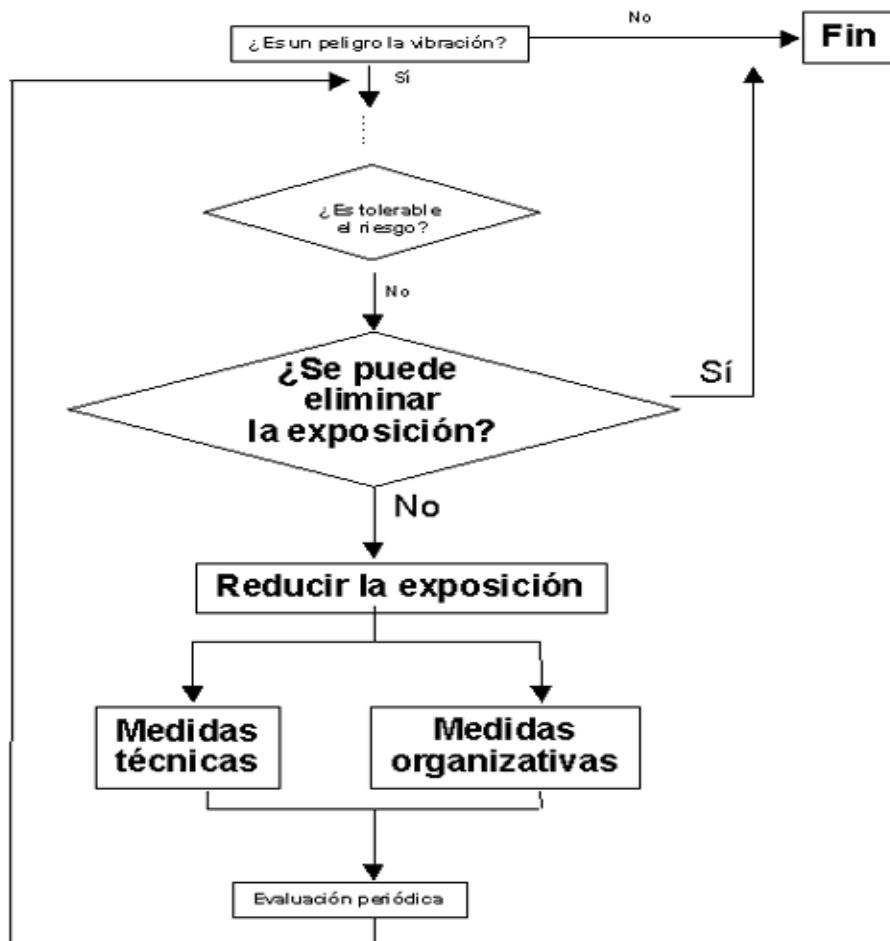
Se considera **riesgo tolerable**: aquella exposición que se encuentra manifiestamente por debajo del nivel umbral, es decir,  $A(8) < 0,25 \text{ m/s}_2$  y de riesgo intolerable, el resto de las exposiciones.

En situaciones donde el riesgo se califica como intolerable, hay que adoptar medidas para controlar el riesgo (véase apartado 9).

**CAPÍTULO 9: CONTROL BÁSICO DE VIBRACIONES**

En función de los resultados obtenidos, deben planificarse e implantarse las actuaciones preventivas. Dichas actuaciones en prevención pasan primero por tratar **de eliminar el peligro** y, cuando lo anterior, no sea razonablemente posible, debe ponerse en marcha medidas preventivas para **reducir la exposición a vibraciones**.

En la figura 9.1 se destaca la parte del esquema general de esta Unidad Didáctica que interesa para desarrollar el contenido de este apartado.



**Figura 9.1**

Conforme a esta secuencia lógica de actuación, cuando se examina una función o una tarea de producción determinada, la primera etapa sería definir su objetivo o función términos generales, es decir, qué es lo que se quiere conseguir o hacer. En esta fase debería preguntarse sobre la necesidad absoluta de la función proporcionada por el proceso, y bajo esta óptica, sobre todos los factores que han llevado a la necesidad de la función o de la tarea. Sin embargo, alguno de estos factores puede estar fuera del control de la empresa, por ejemplo los requisitos del cliente.

La segunda etapa consiste en descomponer el proceso en sus elementos, procesos o etapas claves, destacando aquellos que son los principales contribuyentes al riesgo por vibraciones. (Por supuesto, puede haber otros peligros tales como la carga física o ruido que también pueden ser necesarios tratar).

Por tanto, en algunos casos se puede eliminar el peligro mediante el uso de procesos, máquinas o instalaciones alternativas no peligrosas, por ejemplo procesos automatizados o mecanizados.

Cuando no sea posible evitar el uso de herramientas vibratorias y vehículos industriales, la exposición a vibraciones puede reducirse mediante una serie de medidas técnicas aplicadas en el siguiente orden:

- Medidas técnicas de control en la fuente.
- Medidas técnicas de control en el medio.
- Medidas técnicas de control en los trabajadores.

Además, estas medidas técnicas pueden ir acompañadas de medidas organizativas.

## **1. Medidas técnicas de control en la fuente**

Para reducir las vibraciones en la fuente hay que adoptar una o varias de las siguientes medidas:

### **1.1. Selección de herramientas o vehículos industriales con el nivel de vibraciones más bajo posible.**

Cuando no sea posible evitar el uso de máquinas portátiles o guiadas manualmente, la exposición a vibraciones puede minimizarse mediante una cuidadosa selección de las máquinas o herramientas a utilizar. Así, muchos fabricantes de máquinas portátiles o guiadas manualmente comercializan ya uno o más diseños de baja vibración, por ejemplo, pueden presentarse diferencias de más del 100 % en los valores de vibración emitida de sierras de cadena de características similares.

Esto implica que en la empresa debe haber una adecuada política de compra, apoyada por la Dirección, para que no haya intereses contrapuestos (normalmente, priman los aspectos económicos en lugar de los técnicos). Debe tenerse en cuenta que las máquinas deben tener un diseño y una construcción que las haga intrínsecamente seguras y que todas las medidas adoptadas en el diseño y en la construcción son las más eficaces para reducir las vibraciones emitidas.

En el R.D. 1435/1992 de Máquinas se establecen unos Requisitos Esenciales de Seguridad (RES) que tienen carácter obligatorio y, que se tienen que cumplir para colocar el marcado CE a cada máquina. El fabricante está obligado a diseñar y construir sus máquinas de modo que los riesgos que resultan de la exposición a vibraciones sean los menores posibles, considerando el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción de las vibraciones, en particular en la fuente.

También está obligado a informar del valor de emisión de vibraciones de la máquina en la declaración de vibraciones. Los valores declarados de vibraciones son características intrínsecas de una máquina y deben sólo utilizarse como tales. En particular, no hay una correlación directa y única entre los valores declarados de vibraciones de una máquina y los valores que se encontrarán cuando la máquina esté en funcionamiento en el centro de trabajo.

En el manual de instrucciones debe darse la siguiente información sobre las vibraciones emitidas por:

- máquinas portátiles y/o guiadas a mano: el valor cuadrático medio ponderado en frecuencia de la aceleración a la que se vean expuestos los miembros superiores, cuando exceda de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , definida por las normas de prueba aplicables. Cuando la aceleración no exceda de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , se deberá mencionar este particular.

- máquinas móviles: el valor cuadrático medio ponderado en frecuencia de la aceleración a la que se vea expuesto el cuerpo (en pie o asiento), cuando exceda de  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Cuando la aceleración no exceda de  $0,5 \text{ m/s}^2$ , se deberá mencionar este particular. El asiento deberá diseñarse de tal manera que reduzca al mínimo razonablemente posible las vibraciones que se transmitan al conductor.

Tanto para máquinas portátiles y/o guiadas a mano como para máquinas móviles, cuando no se apliquen las normas armonizadas, los datos relativos a las vibraciones deberán medirse utilizando el código de medición más apropiado que se adapte a la máquina. El fabricante indicará las condiciones de funcionamiento de la máquina durante las mediciones y los métodos utilizados para dichas mediciones.

En el manual de instrucciones se ofrecerán, si fuera necesario, las prescripciones relativas a la instalación y montaje dirigidas a reducir las vibraciones producidas (por ejemplo, utilización de amortiguadores, tipo de masa de la fundación, etc.).

En la práctica, puede experimentarse alguna dificultad al elegir máquinas de baja vibración por ausencia de códigos de ensayo de vibración apropiados y por la falta real de información sobre emisiones de vibración de las máquinas.

Además de tener en cuenta la declaración de vibraciones, cuando se va a comprar una máquina, deben considerarse criterios ergonómicos como, por ejemplo, peso, forma y material de la empuñadura de la herramienta, capacidad de regulación del asiento, etc. Debe tenerse en cuenta que:

- la herramienta sea ligera para eliminar al trabajador la carga muscular impuesta por el peso, facilitar el control y guía de la máquina, disminuir las fuerzas de agarre y transporte que causan mayor transmisión de las vibraciones;
- el material de la empuñadura debe presentar cierta rugosidad para que no se deslice en la mano;
- la forma de la empuñadura permita una posición neutra de la muñeca, que la palma de la mano abarque toda la superficie posible de la empuñadura y que el diseño del gatillo sea adecuado;
- la fuerza aplicada por el trabajador sea la menor posible para manejar la herramienta;
- el escape de aire no dé directamente en las manos.

### **Preguntas que deberían hacerse los compradores**

Antes de comprar una nueva máquina o equipo, los compradores deberían siempre hacerse la siguiente pregunta básica:

- Es adecuada la información (declaración de vibraciones) disponible sobre las vibraciones de esta familia de máquinas y sobre el nivel más bajo alcanzable?.

Otras preguntas importantes son:

- En la especificación de oferta enviada a los posibles suministradores, ¿se ha incluido una solicitud específica para información o una garantía sobre vibraciones y, esta solicitud está correctamente formulada?
- ¿Cuál será el impacto de las vibraciones de la nueva máquina en el taller donde funcionará?

### **1.2 Mantenimiento adecuado de las herramientas y vehículos.**

Las herramientas y vehículos deberían mantenerse de forma regular. Los fabricantes y suministradores de equipos deberían ser capaces de suministrar programas de mantenimiento adecuados, que puede ser necesario completar con instrucciones adicionales para tener en cuenta los efectos de la herramienta o vehículo o en el caso de aplicaciones particulares.



De este modo, en la empresa debería haber un plan de mantenimiento preventivo periódico para componentes, accesorios y otros dispositivos destinados a alargar la vida de la máquina y, por tanto, para reducir el nivel de vibraciones emitido.

A continuación se presenta una lista resumida de las medidas que deberían tomarse para reducir la exposición a vibraciones:

- Las herramientas de corte deberían afilarse periódicamente.
- Las muelas deberían rectificarse periódica y correctamente mediante un procedimiento adecuado recomendado por el fabricante, que asegure la concentricidad de la muela y un perfil correcto.
- Las piezas gastadas deberían reemplazarse antes que el desgaste provoque un incremento elevado de valores de vibración.
- Los montajes antivibratorios y las empuñaduras suspendidas deberían reemplazarse antes de que se deterioren hasta un punto que la exposición de los trabajadores a vibraciones aumente significativamente. Algunas veces, el deterioro de los montajes de caucho por fisuras, abultamientos (por ejemplo provocados por la contaminación de aceite), reblandecimiento y por el contrario por endurecimiento puede detectarse por control visual y ensayos sencillos pero, generalmente, debería seguirse el consejo del fabricante.
- Los amortiguadores deberían verificarse periódicamente y sustituirlos si están defectuosos.
- El estado de los cojinetes y engranajes deberían verificarse periódicamente y sustituirlos si están defectuosos.
- En el caso de sierras de cadena, deberían mantenerse afilados y en buenas condiciones los dientes de sierra. Debería ser correcta la tensión de la cadena ya que si no aumentan el golpeteo de la cadena en la guía y el valor de vibración total. Deberían mantenerse a punto los motores y verificar frecuentemente que son correctos los ajustes de las bujías y del carburador.

### 1.3. Sustitución por procesos menos vibrantes

Cuando los trabajadores están expuestos a vibraciones, debería realizarse una reevaluación completa del proceso de producción o de la tarea y, cuando sea técnica y razonablemente posible, deberían sustituirse los procesos que originan el peligro por otros alternativos de baja vibración.

A menudo, las formas de mejorar el proceso, no solo reducen las vibraciones peligrosas (y posiblemente, otros peligros como el ruido) sino que también mejoran la productividad y la calidad del producto evitando trabajos posteriores innecesarios y, por tanto, reduciéndose el tiempo de exposición de los trabajadores.

Algunas de las posibilidades de reducción de las vibraciones mediante el uso de otros procesos son las siguientes:

- utilización de métodos de oxicorte y otros métodos de corte en lugar de cinceles neumáticos o amoladoras portátiles para rebarbar piezas de fundición y trabajos similares.
- utilización de técnicas hidráulicas en vez de neumáticas, de impulsos o de remachados.

Algunas veces, los procesos alternativos pueden no remplazar completamente aquellos que exponen a los trabajadores a vibraciones, pero, sin embargo, podrían reducir de forma importante la exposición total a vibraciones disminuyendo el tiempo de utilización de estos procesos.

La limpieza mecánica o con abrasivos, o la limpieza combinada mecánica y química mediante chorreado pueden sustituir a operaciones de amolado y decapado. Generalmente, cuando el proceso implique la eliminación de óxido y pintura será más efectiva y económica la limpieza mecánica o con abrasivos que el amolado.

Sin embargo, cuando no sea razonablemente posible la eliminación o sustitución puede ser posible modificar el proceso a fin de eliminar la mayoría de las operaciones manuales y peligrosas mediante un mayor uso de la mecanización y del control remoto o de la automatización.

## **2. Medidas técnicas de control en el medio.**

Si cuando se han tomado todas las medidas prácticas para minimizar el contacto entre las manos y las superficies vibrantes y para reducir las vibraciones en la fuente, los trabajadores siguen expuestos a vibraciones elevadas, entonces deben adoptarse medidas encaminadas a impedir la transmisión de las vibraciones entre la fuente origen de vibraciones hasta la superficie de contacto con el trabajador (empuñaduras, asiento, etc.).

Los sistemas antivibratorios pueden ser útiles para reducir el nivel de vibración transmitido al trabajador.

### **2.1 Empuñaduras antivibratorias**

Los fabricantes de algunas herramientas mecánicas portátiles equipan a sus productos con empuñaduras antivibratorias. En algunos casos, puede ser posible a posteriori adaptar empuñaduras antivibratorias a las herramientas, pero cuidando de asegurar que la empuñadura elegida se adapta adecuadamente a las características vibratorias de la herramienta, ya que sino la situación puede empeorar.

A causa de la necesidad de asegurar que el operador ejerza un control adecuado de la máquina y también para prevenir la posibilidad de que una ruptura de la empuñadura pueda exponer al usuario de la máquina a un riesgo de lesiones; la selección de la empuñadura será resultado de un compromiso entre la eficacia del aislamiento y la posibilidad de control y de seguridad.

### **2.2 Utilización de materiales elásticos**

La aplicación sobre las empuñaduras vibrantes u otras superficies vibrantes portátiles de caucho u otros materiales elásticos especialmente desarrollados puede reducir las vibraciones de alta frecuencia transmitidas a las manos (por encima de 200 Hz). En general, sin embargo, tal acción es improbable que reduzca significativamente la transmisión de las vibraciones en el rango de frecuencias de interés respecto al desarrollo del dedo blanco inducido por vibraciones (DBV) y otros síntomas relacionados con las vibraciones.

### **2.3 Dispositivos de suspensión entre el conductor y la fuente**

La transmisión de las vibraciones al conductor puede reducirse colocando en diversos puntos elementos aislantes (véase figura 9.2)

La colocación de nuevos sistemas de selección o bien la modificación del diseño original debe partir de un profundo conocimiento técnico sobre lo que se va a hacer. En estudios realizados en gran número de vehículos, se ha observado que frecuentemente los asientos amplifican las vibraciones en lugar de amortiguarlas por no haber elegido el asiento en función de las características dinámicas del vehículo.

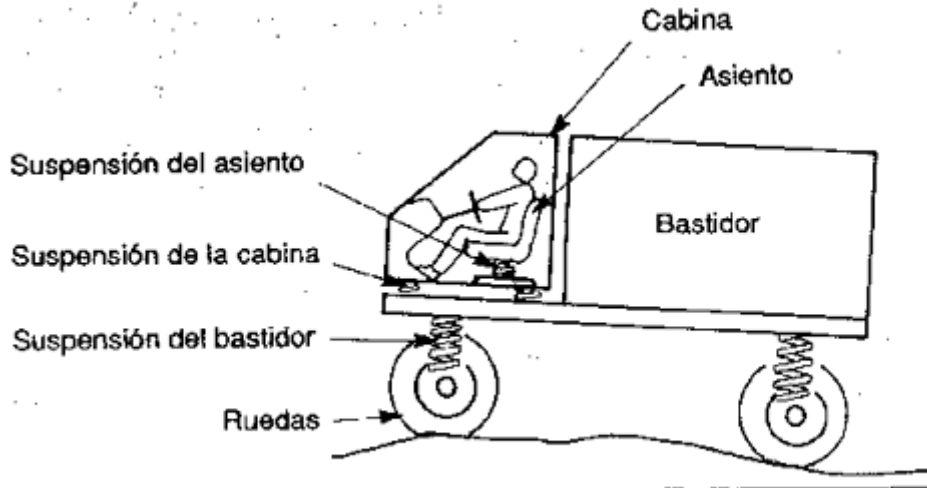


Figura 9.2 - Posibles situaciones de los sistemas de suspensión en un vehículo

### 3. Medidas técnicas de control en los trabajadores

#### 3.1. Mejora de la postura de trabajo

La transmisión de las vibraciones puede reducirse por medio de medidas que permitan al trabajador adoptar una postura adecuada de trabajo.

##### Vibraciones mano-brazo

El peso de una herramienta portátil, la posición del brazo del trabajador, las fuerzas requeridas para controlarla o guiarla y cualquier otra fuerza que pueda ejercerse pueden afectar la transmisión de la vibración hacia la mano del trabajador y, en consecuencia, al riesgo que los trabajadores desarrollen daños causados por la vibración.

Las máquinas, particularmente las máquinas portátiles deberían diseñarse de manera que se minimizaran las fuerzas ejercidas por la mano. Por ello, cuando se selecciona una herramienta, debería prestarse especial atención a sus dimensiones, textura de la superficie, forma, peso, etc. así como a la forma de las empuñaduras y otras superficies que deben asirse cuando se usa dicha herramienta.

Por ejemplo, cuando sea posible, las empuñaduras u otras superficies en contacto con las manos deberían tener una forma y presentar un ángulo (por ejemplo las taladradoras) tal que la posición de la muñeca del operador respecto al antebrazo no esté flexionada en condiciones normales.

También, para reducir las fuerzas ejercidas por los trabajadores, se puede mejorar el diseño del puesto de trabajo. Por ejemplo, mediante el uso de equilibradores que soportan la herramienta vibrante eliminan la carga impuesta por el peso de la herramienta y reducen la transmisión de energía vibratoria a la mano.

##### Vibraciones de cuerpo completo

Dado que el origen del dolor de espalda es probablemente una combinación de exposición a VCC y de posturas incorrectas, una persona soportará mejor el entorno vibratorio cuanto más adecuada sea su postura de trabajo.

El conductor ha de disponer de espacio suficiente que le permita realizar estiramientos y reincorporarse para mejorar su postura, introducir fácilmente las piernas entre el volante y el asiento y no golpearse con la cabeza en el techo. Deben usarse los espejos retrovisores para

evitar el mayor número posible de giros o posturas incómodas, por ejemplo, al dar marcha atrás.

El asiento debe ser suficientemente grande para permitir que el conductor se mueva y recubierto de material rugoso para impedir el deslizamiento hacia delante a causa de las sacudidas.

El respaldo debe estar ligeramente inclinado hacia atrás. Debe ser regulable en altura y, si es posible, también en la zona lumbar. También deberá poder regularse la distancia del asiento hasta el volante y su altura con respecto al suelo de la cabina, con el fin de respetar los ángulos de confort.

### **3.2. Guantes antivibratorios**

En la actualidad, no hay más equipos de protección individual para exposición a vibraciones.

Para algunos riesgos contra la salud, como el ruido, los trabajadores pueden obtener protección satisfactoria a partir de una protección individual siempre que sea adecuadamente seleccionada, usada y mantenida. Sin embargo, esto no ocurre para los riesgos de las manos de los trabajadores derivados de la exposición a vibraciones. Los estudios han mostrado que la mayoría de los guantes proporcionan una pequeña atenuación de la vibración en las frecuencias más perjudiciales para el trabajador y, en algunos casos, pueden incrementar el valor de las vibraciones que alcanzan a las manos.

El desarrollo posterior por parte de los fabricantes de guantes puede llevar a la producción de guantes que atenúen las vibraciones hasta frecuencias de alrededor de 200 Hz y éstos pueden ser válidos para algunas aplicaciones. En general, sin embargo, cuanto menor sea la frecuencia a la que se requiere la atenuación, más grueso es el acolchamiento elástico necesario en las áreas de contacto del guante y menor la aceptación del guante por parte del trabajador afectado. En algunos casos, la sensación de menor contacto con la máquina o pieza de trabajo puede provocar que el trabajador apriete más fuerte la empuñadura, incrementando así la transmisión de vibraciones de la empuñadura a la mano.

Sin embargo, los guantes pueden llevarse para proporcionar una protección física contra impactos, bordes afilados, superficies calientes u otras razones. En ambientes fríos, el uso de guantes adecuados para mantener las manos calientes puede impedir el desarrollo del dedo blanco inducido por vibraciones en trabajadores expuestos a VMB.

Cuando sea posible, tales guantes deberían seleccionarse de modo que aseguren que no incrementan significativamente las vibraciones transmitidas a las manos. En algunos casos puede ser posible seleccionar guantes que atenúen al menos las frecuencias más altas del rango de sensibilidad para el sistema mano-brazo.

Debería solicitarse a los suministradores de guantes datos sobre la transmisibilidad de vibraciones obtenidos a partir de los ensayos conforme a la Norma UNE-EN ISO 10819:1996 "Vibraciones mecánicas y choques. Vibraciones mano-brazo. Método para la medida y evaluación de la transmisibilidad de la vibración por los guantes a la palma de la mano.

### **4. Medidas organizativas**

Inicialmente, mientras se están desarrollando los métodos de reducción de vibraciones y cuando se han aplicado todos los métodos razonablemente posibles de reducción de vibraciones y todavía quedan vibraciones inaceptablemente elevadas, puede ser necesario reducir la exposición de los trabajadores a vibraciones por rotación de puestos de trabajo y otras técnicas de organización. Por ejemplo, en algunos países el uso de sierras de cadena se ha limitado a un máximo de dos horas por día.

Este enfoque tiene el inconveniente que aunque la exposición a vibraciones de algunos trabajadores puede reducirse, para otros trabajadores puede aumentar si es preciso mantener la producción total. Además será necesario una planificación y supervisión cuidadosa de las

actividades de los trabajadores implicados si el control efectivo de la exposición a vibraciones se alcanza por este medio. Esto puede incrementar los costos.

## **5. Formación e información**

Cuando se contrata, es importante que cada trabajador reciba información, instrucciones y formación adecuadas, adaptadas a las tareas de trabajo que va a realizar. Esto será necesario repetirlo siempre que haya modificaciones de la tarea, máquina, instalaciones o procesos.

Los trabajadores han de estar informados sobre los riesgos derivados de la exposición a vibraciones, así como de la forma de comunicar posibles síntomas o daños derivados de dicha exposición.

También, los trabajadores deben recibir información y formación sobre la forma de realizar el trabajo, la utilización correcta de los medios de control (por ejemplo utilización correcta de los asientos con suspensión) y las posturas de trabajo para que se minimicen los riesgos para la salud derivados de la exposición a las vibraciones.

A modo de ejemplo, la formación en correctas prácticas de trabajo asegura que el peso soportado por las manos del trabajador sea lo más bajo posible. Para ello, el trabajador debe descansar la herramienta lo máximo posible sobre el material que está trabajando (o en el caso de piezas de trabajo sujetas con la mano sobre cualquier soporte proporcionado para este efecto) y sostenerla con una fuerza de agarre ligera pero segura.

En otras ocasiones, el trabajador rechaza herramientas portátiles de baja vibración porque el cambio en la percepción de las vibraciones lleva a pensar que no realizan el trabajo de la misma forma que las herramientas a las que estaban habituados.

## **6. Evaluación de la salud de los trabajadores expuestos**

Respecto a la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos, es importante destacar que ésta tiene por objeto la prevención y diagnóstico precoz.

Para cualquier trabajador que pueda estar expuesto a vibraciones debe, previamente a su contratación, establecerse un programa de evaluación de la salud de manera que pueda prevenirse y diagnosticarse lo más pronto posible cualquier daño para la salud como consecuencia de la exposición a vibraciones. Este programa de evaluación de la salud debe comprender un reconocimiento médico inicial específico y reconocimientos periódicos, a intervalos regulares.

También, debe establecerse un procedimiento para que los trabajadores expuestos a vibraciones puedan informar sobre posibles síntomas o daños.

**CAPÍTULO 10: ANEXOS**

**ANEXO A**

**TABLA A.1: Factores de ponderación  $K_j$  para la conversión de las medidas de banda de tercios de octava en medidas ponderadas de vibraciones mano-brazo**  
Estos factores de ponderación se aplican en la expresión [7.6].

Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación $K_j$
6,3	1,0
8,0	1,0
10,0	1,0
12,5	1,0
16	1,0
20	0,8
25	0,63
31,5	0,5
40	0,4
50	0,3
63	0,25
80	0,2
100	0,16
125	0,125
160	0,1
200	0,08
250	0,063
315	0,05
400	0,04
500	0,03
630	0,025
800	0,02
1000	0,016
1250	0,0125

**ANEXO A**

**ABLA A.2: Factores de ponderación  $K_j$  para la conversión de las medidas de banda de octava en medidas ponderadas de vibraciones mano-brazo**  
Estos factores de ponderación se aplican en la expresión [7.6].

Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación $K_j$
8,0	1,0
16	1,0
31,5	0,5
63	0,25
125	0,125
250	0,063
500	0,03
1000	0,016

ANEXO A

**TABLA A.3: Factores de ponderación  $W_i$  para la conversión de las medidas de banda de tercios de octava en medidas ponderadas de vibraciones cuerpo completo**

Estos factores de ponderación se aplican en la expresión [8.6].

Frecuencia (Hz)	$W_k$ para eje z	$W_d$ para ejes x e y
0,5	0,418	0,853
0,63	0,459	0,944
0,8	0,477	0,991
1	0,482	1,011
1,25	0,484	1,008
1,6	0,494	0,968
2	0,531	0,890
2,5	0,631	0,776
3,15	0,804	0,642
4	0,967	0,512
5	1,039	0,409
6,3	1,054	0,323
8	1,036	0,253
10	0,988	0,212
12,5	0,902	0,161
16	0,768	0,125
20	0,636	0,100
25	0,513	0,080
31,5	0,405	0,0632
40	0,314	0,0494
50	0,246	0,0388
63	0,186	0,0295
80	0,132	0,0211

ANEXO A

**TABLA A.4: Factores de ponderación  $W_i$  para la conversión de las medidas de banda de octava en medidas ponderadas de vibraciones cuerpo completo**

Estos factores de ponderación se aplican en la expresión [8.6].

Frecuencia (Hz)	$W_k$ para eje z	$W_d$ para ejes x e y
0,5	0,418	0,853
1	0,482	1,011
2	0,531	0,890
4	0,967	0,512
8	1,036	0,253
16	0,768	0,125
31,5	0,405	0,0632
63	0,186	0,0295
80	0,132	0,0211

**ANEXO B**

**Ejemplo de aplicación 1:**

Se ha obtenido el siguiente análisis de frecuencias en bandas de octava de la vibración recibida por un conductor de carretilla elevadora durante representativo del tiempo de exposición. Calcular los valores de  $A_{x,w}$ ,  $A_{y,w}$  y  $A_{z,w}$ .

Frecuencia (Hz)	$A_x$ (m/s <sup>2</sup> )	$A_y$ (m/s <sup>2</sup> )	$A_z$ (m/s <sup>2</sup> )
0,5	0.11	0.18	0.31
1	0.18	0.28	0.33
2	0.21	0.25	0.42
4	0.17	0.14	0.37
8	0.30	0.27	0.46
16	0.22	0.12	0.67
31,5	0.13	0.16	0.59
63	0.24	0.21	0.49
80	0.22	0.27	0.46

**Resolución:**

Los valores dados en esta tabla para cada una de las frecuencias están sin ponderar en frecuencia. Por tanto, para calcular  $A_{x,w}$ ,  $A_{y,w}$  y  $A_{z,w}$ , se aplica la expresión [8.6] teniendo en cuenta los factores de ponderación de la tabla A.4 del anexo A.

$$A_w = \sqrt{\sum_{i=0}^{i=n} (w_i \cdot A_i)^2}$$

Para calcular el  $A_{x,w}$  se tiene en cuenta el factor de ponderación  $W_d$  de la tabla A.4

$$(A_{x,w})_{eq(T)} = \sqrt{(0,853 \cdot 0,11)^2 + (1,011 \cdot 0,18)^2 + (0,890 \cdot 0,21)^2 + (0,512 \cdot 0,17)^2 + (0,253 \cdot 0,30)^2 + (0,125 \cdot 0,22)^2 + (0,0632 \cdot 0,13)^2 + (0,0295 \cdot 0,24)^2 + (0,0211 \cdot 0,22)^2} = 0,3 \text{ m/s}^2$$

Para calcular el  $A_{y,w}$  se tiene en cuenta el factor de ponderación  $W_d$  de la tabla A.4



$$(A_{y,w})_{eq}(T) = \sqrt{(0,853 \cdot 0,18)^2 + (1,011 \cdot 0,28)^2 + (0,890 \cdot 0,25)^2 + (0,512 \cdot 0,14)^2 + (0,253 \cdot 0,27)^2 + (0,125 \cdot 0,12)^2 + (0,0632 \cdot 0,16)^2 + (0,0295 \cdot 0,21)^2 + (0,0211 \cdot 0,27)^2} = 0,83 \text{ m/s}^2$$

Para calcular el  $A_{z,w}$  se tiene en cuenta el factor de ponderación  $W_k$  de la tabla A.4

$$(A_{z,w})_{eq}(T) = \sqrt{(0,418 \cdot 0,31)^2 + (0,482 \cdot 0,33)^2 + (0,531 \cdot 0,42)^2 + (0,967 \cdot 0,37)^2 + (1,036 \cdot 0,46)^2 + (0,768 \cdot 0,67)^2 + (0,405 \cdot 0,59)^2 + (0,186 \cdot 0,49)^2 + (0,132 \cdot 0,46)^2} = 0,88 \text{ m/s}^2$$

## RESUMEN DE LA UNIDAD

Cada vez hay un mayor número de trabajadores que utilizan regularmente herramientas portátiles o guiadas por la mano, controladores vibratorios manuales, piezas de trabajo vibrantes o conducen vehículos industriales y embarcaciones, etc. Muchos de ellos presentan o presentarán ciertos trastornos en la salud como consecuencia de la exposición a ciertos niveles de vibración durante la jornada de trabajo.

Para poder planificar e implantar las medidas preventivas en estos casos, es necesario tener como punto de partida la información obtenida de la evaluación de los riesgos por vibraciones. La evaluación de riesgos comienza por identificar la vibración como un peligro para el trabajador. Si es así, hay que medir la magnitud promedio de la vibración a la que realmente está expuesto el trabajador durante el tiempo de exposición estimado (referido a 8 horas), conforme a los criterios recogidos en las normas técnicas, expresada mediante la aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de 8 horas. Este valor calculado se compara con el criterio de valoración elegido, propuesta modificada de Directiva de agentes físicos, para poder decidir si el riesgo es tolerable o intolerable y adoptar las medidas preventivas adecuadas.

Ante la ausencia de una legislación específica sobre exposición laboral a vibraciones, las normas técnicas pueden dar respuesta a múltiples aspectos relacionados con la medición de las vibraciones mano-brazo o las de cuerpo completo, la instrumentación y sus especificaciones, las medidas preventivas a adoptar en el caso que el riesgo se considere intolerable, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- CARRETERO, R.M., LÓPEZ, G. (1996) Exposición humana a vibraciones en el lugar de trabajo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- GÓMEZ-CANO, M. (1991) Estudio de vibraciones en carretillas. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE (1994) Vibraciones en el lugar de trabajo, París.
- PELMEAR, P., WILLIAM, T., WASSERMAN, D.E. (1992) Hand-arm vibración: A comprehensive guide for occupational health professionals. New York: Van Nostrand Reinhold.
- WASSERMANN, D.E. (1987) Human aspects of occupational vibration. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

## BIBLIOGRAFÍA NORMATIVA

Propuesta modificada de Directiva del Consejo sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos

elaborada por la Comisión de la Unión Europea y publicada en el D.O.C.E. Nº C230/3 del 19.8.94.

UNE-ENV 25349:1996 Vibraciones mecánicas. Directrices para la medida y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. (ISO 5349:1986).

ISO 2631-1:1997 Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo completo. Parte 1: Requisitos generales.

UNE-CR 1030-2:1997 Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos por vibraciones. Parte 2: Medidas de gestión en el lugar de trabajo.

Norma UNE CR 12349:1996 Vibraciones mecánicas. Guía relativa a los efectos de las vibraciones sobre la salud del cuerpo humano.

Norma UNE-ENV 28041:1994 Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida.

REAL DECRETO 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas.

REAL DECRETO 56/1995 de 20 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/92 de 27 de noviembre, relativo a las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, sobre máquinas.

### 3.3. Campos electromagnéticos

#### INTRODUCCIÓN

Dentro de las funciones de un Técnico de Prevención en materia de salud laboral, se encuentra la prevención de riesgos debidos a factores físicos y dentro de ellos, se debe dedicar un capítulo especial al tema de las radiaciones.

Para tener una idea global sobre esta materia, podemos dividirla en varios puntos esenciales que expongan los conceptos fundamentales para poder actuar en este campo.

Dichos puntos podrían ser los siguientes:

- 1) ¿Qué son las radiaciones electromagnéticas (R.E.M.)?
- 2) Clases de radiaciones E.M., y principales fuentes de exposición laboral
- 3) Efectos biológicos de las distintas R.E.M.
- 4) Procedimientos y equipos de medición apropiados para las diferentes R.E.M.
- 5) Valores de referencia y límites de exposición de las R.E.M.
- 6) Protección contra las diversas radiaciones E.M.

#### OBJETIVOS

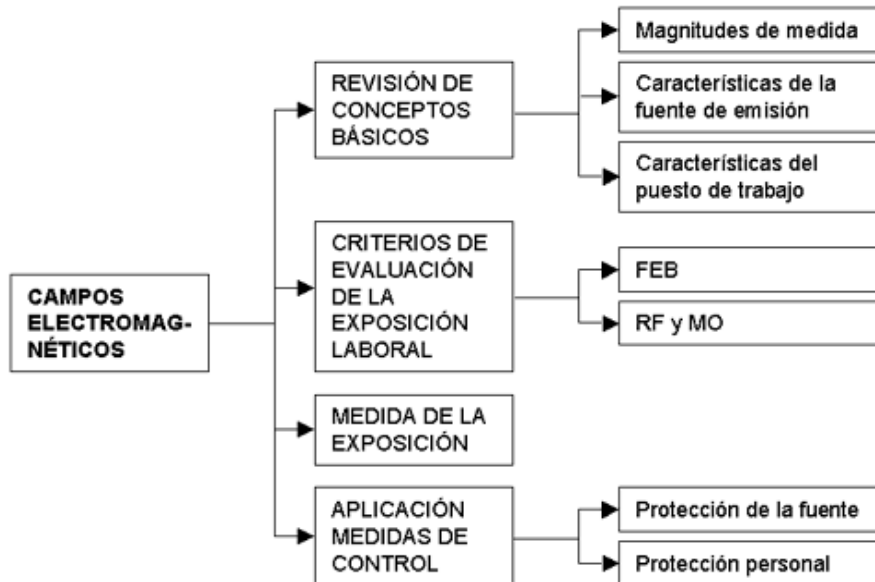
##### Objetivo general

Capacitar al alumno para evaluar los riesgos potenciales por exposición laboral a campos electromagnéticos.

##### Objetivos específicos

1. Identificar las distintas clases de R.E.M
2. Conocer los tipos de riesgos y los efectos para la salud asociados a cada una de ellos
3. Conocer la normativa aplicable y los criterios utilizados para valorar la exposición laboral a cada tipo de radiación
4. Evaluar el riesgo potencial en puestos de trabajo
5. Determinar las medidas de prevención y control más apropiadas en cada caso

**ESQUEMA DE CONTENIDOS**



**CAPÍTULO 1: ¿QUÉ SON LAS RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS?**

Empecemos por el punto primero y fundamental de definir lo que son las radiaciones electromagnéticas, sus características físicas, los principales parámetros que sirven para caracterizarlas y las relaciones que existen entre ellos.

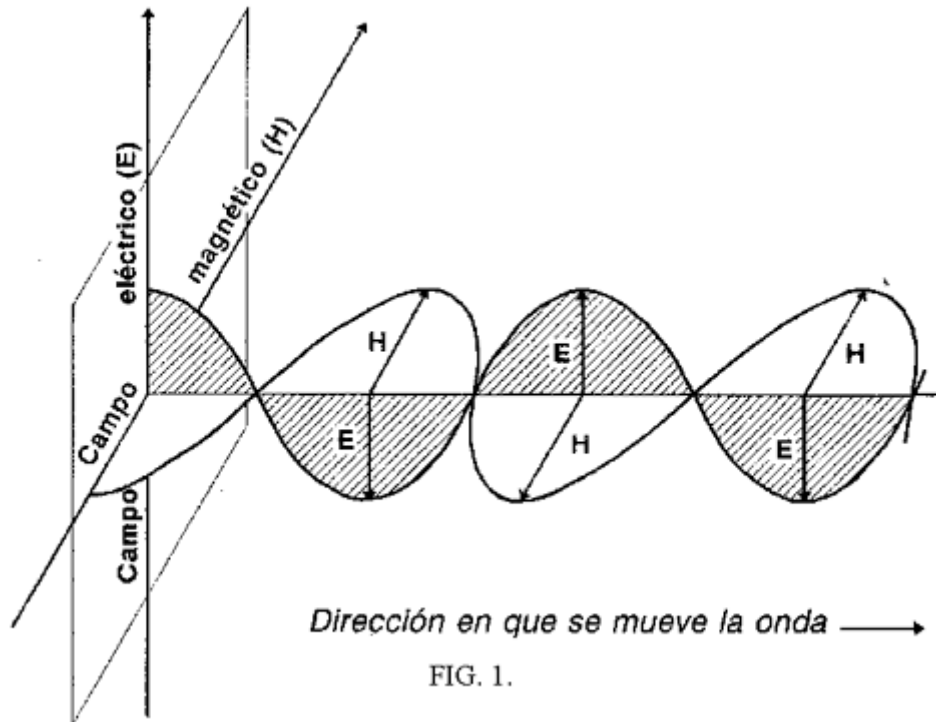
Las radiaciones electromagnéticas están esencialmente constituidas por la asociación de un campo eléctrico y un campo magnético.

Pueden ser debidas a causas naturales como la radiación solar, las tormentas, los campos magnéticos polares, isótopos radiactivos de diferentes elementos químicos, etc.

Generalmente, estas radiaciones naturales (salvo en el caso de los elementos radiactivos), tienen potencias muy pequeñas y su repercusión sobre los seres humanos es prácticamente nula. Por ejemplo, la exposición sobre la tierra debida al sol es aproximadamente de 10-5 a 10-3 m W/cm<sup>2</sup> con una frecuencia de 300 GHz.

Las radiaciones E.M. creadas por el hombre, como consecuencia del avance de la tecnología tanto en radio, TV, radar, líneas telefónicas, tendidos eléctricos, equipos de diatermia, hornos industriales, telefonía móvil, instalaciones radiactivas, etc., al alcanzar altas potencias y determinadas frecuencias, si pueden resultar peligrosas en ciertas circunstancias.

En las radiaciones E.M., las ondas de los campos eléctrico y magnético son transversales, es decir, que forman ángulos rectos en la dirección de propagación (Fig. 1).



Dichas ondas se propagan a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s en el aire) y depende del medio que atraviesa.

Existen dos hipótesis, ya antiguas, para explicar la radiación electromagnética, la teoría ONDULATORIA y la teoría CORPUSCULAR. Según la primera, la radiación es una perturbación de tipo ondulatorio que se propaga desde el foco, mientras que de acuerdo con la segunda, la radiación estaría constituida por la proyección de pequeños corpúsculos que se emiten desde el foco.

De acuerdo con las ideas actuales, las R.E.M parecen tener una doble naturaleza onda-partícula. Se transmiten por el espacio en forma de onda, pero su energía se concentra en pequeños paquetes o "cuantos de energía" en lugar de estar distribuida uniformemente por toda la onda.

Esta energía, constituida por paquetes elementales o fotones, puede ser depositada en los objetos irradiados dando lugar, en función de las características de las ondas, a: polarización, calentamiento, iluminación, excitación molecular, ionización, etc.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por cuatro parámetros fundamentales: longitud de onda ( $\lambda$ ), frecuencia ( $\gamma$ ), energía (E) y velocidad de propagación (v).

**LONGITUD DE ONDA ( $\lambda$ ):**

Es la distancia medida a lo largo de la línea de propagación, entre dos puntos en fase en ondas adyacentes. Puede variar entre el nm y el Km. (La unidad es el metro).

**FRECUENCIA ( $\gamma$ ):**

Es el número de ondas que pasan por un punto en la unidad de tiempo. Se mide en ciclos por segundo o hertz (Hz).

**ENERGIA (E) :**

es la que transporta la radiación y se suele medir en energía por fotón, siendo su unidad el electrón voltio (eV).

**VELOCIDAD (v):**

es la velocidad de propagación y se toma la velocidad de la luz en el vacío, que es una constante física y vale muy aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s.

Entre estas magnitudes existen las siguientes relaciones:

$$\nu = \frac{v}{\lambda} \quad \text{y} \quad E = h \times \nu$$

Siendo h una constante, llamada "constante de Planck", cuyo valor es:

$$h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Julioxsegundo}$$

Luego también se puede poner que:

$$E = h \times \nu = h \times \frac{v}{\lambda}$$

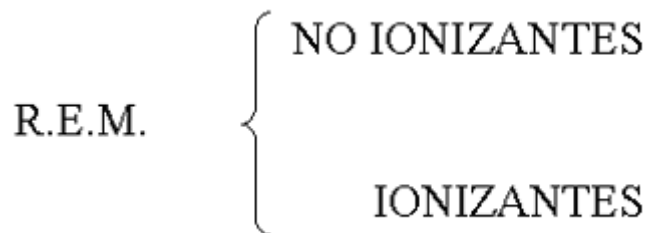
De estas igualdades, se deduce que la energía es proporcional a la frecuencia y la frecuencia, a su vez, es inversamente proporcional a la longitud de onda.

Por tanto, también la energía es inversamente proporcional a la longitud de onda.

## CAPÍTULO 2: CLASES DE RADIACIONES E.M.

Una vez vistas las características de las radiaciones y los principales parámetros que las definen, veamos como se pueden clasificar.

Existe una primera y fundamental división de las R.E.M. que las reúne en dos grupos bien diferenciados:



Las "no ionizantes" son las radiaciones que no tienen la energía suficiente para ionizar la materia.

Las "ionizantes" son las que, por el contrario, si tienen la energía necesaria para ionizar la materia.

Como decimos, las radiaciones ionizantes tienen energías muy elevadas y recordando las relaciones entre los parámetros que definen la radiación, nos dicen que la energía es proporcional a la frecuencia, luego estas radiaciones tendrán frecuencias ( $\nu$ ) muy elevadas y por tanto longitudes de onda (?) pequeñísimas.

Todo el conjunto de las radiaciones electromagnéticas queda representado, de una manera gráfica, en el llamado ESPECTRO DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Este espectro se puede construir de forma horizontal:

**ESPECTRO DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

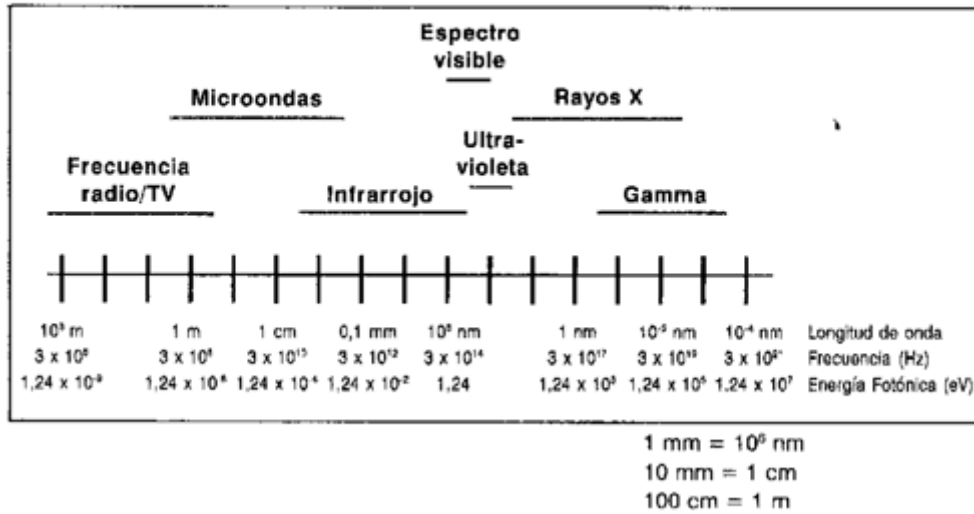


FIG. 2 Espectro electromagnético

O bien de forma vertical, que en realidad es la misma representación, con los mismos parámetros, pero disponiéndola de distinta forma:

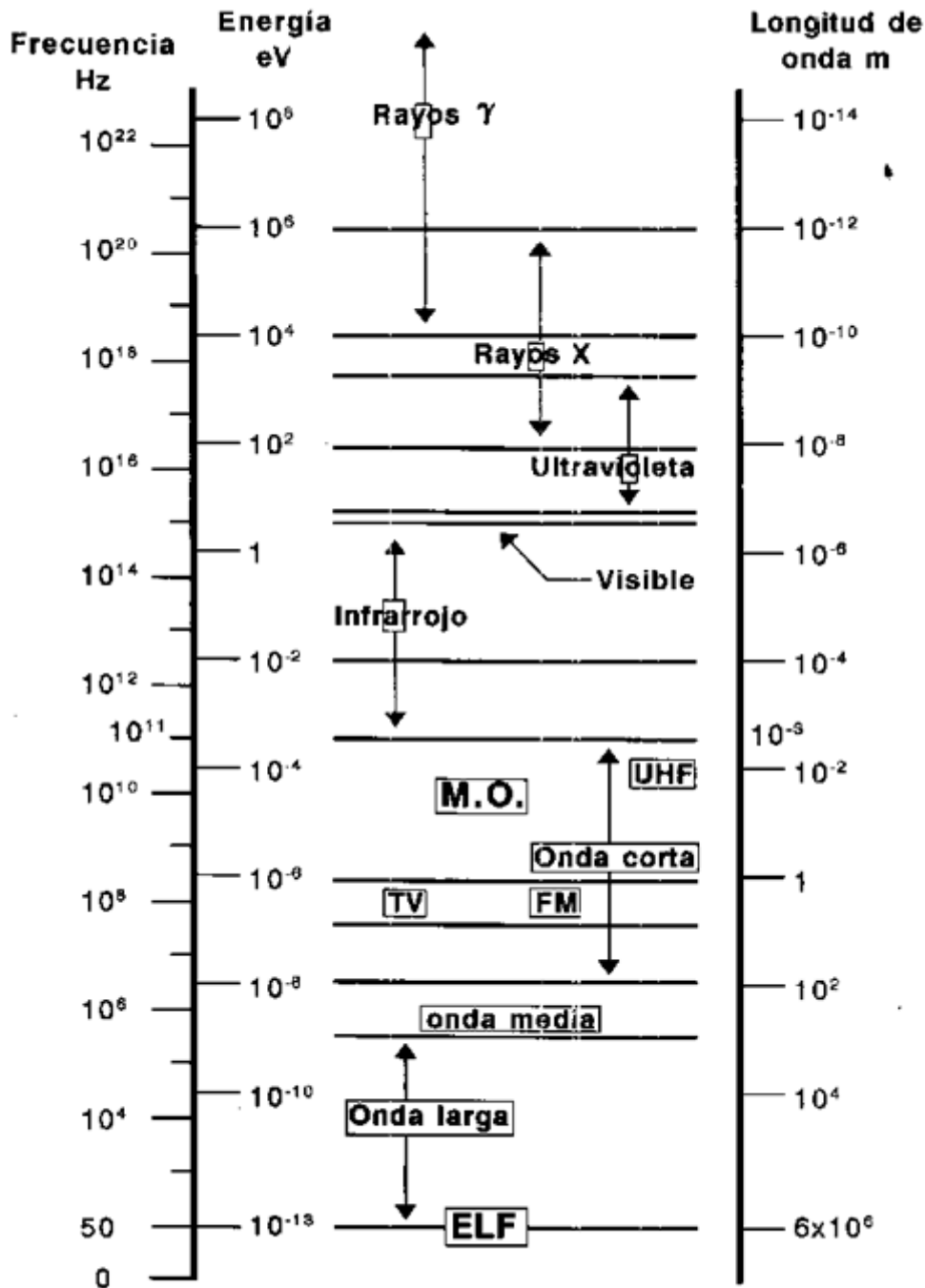


FIG. 3. Espectro electromagnético

En estos gráficos se representan las diferentes clases de radiación según sus distintas longitudes de onda (en m), frecuencias (en Hz), y energías (en eV). El punto teórico de división de las radiaciones "ionizantes" y las "no ionizantes", corresponden a una longitud de onda de 100 nm, una frecuencia de tres millones de GHz o lo que es lo mismo  $3 \times 10^{15}$  Hz y una energía por fotón de 12 eV.

La unidad de energía de estas radiaciones, el eV, tiene la siguiente correspondencia:  
 $1 \text{ eV} = 1,60022 \times 10^{-19}$  Julios

La radiación ionizante, como su nombre indica, es la capaz de ionizar la materia (tanto viva como inerte).



La ionización de la materia consiste en que con el preciso aporte de energía, los átomos pierden su configuración eléctrica neutra y bien por desprendimiento de protones o de electrones queden cargados positiva o negativamente, perdiendo su ESTADO FUNDAMENTAL de máxima estabilidad.

Naturalmente, para conseguir estos saltos de electrones de unas órbitas a otras del átomo o incluso el desprendimiento de los mismos, se necesita depositar una energía considerable, siendo en el caso de desprendimiento de protones o neutrones del núcleo atómico un aporte de energía todavía mucho mayor.

Por todo ello, las radiaciones ionizantes son las últimas del espectro, a partir de ese punto teórico que definíamos antes y que son las únicas que transportan la energía necesaria para tales procesos.

Dado que este tipo de radiaciones están controladas por el C.S.N. (Consejo de Seguridad Nuclear) y que por tanto los Técnicos de Prevención no tienen atribuciones para estudiar, medir o emitir informes sobre las mismas, salvo en el caso de trabajar en instalaciones radiactivas para lo cual hay que realizar cursos muy especializados (como los impartidos por el C.I.E.M.A.T. por ejemplo) es por lo que no profundizamos en el estudio de las mismas, circunscribiendo nuestro curso únicamente a las RADIACIONES NO IONIZANTES en cuyo campo, si tiene el técnico prevencionista un área de actuación más concreta y eficaz.

Por tanto, las radiaciones no ionizantes que vamos a estudiar, son las que se representan en el espectro electromagnético en el intervalo que va de 0 Hz a  $3 \times 10^{15}$  Hz.

Dichas radiaciones, a las que pasaremos revista a continuación, son las siguientes:

- |         |   |  |
|---------|---|--|
| C. y O. | { | - Campos estáticos (0 Hz)                                      |
|         |   | - Radiaciones de frecuencia extremadamente baja (0Hz – 30 KHz) |
|         |   | - Radiaciones de baja frecuencia (30 kHz – 100 KHz)            |
|         |   | - Radiofrecuencias (100 KHz – 300 MHz)                         |
|         |   | - Microondas (300 MHz – 300 GHz)                               |
| R.O.    | { | - Radiación infrarroja   |
|         |   | - Radiación visible  |
|         |   | - Radiación ultravioleta                                       |

Las cinco radiaciones que aparecen en primer lugar (de 0Hz a 300 GHz) se conocen como "Campos y Ondas". Las tres que figuran al final (de 300 GHz - 3 PHz) se denominan "Radiaciones Ópticas".

Comenzaremos el estudio de estas radiaciones pasando revista al grupo de las mismas conocido genéricamente como "Campos y Ondas".

Para dicho estudio, hablaremos en conjunto de las distintas radiaciones, en cada uno de los puntos principales que se deben tener en cuenta y que son los siguientes:

- PUNTO 1º Características de cada una de las radiaciones y posibles fuentes de exposición laboral.
- PUNTO 2º Efectos biológicos de cada una de las R.E.M.
- PUNTO 3º Unidades, equipos y procedimientos de medición de las R.E.M.
- PUNTO 4º Valores de referencia para exposición a R.E.M.
- PUNTO 5º Protección contra las distintas radiaciones E.M.

### CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE CADA RADIACION Y POSIBLES FUENTES DE EXPOSICIÓN LABORAL

Las primeras radiaciones que nos encontramos en el Espectro Electromagnético son las correspondientes a los CAMPOS MAGNETICOS ESTATICOS. Estas radiaciones al ser estáticas tienen frecuencia cero. El aporte de energía es prácticamente nulo, pero pueden crearse campos magnéticos fuertes que induzcan una serie de efectos debidos precisamente a sus propiedades.

Dentro de las posibles fuentes de exposición de este tipo, están los espectrómetros de resonancia magnética nuclear, que disponen de un electroimán que crea un campo magnético estático, (que en los casos estudiados por C.N.N.T. (Centro Nacional de Nuevas Tecnologías) producían una emisión máxima comprendida entre 7,5 T y 11,7 T).

Normalmente este tipo de instalaciones poseen fuentes de radiofrecuencia separadas del imán para evitar interferencias y que suelen operar a 200 MHz, 300 MHz ó 500 MHz.

Continuando en el Espectro Electromagnético, las siguientes radiaciones son los CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE FRECUENCIA EXTREMADAMENTE BAJA que son los comprendidos en el intervalo de frecuencias de 0 Hz a 30 KHz.

Las radiaciones correspondientes a esta banda de frecuencias, aunque tienen una utilización que es incluso mayor que en el caso de otras zonas del espectro electromagnético, la inquietud por su estudio en relación con la higiene y seguridad en el trabajo ha sido muy inferior, quizá debido al hecho de que otras radiaciones han dejado sentir sus efectos de una forma mucho más evidente y rápida.

Con la utilización de voltajes cada vez más elevados, principalmente en líneas de transmisión, se ha venido suscitando un interés creciente por las posibles implicaciones para la salud de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja.

El origen de un campo eléctrico son las cargas eléctricas y en el Sistema Internacional este campo se mide en V/m.

El origen de un campo magnético son las variaciones de carga y en el Sistema Internacional dicho campo se mide en A/m.

Dado que en la naturaleza es mucho más común encontrar cargas variando en el espacio que cargas estáticas, en general la existencia de campo eléctrico suele implicar la existencia de campo magnético y la existencia de campo magnético siempre implica la existencia del campo eléctrico. Por esta razón se suele hablar de campo electromagnético englobando así los dos campos eléctrico y magnético.

La forma en que varía la carga que produce el campo, determina la llamada "frecuencia del campo electromagnético".

Las longitudes de onda de este tipo de radiaciones, son muy grandes, e irían teóricamente desde los 100.000 Km en una radiación de 1 Hz de frecuencia, hasta los 10 Km para una radiación de frecuencia de 30 KHz.

A las líneas de alta tensión, que en nuestro país emiten campos electromagnéticos a una frecuencia de 50 Hz, les corresponden unas longitudes de onda de 6.000 Km aproximadamente.

Si recordamos la expresión que nos daba la energía por fotón que transporta una onda, era:

$$E = h \times n$$

Siendo h la constante de Planck y n la frecuencia .

En las radiaciones de frecuencia extremadamente baja, al tener longitudes de onda muy grandes (de Kms) tienen frecuencias muy pequeñas y al ser la energía directamente proporcional a la frecuencia, también ésta será muy pequeña.

Por esta razón, este tipo de radiaciones no sólo no son ionizantes sino que además, la energía que poseen es tan pequeña que es incapaz de promover cambios en los niveles electrónicos, ni en los niveles vibracionales ni tan siquiera en los niveles rotacionales. Para ver los efectos que producen estos campos en el interior de la materia es preciso considerar la estructura electrónica de ésta.

Supongamos que un campo eléctrico de frecuencia extremadamente baja (FEB) actúa sobre un cuerpo cualquiera. Si la frecuencia del campo es muy baja, la energía del campo sólo es suficiente para provocar un desplazamiento de cargas, de modo que las cargas positivas se desplazarán en la dirección del campo y las negativas en dirección contraria a él.

Teniendo en cuenta que la agitación térmica tiende a que la distribución espacial de cargas sea aleatoria, los desplazamientos de las cargas respecto a las posiciones originales son el resultado de un equilibrio entre la fuerza que ejerce el campo, los efectos térmicos y la fuerza de ligadura de cada electrón al núcleo lo cual hace que el átomo siga existiendo como tal.

De este modo resulta una distorsión de la nube electrónica y un desplazamiento del núcleo positivo del átomo (FIG. 4)

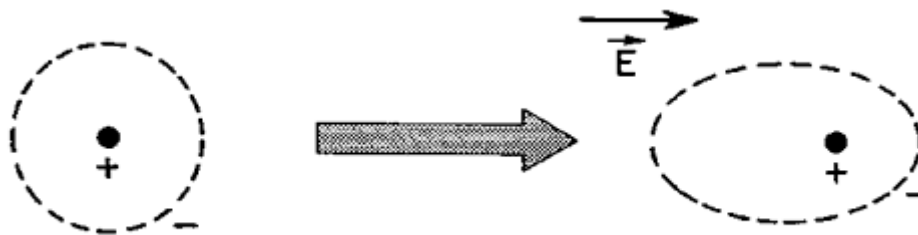


FIG. 4

A estos desplazamientos de carga se les llama "polarización electrónica".

Mención especial merecen los materiales conductores. Un conductor se caracteriza por el hecho de tener sus cargas libres (la energía de ligadura es nula en un conductor perfecto). Cuando un campo eléctrico es aplicado a un conductor, tienen lugar dos hechos importantes:

Las cargas en el interior se mueven libremente y en tiempo idealmente nulo, ocupando posiciones tales que compensen el campo eléctrico externo. Como consecuencia:

- En la superficie del conductor queda cierta densidad de carga
- El campo eléctrico siempre es nulo en el interior de un conductor.

Debido al hecho anterior y a las leyes del electromagnetismo el conductor "deforma" las líneas de fuerza del campo eléctrico aplicado, de modo que dichas líneas "entran" normales a la superficie del conductor. (FIG. 5)

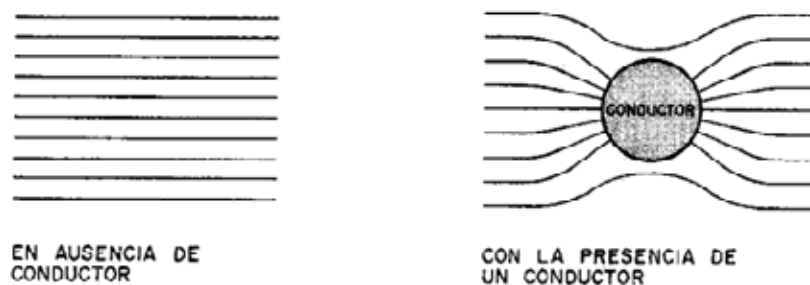


FIG. 5.

La consecuencia inmediata de esto es la creación de un campo eléctrico interno que tiende a oponerse al campo externo aplicado.

Generalmente, al variar la dirección del campo externo, el desplazamiento de cargas internas varía. Es decir el material de que está compuesto el cuerpo es "anisótropo" eléctricamente hablando.

También pueden cambiar las propiedades eléctricas de un punto a otro del cuerpo, es decir que el cuerpo no es "homogéneo" eléctricamente. En este caso, el campo eléctrico interno variará de módulo de un punto a otro.

Para reflejar todo este comportamiento eléctrico de la materia se recurre a la llamada "permitividad eléctrica".

En el caso de que el material sea anisótropo y no homogéneo, la permitividad es una matriz 3x3. Si el sistema es isótropo se reduce a un escalar y si fuera isótropo y homogéneo, sería una constante.

En el sistema Internacional la permitividad eléctrica se mide en A.s/V.m.

Magnéticamente, la materia está compuesta de pequeñas corrientes circulares que son originadas por los electrones girando alrededor del núcleo del átomo al que pertenecen.

Cada corriente elemental, llamada "dipolo magnético", puede representarse por un vector, cuya dirección es perpendicular al plano en el cual está girando el electrón. El módulo de dicho vector, llamado "momento dipolar" es proporcional al módulo de la corriente que origina el electrón con su movimiento y al radio de su órbita. (Fig. 6).

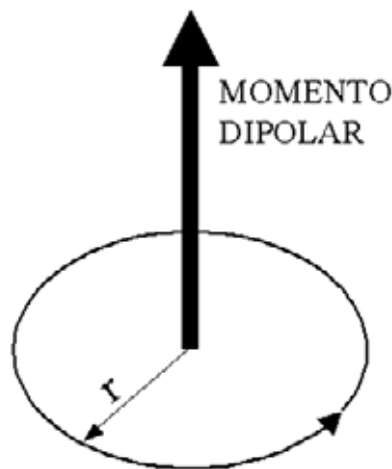


FIG. 6

En casi todos los materiales la distribución de dipolos es tal, que los momentos dipolares correspondientes tienen todas las direcciones posibles en el espacio (sobre todo por la agitación térmica) y se compensan. Esto es equivalente a decir que la suma total de los campos magnéticos originados por las corrientes de cada electrón es cero.

Otros materiales no tienen esta propiedad y la suma de momentos dipolares no es nula.

Cuando un campo magnético externo es aplicado a un material, tienen lugar dos fenómenos opuestos:

1. Por una parte, la presencia del campo eléctrico externo asociado al magnético, induce una fuerza sobre cada pequeña corriente. Como consecuencia de esta fuerza, los momentos dipolares tienden a orientarse paralelamente a las líneas de fuerza del campo externo aplicado.

Esta orientación recibe el nombre de "magnetización" y supone la aparición de un momento dipolar total distinto de cero y por lo tanto de una corriente circular que no existía en ausencia del campo magnético aplicado.

También hay que tener en cuenta la agitación térmica por la cual los momentos dipolares tienden a orientarse aleatoriamente en el espacio.

La magnetización de un material depende, por tanto, de la temperatura a la que este se encuentre

2. Por otra parte, el hecho de introducir un material en una zona donde existe campo magnético, provoca un aumento de líneas de campo (aumento de flujo magnético), que atraviesan la pequeña espira, induciéndose una reacción que se opone a la perturbación inicial.

Tratando de compensar esta perturbación, se origina un momento dipolar opuesto al que existía inicialmente (esto es, una corriente contraria a la inicial).

Esta oposición al provocador se llama diamagnetismo y se produce en todos los materiales. Como consecuencia, el campo magnético resultante es menor que el inicial.

Además, el grado de magnetización (mayor o menor orientación de momentos) depende de la propia naturaleza del material, pudiéndose dar los siguientes casos:

- a) En algunos materiales la magnetización es casi inexistente. En ellos el diamagnetismo es el fenómeno dominante con lo cual el campo magnético interior es menor que el campo externo aplicado.
- b) En otros, la magnetización es apreciable pero no elevada. Son los materiales llamados paramagnéticos.
- c) En algunos materiales la magnetización es muy acusada, aunque el campo magnético aplicado sea muy pequeño. Son los materiales ferromagnéticos.
- d) Por último, existen materiales cuya reacción al campo magnético aplicado no se puede encuadrar en ninguno de los apartados anteriores.

Al igual que ocurría con las propiedades eléctricas, también existen materiales magnéticamente anisótropos y no homogéneos. La variable que expresa el comportamiento magnético de un material es la llamada "permeabilidad magnética".

En el caso de que el material sea anisótropo y no homogéneo es una matriz 3x3 cuyos componentes dependen de las tres coordenadas espaciales. Si el sistema es magnéticamente isótropo se reduce a un escalar. Si además de isótropo es homogéneo, es una constante.

En el sistema Internacional la permeabilidad magnética se mide en V.s/A.m.

En cualquier caso, la consecuencia inmediata de la existencia de una magnetización (es decir, suma de momentos dipolares distinta de cero), es la existencia de corrientes circulares superficiales, rodeando el material.

Es normal la utilización del vector B llamado "densidad de flujo magnético" cuya unidad de medida en el sistema Internacional es el Tesla (T), cuya relación en el vector H de campo magnético es:  $B = \mu \times H$  siendo  $\mu$  la permeabilidad magnética.

Para las radiaciones electromagnéticas de FRECUENCIA EXTREMADAMENTE BAJA existen una serie de posibles fuentes de exposición laboral.

Entre las más importantes y que con más frecuencia nos podemos encontrar están las líneas de alta tensión y subestaciones eléctricas.

Otras fuentes importantes son el horno eléctrico, la soldadura eléctrica y la célula electrolítica (esta última sólo campo magnético).

En el caso de la célula electrolítica, las intensidades de corriente manejadas son relativamente elevadas ( del orden de 100 kA en corriente continua), mientras que en el caso del horno eléctrico las intensidades de corriente son sensiblemente inferiores (del orden de 40 kA en corriente alterna).

En soldaduras por arco se manejan intensidades mucho menores.

Sin lugar a dudas, las fuentes más importantes de campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja son las líneas de transmisión de alto voltaje y las subestaciones eléctricas.

El campo electromagnético es originado por las cargas en movimiento que circulan a través de los conductores. La carga es la magnitud fundamental para el campo eléctrico y la intensidad de corriente es la magnitud fundamental para el campo magnético.

La magnitud que determina la cantidad de carga que circula por una línea dada es el voltaje de dicha línea y por tanto cuanto mayor sea éste, mayor será la intensidad del campo eléctrico creado.

El voltaje de una línea está directamente relacionado con la carga que circula a su través. La unidad de medida del voltaje en el sistema Internacional es el voltio (V).

En la mayoría de los países (incluyendo España) la frecuencia de trabajo en este tipo de líneas es de 50 Hz. En otros países como por ejemplo Estados Unidos , la frecuencia de trabajo es de 60 Hz.

Cuando la energía eléctrica se genera en la planta, es normalmente de bajo voltaje. Mediante transformadores se eleva el voltaje hasta aquel al cual se transmite por líneas de transporte. Esto se hace principalmente para minimizar costes y pérdidas de energía en el transporte.

Las líneas de transporte pueden ser aéreas o subterráneas. En cualquiera de los casos la energía llega finalmente a subestaciones en el punto de destino donde es transformada hasta voltajes sensiblemente inferiores y distribuida a los consumidores.

Las líneas de transmisión subterráneas, son más utilizadas en el transporte de energía en el interior de grandes núcleos de población, que en el transporte de energía a largas distancias.

Una línea aérea típica de transmisión a largas distancias, consiste en estructuras de soporte (torres de transporte) desde las cuales los conductores están suspendidos por cadenas de aisladores. Cada cadena de aisladores soporta uno o más conductores los cuales transportan una fase eléctrica de la fuente de potencia.

Los conductores de cada fase están suspendidos lo suficientemente lejos del resto de los conductores y de la torre de transmisión para prevenir descargas o cortocircuitos entre una fase y otra, o entre fases y tierra (vía la estructura de soporte).

Las líneas de alto voltaje operan a voltajes estándar que pueden ser de 750 ó 765 KV e incluso en algunos países llegan a 1500 KV ó más.

En España el voltaje más común en líneas de transmisión es 440 KV (otros son 132, 220 y 400 KV).

Las líneas más utilizadas son de corriente alterna trifásica. Una línea trifásica comprende tres conductores o líneas de conductores bajo un alto voltaje y uno o dos conductores puestos a tierra protegen los conductores desnudos contra descargas.

Existen distintas configuraciones de líneas de transmisión. La Fig. 7 muestra algunas de ellas.

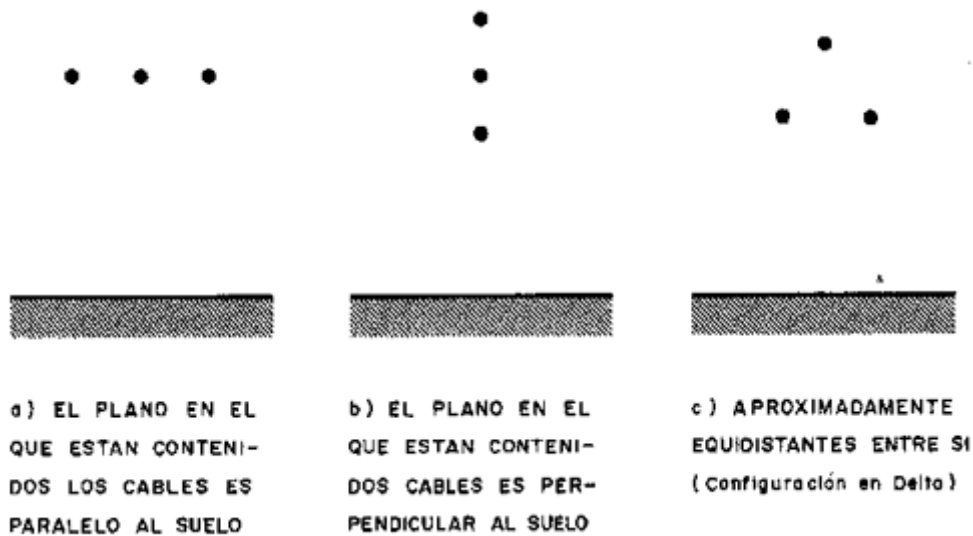


FIG. 7

Las subestaciones eléctricas requieren un estudio particular en cada caso si se quiere una estimación de la exposición laboral. La complejidad del estudio puede ser muy grande ya que además de los factores relativos a las líneas de transmisión se deben añadir otros provenientes de la propia configuración y naturaleza de la subestación de que se trate.

Además de las líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y tendidos eléctricos ferroviarios que son las principales fuentes de emisión de estas radiaciones, existen otras muchas fuentes algunas de ellas de uso doméstico como pueden ser: secadores de pelo, máquinas de afeitar eléctricas, aspiradoras, etc.

Si continuamos avanzando en el espectro de la radiación electromagnética, a continuación de las radiaciones de frecuencia extremadamente baja, nos encontramos con las radiaciones de BAJA FRECUENCIA, que son las comprendidas en el intervalo de 30 kHz a 100 kHz.

Este tipo de radiaciones tienen unas propiedades físicas muy semejantes a las radiaciones de frecuencia extremadamente baja.

Existen algunas fuentes de exposición como pueden ser: terminales de vídeo, sistemas de espiral de inducción y emisiones de radio en AM.

Continuando en el espectro de la radiación electromagnética nos encontramos con el intervalo de frecuencias medias, altas y extremadamente altas que es el que comprende desde 100 kHz a 300GHz.

Dentro de este, se puede hacer una primera división que corresponde al intervalo de 100 kHz a 300 MHz que engloba las llamadas RADIOFRECUENCIAS y una segunda división de 300 MHz a 300 GHz que comprende la radiación de MICROONDAS propiamente dicha.

Dada la similitud de este tipo de radiaciones, podemos hacer un estudio conjunto de las características físicas y fuentes de exposición tanto de las RADIOFRECUENCIAS como de las MICROONDAS.

Estas radiaciones, al tener frecuencias bastante más elevadas, no llegan a tener la energía suficiente para ser ionizantes pero si pueden excitar los estados de rotación y vibración de átomos y moléculas y se produce la conversión de energía electromagnética en energía térmica.

Las Radiofrecuencias como ya se ha dicho, ocupan la franja de frecuencias de 100 kHz a 300 MHz, con unas longitudes de onda que van de 3 Km a 1 m y una energía fotónica del orden de  $10^{-9}$  a  $10^{-6}$  eV.

Las Microondas están en el intervalo de frecuencias de 300 MHz a 300 GHz, sus longitudes de onda van desde 1 m a 1mm y la energía fotónica oscila de  $10^{-6}$  a  $10^{-3}$  eV.

Veamos ahora como pueden originarse este tipo de radiaciones:

Si tenemos una corriente eléctrica en una antena y la hacemos oscilar a una cierta frecuencia, se producen un campo eléctrico y otro magnético en las proximidades de la antena, que se propagan desde la misma a la frecuencia de la corriente de oscilación.

Las ondas de los campos eléctrico y magnético son transversales, es decir, que forman ángulos rectos en la dirección de propagación.

Se propagan a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/sg en el aire) y depende del medio que atraviesa.

La velocidad disminuye y la onda se hace correlativamente más corta cuando la radiación entra en medios biológicos, especialmente cuando éstos contienen una gran proporción de agua.

Esta propiedad es muy importante y útil en los procesos de secado (pasta de papel, madera etc) ya que al haber zonas con diferentes humedades en la materia a secar, en las zonas con más contenido de agua la longitud de onda de la radiación se acorta, aumenta la frecuencia y por tanto la energía (ya vimos anteriormente que eran proporcionales) dando lugar a un secado más energético en dichas zonas, siendo el secado más suave en las zonas con menos agua.

Esto hace que se consiga un secado rápido y de gran calidad al ser muy homogéneo, sin dar lugar a efectos de sobresecado en las zonas más secas como ocurre al emplear otras fuentes de calor convencionales.

La energía que se absorbe puede convertirse en otras formas de energía y causar interferencias en el organismo. La mayor parte de esta energía se convierte en calor. Sin embargo, no todos los efectos se explican por absorción de energía y su conversión en calor, se ha comprobado en forma teórica y con experimentos, que existen interacciones a nivel microscópico que causan alteraciones en los sistemas biológicos macromoleculares y se considera que ello dependa tal vez de la frecuencia de [resonancia](#).

La absorción de energía depende de las propiedades dieléctricas y conductores del material.

Una antena concentra la energía en un campo de radiación.

La polarización de una antena se define como la orientación del vector del campo eléctrico en el campo radiado.



Para que haya la máxima transferencia de energía, la antena receptora debe tener la misma polarización que la transmisora.

Las radiaciones que estamos estudiando se pueden generar con un equipo que generalmente consta de los siguientes elementos (FIG. 8).

### GENERACIÓN DE MICROONDAS

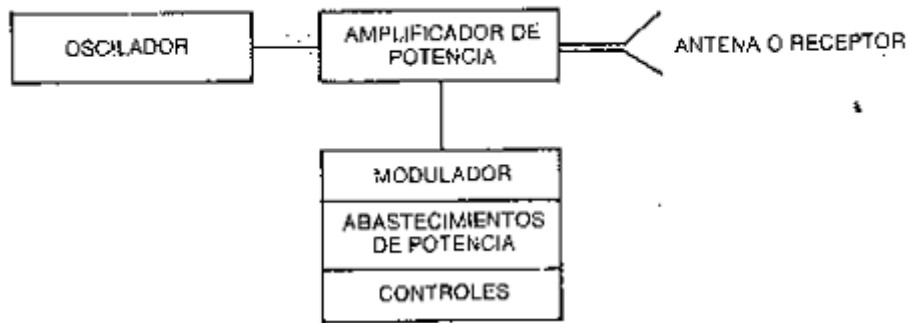


FIG. 8

Los amplificadores de potencia suelen ser tubos de vacío de diversas características.

Como oscilador se usa el MAGNETRON, tanto para proporcionar pulsos en los transmisores de radar, como para hornos de secado, hornos domésticos etc.

Dentro de los amplificadores de potencia se pueden mencionar el KLYSTRON de dos cavidades y el TWT (Traveling Wave Tube).

Existen numerosas fuentes de radiaciones de R.F y M.O., entre ellos podemos citar como más importantes por estar muy extendidas en el mundo laboral, las siguientes:

- Hornos domésticos para preparación y calentamiento de alimentos.
- Hornos industriales para secado (papel, madera, pollos, patatas fritas, cerámica, lanas, etc).
- Diatermia Clínica, pasteurización.
- Radio, televisión, teléfono, radar, teléfonos móviles.
- Monitores de coches de policía, controles de velocidad, alarmas antirrobo etc.

La gran ventaja de este tipo de radiaciones en su aplicación en hornos (tanto industriales como caseros) es su propiedad de penetración en la materia a calentar, lo cual hace que en lugar de producirse un calentamiento de fuera a dentro como en los hornos convencionales, se produzca un calentamiento en todo el volumen a la vez, con lo cual el sacado o preparación del alimento es mucho más rápido, siendo de algunos minutos frente a horas en los métodos convencionales.

Otra propiedad muy importante es el mayor aporte de energía y por tanto mayor secado, en las zonas con más contenido de agua, lo que proporciona un secado más uniforme sin efectos no deseados de recalentamiento.

Las frecuencias de emisión más comunes, tanto en hornos como en equipos de Diatermia Clínica, son 27,12 MHz; 915 MHz y 2450 MHz. En cuanto a las potencias suelen oscilar de 1 ó 2 KW hasta 50 KW.

En radar se utilizan potencias muy elevadas y frecuencias de hasta 12 GHz.

Por último, en telefonía móvil la frecuencia suele ser de 900 MHz a 1 GHz y las potencias no son muy elevadas.

## CAPÍTULO 4: EFECTOS BIOLÓGICOS DE CADA UNA DE LAS R.E.M.

Comenzaremos hablando de los efectos biológicos de las radiaciones ubicadas al principio del espectro electromagnético, es decir, de los campos de Baja Frecuencia, y Frecuencia Extremadamente Baja, comprendidos en la banda de frecuencias de 1Hz a 100 kHz.

Antes de esto mencionaremos los efectos que pueden producir los Campos Magnéticos Estáticos (es decir de frecuencia 0Hz):

Si el campo magnético estático sobrepasa la restricción para exposición corporal en trabajadores que está establecida en 2T, existe la posibilidad de vértigos o náuseas y efectos nocivos para la salud como resultado de arritmias cardíacas, capacidad mental alterada y la inducción de campos eléctricos a través de los grandes vasos sanguíneos.

Los campos electromagnéticos de frecuencia baja y extremadamente baja, ya vimos que no tenían la energía suficiente para excitar los estados de rotación y vibración en las moléculas, por tanto no habrá conversión en energía calorífica ni aumento de temperatura corporal.

Los efectos biológicos de las Radiocfrecuencias y Microondas, se pueden clasificar en dos tipos:

### Efectos térmicos

Son los más estudiados y resultan de la conversión de la energía electromagnética en energía térmica.

Como ya vimos, en este intervalo de frecuencias (MO y RF), las radiaciones emitidas no tienen un poder energético suficiente para ionizar la materia, pero sí son capaces de transformar la energía radiante incidente en energía rotacional. Aumenta por tanto la energía cinética molecular y se produce el calentamiento. Este incremento de la temperatura corporal se distribuye irregularmente en el interior del organismo, estableciéndose gradientes térmicos.

### Efectos no térmicos

Posteriormente se observó que se producían lesiones en órganos internos sin que se produjese una elevación de la temperatura corporal. Estos efectos de carácter no térmico se han tratado de explicar desde diferentes teorías:

- Interacción a nivel molecular, celular o tisular (membranas biológicas)
- Interferencias directas con fenómenos bioeléctricos (alteraciones registradas en el electroencefalograma y electromiograma)
- Alteraciones en la transmisión de la información genética.

No se puede elaborar un modelo predictivo de las consecuencias biológicas de la exposición a MO y RF, debido a que existe una impredecible y no uniforme absorción y distribución de la energía.

Cuando el aumento de la temperatura exceda la capacidad de disipación del sistema termorregulador del organismo, se producirá una hipertemia, que puede dar lugar a lesiones locales, quemaduras, hemorragias, necrosis y muerte tisular.

Las exposiciones de densidad de potencia alta (mayores de 10 mW/cm<sup>2</sup>) serán capaces de producir un aumento de la temperatura corporal).

Lógicamente, las regiones y órganos con una pobre vascularización serán los más susceptibles al daño térmico (ojo y testículo).

Existen numerosos estudios tanto en experimentación animal como en investigaciones efectuadas en población laboral expuesta.

De todos ellos se pueden extraer una serie de síntomas, trastornos, alteraciones y modificaciones estructurales, que ordenados según los distintos sistemas y órganos, pueden mencionarse como más comunes los siguientes:

## EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO

- Cefaleas, astenia, anorexia, fatiga, mareos, temblores, insomnio, opresiones torácicas, sudoración, hipotonía etc.
- Alteraciones transitorias del electroencefalograma.
- Interacción de la energía absorbida con ciertos medicamentos, aumentando la sensibilidad a los fármacos convulsionantes o potenciando la acción de los depresores del sistema nervioso central.
- Modificaciones estructurales del tejido nervioso y posible aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica.

En todos estos efectos descritos no podemos excluir la existencia de otros mecanismos de interacción diferentes al térmico.

## EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA CARDIO-VASCULAR

- Alteraciones de la tensión arterial
- Alteraciones del ritmo cardiaco
- Cambios en el volumen sistólico en exposiciones agudas.

En cambio no se han descrito alteraciones en el registro electrocardiográfico.

## EFFECTOS OCULARES

- Opacidades y cataratas
- Lesiones en córnea: se han diagnosticado queratitis en exposiciones a MO muy próximas a la región del espectro de la radiación infrarroja.
- Alteraciones retinianas de tipo degenerativo.

Para que se produzcan cataratas deberán ser exposiciones agudas a densidades de potencia muy altas (mayores de  $150 \text{ mW/cm}^2$ ) y con un intervalo de frecuencias mayor de 500 MHz (sobre todo a 2.450 MHz).

## EFFECTOS HEMATOPOYETICOS

- Existen modificaciones en el número de eritrocitos y leucocitos, que guardan relación con la densidad de potencia.
- Alteraciones en los leucocitos en exposiciones mayores de  $10 \text{ mW/cm}^2$ .
- No hay evidencia de lesiones en la médula ósea.

## EFFECTOS SOBRE LA AUDICIÓN

La absorción de energía de MO produce una expansión termoelástica del tejido cerebral, que origina una onda de presión acústica que es detectada por vía ósea por las células del órgano de Corti.

## EFFECTOS GENETICOS Y A NIVEL CELULAR

- Aberraciones cromosómicas y alteraciones de la mitosis
- Estudios sobre proliferación celular y síntesis del DNA
- Alteraciones en la actividad respiratoria mitocondrial.

## EFFECTOS SOBRE LA REPRODUCCION Y EL DESARROLLO

Las exposiciones de MO y RF mayores de  $10 \text{ mW/cm}^2$  son capaces de interferir en la reproducción y el desarrollo, debido a la alta sensibilidad al stress térmico que tienen ambas funciones (aunque no se pueda excluir la existencia de otros efectos no térmicos).

El órgano diana principal es el testículo, debido a su escasa vascularización.

Puede existir afectación de la espermatogénesis. Estas lesiones suelen ser reversibles, excepto cuando se produce necrosis.

Podemos concluir que no se ha establecido de una forma clara la relación causal entre la exposición a RF y M0, y los efectos observados en la salud, siendo necesario aportar más datos sobre la exposición.

Otro campo de acción es realizar estudios epidemiológicos en la población trabajadora expuesta, que nos permitan confirmar o descartar los efectos observados experimentalmente y cuyos resultados sean estadísticamente significativos.

Aunque, como hemos visto, los efectos térmicos han sido bastante estudiados, aún queda mucha labor de investigación tanto experimental como epidemiológica y estadística para poder delimitar de una manera clara y precisa, los efectos para la salud de este tipo de radiaciones.

## **CAPÍTULO 5 : UNIDADES, EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICION DE LAS R.E.M.**

Las magnitudes que se utilizan para la medición de las radiaciones electromagnéticas en el intervalo de frecuencias de 0Hz a 300 GHz, son el campo eléctrico que se designa con la letra E, el campo magnético que se designa con la letra H y la densidad de potencia que se designa con la letra S.

Cuando la distancia del punto en el cual deseamos medir la radiación a la fuente emisora, es superior a la longitud de onda, los campos eléctricos y magnéticos están en fase y la densidad de potencia sería igual a  $S = E \times H$ .

A una distancia suficientemente alejada de la fuente como para que pueda ser considerada puntual (condiciones de campo lejano), la fracción E/H es igual a 377 ohmios y la densidad de potencia podría ser obtenida por cualquiera de las dos expresiones:  $S = E^2/377$  o  $S = H^2 \times 377$ .

En campo próximo, estas relaciones no son aplicables y se deberían determinar por separado la intensidad del campo eléctrico y la del campo magnético.

Las unidades que se manejan para la medición de estas radiaciones son las siguientes:  
Para determinar el campo eléctrico E, se mide la intensidad de dicho campo, tomando como unidad el Voltio por metro (V/m).

Para determinar el campo magnético H, se mide la intensidad de dicho campo, tomando como unidad el Amperio por metro (A/m).

El campo magnético H, también se determina a veces por la densidad de flujo magnético, tomando como unidad el Tesla (T).

Para la medición del campo magnético también se puede utilizar como unidad el Gauss (G).

Por último también se puede utilizar otra magnitud para medir la radiación que es la densidad de potencia S, que se define como la potencia radiante incidente por unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación.

La unidad más frecuente para medir la densidad de potencia, es el milivatio por centímetro cuadrado ( $mW/cm^2$ ).

Se usa para valorar la exposición en la gama de microondas. Empleando esta magnitud se efectúa una valoración conjunta de los campos eléctrico y magnético.

Resumiendo en un cuadro las principales unidades de medición de estas radiaciones, nos queda:

V/m	Campo eléctrico
A/m	Campo magnético
T	Campo magnético
G	Campo magnético
mW/cm <sup>2</sup>	Campo eléctrico y magnético conjuntamente

Las equivalencias entre las tres unidades que se emplean para medir campos magnéticos (A/m, T, G) son:

1T <> 800 kA/m  
 1G <> 80 A/m  
 1T <> 10<sup>4</sup> G

Teniendo en cuenta estas relaciones podemos pasar de unas a otras para establecer las comparaciones con los valores de referencia que se adopten en cada caso.

En cercanías de fuentes de microondas y en radiofrecuencias con mayores longitudes de onda, así como en ELF (50 Hz), donde las medidas siempre se hacen en campo próximo, deben medirse siempre E y H por separado ya que la densidad de potencia no es una magnitud apropiada. (FIG. 13)

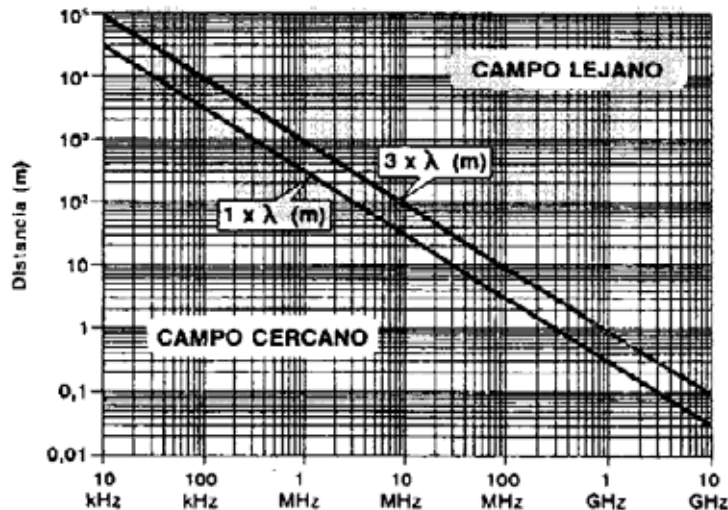


FIG. 13

Cuando nos encontramos a una distancia suficientemente lejana de la fuente (entre 1 y 3 longitudes de onda) como para que la transmisión se realice en "campo libre", es decir sin interferencias se cumple la condición de ONDA PLANA.

Esto quiere decir que el campo eléctrico y el magnético están en fase (se transmiten por el espacio oscilando en planos perpendiculares entre sí), y que la relación entre ellos es:

$$S = E \times H.$$

En la zona de "campo lejano" el cociente  $E/H = 377 \text{ O}$  (como ya habíamos visto) y se puede medir  $S$  en función de  $E$  ó de  $H$ , ya que:

$$S = E^2/377 \text{ o bien } S = H^2 \times 377$$

En campo próximo estas relaciones no son aplicables y deberán calcularse separadamente la intensidad del campo eléctrico y del campo magnético.

En la medición de las radiaciones que estamos estudiando, pueden presentarse diferentes clases de problemas. Unos debidos a la propia radiación en sí (radiación pulsada, proveniente de varios focos simultáneos etc), otros debidos a la elección de los puntos de medida, entorno que los rodea, etc, y por último a los propios equipos de medición.

Vamos a recordar lo que son la intensidad de campo eléctrico y la intensidad de campo magnético.

La intensidad de campo eléctrico  $E$ , define el campo eléctrico.

Es la fuerza que ejerce el campo eléctrico en un punto del espacio sobre una carga positiva. Se trata por lo tanto de un vector, con un módulo y una dirección en el espacio definida por los ejes  $x$  y  $z$ . El campo eléctrico resultante en un punto es la raíz de la suma de los cuadrados de la intensidad de campo eléctrico en cada dirección:

$$E_R = (E_x^2 + E_y^2 + E_z^2)^{1/2}$$

La intensidad de campo magnético  $H$  es una magnitud para expresar el campo magnético. También es un vector, definido por sus componentes  $x$ ,  $y$  y  $z$ . El campo magnético resultante en un punto es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la intensidad de campo magnético en cada dirección

$$H_R = (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)^{1/2}$$

iertos equipos para medir radiación, fundamentalmente con una frecuencia de 50 Hz y que tengan alguna antigüedad, nos proporcionan las intensidades de campo eléctrico y magnético según los componentes en los tres ejes coordenados.

Esto implica varias dificultades. Primero, encontrar en el espacio las tres direcciones de los ejes respecto a la línea que emite los campos. Segundo, la orientación de la sonda (que en estos equipos es circular y plana a modo de raqueta) perpendicularmente a cada uno de los tres ejes, y haciendo coincidir en cada una de las tres mediciones, el punto central de dicha sonda circular, con el punto en el cual se desea efectuar la medición del campo electromagnético.

Tercero, una vez obtenidos los tres valores correspondientes a los tres componentes del campo eléctrico, habremos de elevar el cuadrado cada uno de ellos, sumar las tres cantidades y obtener la raíz cuadrada de dicha suma.

Exactamente igual tendríamos que hacer para el campo magnético.

Como vemos, es un procedimiento de medición trabajoso, lento y muy propenso a cometer imprecisiones.

En los equipos más modernos, todas estas dificultades se obvian, al proporcionarnos lecturas de campo eléctrico y magnético ya integrados según los tres ejes, con lo cual nos evitamos los problemas de orientación de la sonda y la realización de operaciones matemáticas.

Estas mediciones integradas se denominan RMS (Root Mean Square) y las dan directamente los equipos con lecturas digitales en V/m para campo eléctrico y en A/m, en T ó en G para el campo magnético.

Si deseásemos conocer los componentes del campo según los tres ejes coordenados, la mayoría de los equipos modernos, a parte del valor RMS, nos dan los tres valores según los ejes X, Y, Z.

También los últimos equipos de medición nos pueden dar el valor medio en un determinado período de tiempo y también el valor máximo encontrado.

Estos equipos actúan como pequeños ordenadores que van acumulando los datos de las mediciones en memoria y al final de la jornada los pueden verter a una impresora que nos da todos los datos acumulados de una manera rápida y sin necesidad de efectuar ninguna operación matemática.

Todo esto, unido a la reducción en tamaño y peso, tanto del equipo como de las diferentes sondas, hace que las operaciones de medición resulten más sencillas y rápidas, así como mucho más exactas que en los equipos de hace más de diez años.

La aparición de las pantallas digitales nos proporcionó los valores de las mediciones por medio de cifras que nos dan valores exactos con el margen de error del equipo que suele ser pequeño (1%, 2%, 3% como máximo).

Esto ha evitado un factor importante de error en los equipos antiguos provistos de dispositivos analógicos, en los cuales una aguja que oscilaba marcaba la lectura sobre un limbo graduado y en la cual el operador tenía que estimar a ojo el punto señalado por la aguja, si esta permanecía entre dos divisiones, con la consiguiente imprecisión en el valor estimado, que a veces podía superar el margen de error marcado para el equipo en cuestión.

Otra circunstancia que puede provocar errores en la medida, es la propia presencia del operador que la realiza, ya que el cuerpo humano puede distorsionar las líneas de fuerza del campo eléctrico si está cercano a la sonda del equipo.

Para evitar esta circunstancia, hay equipos que tienen unas pantallas adicionales que se unen al equipo medidor mediante un cable de fibra óptica y el operador puede ir observando los valores de medición situado a dos o tres metros del equipo medidor, evitando así posibles distorsiones.

En los equipos que van acumulando los valores de medición en la memoria, se puede fijar el equipo de medición en un trípode y el operador se aleja mientras se realizan las medidas.

También hay que tener muy en cuenta donde se sitúan los puntos de medición, ya que si están cercanos a paredes con superficies reflectoras pueden falsear la radiación emitida por el foco al reflejar ondas que en principio no alcanzarían el punto en que se mide, o podrían reflejar ondas de equipos próximos que pueden influir en la medida debido a dichas reflexiones.

Cuando hay que medir un puesto de trabajo no se puede elegir el punto de medición, si no que éste ha de ser el punto donde se encuentra el trabajador durante su jornada. En este caso, aunque incida alguna radiación de otro equipo que no sea el manejado por el trabajador o se produzca alguna reflexión en dicho punto habrá que tenerlas en cuenta, ya que en este caso lo que nos importa son los campos que llegan al trabajador más que los emitidos por el equipo que maneja.

En el caso de que en un puesto de trabajo, incidan las radiaciones de dos o más equipos que funcionan simultáneamente en sus proximidades, habrá que medir por separado los campos eléctricos y magnéticos de cada uno de los equipos estando los demás desconectados y para ver si el conjunto de radiaciones que llegan a ese punto es tolerable deberá cumplirse que:

Para frecuencias comprendidas de 0 a 60 Hz :

$$\sum_i \frac{E_i}{E_{RL,i}} \leq 1 \qquad \sum_j \frac{H_j}{H_{RL,j}} \leq 1$$

Y para frecuencias comprendidas entre 60 Hz y 700 kHz:

$$\sum_i \frac{E_i}{E_{RL,i}} + \sum_j \frac{H_j}{H_{RL,j}} \leq 1$$

Por último deberá cumplirse para frecuencias comprendidas entre 700 kHz y 300 GHz:

$$\sum_i \left( \frac{E_i}{E_{RL,i}} \right)^2 \leq 1 \quad y \quad \sum_j \left( \frac{H_j}{H_{RL,j}} \right)^2 \leq 1$$

Siendo  $E_i$  y  $H_j$  las componentes de los campos eléctricos y magnéticos en V/m y A/m respectivamente y  $E_{RL,i}$  y  $H_{RL,j}$  los niveles de referencia correspondientes a dichos campos dados por la ENV-50166.

Otro problema que puede presentarse en la medición, es que se trate de radiaciones pulsadas (muy frecuentes en radares y algunos otros equipos), para lo cual habremos de medir los valores pico de dichas radiaciones, que se producen a intervalos fijos de tiempo y durante intervalos pequeñísimos (décimas, centésimas o milésimas de segundo).

Esto presenta bastante dificultad en equipos con lectura analógica, ya que hay que determinar la posición de la aguja en un instante, lo cual da lugar a imprecisiones.

En los equipos más modernos de lectura digital, el valor del pico queda reflejado en cifras de manera mucho más fehaciente y lo que habrá que tener en cuenta es la utilización de un equipo cuyas sondas sean capaces de recoger el pico de la radiación en el pequeñísimo intervalo de tiempo en que se produce.

En general la selección del método de medida y el instrumento a utilizar depende de la frecuencia, características del campo (próximo o lejano), tipo de modulación (continua con valores RMS o pulsada con valores pico) y número de fuentes radiantes.

Los equipos que se usan para medidas de intensidad de campo o densidad de potencia constan de tres partes: la sonda, cables conectores e instrumentación. Los elementos sensores del campo se incluyen en la sonda. Se usan dipolos en los sensores de campo eléctrico y espiras en los sensores de campo magnético. La detección de voltaje RF puede darse en la sonda o en el instrumento. En los detectores se usan típicamente diodos o termopares. Los cables se usan para conectar la señal medida en la sonda con el instrumento donde la señal es procesada y exhibida.

Como hemos visto a lo largo de este apartado , realizar medición correcta y apropiada de REM tiene una serie de puntos y dificultades que hay que tener en cuenta y que debemos resolver.

Primero hay que procurar tener un conocimiento lo más exhaustivo posible de la radiación que vamos a medir (frecuencia de la misma, potencia, si es continua o pulsada, etc).

Luego un estudio del punto de medición (si está en campo próximo o lejano, si está sometido a radiaciones reflejadas, si le llegan radiaciones de otros equipos etc).



Por último, la elección de las unidades y del equipo de medición, que este sea apropiado para la radiación que vamos a medir (que abarque el intervalo de frecuencias que vamos a medir. Que la sonda sea la apropiada, que su tiempo de respuesta sea el necesario para captar los picos si se trata de radiación pulsada etc).

Nos damos cuenta, que las operaciones de medida no son tan sencillas como pudiera parecer en un principio y que aparte de una serie de conocimientos técnicos sobre radiaciones y equipos, hay que tener en cuenta otra serie de factores que nos va dando la experiencia y la práctica del operador, a lo largo de años y de repetición de medidas en equipos de características similares y con problemas parecidos.

## **CAPÍTULO 6: VALORES DE REFERENCIA PARA EXPOSICIÓN A R.E.M**

Desde la entrada en vigor de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, los CEM entre 0Hz y 300GHz se agrupan en la categoría de riesgos generales que hay que prevenir, que no disponen de legislación específica que regule los niveles de exposición, pero si de normas para la evaluación del riesgo.

De forma general, a la exposición laboral a CEM se le puede aplicar la misma legislación general que a las radiaciones ópticas, para proteger la salud y seguridad de los trabajadores (Ley 31/1995, RD 39/77 "Servicios de Prevención"; RD 1215/1997 "equipos de trabajo") y también la legislación de seguridad aplicable a la comercialización de equipos (RD 1435/1992 "máquinas").

En todo lo relacionado con el transporte y distribución de energía eléctrica existe la obligación de cumplir el Reglamento de líneas eléctricas de alta tensión (MINER D 3151/68 de 28 de Noviembre. B.O.E. 8.3.69) (ver NTP-73 en la bibliografía).

Todavía no hay legislación española sobre niveles de exposición laboral para CEM de 0Hz-300 GHz, al menos hasta que no se publiquen los valores que proponga la UE para los Agentes Físicos en la futura Directiva. Sin embargo al tratarse de un riesgo que ha provocado una gran controversia y preocupación internacional, el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CEN/CENELEC) publicó en 1995, con carácter experimental, dos normas sobre exposición a CEM, publicadas en España por AENOR en 1996.

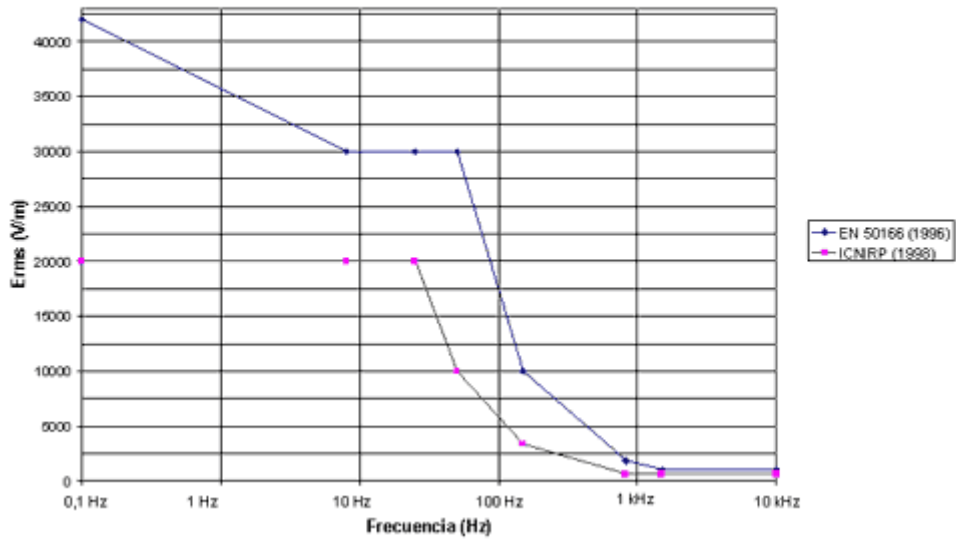
UNE-ENV 50166-1 "Exposición humana a CEM de baja frecuencia (0Hz a 10 kHz)"  
UNE -ENV 50166-2 "Exposición humana a CEM. Alta frecuencia (10 kHz a 300 GHz)".

Se publican como normas prospectivas para su aplicación provisional con el fin de ganar experiencia con su uso. Puede ser modificada a la luz de esa experiencia o de nuevos datos científicos antes de ser convertida en norma definitiva.

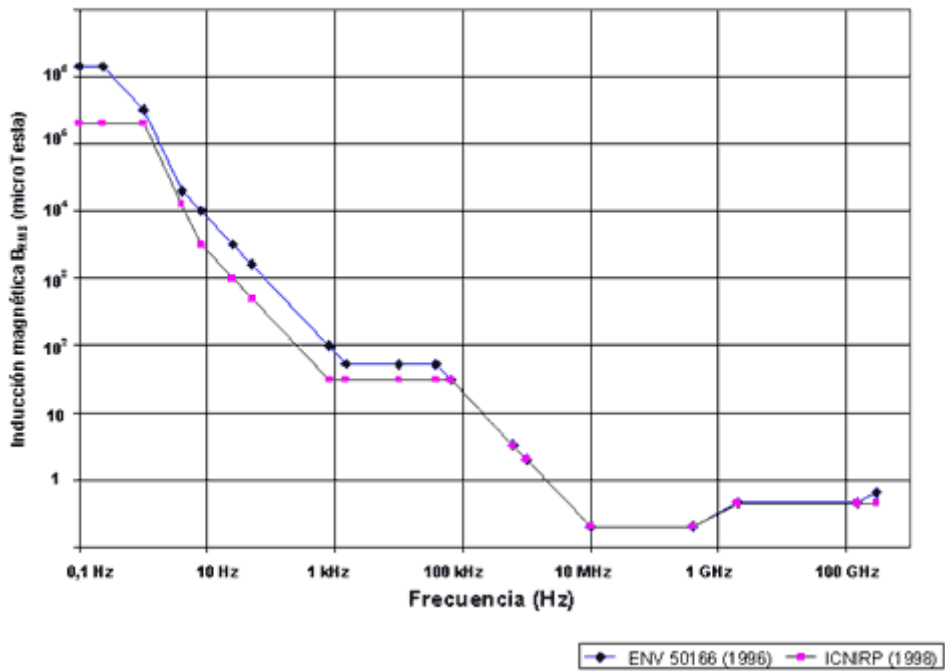
Estas normas se basan en los mejores datos disponibles en 1995, provenientes de la experimentación en laboratorios y de estudios epidemiológicos, recopilados y valorados en las guías que editan organizaciones internacionales de expertos, como ICNIRP, ANSI/IEEE, IEC. Dada su condición de normas experimentales, se revisaron en 1997 y se volvieron a adoptar por otro periodo de tres años hasta disponer de más información.

Una vez pasado este período de tres años, estas normas han quedado en desuso y el CNNT compara, hoy en día, todos los valores obtenidos en mediciones con los valores de referencia publicados por el ICNIRP en 1998.

**CAMPO ELÉCTRICO**  
 Comparación de niveles de referencia (0 Hz a 10 kHz)  
 ENV 50166 e ICNIRP



**CAMPO MAGNÉTICO**  
 Comparación de niveles de referencia



La comparación de niveles, entre los de la ICNIRP y los de la ENV 50166, pueden verse a continuación en las siguientes tablas:

CAMPO MAGNÉTICO COMPARACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA				
FRECUENCIA	$B_{RMS}$ mT		$H_{RMS}$ A/m <sup>2</sup>	
	EN 50166 (1996)	ICNIRP (1998)	EN 50166	ICNIRP
0,10 Hz	1400	200	1591549	163000
0,23 Hz	1400	200	1114084	163000
1 Hz	320	200	254648	163000
4 Hz	20	12,5	15915	10187,5
8 Hz	10	3,125	7961,8	2500
25 Hz	3,2	1	2547,8	800
50 Hz	1,6	0,5	1273,9	400
820 Hz	0,098	0,0307	77,7	24,4
1500 Hz	0,053	0,0307	42,2	24,4
10 kHz	0,053	0,0307	42,2	24,4
38 kHz	0,053	0,0307	42,1	24,4
65 kHz	0,031	0,0307	24,6	24,4
610 kHz	0,003	0,003	2,6	2,6
1 MHz	0,002	0,002	1,6	1,6
10 MHz	0,0002	0,0002	0,16	0,16
400 MHz	0,0002	0,0002	0,163	0,16
2 GHz	0,0005	0,0004	0,364	0,36
150 GHz	0,0005	0,00045	0,364	0,36
300 GHz	0,001	0,00045	0,515	0,36

CAMPO ELÉCTRICO COMPARACIÓN DE NIVELES DE REFERENCIA		
FRECUENCIA	$E_{RMS}$ (V/m)	
	EN 50166 (1996)	ICNIRP (1998)
0,1 Hz	42000	20000
8 Hz	30000	20000
25 Hz	30000	20000
50 Hz	30000	10000
150 Hz	10000	3333
820 Hz	1829	610
1500 Hz	1000	610
10 kHz	1000	610
38 kHz	1000	610
65 kHz	1000	610
614 kHz	1000	610
1 MHz	614,0	610
10 MHz	61,4	61
400 MHz	61,4	61
2 GHz	137	137
150 GHz	137	137
300 GHz	194	137

Como vemos los niveles de la ICNIRP son bastante menores que los de la env 50166 en las frecuencias bajas y medias (hasta dos y tres veces menores), en cambio en las frecuencias altas (a partir de 10 MHz) los niveles de ambas son prácticamente iguales.

Se puede ver la comparación de estos niveles de forma gráfica para campo magnético y eléctrico en las páginas 45 y 46.

## **CAPÍTULO 7: PROTECCION CONTRA LAS DISTINTAS RADIACIONES E.M.**

Para considerar un riesgo potencial por CEM es necesario que el campo sea intenso y que haya un puesto de trabajo cerca. El riesgo dependerá de la frecuencia de emisión del equipo, su potencia de salida, la distancia a la fuente, el tiempo de exposición, el tamaño y orientación del cuerpo respecto a la dirección del campo, etc.

La manera más efectiva y sencilla de protegerse frente a todas las REM (absolutamente todas las del espectro electromagnético, incluyendo las Ionizantes) es apartarse lo más posible del foco de emisión, ya que la radiación que se recibe es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el que recibe la radiación.

Desafortunadamente, hay muchas ocasiones en que no es posible este alejamiento del foco debido a la naturaleza del trabajo y la posición inamovible del puesto en sí.

Como en todas las áreas de la prevención, la mejor manera de protegerse, es actuar: 1º) en la fuente del riesgo. 2º) si esto no es posible, en el medio que nos rodea. 3º) Si no queda otra alternativa, la protección del sujeto, por medio de los procedimientos de protección personal (trajes, guantes, gafas, calzado, etc).

Por tanto se debe procurar que las fuentes emisoras de CEM estén en buen estado de conservación, que tengan las protecciones necesarias (carcasas metálicas, rejillas, cristales, etc) para que no se produzcan fugas y que la radiación no invada espacios que no son necesarios para el trabajo que ha de llevarse a cabo.

Si aún teniendo el máximo cuidado con la fuente emisora, esta diera valores de CEM más altos que los recomendados, en áreas no deseadas o en los puestos de trabajo, se deberá proteger (si esto es posible) estas zonas, mediante apantallamientos que pueden ser planchas metálicas, pantallas de vidrio metalizado, tabiques de mampostería con tableros de madera, planchas de plomo (para las radiaciones más energéticas), etc.

Por último, si todas estas medidas no fuesen suficientes, se procederá a proteger al trabajador con las prendas de protección personal existentes en el mercado y que sean apropiadas y eficaces contra la radiación de que se trate en cada caso.

### **MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE A CEM DE 0Hz a 10 kHz**

La naturaleza del campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja y las condiciones en las cuales se produce, hacen difícil, la mayor parte de las veces, una actuación sobre la fuente emisora.

En cuanto a campo eléctrico se refiere, existe una forma de aislar una zona del espacio de tal modo que la zona aislada no influya en el exterior, ni el exterior influya en la zona aislada. Se trata de la llamada "Jaula de Faraday" y consiste en encerrar la zona que se quiere aislar en un recinto de paredes metálicas puesto a tierra. (FIG.16)

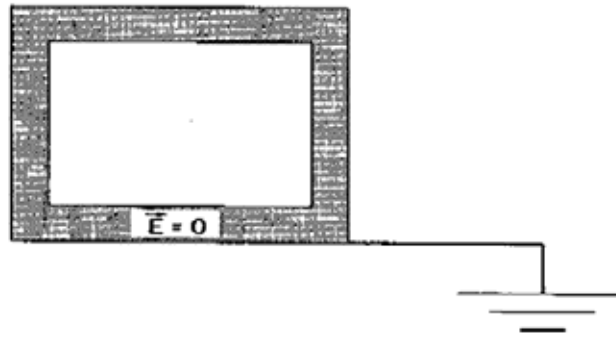


FIG. 16 Jaula de Faraday

Evidentemente este método de aislar una fuente solo es viable en algunos casos en los cuales las dimensiones lo permitan, por ejemplo transformadores. No es así para el caso de líneas de transporte.

El campo magnético es difícil de confinar y penetra fácilmente en el cuerpo humano. Para aislar el campo magnético pueden utilizarse materiales ferromagnéticos, pero este aislamiento normalmente es una medida de control cara y de uso limitado a instrumentación científica. Por ello, el método más económico y recomendable es el distanciamiento de la fuente emisora.

En el caso particular de líneas de transmisión, y para algunas configuraciones, existe una forma de disminuir el riesgo debido al campo magnético, actuando sobre el foco. Por ejemplo alternando las fases, el campo magnético resultante es menor y las configuraciones de la columna derecha reducen sustancialmente el campo magnético en las proximidades (FIG. 17). Incluso para líneas subterráneas, el hecho de compactar las tres fases y encerrarlas en una tubería de acero rellena con un medio oleoso (FIG. 18) permite reducir el campo magnético en las proximidades.

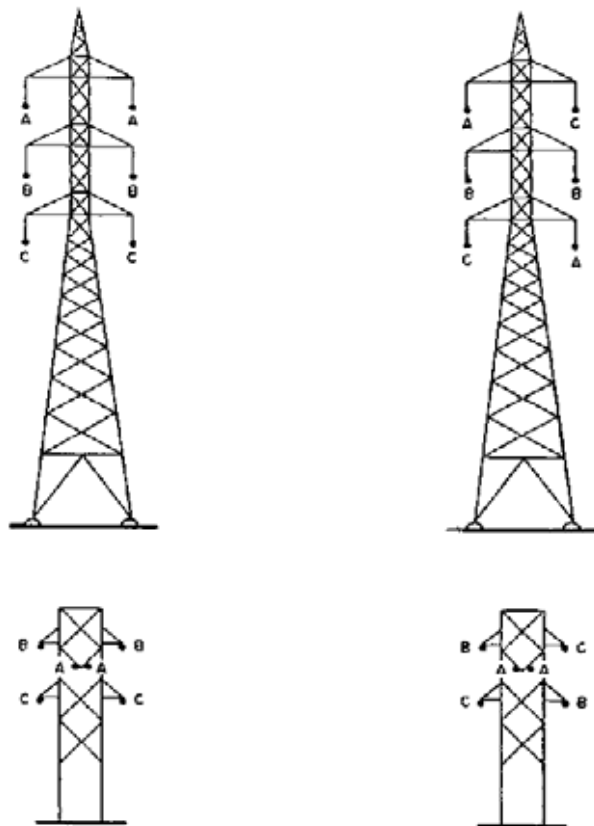


FIG. 17



FIG. 18

Como medida de control se recomienda:

1. Evaluar cualquier proyecto u operación que implique campos electromagnéticos elevados para determinar los riesgos y medidas correspondientes.
2. El diseño adecuado del equipo para reducir las grandes diferencias de potencial o las corrientes inducidas elevadas.
3. No exponerse innecesariamente a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja.
4. El acceso a zonas de campos magnéticos potentes y de altos voltajes debe estar estrictamente controlado.
5. Las zonas afectadas estarán convenientemente señalizadas.
6. Reducir la duración de la exposición diaria en proporción al grado de disconfort experimentado.
7. Uso de dispositivo o ropas que reduzcan la intensidad de campos eléctricos actuando sobre el cuerpo.
8. Llevar un control médico del personal expuesto.

En cuanto a trabajadores con marcapasos implantados, la tecnología ha reducido considerablemente la susceptibilidad a las influencias eléctricas externas al cuerpo. De todas formas debe buscarse el consejo del fabricante del dispositivo y de la autoridad médica que lo implantó. Existe una norma CENELEC sobre interferencias y marcapasos cardiacos (EN 50061:1988/A1:1995).

#### MEDIDAS DE CONTROL FRENTE A RF y M0 (100 KHz a 300 GHz)

En condiciones de campo lejano, la exposición en un punto determinado, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de ese punto al foco emisor. Por tanto, siempre que sea posible, una medida barata, sencilla y fácil de aplicar, es alejarse de la fuente emisora. Esto se consigue mediante el marcado de distancias de seguridad.

Veamos una fórmula sencilla para calcular distancias de seguridad para no recibir densidades de potencia mayores de un determinado valor marcado a priori.

La intensidad del campo, puede ser calculada mediante la ecuación:

$$W_f = \frac{P_t G_t}{4 \pi D^2}$$

Siendo:

$W_f$ = Densidad de potencia del campo en  $W/cm^2$   
 $P_t$ = Potencia media transmisora en W  
 $G_t$ = Ganancia de potencia de la antena  
 $D$ = Distancia a la antena en cm

De dicha fórmula se puede despejar  $D^2$

$$D^2 = \frac{P_t G_t}{4 \pi W_f}$$

Por lo tanto, la distancia que se deberá guardar al foco emisor para no superar la densidad de potencia  $W_f$ , será:

$$D = \sqrt{\frac{P_t G_t}{4 \pi W_f}}$$

Dicha distancia vendrá dada en cm.

Aunque las antenas vienen de fábrica con una ganancia conocida, esta se podría calcular por la expresión:

$$G = \frac{4 \pi A}{\lambda^2}$$

Siendo :

A= Area efectiva de la sección de la antena en  $\text{cm}^2$

$\lambda$ = Longitud de onda en cm de la radiación de M.O.

Cuando el distanciamiento a la fuente no sea posible, se pueden construir habitáculos para proteger a las personas frente a la radiación. Están contruidos con láminas de madera contrachapada entre láminas de metal. Todas las aberturas están apantalladas para absorber cualquier radiación que pueda ser reflejada.

Cuando no se puede utilizar este sistema, se han de atenuar los niveles de densidad de potencia mediante un adecuado apantallamiento. Estos pueden consistir en planchas metálicas o estar contruidos por paneles de malla metálica de distinto número de hilos por centímetro cuadrado, ventanas de cristal, revestimiento de madera, bloques de hormigón, etc.

Existen tablas que dan los distintos factores de atenuación según las diversas pantallas y frecuencia de las radiaciones.

También se puede proteger a los individuos expuestos, mediante trajes absorbentes y protectores de ojos. Las gafas protectoras utilizan una malla muy fina embutida en el cristal y materiales absorbentes a los lados. La visión queda poco afectada y se consiguen atenuaciones importantes para radiaciones de hasta 40 GHz. Tienen el grave inconveniente de ser voluminosas e incómodas. Los trajes absorbentes, reducen los campos de altos niveles y a la vez sirven como protección frente al alto voltaje. El operario puede estar seguro con ellos en campos electromagnéticos con una densidad de potencia hasta 10.000 veces mayor que el límite de seguridad (unos  $100 \text{ W/cm}^2$ ).

Además de estas medidas generales de protección frente a las radiaciones, se pueden tomar una serie de medidas adaptadas a cada caso particular, algunas de las cuales han sido aconsejadas por los técnicos del CNNT en sus visitas a empresas que operan con este tipo de instalaciones.

Por ejemplo, cuando se utilizan hornos industriales de R.F. o M.O., es aconsejable utilizar en las bocas de salida compuertas de guillotina, para disminuir la salida de radiaciones (FIG. 19)

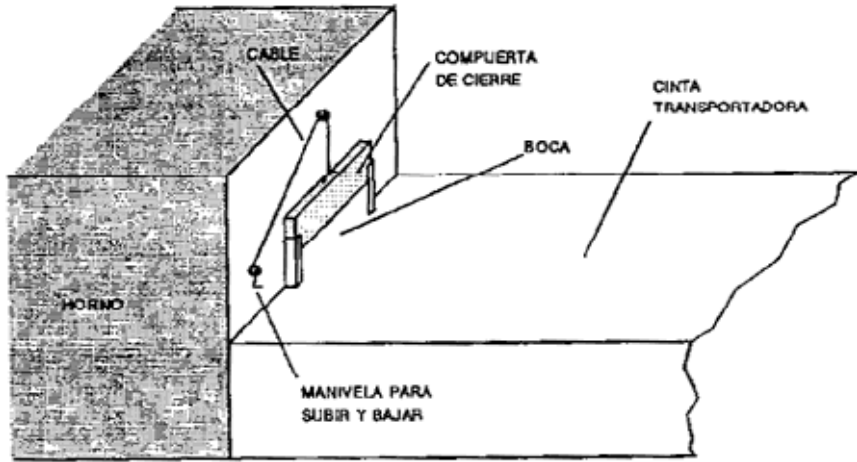


FIG.19

También se pueden instalar pantallas metálicas y faldones abatibles, tanto en las bocas de entrada como de salida, para evitar el acceso de los operarios a esas zonas, protegiéndolas así de la radiación (FIG. 20)

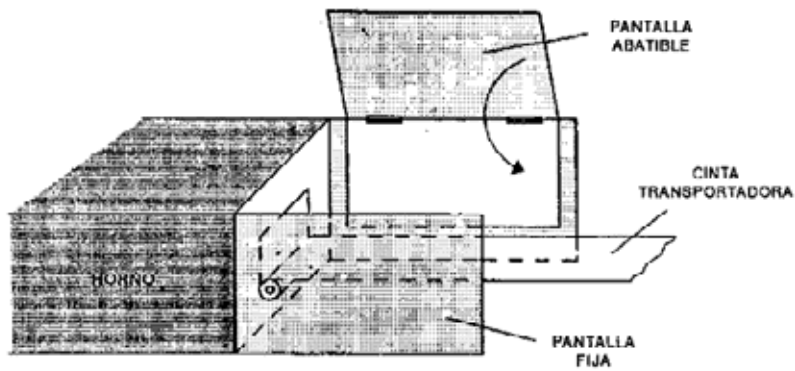


FIG. 20

En cuanto a posibles fugas que pueden producirse a través de rejillas, se puede proteger al trabajador instalando pequeñas pantallas metálicas delante de las mismas (FIG.21)

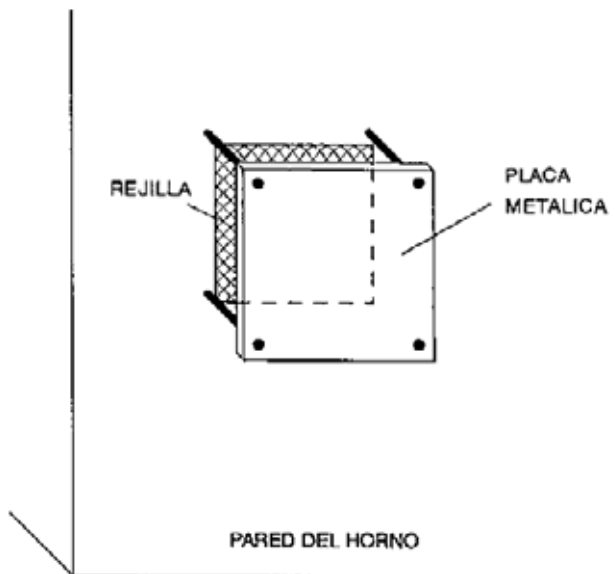


FIG.21



Por último, si las fugas se producen en los perímetros de los portillos, la mejor medida de precaución, es la revisión periódica de los mismos para comprobar el buen estado de los frisos de goma, verificando que los mismos rodean el perímetro completo garantizando así la hermeticidad del cierre.

En algún horno que tenga una radiación elevada en su boca de salida, se puede evitar que los trabajadores manipulen el producto seco en sus inmediaciones, prolongando la cinta transportadora e instalando pantallas laterales de cristal metalizado. (FIG. 22)

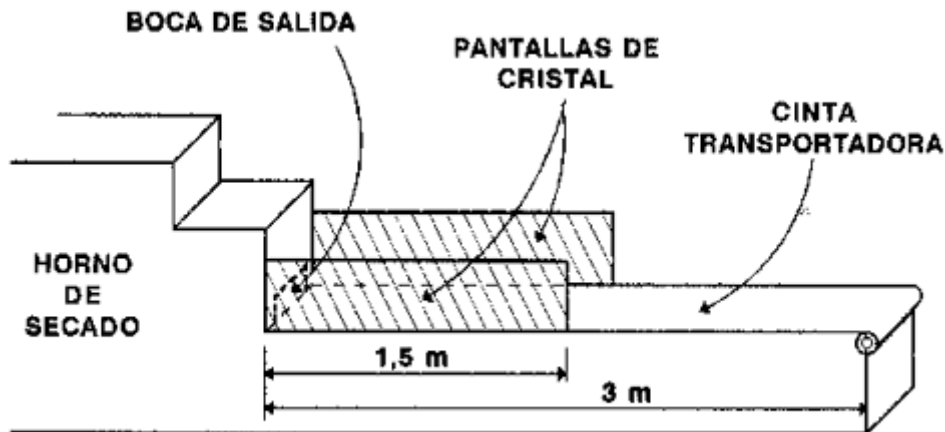


FIG. 22

Horno de secado de lanas

En las instalaciones de diatermia clínica, uno de los elementos que debe revisarse con más cuidado, son los cables transmisores que van de las consolas de mando a las bocinas de radiación. Dichos cables deben estar provistos de un recubrimiento de caucho, con malla metálica embutida, para evitar la fuga de radiación a lo largo de los mismos.

El personal sanitario que maneja estos equipos, debe permanecer durante el tiempo de tratamiento, a una distancia de tres o cuatro metros del foco emisor para evitar las radiaciones de densidad de potencia elevada.

En cuanto a radares instalados en aeropuertos, cimas montañosas, etc, debe cuidarse que el personal que transite por sus inmediaciones, no acceda a zonas sometidas a radiaciones altas, o bien apantallando el espacio que rodea la antena, o bien señalizando simplemente con marcas pintadas, los lugares sobre los que la radiación sobrepasa los valores de exposición recomendados, prohibiendo el acceso a dichas áreas.

En concreto, cada caso particular tendrá su solución más adecuada, estudiando el foco emisor, las condiciones y tiempo de exposición, etc., y sabiendo, por la experiencia adquirida en los distintos estudios, que las medidas de protección, salvo en casos muy particulares, suelen ser sencillas, sin altos costes y fáciles de llevar a la práctica.

CAPÍTULO 8: ANEXOS

**TRABAJADORES** prEnv 50166-2  
**NIVELES DE REFERENCIA PARA INTENSIDAD DE CAMPO Y DENSIDAD DE POTENCIA PARA EXPOSICION CONTINUA**

Frecuencia (MHz)	RMS - Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	RMS - Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia Media (W/m <sup>2</sup> )
0,01 - 0,038	1.000 <sup>(a)</sup>	42 <sup>(a)</sup>	-
0,038 - 0,61	1.000 <sup>(a)</sup>	1,6/f <sup>(a)</sup>	-
0,61 - 10	614/f <sup>(a)</sup>	1,6/f <sup>(a)</sup>	-
10 - 400	61,4	0,16	10
400 - 2.000	3,07 x f <sup>1/2</sup>	8,14 x 10 <sup>-3</sup> x f <sup>1/2</sup>	f/40
2.000 - 150.000	137	0,364	50
150.000 - 300.000	0,354 x f <sup>1/2</sup>	9,4 x 10 <sup>-4</sup> x f <sup>1/2</sup>	3,334 x 10 <sup>-4</sup> x f

f en MHz

a) Valores de referencia para exposiciones solo a campo eléctrico ó magnético. Para exposiciones a ambos componentes (E,H) procedentes de una misma fuente deben ser consideradas como una radiación simultánea desde dos fuentes independientes.

**TRABAJADORES** prEnv 50166-2  
**NIVELES DE REFERENCIA PARA PICOS DE INTENSIDAD DE CAMPO Y DENSIDAD DE POTENCIA**

Frecuencia (MHz)	Valor PICO para intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Valor PICO para intensidad de Campo Magnético (A/m)	PICO en Densidad de Potencia (W/m <sup>2</sup> )
0,01 - 0,23	8.300	200	-
0,23 - 2,1	8.300	46/f	-
2,1 - 10	17.750/f	46/f	-
10 - 400	1.775	4,6	8.160
400 - 2.000	88,8 x f <sup>1/2</sup>	0,23 x f <sup>1/2</sup>	20,4 x f
2.000 - 150.000	3.970	10,3	40.890
150.000 - 300.000	10,3 x f <sup>1/2</sup>	2,66 x 10 <sup>-2</sup> x f <sup>1/2</sup>	0,274 x f

f en MHz

El nivel de referencia para densidad de flujo energético, desde 300 MHz hasta 300 GHz, para pulsos ≤ 30 μs se fija en 0,1 J/m<sup>2</sup>.

**BIBLIOGRAFÍA**

- INSHT. (1988). Radiaciones No Ionizantes. Prevención de riesgos. Madrid: Ed. INSHT, Serie Estudios Técnicos ET011.
- MALDONADO J. Y LANCHAS I. "Efectos de los campos electromagnéticos de extremadamente baja frecuencia". Salud y Trabajo, nº 88 (1991).
- MESTRE J. (1983) distancias a líneas eléctricas de baja tensión y alta tensión (suelo/línea) MADRID: INSHT Nota Técnica de Prevención 73.
- SAN MARTIN D., GUDINO C. (1993) Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja Madrid: INSHT, Serie: Documentos Técnicos nº 73: 1993.
- SAN MARTIN D. (1991) Radiaciones electromagnéticas, microondas y radiofrecuencias en hornos industriales. Madrid: INSHT, Serie: Documentos Técnicos nº 67 : 91.
- SAN MARTIN D. "Estudio sobre la aplicación de radiofrecuencias y microondas a la Diatermia Clínica". Salud y Trabajo, nº 117, 31-34 (1996).
- CEN/CENELEC (1995) Exposición humana a campos electromagnéticos de baja frecuencia (0 Hz a 10 kHz). Norma europea ENV 50166-1 :95.
- CEN/CENELEC (1995) Human exposure to electromagnetic fields, high frequency (10 kHz to 300 GHz). Norma Europea ENV 50166-2 : 95.
- P. COOK N (1986) Microwave principles and systems.
- ILO (1986) PROTECTION OF Workers against radiofrequency and microwave radiation. Occupational safety and health series nº 57
- ICNIRP. "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". Health Physics, 74, 4, (1998), 494 -522.
- ICNIRP. "Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields." Health Physics 66,1,1994, 100-106.
- San Martín D. "Microondas y radiofrecuencias : Generación, aplicaciones y control de riesgos ". Salud y Trabajo nº 76, 1989, 4-10.
- Maldonado J. "Microondas y radiofrecuencias: Efectos biológicos y evaluación de los riesgos para la salud". Salud y Trabajo nº 76, 1989, 11-14.
- San Martín D. "Estudio de las condiciones de utilización de hornos industriales de radiofrecuencias y microondas en España y sus efectos sobre la salud". Salud y Trabajo nº 109, 1995, 25-31.
- WHO (OMS) - "Radiofrequency and Microwaves", Environmental Health Criteria 16, ed. UNEP/WHO/IRPA, Ginebra, 1981.
- Bailey W.H. et al. "Summary and evaluation of guidelines for occupational exposure to power frequency electric and magnetic fields", Health Physics 73 (3) 1997, 433-453.
- Dennis J.A. et al. "Human health and exposure to electromagnetic radiation". NRPB-R241, Ed. National Radiological Protection Board, UK, 1992.
- Martin C.J. "An evaluation of radiofrequency exposure from therapeutic diathermy equipment in the light of current recommendations" Clin. Physiol. Meas. 11 (1) 1990, 53-63.
- UNE-EN 50061/A1 : 97 "Seguridad de los marcapasos cardíacos implantables". CTN 20/21
- UNE-EN 60601-2-33/A11 : 98 " Equipos electromédicos. Parte 2: Requisitos particulares para la seguridad de los equipos de resonancia magnética para diagnóstico médico.
- IRPA/INIRC guidelines, "Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination", Health Physics 61 (6) 1991, 923-928.



## 3.4. Radiaciones ópticas

### INTRODUCCIÓN

Para iniciarse en el estudio de las Radiaciones Ópticas al nivel de especialidad de Higiene Industrial, es necesario dominar los conceptos generales relacionados con las radiaciones en general y en concreto con las radiaciones No Ionizantes. Por esto se aconseja repasar previamente la parte común el tema 3.10 Radiaciones y las primeras páginas del tema 3.3 Campos Electromagnéticos de esta especialidad, donde se exponen detalladamente las características comunes a todas las radiaciones electromagnéticas.

Igualmente, en el tema 3.11 se dispone de información básica sobre las radiaciones ópticas, clasificación, efectos sobre la salud de las radiaciones ópticas, las potenciales fuentes de exposición laboral, la legislación y las medidas de control a aplicar sobre la exposición laboral a radiaciones ópticas; estos temas no se van a repetir en esta unidad, por lo que remitimos al alumno a la mencionada unidad didáctica. No obstante, se vuelve a incluir aquí la clasificación de las radiaciones ópticas, ya que continuamente se hará referencia a cada una de las regiones y subregiones espectrales, y un resumen de sus efectos fisiológicos, que son la base de los criterios utilizados para valorar la exposición laboral a radiaciones ópticas.

En la especialidad se estudiarán otra vez, aunque más ampliamente, aquellos conceptos que debe manejar un Técnico de Prevención para poder evaluar el riesgo de exposición laboral a Radiaciones Ópticas utilizando como referencia los ejercicios propuestos.

En el Anexo se ha agrupado la información útil para ser consultada durante el estudio de este tema y para resolver ejercicios. Se repite la hoja de recogida de datos de la parte general.

### OBJETIVOS

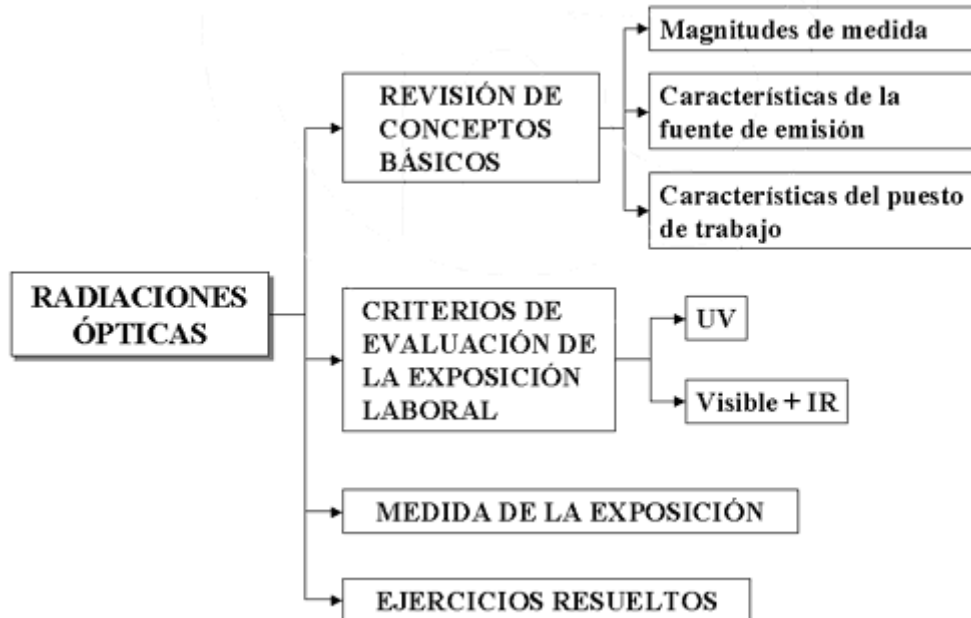
#### Objetivos generales

Capacitar al alumno para evaluar los potenciales riesgos por exposición laboral a radiaciones ópticas.

#### Objetivos específicos

1. Identificar las distintas clases de radiaciones ópticas.
2. Conocer los tipos de riesgos y los efectos para la salud asociados a cada una de ellas.
3. Conocer la normativa aplicable y los criterios utilizados para valorar la exposición laboral a cada tipo de radiación.
4. Estimar la presencia de un potencial riesgo por radiaciones.
5. Evaluar el potencial riesgo en puestos de trabajo sin especial dificultad.
6. Determinar las medidas de prevención y control más apropiadas en cada caso
7. Seleccionar en caso necesario la protección ocular apropiada.

**ESQUEMA DE LA UNIDAD**



**CAPÍTULO 1: REVISIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

Recordemos que las Radiaciones Ópticas son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda está comprendida entre 100 nm y 1 mm. Se clasifican de mayor a menor energía en tres regiones espectrales:

**Intervalo de longitud de onda,  $\lambda$**

- Radiación Ultravioleta (UV)  
100 a 400 nm
- Radiación Visible o luz (VIS)  
400 a 760 nm
- Radiación IR (IR)  
0760 nm a 1 nm

Hay que tener en cuenta que la división entre cada región no es una línea estrecha, sino que estas bandas se solapan entre sí dentro de un cierto intervalo (van dejando de producirse los efectos del UV para empezar a producirse los efectos del Visible).

A su vez, estas regiones se subdividen en varias regiones, de acuerdo con su interacción con la materia biológica, según la Comisión Internacional del Alumbrado (CIE).

REGIONES CIE	OTRAS DENOMINACIONES
UV-C (100 nm - 280 nm)	UV extremo (1/10 nm - 100 nm) Región germicida
UV-B (280 nm - 315/320 nm)	UV lejano (200 nm - 300 nm) Región eritémica
UV-A (315 nm - 380/400 nm)	UV próximo (300 nm - 400 nm) Luz "negra" (315 nm - 400 nm)
LUZ o VISIBLE (380/400 nm - 760/780 nm)	
IR-A (760/780 nm - 1400 nm)	IR próximo (760 nm - 4000 nm)
IR-B (1,4 μm - 3 μm)	IR medio ( 4 μm - 14 μm)
IR-C (3 μm - 1 mm)	IR lejano (14 μm - 100 μm)

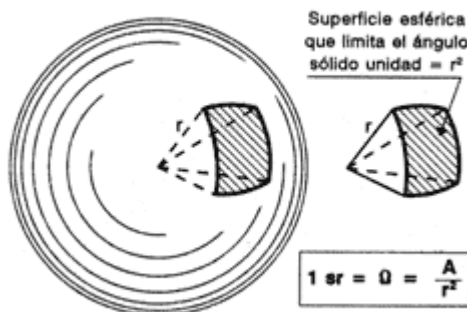
**1. Magnitudes de medida en radiometría**

Antes de proceder a estudiar la evaluación del riesgo por radiaciones ópticas, se hace necesario profundizar algo más en las magnitudes de medida usadas en radiometría, ya que se usan para describir los parámetros o factores de los que depende el riesgo potencial.

**Ángulo sólido.**- Es la medida de una porción del espacio limitada por la intersección entre la superficie de una esfera y la superficie de un cono cuyo vértice coincide con el centro de la esfera . Su unidad de medida es el estereorradián (sr), que en los gráficos se suele designar con la letra Ω(a veces minúscula, ω).

El valor máximo de un ángulo sólido es:

El valor máximo de un ángulo sólido es:



$$\Omega = \frac{\text{Área de la esfera}}{(\text{radio de la esfera})^2}$$

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

**Figura 4.1: Ángulo sólido**

**La irradiancia E:** es la potencia radiante total que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en W.m<sup>-2</sup>. Se obtiene dividiendo la potencia radiante por la superficie del detector. Se usa para cuantificar el riesgo potencial por exposición a una fuente de radiación óptica cuya emisión sea continua, generalmente en los rangos UV e IR.

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

**La Exposición radiante H:** es la energía radiante total incidente sobre una superficie. Se expresa como el cociente entre la energía radiante y el área de la superficie receptora. Se mide en J.m<sup>-2</sup>.

$$H = \frac{dQ}{dA}$$

Se usa para integrar en el tiempo el efecto de una exposición a radiación continua, o para exposiciones a fuentes intermitentes.

$$H = \int_0^t E \cdot dt$$

**La Radiancia L:** Es una magnitud que sirve para especificar "cuanto brilla una superficie luminosa", es decir la cantidad de radiación **visible** emitida por una superficie luminosa, en dirección a un observador. Es el análogo radiométrico a la luminancia usada en fotometría. Se usa para cuantificar el riesgo potencial de fuentes de radiación visible e IR-A que, por su tamaño, divergencia y distancia de visión, forman imágenes en la retina.

Se expresa como la potencia radiante emitida por unidad de área de la fuente y por unidad de ángulo sólido. Se mide en  $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ . Otra definición posible es: intensidad radiante de una fuente dividida por el área de la fuente ( $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ ).

$$L = \frac{d^2 \Phi}{d\Omega dA \cos \theta} = \frac{dI}{dA \cos \theta}$$

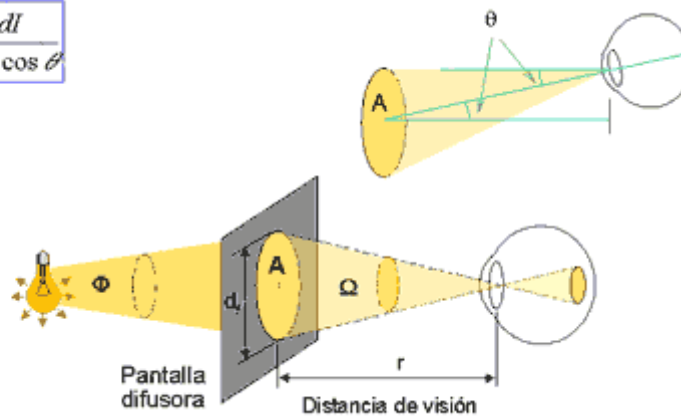


Figura 4.2: Radiancia

El área de la fuente debe tomarse como su proyección sobre un plano perpendicular a la dirección de observación ( $dA \cdot \cos \theta$ ), siendo  $\theta$  el ángulo plano que forma la dirección de la radiación con la normal a la superficie de la fuente. La radiancia tendrá un valor máximo cuando la superficie luminosa sea perpendicular a la dirección de observación, ya que  $\cos \theta$  tendrá un valor de  $0^\circ$  y  $\cos 0^\circ = 1$ .

Existe una relación entre L y E para una misma fuente, lo que permite calcular una a partir de la otra, conociendo el área de la fuente y la distancia de visión:

$$L = \frac{\Phi_L}{\Omega A_L \cos \theta} = \frac{E}{\Omega \cos \theta}$$

En la expresión de la radiancia aparece un ángulo sólido ( $\Omega, \omega$ ), que es el **ángulo sólido subtendido por la superficie luminosa** sobre un observador o sobre un detector radiométrico. Se define como:



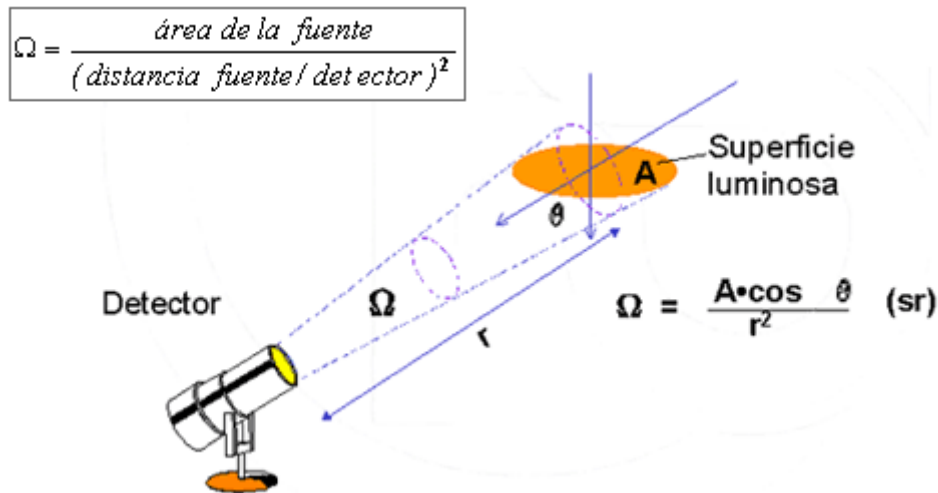


Figura 4.3: Ángulo sólido subtendido por una superficie luminosa

Los símbolos de las magnitudes radiométricas llevan a veces el subíndice "e" para diferenciarlas de las magnitudes fotométricas..

## 2. Magnitudes fotométricas

La **Fotometría** es la ciencia que estudia y mide solamente la porción del espectro a la cual es sensible el ojo humano, entre 380/400 nm y 760/780 nm. Las magnitudes fotométricas son análogas a las radiométricas, pero están modificadas para la sensibilidad a la visión del ojo humano mediante los valores de la curva fotométrica  $V(\lambda)$  definida por la CIE, (véase Tabla 4.1 del Anexo). Se diferencian por el subíndice "v". Aunque no se utilizan para evaluar la exposición a RO, se incluyen aquí algunas de ellas ya que no es raro encontrarlas describiendo las especificaciones de lámparas y en general de fuentes de RO. Los equipos de medida reciben el nombre de fotómetros.

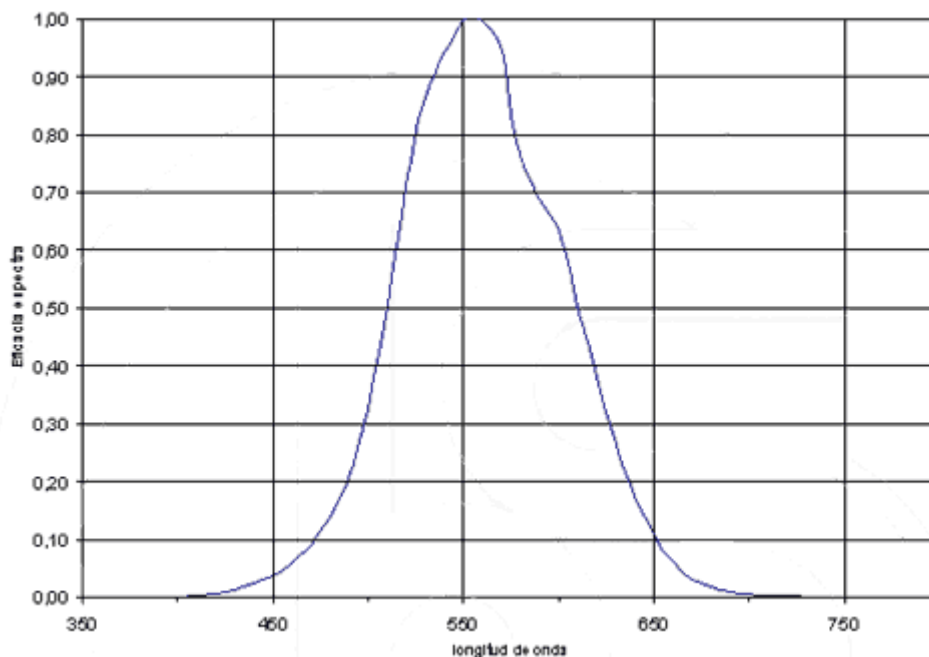


Figura 4.4: Curva CIE de eficacia luminosa para el ojo humano (visión fotópica o diurna)

**El flujo luminoso  $\Phi_v$**  : Es la potencia radiante, modificada por la respuesta del ojo, que incide sobre una superficie; su unidad es el lumen (lm), que es análogo al vatio.

**La iluminancia  $E_v$**  : Es el análogo fotométrico a la irradiancia, se expresa en lumen por metro cuadrado o lux (lx).

**La intensidad luminosa  $I_v$**  : Es el análogo fotométrico de la intensidad radiante corregido por la curva fotométrica. Su unidad es la candela(cd).  $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$ .

**La luminancia  $L_v$** : Análogo en fotometría a la radiancia, es la cantidad de luz visible emitida por una fuente dentro de un ángulo sólido que incide sobre una superficie. Se mide en  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Para pasar de unidades fotométricas a unidades radiométricas hay que conocer la *distribución espectral de la fuente*, (ver 1.3.1), y la relación de equivalencia entre luminancia y radiancia para una misma fuente viene dada por la expresión:

$$L_v = 683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1} \cdot L_e \cdot V(\lambda)$$

A 555 nm la curva  $V(\lambda)$  tiene un valor de 1, con lo que la ecuación anterior se simplifica, permitiendo utilizar factores de equivalencia.

El factor de equivalencia para una fuente que emita a 555 nm es 683 lm/W:

$$683 \text{ lm} < > 1 \text{ W}$$

$$1 \text{ lm} < > 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

Para otras  $\lambda$  hay que utilizar el valor correspondiente en la curva fotométrica  $V(\lambda)$  de la CIE, que describe la eficacia espectral luminosa para el ojo humano.

### 3. Características de la fuente emisora

**3.1 Distribución espectral de la fuente** : Es la representación de la variación de la energía emitida por la fuente frente a la longitud de onda  $\lambda$ . Por lo tanto es una característica de cada familia o subfamilia de fuentes. Proporciona información imprescindible para la valoración del riesgo. Cuando los espectros de emisión de dos fuentes luminosas son diferentes, también lo son sus respectivos riesgos. Puede adoptar diversas formas (digital, analógica) y expresarse en diferentes unidades, radiométricas o fotométricas, acompañadas del adjetivo "espectral" para indicar que se refieren a una determinada  $\lambda$ ; sus símbolos también se modifican:

$E(\lambda)$ = Irradiancia espectral ( $\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{nm}$ )	$\Phi(\lambda)$ = Potencia radiante espectral ( $\text{W}/\text{nm}$ )
$L(\lambda)$ = Radiancia espectral ( $\text{W}/\text{cm}^2\cdot\text{sr}\cdot\text{nm}$ )	$\Phi_v(\lambda)$ = Potencia luminosa espectral ( $\text{lm}/\text{nm}$ )

En la figura 4.5 vemos el espectro de una lámpara fluorescente de baja presión de mercurio, con emisión de 300 a 460 nm (UV-B, UV-A y Visible), utilizada en procesos fotoquímicos y en tratamiento médico de la piel. Las barras se deben a la descarga en el gas y la curva se debe a la emisión del recubrimiento fosfórico fluorescente. En la figura 4.6 se compara la distribución espectral de una lámpara de halogenuro metálico con otra de halógeno, medidas a 4,5 m. La emisión es UV-A y Visible.

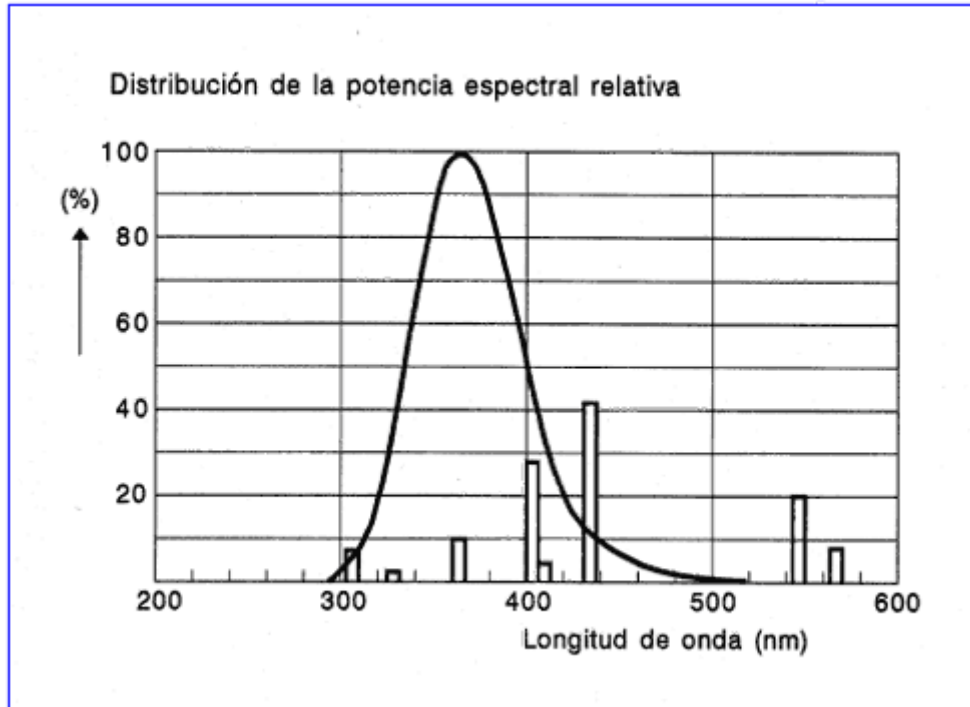


Figura 4.5: Lámpara fluorescente de mercurio a baja presión

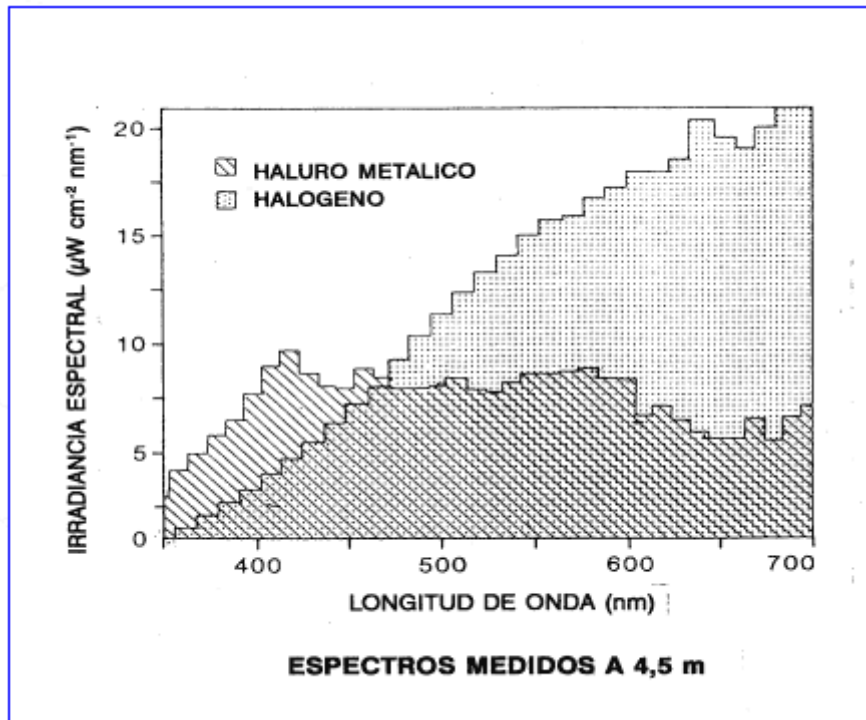


Figura 4.6: Distribución espectral de una lámpara de halogenuro metálico y otra de halógeno

De acuerdo con los criterios del ICNIRP, para aplicar correctamente los límites de exposición de banda ancha es preciso conocer la radiancia espectral, la irradiancia espectral, y el tamaño de la fuente medido en la posición de los ojos. Para una fuente de luz blanca, los datos espectrales de la radiación visible emitida sólo serán necesarios cuando la luminancia de la fuente supere las  $104 \text{ cd/m}^2$  ( $1 \text{ cd/cm}^2$ ).

$$10^4 \text{ cd/m}^2 < > 14,6 \text{ W/m}^2\text{sr}, \quad \text{a } 555 \text{ nm}$$

### 3.2 Distribución temporal de la energía

Es otra característica importante de la fuente radiante, ya que influye directamente en la medida de la exposición en el puesto de trabajo. En igualdad de condiciones (tipo de fuente y distancia de medida), a mayor potencia radiante, cabe esperar una mayor irradiancia (exposición) en el puesto de trabajo. Esto puede explicarse con el ejemplo de la figura 4.7 en la que puede compararse la irradiancia de varias lámparas medida a una distancia de 1 metro.

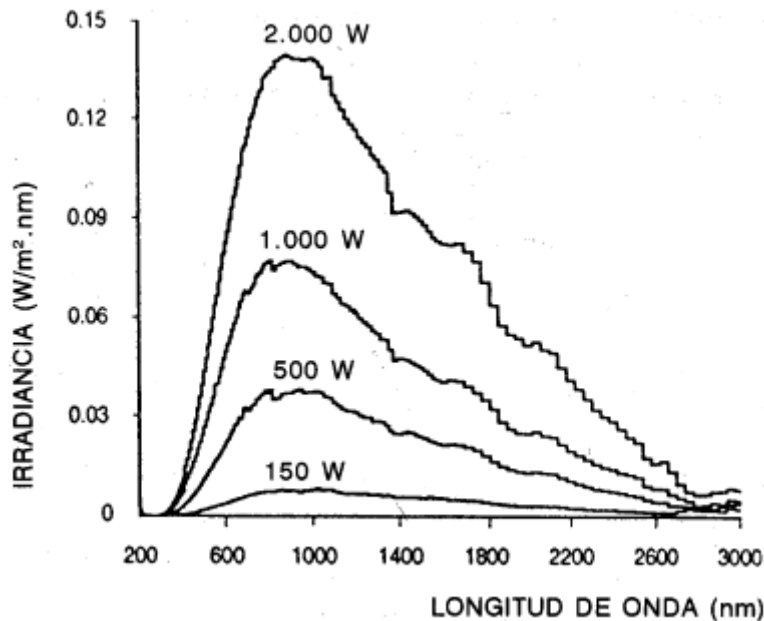


Figura 4.7: Irradiancia espectral, medida a 1m, de 4 lámparas halógenas de distinta potencia (Salsi y Barlier, 1992)

Si la energía se emite de forma continua se dará la **Potencia radiante** emitida por la fuente en vatios (W); si la emisión tiene lugar en forma de impulsos se dará la **Energía** en julios (J), y además la **anchura de impulso** en segundos (s) y la **frecuencia de repetición de impulso** en (Hz).

### 3.3 Distribución espacial

Es importante en el caso de los láseres y de los LED, y está definida por el **Diámetro de salida** y la **Divergencia del haz**. La mayoría de los láseres suelen tener una divergencia ( $\Phi$ ) muy pequeña, del orden de  $\mu\text{sr}$ , por lo que el diámetro del haz varía muy poco en distancias cortas; en este caso, decimos que es una radiación "coherente". La radiación que se emite de forma esférica se llama "incoherente" y su divergencia es mucho mayor; se mide como un ángulo plano y suele ser del orden de mrad.

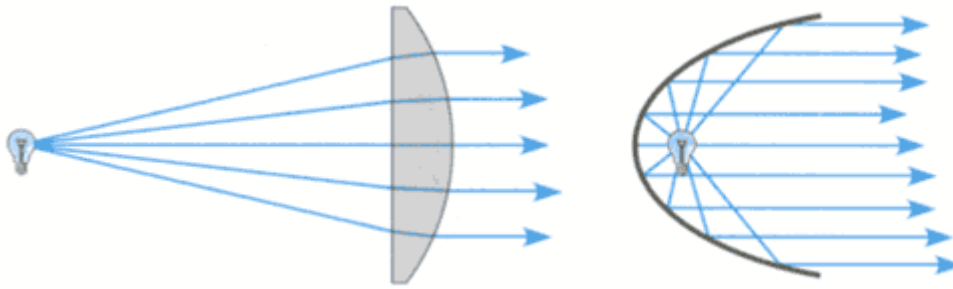


fig 4.8: Lente colimadora y reflector parabólico

El diámetro y la divergencia de una fuente luminosa dependen de la óptica de salida asociada a la fuente; por ejemplo, las lentes colimadoras y los reflectores parabólicos modifican la dirección y el diámetro del haz luminoso (rayos paralelos a la salida), mientras que las lentes divergentes amplían el diámetro del haz.

La evaluación del riesgo debe realizarse para cada montaje completo (fuente + portalámparas + óptica asociada), ya que la modificación de uno sólo de estos elementos puede hacer variar el resultado de la valoración. Cada vez que se modifica la óptica de salida de un equipo habría que realizar una nueva valoración del riesgo potencial.

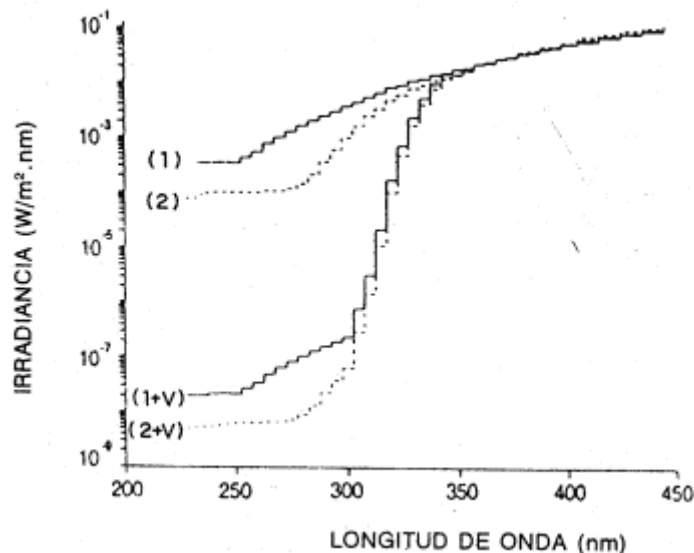


Figura 4.9: Efecto atenuador del vidrio en la emisión de radiación UV de 2 lámparas, con vidrios de protección (1+V) y (2+V) y sin vidrios (1) y (2). (Salsi y Barlier, 1992).

#### 4. Características del puesto de trabajo

##### 4.1 Distancia trabajador/fuente

Es uno de los parámetros más eficaces a la hora de adoptar medidas de prevención, ya que: *Para fuentes puntuales (ideales) y con divergencia esférica, la irradiancia en el puesto de trabajo varía en proporción inversa al cuadrado de la distancia a la fuente:  $E = I/d^2$*  (ver figura 4.10).

Si la irradiancia medida a 1 m es 16 W/cm<sup>2</sup>, a 2 m será de 4 W/cm<sup>2</sup>, y se puede calcular a cualquier otra distancia. Este criterio puede utilizarse cuando el tamaño máximo de las fuentes sea inferior al 10% de la distancia al observador. Cuando hay exposición de los ojos a radiación Visible o IR-A (400 - 1400 nm) y el tamaño relativo de la fuente es superior al 10%, se debe calcular el ángulo subtendido por la fuente para poder decidir si hay que medir radiancia o irradiancia. Los valores de referencia para la exposición son diferentes en cada caso.

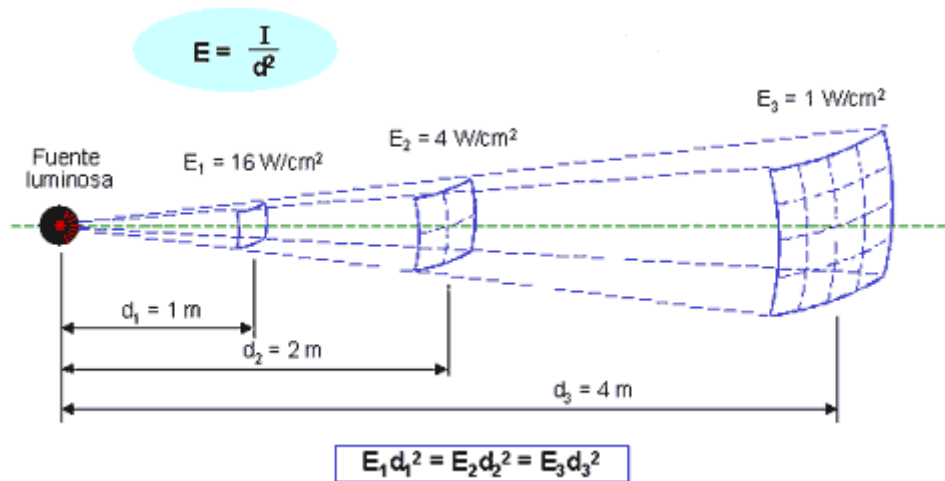


Figura 4.10: Ley de la inversa del cuadrado

#### 4.2 Ángulo subtendido ( $\alpha$ )

Es el ángulo visual (plano) formado por la fuente y el ojo de un observador o el punto de medida. Se determina como el cociente entre la dimensión mayor de la fuente  $d_f$  y la distancia de visión  $r$  (véase figura 4.11); como se trata de un ángulo plano se expresa en radianes (rad). Cuando la fuente es circular, la dimensión de la fuente es el diámetro, pero cuando la fuente es oblonga, su dimensión es la media aritmética de las dimensiones más corta y más larga; por ejemplo, para una lámpara con envoltente transparente, la dimensión más larga de la fuente es la longitud del filamento; para una lámpara de bulbo "escarchado", la dimensión mayor es su diámetro.

$\alpha$  se utiliza para calcular la geometría de la exposición ocular (de la retina) a radiación visible e IR-A; las condiciones de visión (imagen puntual o imagen extensa en la retina) se determinan por comparación con el ángulo subtendido mínimo,  $\alpha_{\min}$ , establecido por los criterios de valoración, como se verá posteriormente.

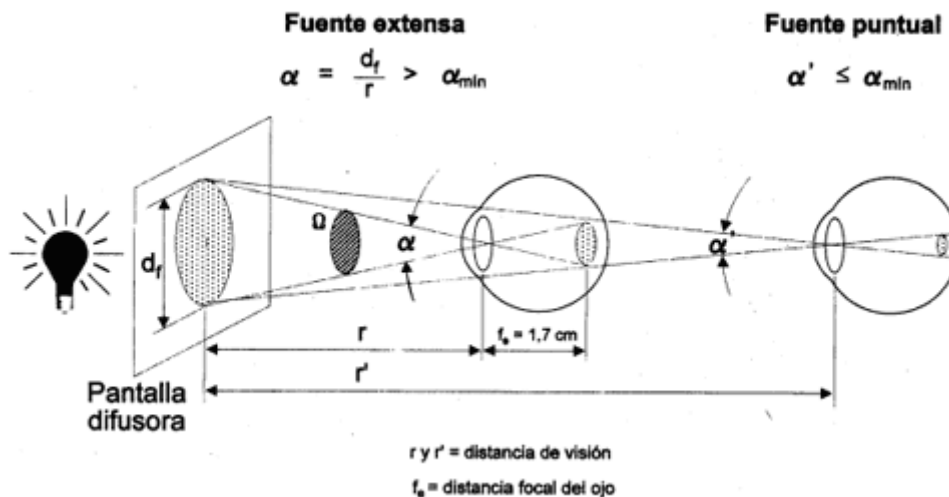


Figura 4.11: Exposición de los ojos a radiación Visible. Imagen extensa e imagen puntual.

#### 4.3 Tiempo de exposición real

Es lo más difícil de determinar, ya que suele depender de la observación del puesto de trabajo

y su magnitud influye de forma decisiva sobre el resultado de la valoración. Lo mejor es determinarlo en colaboración con el trabajador y la empresa, o con sus respectivos representantes. En el caso de fuentes industriales con radiación visible de banda ancha (380-700 nm) hay que consultar a un experto ya que, a partir de un tiempo determinado, se provocan los reflejos de aversión como protección natural, tales como cerrar los ojos o girar la cabeza.

**4.4 Condiciones ambientales**

Cuando la fuente radiante es muy potente, puede influir también en la exposición la clase de material procesado, las superficies de los objetos cercanos y también el recubrimiento de paredes y techo del recinto de trabajo, debido a la diferente reflectancia de cada material.

Reunir los datos de la fuente es relativamente sencillo pues suelen especificarse en el manual de instrucciones o en la etiqueta de la fuente emisora. En caso de no disponer del manual, es conveniente solicitar al fabricante del equipo la información necesaria.

El resto de los datos debe recogerse durante la visita a la empresa, ya que son específicos de cada puesto de trabajo; Para facilitar esta tarea, en el Anexo se reproduce la "Hoja de recogida de datos" que se utiliza en el CNNT para determinar el riesgo potencial de exposición a radiaciones ópticas, que ya fue incluida en la parte general de radiaciones.

La medición de la geometría de exposición ocular y la determinación del tiempo de exposición no debería abordarse sin alguna experiencia.

**CAPÍTULO 2: CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A RADIACIONES ÓPTICAS**

La evaluación de la exposición laboral a radiaciones ópticas es un tema complejo, que requiere un tratamiento separado para cada región espectral (UV-B y C, UV-A, Visible-"riesgo azul", Visible "riesgo térmico", IR-A...etc.), que se corresponden con las regiones CIE como se vió en la introducción, debido a los diferentes efectos fisiológicos que producen sobre los ojos y la piel.

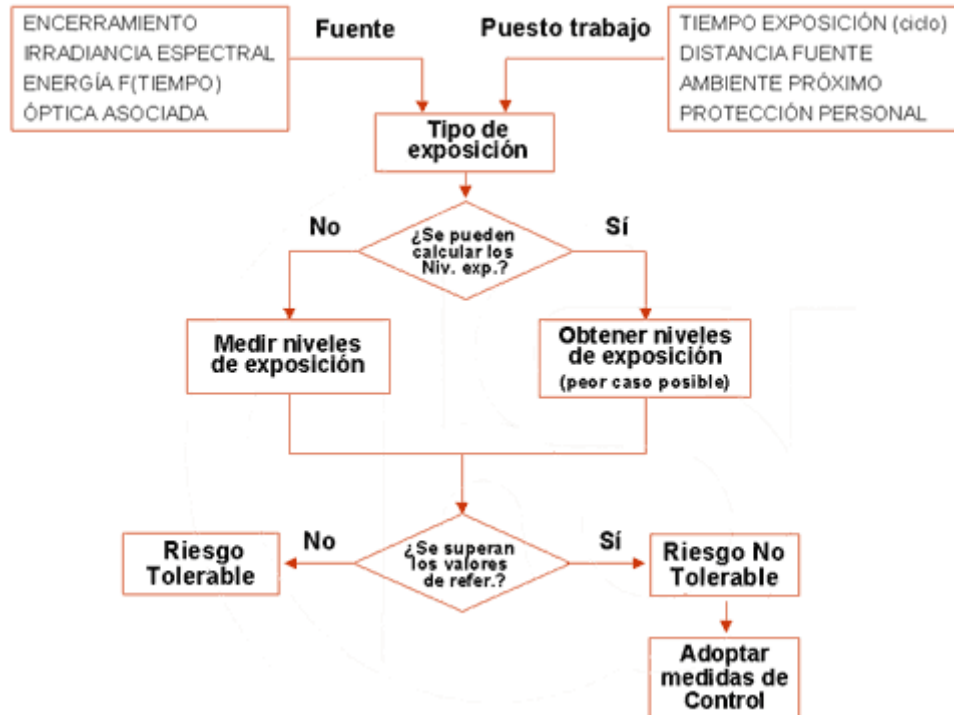
	UV - B y C 200-315 nm	UV - A 315-400 nm	VISIBLE Riesgo Fotoquím. 400-700 nm	VISIBLE Riesgo Térmico 400-1400 nm	IR 700-3000 nm
<b>O J O S</b>	<b>CÓRNEA</b>	Queratitis, Conjuntivitis			
	<b>CRISTALINO</b>		Cataratas Fotoquím.		Cataratas Térmicas
	<b>RETINA</b>			Lesión Fotoquímica	Lesión Térmica
<b>PIEL</b>	Eritemas, Efectos cancerígenos		Lesión Térmica		

**Figura 4.12: Efectos fisiológicos de las radiaciones ópticas**

Cuando se conocen las características de la fuente y del puesto de trabajo, se puede deducir si hay exposición potencial y de qué tipo (de los ojos, de la piel, exposición continua o discontinua, emisión de banda ancha o banda estrecha, condiciones de visión puntual o extensa...). A partir de estos datos, se puede actuar de dos formas:

- a) Midiendo la exposición en el puesto de trabajo para cada intervalo espectral.
- b) Calculando teóricamente la exposición en el "peor caso posible".

La exposición laboral se expresará en alguno de los términos siguientes: **Irradiancia**  $E_e$ , **exposición radiante**  $H_e$ , **radiancia**  $L_e$  y **radiancia integrada**, dependiendo de cada caso. Siempre es mejor "medir" que "calcular". Cuando se realizan cálculos teóricos no suelen coincidir con las medidas debido a que suelen existir factores ambientales, por ejemplo reflexiones no controladas, que producen desviaciones del valor teórico esperado. Los valores de exposición laboral obtenidos para cada intervalo espectral (medidas y/o cálculos teóricos) se comparan con los correspondientes **niveles de referencia**. El procedimiento a seguir es el que se muestra en el esquema de la figura 4.13.



**Figura 4.13: Esquema de evaluación de la exposición laboral a Radiaciones Ópticas**

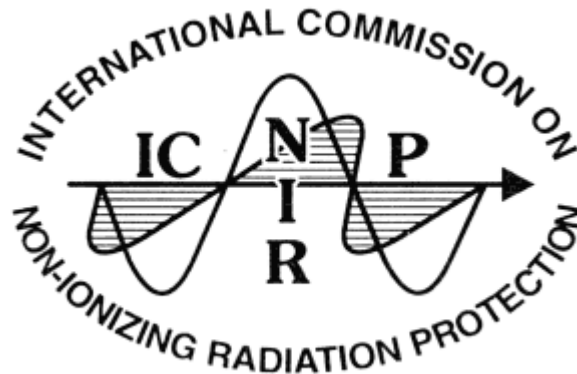
Puede suceder que en unos intervalos espectrales no exista riesgo y en otros sí. Cuando los niveles de referencia no se sobrepasan, el riesgo es tolerable (pero habrá que comprobar periódicamente que las condiciones seguras se mantienen). En los casos en que se sobrepase el nivel de referencia, debe calcularse el tiempo de exposición permitido para esos niveles de irradiación y a continuación aplicar medidas de control. Como todo esto es complicado y laborioso, es más práctico evitar la exposición rompiendo en algún punto la cadena fuente/puesto de trabajo y no tener que medir.

### 1. La ICNIRP y los límites de exposición a radiaciones ópticas.

En ausencia de normativa nacional al respecto, el INSHT utiliza los criterios del ICNIRP. Es una comisión internacional de expertos que se independizó del IRPA (International Radiation Protection Association) en 1992. Sus miembros son elegidos por su independencia, su prestigio profesional y distribución geográfica. Su objetivo es la protección frente a las radiaciones no ionizantes, y se relaciona estrechamente con organismos internacionales implicados en este campo, entre ellos el IRPA, OMS (incluyendo la Agencia Internacional del Cáncer IARC), OIT, WMO y la Comisión Europea. Publica sus recomendaciones y guías en la revista Health Physics y también colabora en las publicaciones de la OMS y la OIT. Actualmente se dispone de tres guías sobre límites de exposición a radiaciones ópticas:



1. Exposición a radiación UV (180 a 400 nm), revisada en 1996.
2. Exposición a radiación óptica incoherente de banda ancha (380 nm a 3 μm) de 1997.
3. Exposición a radiación láser (180 nm a 1 mm) de 1996.



Los niveles de exposición recomendados para radiaciones ópticas son conjuntos de valores que representan los niveles de radiación máximos a los que pueden exponerse la mayoría de los trabajadores sin que se produzcan efectos adversos para su salud. Varían con la longitud de onda de la radiación y con el tiempo de exposición. Se establecen por debajo de los niveles peligrosos conocidos como resultado de estudios epidemiológicos. Se usan como guía en el control de las exposiciones y su aplicación es compleja.

- Pueden no proteger a individuos extremadamente fotosensibles o expuestos a agentes fotosensibilizantes.
- No protegen a los pacientes de tratamientos médicos para los que suele superarse el umbral de eritema.
- Protegen, con reservas, los ojos operados de cataratas.

La capacidad de las R.O. para producir un daño biológico en las diferentes regiones del espectro se determinó mediante numerosos estudios experimentales con personas y con animales. A partir de los datos biofísicos obtenidos se establecieron **umbrales de daño** para cada tipo de efecto fisiológico de las R.O. De esta forma se han conseguido unas **curvas de ponderación biológica** para ojos y para piel que se utilizan para corregir los valores de la exposición medida para cada intervalo de  $\lambda$ . Se llaman también curvas de **ponderación espectral** o de **efectividad espectral**. Tenemos tres curvas o funciones de ponderación diferentes:

$S(\lambda)$  o efectividad espectral relativa para el UV (180-400 nm).

$B(\lambda)$  o función de riesgo por luz azul (fotoquímico) en la retina (300-700 nm).

$R(\lambda)$  o función de riesgo térmico en la retina (380-1400 nm).

Para el caso, no muy frecuente, de personas sin cristalino, habría que aplicar una cuarta curva de ponderación:  $A(\lambda)$  o función de riesgo "afáquico".

## 2. Límites de exposición a radiación UV

La curva de efectividad espectral  $S(\lambda)$  se ha obtenido como resultado del estudio de los efectos agudos y crónicos sobre ojos y piel, utilizando los datos umbral para eritema y/o fotoqueratitis. Sus valores de dan en el Anexo, Tabla 4.2. Se aplica de forma algo diferente a los ojos y a la piel:

- a) OJOS.- La exposición a radiación UV B y C incidente sobre los ojos *sin proteger* no debe superar los  $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$  en un periodo de 8 horas, ponderados con la curva de eficacia espectral  $S(\lambda)$ , y la radiación UV-A (315-400 nm) *no ponderada* no debe pasar de  $104 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}/8$  horas.
- b) PIEL.- En todo el UV (180-400 nm), la exposición radiante de la piel no protegida no debe rebasar los  $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}/8$  horas, aplicando la curva de eficacia espectral  $S(\lambda)$ .

- c) En el UV-A, la irradiancia total incidente sobre ojos o piel no deberá superar los 10 W/m<sup>2</sup> para tiempos mayores de 1000 s (aproximadamente 16 minutos).

Para determinar la irradiancia efectiva de una fuente de banda ancha, ponderada con la curva S(λ), se utiliza la siguiente fórmula de ponderación:

$$E_{eff} = \sum E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \Delta\lambda \quad [1]$$

E<sub>eff</sub> = irradiancia efectiva en W/m<sup>2</sup> normalizada para una fuente monocromática a 270 nm.

E<sub>λ</sub> = Irradiancia espectral en W/m<sup>2</sup>· nm.

S<sub>λ</sub> = eficacia espectral relativa (sin unidades)

Δλ = anchura de banda del intervalo de longitudes de onda medido o calculado en nm.

La curva S(λ) de la ICNIRP coincide con la curva S(λ) de los TLVs de la ACGIH. En la Figura 4.14 puede verse cómo se corregiría el espectro de una fuente de radiación UV imaginaria cuya irradiancia espectral entre 180 y 400 nm fuera de 60 W/m<sup>2</sup>. La máxima efectividad espectral tiene lugar en el UV-B, a 270 nm, con un valor de 1; para el resto de las longitudes de onda la irradiancia disminuye progresivamente, alcanzando los valores más bajos en el UV-A. La irradiancia efectiva total sería la suma de todos los valores parciales obtenidos para cada intervalo de 5 nm.

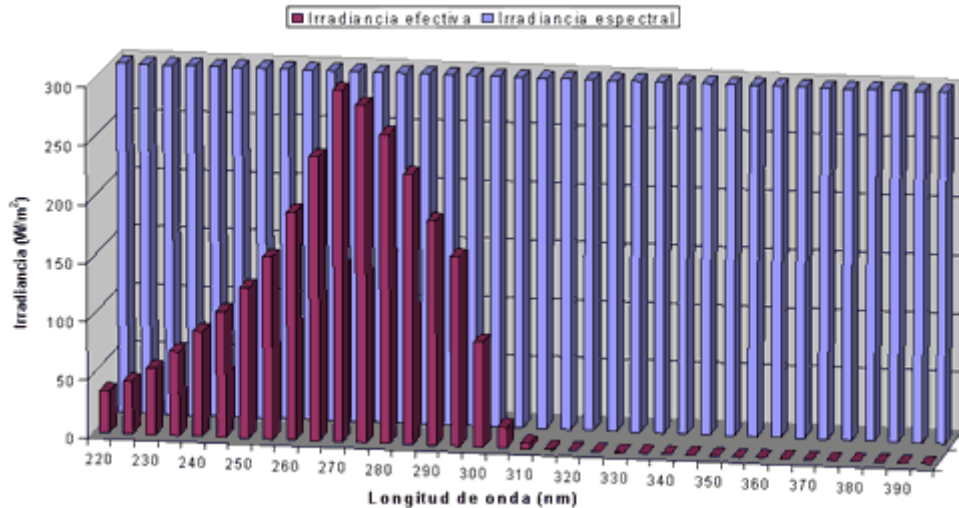


Figura 4.14: Curva de ponderación espectral para UV, S(λ)

El tiempo de exposición permitido para exposición a radiación UV B y C (actínica) incidente sobre la piel o los ojos sin proteger puede calcularse dividiendo 30 J·m<sup>-2</sup> por el valor de la irradiancia efectiva E<sub>eff</sub> en W·m<sup>-2</sup>.

$$t_{permitido} (s) \leq \frac{30 J m^{-2}}{E_{eff} W m^{-2}}$$

o bien utilizando la siguiente tabla:

Exposición diaria máxima	Irradiancia efectiva	
	$E_{\text{eff}}$ (W/m <sup>2</sup> )	$E_{\text{eff}}$ (μW/cm <sup>2</sup> )
8 h	0,001	0,1
4 h	0,002	0,2
2 h	0,004	0,4
1 h	0,008	0,8
30 min	0,017	1,7
15 min	0,033	3,3
10 min	0,05	5
5 min	0,1	10
1 min	0,5	50
30 s	1,0	100
10 s	3,0	300
1 s	30	3000
0,5 s	60	6000
0,1 s	300	30000

### 3. Límites de exposición a radiación óptica incoherente de banda ancha (380 nm a 3 μm).

Nos referimos a la emisión de radiación visible por el sol, o por fuentes artificiales, que suele ir acompañada de radiación UV e IR, no detectable por el ojo humano. La exposición a una intensa radiación visible, a una luz muy brillante, puede originar una lesión térmica o fotoquímica en la retina. Normalmente, el ojo humano no puede exponerse de forma prolongada a una radiación visible muy brillante, ya que está protegido por el reflejo de aversión (parpadeo y giro de la cabeza), pero en algunas situaciones, la exposición es peligrosa, por ejemplo en algunas lámparas de arco, en soldadura por arco, y algunos LEDs que emiten entre 670 y 900 nm (del rojo al IR-A).

La correcta aplicación de los límites de exposición para Visible e IRA requiere conocer la radiancia espectral  $L(\lambda)$ , o la irradiancia espectral  $E(\lambda)$  y el tamaño de la fuente medido en la posición de los ojos. La mayoría de las fuentes "comunes", cuya luminancia no supera las  $10^4$  cd/m<sup>2</sup>, no sobrepasan los límites de la ICNIRP.

Los niveles de exposición recomendados, se basan en los valores umbral necesarios para producir una lesión iniciada por un mecanismo térmico o fotoquímico. Se modifican además con:

- Factores de corrección del tiempo de exposición.
- Geometría de la exposición ocular en el caso de la radiación óptica entre 300-700 nm, obtenida a partir del ángulo subtendido por la fuente  $\alpha$  y su comparación con el ángulo subtendido mínimo  $\alpha_{\text{min}}$ .
- Factores de seguridad que tienen en cuenta la variación de sensibilidad de cada individuo frente a las R.O.

**Mecanismo fotoquímico.**- El umbral de dosis para una lesión fotoquímica es el producto de la dosis por el tiempo de exposición, de forma que se puede producir una fotorretinitis al observar una luz muy intensa durante un tiempo muy corto, o al observar una luz menos intensa durante un tiempo más largo. El espectro de acción o curva de ponderación tiene su máximo a 440 nm y recibe el nombre de  $B(\lambda)$  o función de riesgo por luz azul (fotoquímico) en la retina. Es la curva propuesta por Ham (1989) para fotorretinitis aguda, y sus valores se dan en el Anexo, Tabla 4.3, junto con los valores de la curva  $A(\lambda)$ , que se aplica en lugar de  $B(\lambda)$  a los trabajadores operados de cataratas, carentes por lo tanto de cristalino (afaquia).

**Mecanismo térmico.**- El umbral de dosis para una lesión térmica no presenta reciprocidad entre la dosis y el tiempo de exposición. La lesión térmica depende en gran medida de la conducción del calor por los tejidos irradiados. Hace falta una exposición muy intensa en pocos

segundos para que se coagulen los tejidos; cuando la exposición es menos intensa, los tejidos circundantes pueden disipar el calor hacia fuera de la zona expuesta. Se aplica la curva de ponderación  $R(\lambda)$  o función de riesgo térmico en la retina (380-1400 nm) cuyo pico se produce entre 435 y 440 nm. Sus valores se dan en el Anexo, Tabla 4.3.

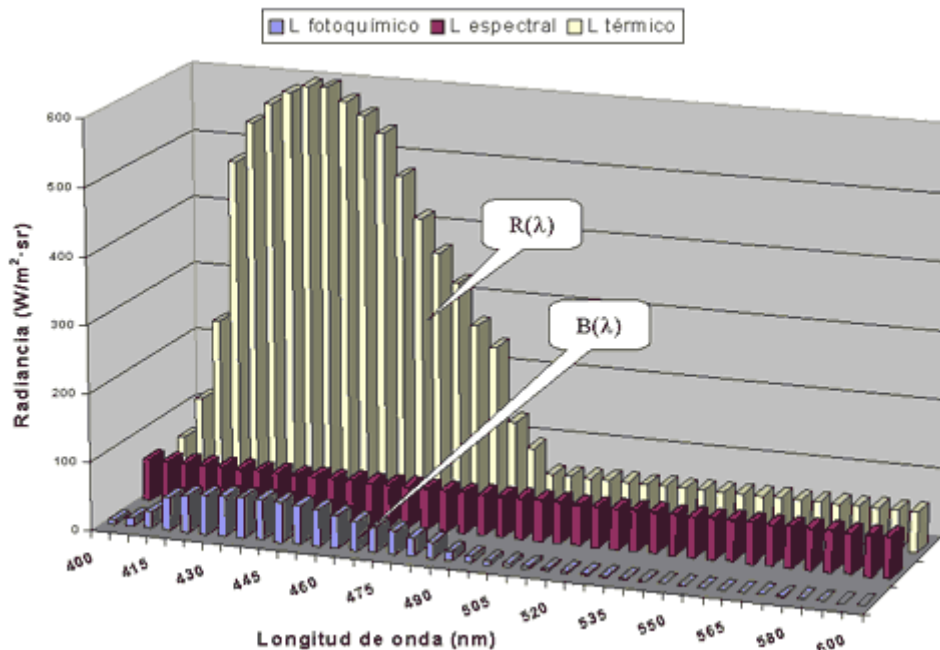


Figura 4.15: Curvas de ponderación espectral para VISIBLE

En la Figura 4.15 se ponen como ejemplo las dos curvas de ponderación aplicables a la radiación Visible:  $B(\lambda)$  para el riesgo fotoquímico en la retina o "azul", y  $R(\lambda)$  para el riesgo térmico; en este caso han aplicado a una fuente imaginaria cuya radiancia espectral es de  $60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ . Nótese que la máxima efectividad espectral se produce a 435-440 nm en los dos casos, pero la curva de riesgo térmico aumenta la eficacia espectral 10 veces.

Pueden producirse al menos 4 tipos de lesiones en ojos y piel, y para cada tipo la ICNIRP propone límites diferentes:

- a) Lesión térmica de la retina (380-1400 nm) *Según Byrnes, sólo para fuentes de radiancias muy altas; no cabe esperar exposiciones prolongadas.*
- b) Lesión fotoquímica de la retina por "luz azul" (380-550 nm para ojo normal, 300-550 nm para ojo afáquico).
- c) Lesión térmica en la córnea (aprox. 1400 nm a 1 mm) y en el cristalino por IR (aprox. 800-3000 nm).
- d) Lesión térmica de la piel (aprox. 380 nm - 1 mm). *Hacen falta irradiancias muy altas para producir una lesión antes del umbral de dolor (< 1 s).*

Otro efecto adicional es la fotosensibilización de la piel, típica del UV pero que puede producirse hasta unos 700 nm, tal vez como efecto derivado del uso de ciertos medicamentos; no se han propuesto valores límite para este caso.

### 3.1 Límites para riesgo térmico en la retina (380-1400 nm)

El límite de exposición es función de  $\alpha$  y del tiempo de exposición,  $t$  (s):

El parámetro  $\alpha_{\min}$  se utiliza para conocer las condiciones de visión y distinguir entre: fuentes que forman una imagen "puntual" en la retina y fuentes que forman una imagen "extensa" en la retina; esto es importante porque la magnitud en que se expresa el valor límite es diferente,

irradiancia ( $W/m^2$ ) o exposición radiante ( $J/m^2$ ) en el caso de fuente puntual y radiancia ( $W/m^2sr$ ) o radiancia integrada ( $J/m^2sr$ ) en el caso de fuente extensa. El valor de  $\alpha_{min}$  es distinto para cada tipo de riesgo, fotoquímico o térmico.

En el caso de riesgo térmico,  $\alpha$  oscila entre los valores  $\alpha_{min} = 0,0017$  rad y  $\alpha_{máx} = 0,1$  rad. Para fuentes que subtenden ángulos mayores de 0,1 rad se utiliza el valor máximo, 0,1 rad.

El tiempo de exposición mínimo es 10  $\mu s$ , y  $t_{máx} \leq 10$  s.

La radiancia espectral  $L_\lambda$ , ponderada con la función  $R(\lambda)$ , e integrada en el rango 380-1400 nm, no debe superar:

$$\sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \Delta \lambda < L_{HAZ} = \frac{50}{\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad [2]$$

### 3.2 Límites para riesgo fotoquímico por luz azul (300-700 nm)

Para exposición a fuentes extensas ( $\alpha > 0,011$  rad) hay 2 posibilidades:

para  $t < 10000$  s

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B_\lambda \cdot t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 \text{ J m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ efectivos} \quad [3]$$

$$\text{para } t > 10000 \text{ s} \quad L_B \leq 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ efectivos} \quad [4]$$

El tiempo máximo de exposición directa se calcula:

$$t_{máx} \leq \frac{10^6 \text{ J m}^{-2} \text{ sr}^{-1}}{L_B} \quad [5]$$

En el caso visión directa de fuentes puntuales ( $\alpha \leq 0,011$  rad), la irradiancia ponderada con la función  $B(\lambda)$ ,  $E_B$ , puede sustituir a  $L_B$ , con otro límite de exposición:

$$\text{para } t > 10000 \text{ s}, \quad E_B \leq 10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2} \quad [6]$$

Cuando la irradiancia es superior a  $10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ , el tiempo máximo de exposición permitido para visión directa se calcula con la ecuación:

$$t_{máx} \leq \frac{100 \text{ J m}^{-2}}{E_B} \quad [7]$$

Esta situación de visión directa de una fuente puntual durante más de 100 s sólo se produciría en casos especiales, por ejemplo cuando se usan instrumentos oftalmológicos, o cuando el ojo está relajado durante un proceso quirúrgico. Para determinar la exposición durante la visión intencionada de otras fuentes brillantes "puntuales", y debido a los movimientos de los ojos durante el desarrollo normal de una tarea visual, se suele emplear un tiempo de exposición máximo de 100 segundos.

Aunque dos fuentes emitan con la misma potencia radiante, el riesgo de exposición depende de la configuración de cada una de ellas. Véase el ejemplo de la figura 4.16, donde la radiancia medida para las lámparas A, B y C, todas de 50 W, es muy diferente, permitiendo muy distintos tiempos máximos de visión.

**Riesgo fotoquímico por luz azul:  
Tiempo seguro de visión de 6 lámparas halógenas  
de tungsteno** (Fuente: ICNIRP, 1996)

Lámpara	Potencia (W)	Radiancia-azul (W/m <sup>2</sup> sr)	t máx (minutos)
A	50	750	22
B	50	6070	3
C	20	890	19
D	50	1667	10
E	100	3417	5
F	150	2171	8

Figura 4.16: Determinación del t<sub>máx</sub> de exposición al riesgo fotoquímico por luz azul (M. Hietanen, ICNIRP, 1996)

**3.3 Límites para riesgo de lesión ocular por infrarrojo (780-3000 nm)**

Para evitar el riesgo de lesión de la córnea y efectos diferidos en el tiempo como las cataratas, la radiación IR adopta dos tipos de límite, dependiendo de la duración de la exposición:

$$\text{para } t < 1000 \text{ s} \quad \dots \sum E_{IR} \leq 18 \cdot t^{-3/4} \text{ kW} / \text{m}^2 \quad [8]$$

$$\text{para } t > 1000 \text{ s} \quad \dots \sum E_{IR} \leq 100 \text{ W} / \text{m}^2 \quad [9]$$

Para proteger la retina de cualquier fuente de radiación IR-A, sin ningún estímulo o aviso visual, la irradiancia debe limitarse a:

$$\sum_{780}^{1400} L_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot \Delta \lambda \leq \frac{6000}{\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad \text{para } t > 10 \text{ s} \quad [10]$$

**3.4 Límites para lesión térmica en la piel (Visible e IR)**

Estos límites se publicaron en 1997. Según la ICNIRP, sólo hay un peligro real de lesión térmica en la piel en ambientes donde una fuente pulsada pueda emitir una irradiancia muy alta, por eso sólo hay criterios para exposiciones de la piel de duración inferior a 10 s, basadas en una irradiancia promediada sobre una superficie de 10 mm de diámetro mínimo.

La exposición radiante para un tiempo inferior a 10 segundos, debe limitarse a :

$$H = 20000 \cdot t^{1/4} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad [11]$$

Para exposiciones más largas, habría que consultar los criterios de estrés térmico aplicables en España, contenidos en el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, "lugares de trabajo".

*Por todo esto, los valores límite o Niveles de exposición recomendados son valores complejos que deben calcularse para cada caso concreto. Tenemos un conjunto de valores de referencia para cada región del espectro óptico (UV-C y -B, UV-A, Visible -"riesgo azul", Visible -"riesgo térmico", IR-A e IR-B) que además varían con el tiempo de exposición y con el órgano expuesto, ojos o piel.*

En la figura 4.17 se muestra un resumen que puede facilitar la determinación de los niveles de exposición recomendados por la ICNIRP para cada tipo de riesgo; los valores límite se dan en unidades de el Sistema Internacional. Es imprescindible consultar las guías de la ICNIRP para la correcta aplicación de los valores límite para los casos especiales, tales como la exposición a tiempos muy cortos, ( $t < 10 \mu s$ ) o la exposición a fuentes visibles extensas.

Obsérvese que los valores de referencia para Visible son más permisivos para fuentes extensas que para fuentes puntuales. Esto es debido a que en el caso de visión muy próxima, la imagen de la fuente en la retina no es un punto sino que ocupa una cierta extensión, y por lo tanto la radiancia que recibe la retina es menor o está "más repartida".

Los TLVs de la ACGIH (versión de 1999) son casi idénticos a los criterios de la ICNIRP, con la salvedad de no incluir ponderación  $R(\lambda)$  en el límite para proteger la retina en el IR-A (780-1400 nm) en ausencia de un estímulo visual. Para comparar los criterios de la ICNIRP con los TLVs hay que poner atención al cambio de unidades, ya que los TLVs suelen expresarse en unidades cegesimales ( $mW/cm^2$ ,  $mJ/cm^2$ ); como material auxiliar en la resolución de ejercicios, se incluye en el Anexo la Tabla 4.4 con los límites para radiaciones ópticas en unidades C.G.S.

Banda espectral (nm)	Riesgo	Magnitud medida o calculada	Valores límite de exposición <sup>(1)</sup>
UV 180-400	Piel, eritema ef. canceríg.	$H_{UV\text{ eff}}$ (pond. S)	$30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$
UVB + UVC 180-315	Queratitis, conjuntivitis	$H_{UV\text{ eff}}$ (pond. S)	$30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$
UVA 320-400	Cataratas	$H_{UVA}$ $t < 10^3\text{s}$ $t > 10^3\text{s}$	$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
UV + VISIBLE 300-700	Lesiones fotoquímicas en la retina	Fuentes extensas	
		$L_{\text{int.}}$ (pond. B) $t \leq 10^4\text{s}$	$10^6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$
		$L$ (pond. B) $t > 10^4\text{s}$	$10^2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$
		Fuentes puntuales	
$H_{\text{VIS eff}}$ (pond. B) $t \leq 10^4\text{s}$	$10^2 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		
$E_{\text{VIS eff}}$ (pond. B) $t > 10^4\text{s}$	$10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		
VISIBLE + IRA 380-1400	Lesiones térmicas en retina	$L_{\text{eff}}$ (pond. R) $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{s}$	$\frac{50}{Q \cdot t^{1/4}} \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$
IRA 780-1400	Lesiones térmicas en retina	$L_{\text{IRA}}$ $t > 10\text{s}$	$\frac{6 \cdot 10^4}{Q} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$
IRA + IRB 780-3000	Lesiones térmicas, córnea, cataratas	$E_{\text{IRA+IRB}}$ $t < 10^3\text{s}$ $t > 10^3\text{s}$	$18 \cdot t^{3/4} \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
VIS + IR 380-3000	Piel, lesión térmica	$H_{\text{VIS+IR}}$ $t < 10 \text{ s}$	$2 \cdot 10^4 \cdot t^{1/4} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$

Figura 4.17: Resumen de los niveles de exposición laboral a Radiaciones Ópticas, ICNIRP

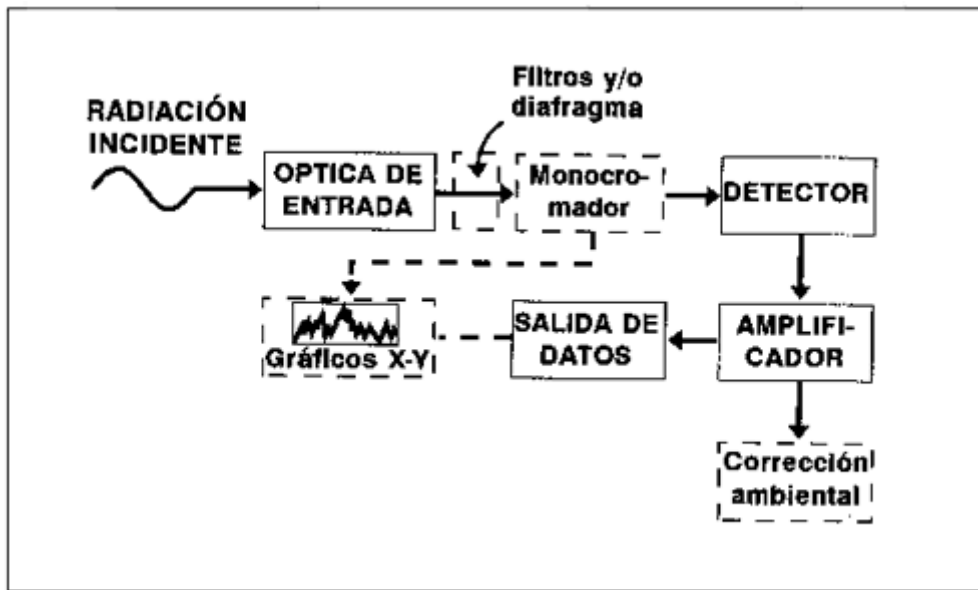
Nota: Unidades en el Sistema Internacional.



**CAPÍTULO 3: MEDIDA DE LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES ÓPTICAS**

Conviene advertir en primer lugar que, en las medidas radiométricas y espectro-radiométricas, hay muchas fuentes potenciales de error, por lo que las medidas de la exposición a radiaciones ópticas no deberían intentarse sin tener alguna experiencia en radiometría y sin comprender la importancia de la geometría de medida.

Para medir la exposición a R.O. es necesario disponer de un equipo radiométrico con detectores capaces de medir la irradiancia o la radiancia totales en la posición del trabajador. El detector produce una señal eléctrica proporcional a la potencia absorbida, que es amplificada y recogida por el radiómetro. Hay que utilizar detectores o sensores que puedan distinguir las diferentes regiones del espectro óptico desde el punto de vista biológico, y que incluyan las curvas o funciones de ponderación espectral según los criterios establecidos.



**Figura 4.18: Esquema de un equipo de medida básico**

En la Figura 4.18 se muestra el esquema de un equipo de medida. Los componentes básicos se han representado con trazo continuo, mientras que los componentes opcionales que representan mejoras en la medida están en trazo discontinuo.

En radiómetros y espectrorradiómetros, la **óptica de entrada** define el campo de visión del detector, y sus características son diferentes según el parámetro de exposición que se vaya a medir.

Por ejemplo, para medir exposición a radiación UV, habrá que medir Irradiancia, y será necesaria una óptica de entrada con *respuesta coseno* para captar la máxima radiación posible. La respuesta coseno es un accesorio que corrige la variación de la irradiancia sobre una superficie con el ángulo de incidencia. La irradiancia decae con el coseno del ángulo, ya que la superficie efectiva se reduce cuando el ángulo aumenta, según la expresión:

$$E_{\theta} = E_i \cdot \cos \theta$$

La irradiancia es máxima cuando el detector se sitúa perpendicularmente a la fuente, el ángulo  $\Theta = 0^\circ$ , y su coseno es 1. La respuesta coseno permite cuantificar adecuadamente la radiación incidente en cualquier ángulo dentro de una semiesfera sobre la superficie irradiada. En la figura 4.19 puede verse la geometría de medida de un detector con respuesta coseno.



Figura 4.19: Medida de irradiancia ( $W \cdot m^{-2}$ ).

**Geometría de medida de un detector con respuesta coseno.**

Para medir exposición ocular a radiación Visible o IR-A, en una fuente "extensa", la magnitud adecuada es la Radiancia, y la óptica de entrada debe ser telescópica para reproducir el campo de visión del ojo humano. El detector debe "ver" solamente la fuente radiante que vamos a medir, por lo que el ángulo de visión debe ser muy estrecho, en torno 1 o 2°, ya que hay que reproducir el diámetro de la pupila humana (entre 7 mm y 1 mm), variable según la intensidad del estímulo luminoso. En la figura 4.20 se muestra la geometría de medida de un detector con óptica telescópica. Cuando la distancia a la fuente es tal que puede considerarse puntual, la exposición se medirá en Irradiancia.

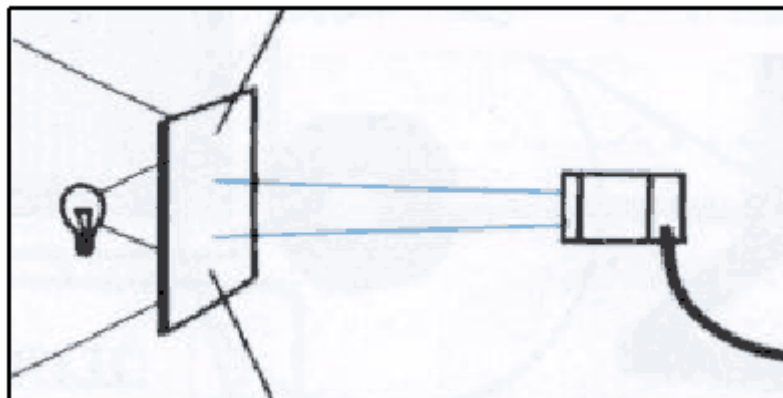


Figura 4.20: Medida de radiancia ( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ). Geometría de medida de un detector telescópico

Cuando no se dispone de óptica telescópica adecuada para medidas de exposición, la radiancia espectral puede determinarse a partir de la medida de irradiancia  $E(\lambda)$  a una distancia fija de la fuente, dividida por el ángulo sólido subtendido por la fuente,  $\Omega$ :

$$L(\lambda) = \frac{E(\lambda)}{\Omega}$$

El **diafragma** se utiliza para delimitar el campo visual del detector y permite conocer la dimensión de la superficie detectora que absorbe la energía radiante. Suele emplearse un diámetro igual o inferior a 50 mm, con un límite de 7 mm por cuestiones relacionadas con la sensibilidad del equipo.

Los **filtros** seleccionan el intervalo de longitudes de onda apropiado para realizar la medida. Funcionan por absorción, por interferencia, o por combinación de ambos en un sistema de

multicapas; de ésta forma se consiguen filtros que incluyen las curvas de ponderación espectral para UV, para el riesgo por luz "azul", etc. Debemos tener filtros suficientes para cubrir, entre los siguientes intervalos espectrales, aquellos que correspondan al espectro de la fuente:

UV-C y -B	180 - 315 nm
UV-A	315 - 400 nm
VISIBLE "riesgo fotoquímico" (azul)	400 - 700 nm
VISIBLE + IR-A "riesgo térmico"	400 - 1400 nm
IR "riesgo de cataratas"	780 - 3000 nm

Cuando en lugar de filtros tenemos un **monocromador**, el equipo de medida se llama espectrorradiómetro; con él se puede medir la distribución de la radiación incidente en función de la longitud de onda; esto da una idea mucho más precisa del riesgo y de las medidas de control que pueden adoptarse.

Un monocromador es un dispositivo que permite dispersar una radiación de banda ancha para obtener su espectro en estrechas bandas de longitudes de onda. Puede ser de varios tipos: Prisma óptico (basado en la refracción de la radiación), o redes de difracción (basadas en la dispersión de la radiación por interferencia entre los trenes de ondas reflejados en cada surco o línea. Por el momento, los espectrorradiómetros de calidad, que emplean prismas o redes de difracción, sólo son utilizables en laboratorio, ya que se trata de material muy sensible al desajuste óptico.

Recientemente se ha desarrollado otro sistema, llamado "policromador", que dispersa la radiación óptica incidente en una red de difracción cóncava, y la envía sobre una matriz de diodos capaces de obtener el espectro en bandas de longitud de onda. Como la matriz de diodos ocupa muy poco espacio y es menos frágil a efectos ópticos, este sistema permite obtener un espectro de campo en tiempo real, con menor resolución que los espectrofotómetros pero en condiciones aceptables (figura 4.21).

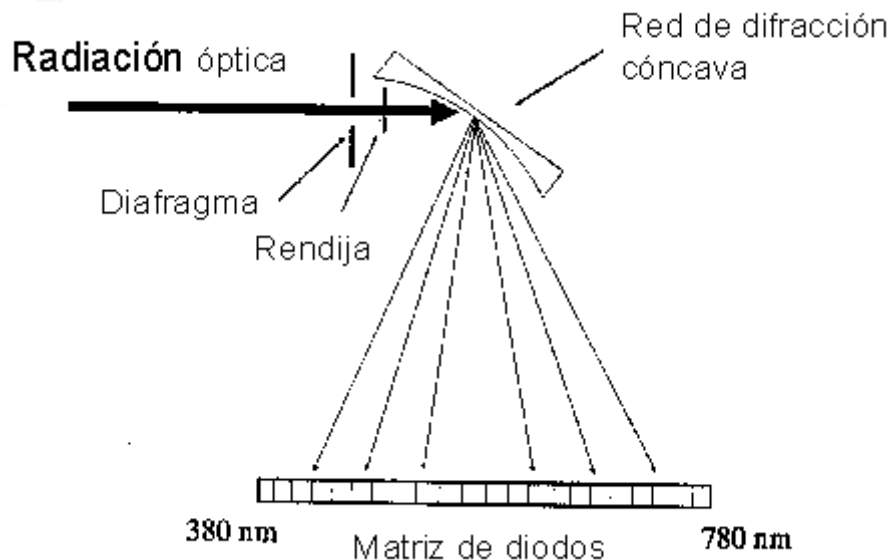


Figura 4.21: Dispersión en un "policromador"

Los **detectores** convierten la energía radiante incidente en corriente eléctrica; pueden ser de muchos tipos, los más usados son: los tubos fotomultiplicadores (para UV y Visible), los fotodiodos de silicio, de gran versatilidad (UV, VIS, IR-A), y las termopilas, que cubren un rango

espectral bastante amplio. Deben tener la sensibilidad espectral y el rango dinámico adecuados a las medidas de exposición laboral.

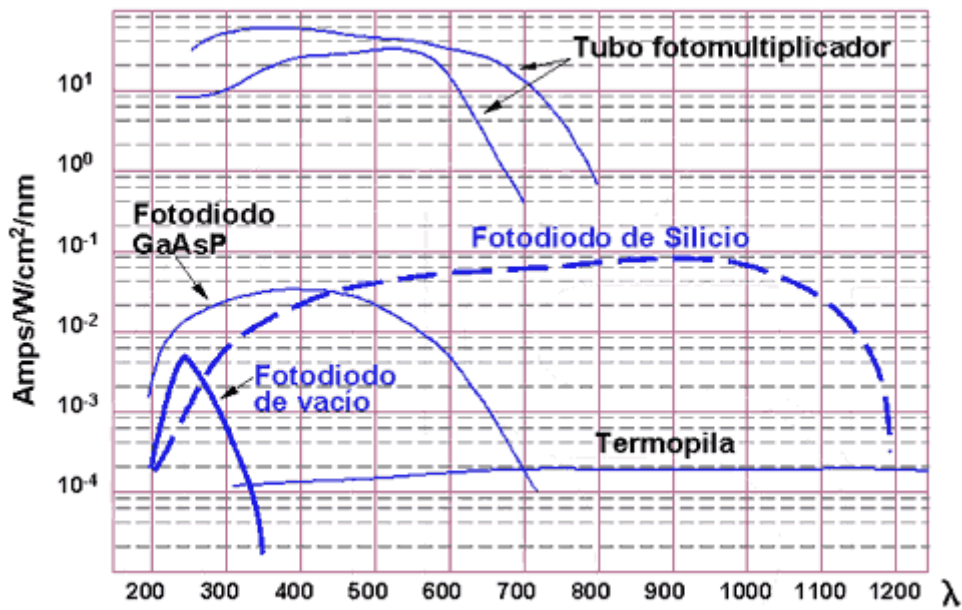


Figura 4.22: Respuesta espectral absoluta de varios detectores

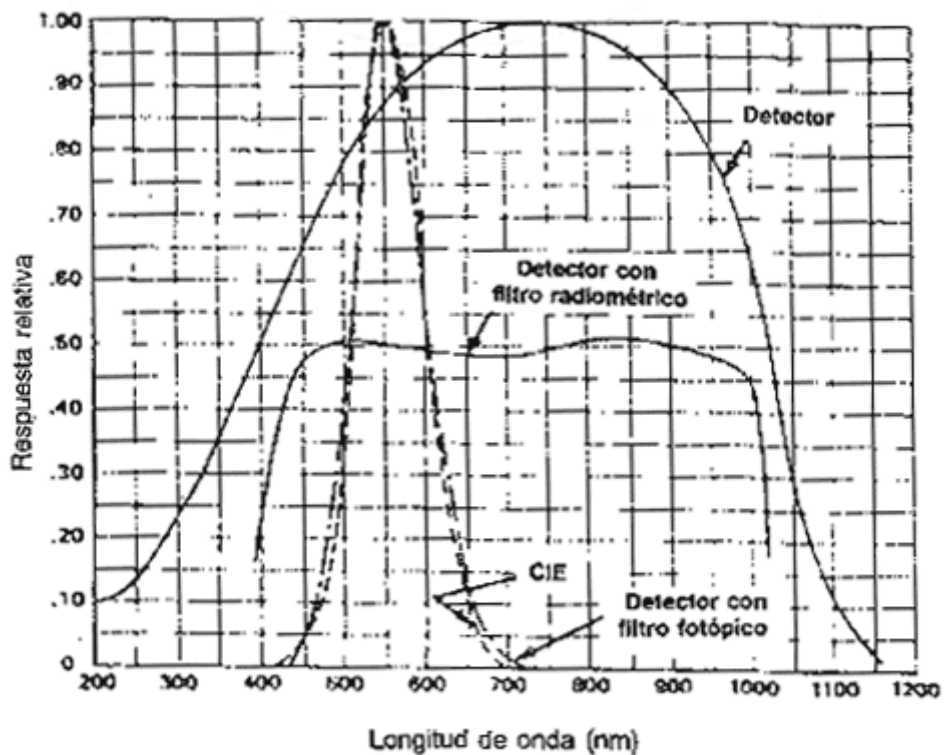


Figura 4.23: Comparación de la respuesta espectral de un detector de silicio, con su modificación para radiometría y fotometría (curva CIE).

Cuando se compra un detector comercial, lo que se suele adquirir es un sistema de detección completo que contiene la óptica de entrada, el filtro con o sin ponderación espectral y, el detector adecuado a la medida a realizar. En la figura 4.24 vemos cómo se acoplan los diversos componentes para obtener un detector con ponderación espectral ACGIH para UV actínico, un detector UVA, y otro con ponderación para riesgo por luz "azul".

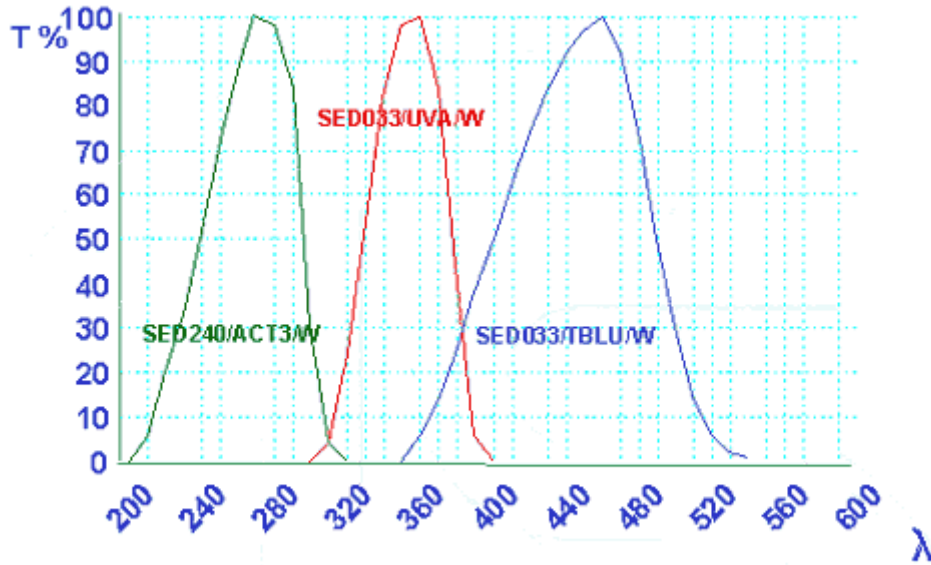


Figura 4.24: Respuesta espectral de varios sistemas de detección

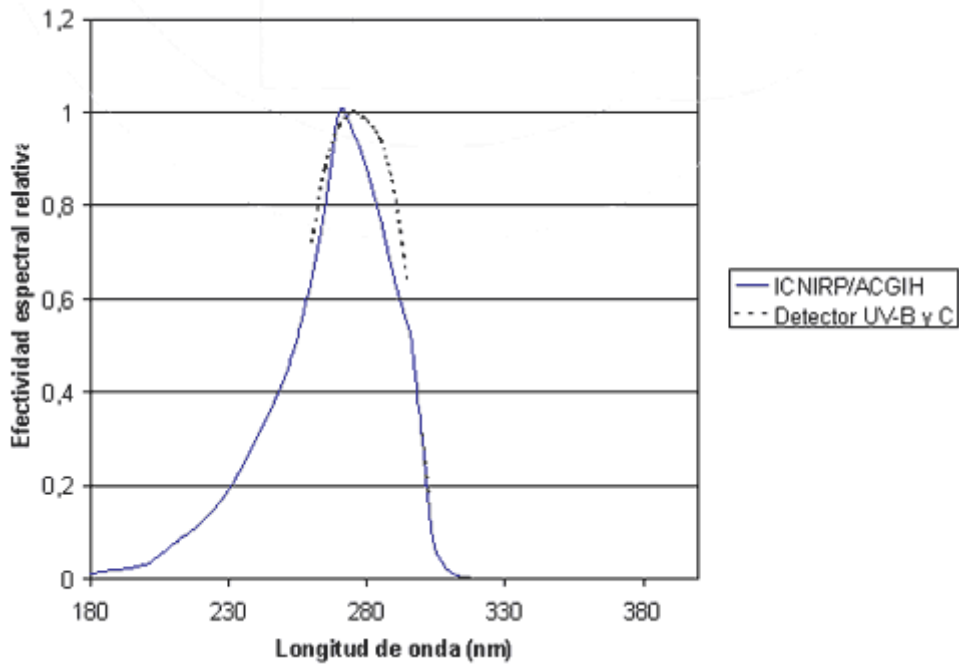


Figura 4.25: Curva de efectividad espectral relativa  $S(\lambda)$  del ICNIRP/ACGIH, comparada con la de un detector comercial (SED240/ACT3/W de International Light)

Como ejemplo, un sistema de detección para medir exposición a UV, mediría irradiancia en  $W \cdot m^{-2}$ , y debería constar de:

- \* óptica con respuesta coseno para captar la máxima radiación posible.
- \* filtro UV para eliminar la radiación de otros rangos espectrales,
- \* ponderación espectral según la función  $S(\lambda)$ , y
- \* tubo fotomultiplicador.

Sin embargo, para medir exposición a radiación Visible (riesgo fotoquímico para la retina) en una fuente luminosa considerada "extensa", se mediría radiancia, en  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ , y el sistema de detección se compondría de:

- \* óptica telescópica para reproducir el campo de visión del ojo humano,
- \* filtro visible, para eliminar la radiación de otros rangos espectrales,
- \* ponderación espectral según la función  $B(\lambda)$ , y
- \* fotodiodo de silicio.

La **salida de datos** en un radiómetro consistirá en un valor numérico, conseguido como un valor medio de un conjunto de medidas. Si usamos un espectrorradiómetro obtendremos una representación gráfica de la exposición para cada intervalo de  $\lambda$ , una tabla de valores y un valor final de la exposición.

Cuando se utiliza un espectrorradiómetro no es necesaria la ponderación espectral, porque se dispone de todos los valores de la irradiancia para cada intervalo de  $\lambda$  y se puede hacer una corrección numérica posterior a la medida. Para esta operación hace falta un software que permita exportar los datos a un ordenador como archivo.txt; después se importa a un programa de cálculo, se aplica a cada  $\Delta\lambda$  la correspondiente función de ponderación, y se obtiene la suma de todas las irradiancias/radiancias espectrales, según el caso.

Antes de adquirir los diferentes sistemas de detección, conviene tener en cuenta que las radiaciones IR-A (780-1400 nm) e IR-B (1,4-3,0 mm) son muy poco eficaces en la producción de una lesión en la retina si se comparan con la luz "azul". Sería prioritario adquirir un detector con ponderación  $B(\lambda)$ .

Para medir la exposición laboral a Radiaciones Ópticas todavía hay algunas limitaciones de tipo instrumental. Los aparatos comerciales sólo se desarrollarán convenientemente cuando la demanda de radiómetros sea suficiente, y esto supone que se midan radiaciones ópticas de forma más habitual. Por otra parte, y debido a la variedad de factores que pueden modificar el resultado final de la medida, es conveniente medir simultáneamente con un radiómetro y un espectrorradiómetro, y comparar los resultados.

Podemos resumir la situación actual en las siguientes opciones:

- 1) Hay equipos comerciales específicos para medir la exposición en operaciones concretas, por ejemplo, la exposición a lámparas germicidas. Son equipos muy sencillos y de bajo coste, ya que sólo hay que detectar una estrecha banda de longitudes de onda.
- 2) Existen varios tipos de radiómetros comerciales, con múltiples detectores para cubrir casi todo el espectro de las radiaciones ópticas. Algunos incluyen además una ponderación espectral que se aproxima a las curvas de ponderación de la ACGIH, para UV y para el "azul". Se pueden adquirir por separado y tienen un precio medio.
- 3) También hay espectrorradiómetros de buena calidad óptica, que por ahora se utilizan en laboratorio, en estudios de exposición; hay algunos transportables pero son pesados y voluminosos. Son caros como corresponde a los equipos ópticos con buenas prestaciones técnicas.
- 4) Existen espectrorradiómetros comerciales de pequeño tamaño que permiten realizar medidas en los puestos de trabajo, tanto de radiación UV como Visible, mediante la utilización de matrices de diodos de reducido tamaño y fácil transporte. Estos equipos compensan su menor calidad con la posibilidad de realizar un espectro de la emisión de la fuente en la posición del trabajador y de disponer de más datos para el estudio de la exposición. Los datos obtenidos se procesan informáticamente para aplicar las correspondientes curvas de ponderación y obtener el valor de la exposición total.

De momento, la opción más asequible para medir exposición a radiaciones ópticas en las empresas es utilizar un radiómetro con un juego de detectores con calibración ACGIH, aunque se pierda precisión. Todos los equipos deben estar calibrados óptica y electrónicamente y disponer de certificado de calibración renovado periódicamente.

En las mediciones se debe dar la incertidumbre de la medida.

#### CAPÍTULO 4: EJERCICIOS RESUELTOS

##### 1. Cálculo aproximado de la exposición a radiación óptica incoherente en un punto situado a una distancia conocida de la fuente.

A distancia suficientemente lejos de la fuente, como para considerarla puntual, se puede suponer que la difusión es esférica. Esto permite calcular de forma aproximada la exposición en un punto, ya que,

$$S \left( \frac{W}{m^2} \right) = \frac{P}{4 \pi r^2}$$

Siendo:

P = potencia radiante de la fuente en W,  
r = radio de una esfera = distancia a la fuente.

Para una fuente de 100 W, la exposición esperada a 5 metros será:

$$S \left( \frac{W}{m^2} \right) = \frac{100}{4 \pi 5^2} = 0,32 \frac{W}{m^2}$$

Ésta fórmula puede usarse también para el cálculo de distancias de seguridad, haciendo S = Exposición máxima permitida, EMP ( $W/m^2$ ) y  
r = Distancia de seguridad en metros.

$$\text{Distancia de seguridad} = \sqrt{\frac{P}{EMP \cdot 4 \pi}} \text{ m}$$

##### 2. Conocemos que una lámpara de banda ancha (visible) emite una luminancia $L_V$ de $10^5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a 555 nm. Calcular la radiancia $L_e$ de esa lámpara, a partir de sus datos fotométricos.

La equivalencia entre  $L_V$  y  $L_e$  a 555 nm viene dada por la expresión:

$$L_V = 683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1} \cdot L_e \cdot V(\lambda)$$

Buscar en el Anexo, tabla 4.1 el valor de  $V(\lambda) \approx 1$  a 555 nm y sustituyendo el valor de  $L_V$

$$L_e = \frac{10^5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}}{683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}} = 146 \frac{\text{lm sr}^{-1} \text{ m}^{-2}}{\text{lm W}^{-1}} = 146 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

En el caso de que  $L_v = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$  (luminancia a partir de la cual se aconseja evaluar el riesgo por exposición a radiación visible), a 555 nm:

$$L_e = \frac{10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}}{683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}} = 14,6 \frac{\text{lm sr}^{-1} \text{m}^{-2}}{\text{lm W}^{-1}} = 14,6 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$$

Y suponiendo que estemos a 1 metro de distancia, podemos estimar aproximadamente la potencia radiante de la fuente

$$P = 14,6 \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \times 4\pi r^2 (\text{m}^2) \approx 183,4 \text{ W}$$

**3. Aplicar la curva de ponderación para Ultravioleta, S(l), y calcular la irradiancia efectiva total para la exposición a una fuente imaginaria.**

Se ha medido la irradiancia espectral en la posición del trabajador, con un detector que no incluye ponderación espectral, obteniéndose los valores siguientes:

Longitud de onda (nm)	Irradiancia espectral fuente W/m <sup>2</sup> nm	Ancho banda Δλ (nm)
245	10	5
250	10	5
255	10	5
260	10	5
265	10	5
270	10	5
275	10	5
280	10	5
285	10	5
290	10	5

Se aplica la fórmula  $E_{\text{eff}} = \sum E_\lambda \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda$

en dos etapas:

(a) Producto  $[E(\lambda) \times \Delta\lambda \times S(\lambda)]$

(b) Suma de todas las irradiancias espectrales ponderadas

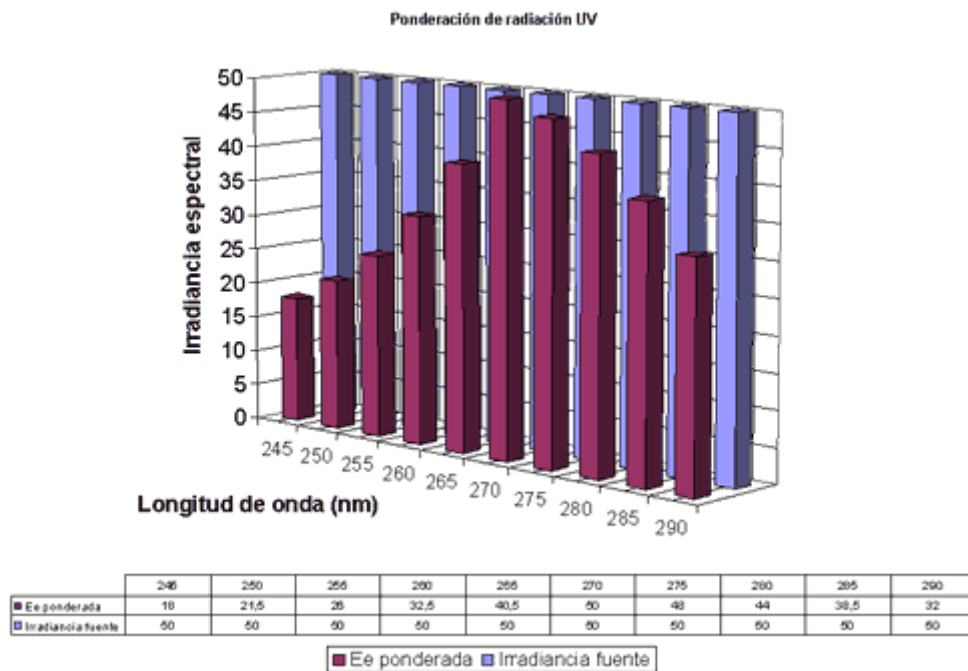
Por último se representan gráficamente las irradiancias espectrales sin ponderar y efectiva (ponderada) para la misma fuente imaginaria.

Longitud de onda (nm)	Irradiancia espectral fuente W/m <sup>2</sup> nm	Ancho banda Δλ (nm)	Irradiancia espectral fuente W/m <sup>2</sup>	S(λ)	Irradiancia efectiva W/m <sup>2</sup>
245	10	5	50	0,36	18
250	10	5	50	0,43	21,5
255	10	5	50	0,52	26
260	10	5	50	0,65	32,5
265	10	5	50	0,81	40,5
270	10	5	50	1,00	50
275	10	5	50	0,96	48
280	10	5	50	0,88	44
285	10	5	50	0,77	38,5
290	10	5	50	0,64	32
			<b>500</b>		<b>351</b>



La irradiancia total sin ponderar sería de 500 W/m<sup>2</sup>, frente a los 351 W/m<sup>2</sup> de la irradiancia efectiva total ponderada.

Nota: En el caso de que la irradiancia espectral se de en W/m<sup>2</sup>, no habría que multiplicar por el ancho de banda Δλ.



**4. Determinar la exposición laboral a radiaciones UV en el ejercicio anterior suponiendo que la irradiancia se ha medido para 8 horas de trabajo. En caso de riesgo no tolerable, calcular el tiempo de exposición permitido.**

Una exposición a radiación de 245 a 290 nm corresponde a los intervalos UV-C y UV-B. Para este rango, tanto para ojos como para piel, el límite de exposición para 8 horas es **30 J m<sup>-2</sup>**. Para poder compararlo con la irradiancia del ejercicio anterior, **351 W/m<sup>2</sup>**, hay que dividirlo por el tiempo de exposición en segundos.

$$E_{EMP} = \frac{30 \text{ J m}^{-2}}{28800 \text{ s}} = 1,04 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Es el límite para 8 horas}$$

El riesgo de exposición a 351 W/m<sup>2</sup> es no tolerable. Calculamos el tiempo de exposición permitido

$$t_{exp} = \frac{30 \text{ J m}^{-2}}{E_{EFF}} = \frac{30 \text{ J m}^{-2}}{351 \text{ W m}^{-2}} = 0,08 \text{ segundos}$$

**5. Ejercicio práctico de evaluación de la exposición a Radiación UV.**

En el laboratorio de bioquímica de un hospital se utiliza un sistema de esterilización de muestras por medio de radiación UV. Aunque está instalado dentro de una cabina de seguridad, se desea conocer el riesgo por exposición laboral a radiación UV que supone trabajar con la cabina abierta. Se estima un tiempo de exposición diario de 3 horas.

Como consecuencia del estudio realizado, se dispone de los datos siguientes.-

- Rango de emisión: Tres líneas a 254 nm, 270 nm y 300 nm
- Distancia del puesto de trabajo a la fuente = 70 cm.

Utilizando diferentes sensores sin *ponderación espectral* se ha medido la irradiancia espectral en el puesto de trabajo mencionado, obteniendo los siguientes valores:

$$E_{254} = 3,2 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1} \quad (\text{tomar } \Delta\lambda = 1 \text{ en todos los casos})$$

$$E_{270} = 2,2 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$$

$$E_{300} = 2,3 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$$

Solución al ejercicio 4.5 .-

(a) Calcular la irradiancia efectiva:  $\sum E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta\lambda$  .

$\lambda$	$E_{\text{espectral}}$	$S_{\lambda}$	$\Delta\lambda$	
254	$3,2 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$	0,5	1 nm =	$1,6 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$
270	2,2 "	1,0	1 " =	2,2 "
300	2,3 "	0,3	1 " =	0,7 "
<b><math>E_{\text{EFF}} =</math></b>				<b><math>4,5 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}</math></b>

(b) Determinar la exposición laboral de la piel y ojos a radiación UV. Si resulta un nivel de exposición no tolerable, calcular el tiempo de exposición permitido.

Nota: Como los datos de partida vienen en sistema cegesimal, se puede optar por convertirlo todo a SI, o pasar el límite de exposición a  $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  .

El límite de exposición UVB y C para 8 horas es  $30 \text{ J m}^{-2} < > 0,003 \text{ J cm}^{-2}$ . Para calcular la EEMP para un tiempo de exposición inferior a 8 h, se utiliza la expresión:

$$E_{EMP} = \frac{0,003 \text{ J cm}^{-2}}{t_{exp} \text{ s}}$$

Para tiempo de exposición 3 h = 10800 segundos:

$$E_{EMP} = \frac{0,003 \text{ J cm}^{-2}}{10800} = 2,7 \times 10^{-7} \text{ W cm}^{-2} = 0,27 \mu\text{W cm}^{-2}$$

Comparado con una irradiancia efectiva  $E_{\text{EFF}} = 4,5 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$  el riesgo es no tolerable para ojos y piel.

$$t_{exp} \leq \frac{0,003 \text{ J cm}^{-2}}{E_{\text{EFF}}} = \frac{0,003 \text{ J cm}^{-2}}{4,5 \text{ W cm}^{-2}} = 0,0006 \text{ s}$$

El tiempo de exposición diario permitido para esa irradiancia es prácticamente nulo.

**6. Cálculo del límite de exposición ocular a IR para un tiempo de 100 s.** Según el criterio ICNIRP para IR (770-3000 nm), la EMP puede expresarse mediante las fórmulas [8] y [9] del apartado 2.3.3:

$$\text{para } t < 1000 \text{ s} \quad \dots \sum E_{IR} \leq 18 \cdot t^{-3/4} \text{ kW} / \text{m}^2$$

$$\text{para } t > 1000 \text{ s} \quad \dots \sum E_{IR} \leq 100 \text{ W} / \text{m}^2$$

En este caso, para un tiempo de 100 s utilizaremos la primera expresión, sustituyendo t por 100 s.

$$\sum E_{IR} \leq 18 \cdot 100^{-3/4} = 560 \text{ W} / \text{m}^2$$

Obsérvese que para tiempos de exposición inferiores a 1000 segundos, la EMP ocular permitida puede ser más elevada (560 W/m<sup>2</sup> en este caso) que la exposición permitida para tiempos mayores de 1000 s, que nunca podrían superar los 100 W/m<sup>2</sup>.

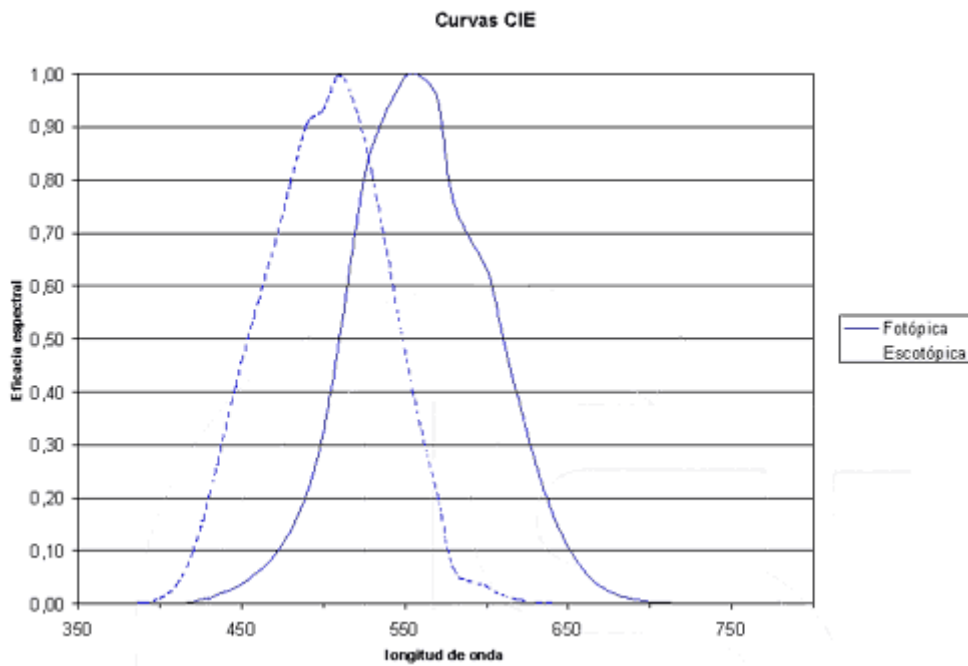
## CAPÍTULO 5: TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 4.1: CURVA CIE (Comité Internacional de Iluminación) VALORES DEL ESPECTRO DE EFICACIA LUMINOSA PARA EL OJO HUMANO

Longitud de onda $\lambda$ (nm)	Eficacia espectral Fotópica $V(\lambda)$	Eficacia espectral Escotópica $V(\lambda)^1$
380	0.00004	0.000589
390	0.00012	0.002209
400	0.0004	0.00929
410	0.0012	0.03484
420	0.0040	0.0966
430	0.0116	0.1998
440	0.023	0.3281
450	0.038	0.455
460	0.060	0.567
470	0.091	0.676
480	0.139	0.793
490	0.208	0.904
500	0.323	0.932
510	0.503	0.997
520	0.710	0.935
530	0.862	0.811
550	0.995	0.481
560	0.995	0.3288
570	0.952	0.2076
580	0.757	0.0655
600	0.631	0.03315
610	0.503	0.01593
620	0.381	0.00737
630	0.265	0.003335
640	0.175	0.001497
650	0.107	0.000677
660	0.061	0.0003129
670	0.032	0.0001480
680	0.017	0.0000715
690	0.0082	0.00003533
700	0.0041	0.00001780
710	0.0021	0.00000914
720	0.00105	0.00000478
730	0.00052	0.000002546
740	0.00025	0.000001379
750	0.00012	0.000000760
760	0.00006	0.000000425
770	0.00003	0.0000002413
780	0.000015	0.0000001390

(Fuente.- APPLIED OPTICS, Vol. 20, Nº 14, 15 Julio 1981, p 2358)

Representación gráfica de las curvas CIE para visión fotópica (diurna) y escotópica (nocturna)



Representación gráfica de la curva de ponderación S(l) para Ultravioleta

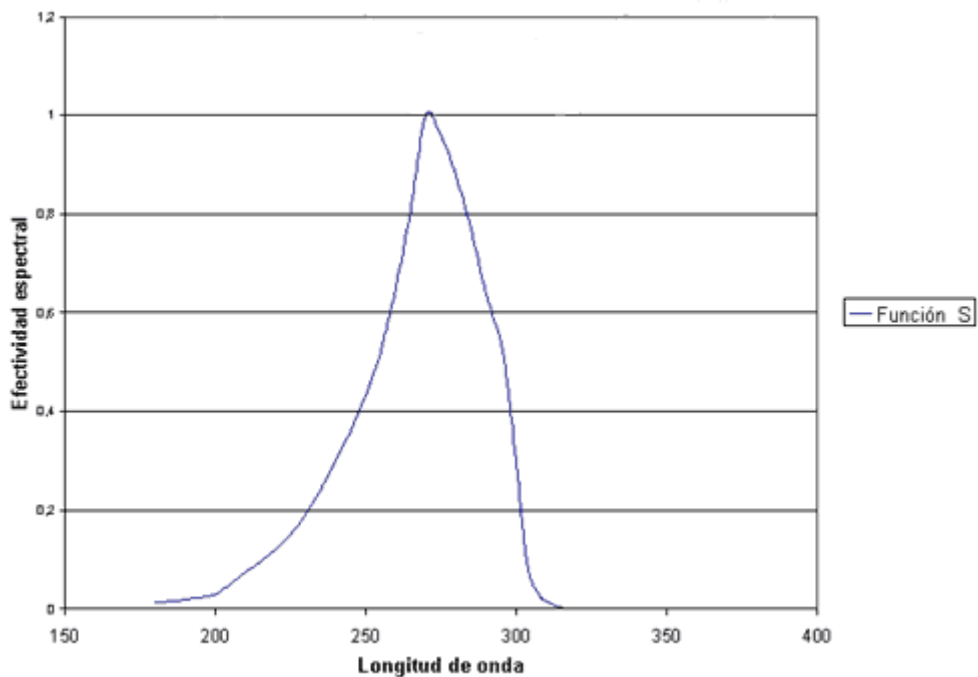


Tabla 4.2: Valores de la curva de ponderación S(l). ICNIRP 1996

Longitud de Onda <sup>a</sup> (nm)	Función S( $\lambda$ )	Longitud de Onda (nm)	Función S( $\lambda$ )
180	0,012	310	0,015
190	0,019	313 <sup>b</sup>	0,006
200	0,03	315	0,003
205	0,051	316	0,0024
210	0,075	317	0,0020
215	0,095	318	0,0016
220	0,12	319	0,0012
225	0,15	320	0,0010
230	0,19	322	0,00067
235	0,24	323	0,00054
240	0,3	325	0,0005
245	0,36	328	0,00044
250	0,43	330	0,00041
254 <sup>b</sup>	0,50	333	0,00037
255	0,52	335	0,00034
260	0,65	340	0,00028
265	0,81	345	0,00024
270	1	350	0,0002
275	0,96	355	0,00016
280 <sup>b</sup>	0,88	360	0,00013
285	0,77	365 <sup>b</sup>	0,00011
290	0,64	370	0,000093
295	0,54	375	0,000077
297 <sup>b</sup>	0,46	380	0,000064
300	0,3	385	0,000053
303 <sup>b</sup>	0,12	390	0,000044
305	0,06	395	0,000036
308	0,026	400	0,000030

Notas a la Tabla 4.2

<sup>a</sup> Para valores de longitud de onda intermedios el valor de S(l) debe interpolarse.

<sup>b</sup> Líneas de emisión del espectro de una lámpara de descarga de mercurio.

Tabla 4.3: Valores de las curvas de ponderación A(l) , B(l), y R(l).Funciones de ponderación para riesgo fotoquímico y térmico en la retina

Longitud de Onda (nm)	Aphakic A(λ)	Blue-light B(λ)	Retinal Thermal R(λ)
300	6,000	0,010	
305	6,000	0,010	
310	6,000	0,010	
315	6,000	0,010	
320	6,000	0,010	
325	6,000	0,010	
330	6,000	0,010	
335	6,000	0,010	
340	5,880	0,010	
345	5,710	0,010	
350	5,460	0,010	
355	5,220	0,010	
360	4,620	0,010	
365	4,290	0,010	
370	3,750	0,010	
375	3,560	0,010	
380	3,190	0,010	0,100
385	2,310	0,013	0,130
390	1,880	0,025	0,250
395	1,580	0,050	0,500
400	1,430	0,100	1,000
405	1,300	0,200	2,000
410	1,250	0,400	4,000
415	1,200	0,800	8,000
420	1,150	0,900	9,000
425	1,110	0,950	9,500
430	1,070	0,980	9,800
435	1,030	1,000	10,000
440	1,000	1,000	10,000
445	0,970	0,970	9,700
450	0,940	0,940	9,400
455	0,900	0,900	9,000
460	0,800	0,800	8,000
465	0,700	0,700	7,000
470	0,620	0,620	6,200
475	0,550	0,550	5,500
480	0,450	0,450	4,500
485	0,400	0,400	4,000
490	0,220	0,220	2,200
495	0,160	0,160	1,600
500	0,100	0,100	1,000
505	0,079	0,079	1,000
510	0,063	0,063	1,000
515	0,050	0,050	1,000
520	0,040	0,040	1,000
525	0,032	0,032	1,000
530	0,025	0,025	1,000
535	0,020	0,020	1,000
540	0,016	0,016	1,000
545	0,013	0,013	1,000
550	0,010	0,010	1,000
555	0,008	0,008	1,000
560	0,006	0,006	1,000
565	0,005	0,005	1,000
570	0,004	0,004	1,000
575	0,003	0,003	1,000
580	0,002	0,002	1,000
585	0,001	0,001	1,000
590	0,001	0,001	1,000
595	0,001	0,001	1,000
600-700	0,001	0,001	1,000
700-1050			10 <sup>[(700-λ)/500]</sup>
1050-1150			0,200
1150			0,200
1155			0,159
1160			0,126
1165			0,100
1170			0,080
1175			0,063
1180			0,050
1185			0,040
1190			0,032
1195			0,025
1200-1400			0,02

Tabla 4.4: ACGIH. Resumen de los niveles de exposición laboral a Radiaciones Ópticas. Equivalen a los niveles de la ICNIRP expresados en unidades cegsimales.

Banda espectral (nm)	Riesgo	Magnitud medida o calculada	Valores límite de exposición <sup>(1)</sup>
UV 180-400	Piel, eritema ef. cancerig.	$H_{UV\text{ eff}}$ (pond. S)	$0,003 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$
UVB + UVC 180-315	Queratitis, conjuntivitis	$H_{UV\text{ eff}}$ (pond. S)	$0,003 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$
UVA 320-400	Cataratas	$H_{UVA}$ $t < 10^3\text{s}$ $t > 10^3\text{s}$	$1 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ $1 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$
UV + VISIBLE 300-700	Lesiones fotoquímicas en la retina	Fuentes extensas $L_{\text{int.}}$ (pond. B) $t \leq 10^4\text{s}$ $L$ (pond. B) $t > 10^4\text{s}$	$10^2 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ $10^{-2} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
		Fuentes puntuales $H_{\text{VIS eff}}$ (pond. B) $t \leq 10^4\text{s}$ $E_{\text{VIS eff}}$ (pond. B) $t > 10^4\text{s}$	$10^{-2} \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ $10^{-6} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$
VISIBLE + IRA 380-1400	Lesiones térmicas en retina	$L_{\text{eff}}$ (pond. R) $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{s}$	$\frac{5}{\alpha \cdot t^{1/4}} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
IRA 780-1400	Lesiones térmicas en retina	$L_{\text{IRA}}$ $t > 10\text{s}$	$\frac{0,6}{\alpha} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$
IRA + IRB 780-3000	Lesiones térmicas, córnea, cataratas	$E_{\text{IRA+IRB}}$ $t < 10^3\text{s}$ $t > 10^3\text{s}$	$1,8 \cdot t^{3/4} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ $10 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$
VIS + IR 380-3000	Piel, lesión térmica	$H_{\text{VIS+IR}}$ $t < 10 \text{ s}$	$2 \cdot t^{1/4} \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$

<sup>(1)</sup> ACGIH (1999)

**ANEXO I**  
**CUESTIONARIO DE RECOGIDA DE DATOS**  
**EXPOSICIÓN LABORAL A RADIACIONES ÓPTICAS**

IDENTIFICACIÓN EMPRESA	IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJADOR
Razón Social .....	Apellidos.....
Nº Identificación.....	.....
Plantilla .....	Nombre .....
Actividad (CNAE).....	DNI.....
Domicilio .....	Departamento .....
Localidad .....	.....
Código Postal .....	Puesto de trabajo .....
Provincia .....	.....
Personas entrevistadas: .....	Años de experiencia .....
.....	TÉCNICO VISITADOR: .....
.....	.....
.....	Fecha visita (Día/mes/año).....



**EXPOSICIÓN LABORAL A RADIACIONES ÓPTICAS**

**R.O. 1.- CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE EMISORA**

- 1.1 - Identificación.....
- 1.2 - Marca.....
- 1.3 - Modelo.....
- 1.4 - Antigüedad (años).....

1.5 - Distribución espectral de la fuente (banda de longitudes de onda emitidas)

$\lambda$  máxima.....     nm

$\lambda$  mínima.....     nm

1.6 - Distribución temporal de la energía (modo de emisión):

Continuo..... Potencia de salida (W) .....

Impulsos..... Potencia media (W) .....

   Anchura pulso (s) .....

   Frecuencia Repetición pulso (Hz) .....

1.7 - Distribución espacial de la energía:

Diámetro de salida (mm).....

Divergencia..... Fuentes incoherentes ...    rad

   Fuentes coherentes (láseres)..    sr

1.8 - Tamaño de la fuente [Si  $\lambda$  está entre 400 y 1400 nm].....

1.9 - *Opcional:*

Luminancia de la fuente  $L_v$  ( $W.cm^{-2}.sr^{-1}$ ) .....



## RESUMEN

Para llevar a cabo la prevención del riesgo por Radiaciones Ópticas conviene resumir aquí las ideas básicas y las acciones necesarias:

- El objetivo de las precauciones de seguridad y de las medidas de control es reducir el riesgo a niveles de exposición inferiores a los recomendados en los criterios preventivos utilizados, ya que *"el riesgo debe ser tan bajo como sea posible en función del desarrollo tecnológico"*.
- Hay que evitar las exposiciones innecesarias. La exposición a radiación UV debería ser lo más baja posible. Recordemos que también puede producirse exposición a UV solar en horario extralaboral y que sus efectos biológicos sobre la piel son aditivos.
- La empresa deberá aplicar los principios generales de la prevención establecidos en la **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, art. 15 a 19, y en el **RD 39/1997**, de Servicios de

Prevención, en los que se basa esta unidad didáctica. Las líneas generales a seguir en la actuación preventiva son:

1) **Eliminar o reducir los riesgos en la fase de diseño**, encerrando la fuente emisora para impedir que se sobrepasen los niveles "seguros" de exposición laboral consensuados por las asociaciones de expertos. Se consigue mediante cerramientos, pantallas, enclavamientos, etc.

2) Si lo anterior no es posible porque la radiación ha de utilizarse en área abierta o por otros motivos, se aplicará un **programa de medidas de control técnicas** (por ejemplo, barreras) **y/o de organización del trabajo para reducir la exposición** (señalizar el riesgo, delimitar áreas de trabajo, reducir el tiempo de exposición, restringir el acceso, etc). La adopción de medidas de control organizativas dependerá del tipo de aplicación y de las personas que están en el entorno de la fuente emisora.

3) Se proporcionará **información** a los trabajadores sobre los riesgos de una exposición excesiva a la radiación emitida por el equipo, sobre las medidas de seguridad que incluye el equipo y sobre cómo deben utilizarse.

4) Se recomienda la **formación en seguridad** para todos los usuarios del equipo y para el personal de mantenimiento; debería ser específica para el tipo de instalación utilizado. La actualización periódica o continua sobre las medidas de seguridad y sobre los métodos de trabajo ha demostrado su eficacia, sobre todo frente a riesgos poco conocidos o "no materiales".

5) En caso de ser necesaria protección individual, deberá ser específica para cada caso concreto. Para las radiaciones ópticas dependerá del espectro de la fuente y, según el caso, protegerá ojos y/o piel (gafas, pantallas, ropa, guantes). La necesidad de utilizar este recurso debería reducirse al mínimo adoptando antes los controles técnicos y administrativos anteriormente citados.

- Para poner en práctica lo anterior habrá que identificar los puestos de trabajo con potencial riesgo por R.O., recopilar la información necesaria, determinar si hay exposición y de qué tipo y, en caso afirmativo, evaluarla y comparar los resultados con los criterios de exposición utilizados en la Unión Europea. Si resulta una situación de riesgo no tolerable, habrá que aplicar un programa de medidas técnicas para reducir la exposición a un nivel tan bajo como sea posible en función de la evolución técnica y comprobar posteriormente que son eficaces.
- En la utilización de los equipos de trabajo deberá limitarse en lo posible la generación y propagación de RO, según el RD 1215/1997.



**Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para el año 2007.**

NIPO: 211-07-028-0

## Presentación

En este documento se recogen los Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para el año 2007.

La constitución por el INSHT en 1995 de un grupo de trabajo sobre Valores Límite de Exposición Profesional permitió la publicación de un primer documento en 1999, seguido por actualizaciones anuales para hacer frente, a medio plazo, a la obligación que la [Directiva 98/24/CE](#) imponía a los Estados miembros de establecer límites de exposición profesional nacionales.

La transposición de esta Directiva al ordenamiento jurídico español mediante el [Real Decreto 374/2001](#), que deroga los límites de exposición del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (RAMINP) y considera los publicados por el INSHT como los valores de referencia apropiados para los agentes químicos que carezcan de valores límite reglamentarios, constituye, de hecho, un mandato al Instituto para continuar con esta labor, actualizando periódicamente sus límites para mantenerlos adaptados al progreso científico y técnico.

Por su parte, la [Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo](#) aprobó, en julio de 1997, la creación de un [grupo de trabajo](#) para, entre otras cuestiones, “estudiar los documentos que sobre valores límite y su aplicación en los lugares de trabajo elabore el INSHT”. Como resultado de sus propuestas, la Comisión, en la reunión plenaria celebrada el 16 de diciembre de 1998, acordó unánimemente recomendar:

1. *Que se apliquen en los lugares de trabajo los límites de exposición indicados en el documento del INSHT, titulado " Límites de exposición profesional para agentes químicos en España" y que su aplicación se realice con los criterios establecidos en dicho documento.*
2. *Que el INSHT publique y dé la mayor divulgación posible al citado documento indicando, en su preámbulo, la información favorable de esta Comisión respecto a la aplicación de la misma en los lugares de trabajo.*
3. *Que el INSHT revise anualmente dicho documento, comunique a la Comisión las ampliaciones o modificaciones que considere necesario efectuar y, en caso de información favorable de ésta, las integre en la publicación a que se hace referencia en el apartado anterior.*

En consecuencia, mediante la publicación de este documento, que ha sido aprobado por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo cumple con sus funciones en materia de estudio y divulgación, a la vez que atiende, con satisfacción, las recomendaciones de la Comisión.

Ángel Rubio Ruiz  
Director del INSHT

# Índice

1. [INTRODUCCIÓN](#)
2. [OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN](#)
3. [DEFINICIONES](#)
  - 3.1 [Agente químico](#)
  - 3.2 [Puesto de trabajo](#)
  - 3.3 [Zona de respiración](#)
  - 3.4 [Período de referencia](#)
  - 3.5 [Exposición](#)
    - 3.5.1 [Exposición diaria \(ED\)](#)
    - 3.5.2 [Exposición de corta duración \(EC\)](#)
  - 3.6 [Indicador biológico \(IB\)](#)
4. [VALORES LÍMITE AMBIENTALES \(VLA\)](#)
  - 4.1 [Tipos de Valores Límite Ambientales](#)
    - 4.1.1 [Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria \(VLA-ED\)](#)
    - 4.1.2 [Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración \(VLA-EC\)](#)
  - 4.2 [Límites de Desviación \(LD\)](#)
  - 4.3 [Efectos combinados de agentes químicos](#)
  - 4.4 [Valoración de la exposición y valoración del riesgo](#)
    - 4.4.1 [Consideraciones sobre la valoración de la exposición](#)
    - 4.4.2 [Consideraciones sobre la valoración del riesgo higiénico](#)
5. [LISTA DE VALORES LÍMITE AMBIENTALES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL](#)
6. [AGENTES QUÍMICOS CANCERÍGENOS Y MUTÁGENOS](#)
7. [AGENTES QUÍMICOS SENSIBILIZANTES](#)
8. [PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN DE VALORES LÍMITE AMBIENTALES](#)
9. [VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS \(VLB\)](#)
  - 9.1 [Consideraciones generales](#)
  - 9.2 [Interpretación de los resultados de los indicadores biológicos \(IB\)](#)
10. [LISTA DE VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS](#)
11. [PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN REFERIDAS A LOS VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS](#)
12. [MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS](#)

[ANEXO A: ÍNDICE DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORDENADOS POR SU N° CAS](#)

[ANEXO B: NOTAS A LAS TABLAS 1 A 6](#)

[ANEXO C: FRASES R](#)

[ANEXO D: BIBLIOGRAFÍA](#)

[ANEXO E: INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA](#)

Composición del grupo de trabajo de la comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

---



## 1. INTRODUCCIÓN

Las disposiciones relativas a la evaluación de riesgos de la [Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales](#), y del [Real Decreto 39/1997](#), por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, implican la utilización de valores límite de exposición para poder valorar los riesgos debidos a la exposición profesional a agentes químicos.

Por otra parte, el [Real Decreto 374/2001](#) sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, que transpone al ordenamiento jurídico español la [Directiva 98/24/CE](#) del Consejo, relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, y la [Directiva 2000/39/CE](#) de la Comisión, por la que se establece una primera lista de valores límite de exposición profesional indicativos, en aplicación de la Directiva anterior, deroga el segundo párrafo del artículo 18 y el anexo 2 del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (RAMINP) de 1961.

En el contexto anterior y dado que los Estados miembros de la UE deben establecer valores límite de exposición profesional nacionales, el [Real Decreto 374/2001](#) remite a los publicados por el INSHT, como valores de referencia para la evaluación y control de los riesgos originados por la exposición de los trabajadores a agentes químicos.

Los conceptos y valores incluidos en este documento son el resultado de una evaluación crítica de los valores límite de exposición establecidos por las entidades que se citan en la bibliografía, teniendo en cuenta, fundamentalmente, la fecha de su actualización, la fiabilidad de los datos utilizados para el establecimiento de cada uno de ellos y los criterios de la UE para la adopción de los límites de exposición comunitarios.

La lista de los valores límite adoptados será ampliada y revisada, al menos anualmente, en función de las necesidades que planteen los cambios en los procesos de producción y la introducción de nuevas sustancias, de los nuevos conocimientos técnicos y científicos, así como de la evolución del marco legal en el que se apliquen.

Con la incorporación a la [Tabla 1- Límites ambientales de exposición profesional](#), de los valores límite indicativos (VLI) publicados en la [Directiva 2006/15/CE](#) de la Comisión, de 7 de febrero, en la que se establece la segunda lista de VLI profesionales, se consolida la transposición de dicha Directiva al ordenamiento jurídico-laboral español.

## 2. OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

Los Límites de Exposición Profesional son valores de referencia para la evaluación y control de los riesgos inherentes a la exposición, principalmente por inhalación, a los agentes químicos presentes en los puestos de trabajo y, por lo tanto, para proteger la salud de los trabajadores y a su descendencia.

No constituyen una barrera definida de separación entre situaciones seguras y peligrosas.

Los Límites de Exposición Profesional se establecen para su aplicación en la práctica de la Higiene Industrial y no para otras aplicaciones. Así, por ejemplo, no deben utilizarse para la evaluación de la contaminación medio-ambiental de una población, de la contaminación del agua o los alimentos, para la estimación de los índices relativos de toxicidad de los agentes químicos o como prueba del origen, laboral o no, de una enfermedad o estado físico existente.

En este documento se considerarán como Límites de Exposición Profesional los valores límite ambientales (**VLA**), contemplándose además, como complemento indicador de la exposición, los Valores Límite Biológicos (**VLB**).

### 3. DEFINICIONES

A los efectos de este documento son de aplicación las siguientes definiciones:

#### 3.1. Agente Químico

Todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no. <sup>1</sup>

(1) [Real Decreto 374/2001](#), de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

#### 3.2. Puesto de trabajo

Con este término se hace referencia tanto al conjunto de actividades que están encomendadas a un trabajador concreto como al espacio físico en que éste desarrolla su trabajo.

#### 3.3. Zona de respiración

El espacio alrededor de la cara del trabajador del que éste toma el aire que respira. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0,3 m de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe. <sup>2</sup>

(2) **UNE-EN 1540**. Atmósferas en el lugar de trabajo. Terminología.

#### 3.4. Período de referencia

Período especificado de tiempo, establecido para el valor límite de un determinado agente químico. El período de referencia para el límite de larga duración es habitualmente de 8 horas, y para el límite de corta duración, de 15 minutos <sup>3</sup>

(3) **UNE-EN 689**. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición.

#### 3.5. Exposición

Cuando este término se emplea sin calificativos hace siempre referencia a la vía respiratoria, es decir, a la exposición por inhalación.

Se define como la presencia de un agente químico en el aire de la zona de respiración del trabajador.

Se cuantifica en términos de la concentración del agente obtenida de las mediciones de exposición, referida al mismo período de referencia que el utilizado para el valor límite aplicable. En consecuencia, pueden definirse dos tipos de exposición:

##### 3.5.1. Exposición diaria (ED)

Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.

Referir la concentración media a dicha jornada estándar implica considerar el conjunto de las distintas exposiciones del trabajador a lo largo de la jornada real de trabajo, cada una con su correspondiente duración, como equivalente a una única exposición uniforme de 8 horas.

Así pues, la **ED** puede calcularse matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$ED = \frac{\sum c_i t_i}{8}$$

siendo

$c_i$  la concentración  $i$ -ésima

$t_i$  el tiempo de exposición, en horas, asociado a cada valor  $c_i$

**Nota:** A efectos del cálculo de la ED de cualquier jornada laboral, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en el numerador de la fórmula anterior será igual a la duración real de la jornada en cuestión, expresada en horas.

### 3.5.2. Exposición de corta duración (EC)

Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un período de referencia inferior, en la lista de Valores Límite.

Lo habitual es determinar las **EC** de interés, es decir, las del período o períodos de máxima exposición, tomando muestras de 15 minutos de duración en cada uno de ellos. De esta forma, las concentraciones muestrales obtenidas coincidirán con las **EC** buscadas.

No obstante, si el método de medición empleado, por ejemplo basado en un instrumento de lectura directa, proporciona varias concentraciones dentro de cada período de 15 minutos, la **EC** correspondiente se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$EC = \frac{\sum c_i t_i}{15}$$

siendo

$c_i$  la concentración  $i$ -ésima dentro de cada período de 15 min.

$t_i$  el tiempo de exposición, en minutos, asociado a cada valor  $c_i$

**Nota:** La suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en la fórmula anterior será igual a 15 minutos.

### 3.6. Indicador Biológico (IB)

A efectos de lo contemplado en este documento se entiende por indicador biológico un parámetro apropiado en un medio biológico del trabajador, que se mide en un momento determinado, y está asociado, directa o indirectamente, con la exposición global, es decir, por todas las vías de entrada, a un agente químico.

Como medios biológicos se utilizan el aire exhalado, la orina, la sangre y otros. Según cuál sea el parámetro, el medio en que se mida y el momento de la toma de muestra, la medida puede indicar la intensidad de una exposición reciente, la exposición promedio diaria o la cantidad total del agente acumulada en el organismo, es decir, la carga corporal total.

En este documento se consideran dos tipos de indicadores biológicos:

- IB de dosis. Es un parámetro que mide la concentración del agente químico o de alguno de sus metabolitos en un medio biológico del trabajador expuesto.
- IB de efecto. Es un parámetro que puede identificar alteraciones bioquímicas reversibles, inducidas de modo característico por el agente químico al que está expuesto el trabajador.

## 4. VALORES LÍMITE AMBIENTALES (VLA)

Son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire, y representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

Se habla de la mayoría y no de la totalidad puesto que, debido a la amplitud de las diferencias de respuesta existentes entre los individuos, basadas tanto en factores genéticos como en hábitos de vida, un pequeño porcentaje de trabajadores podría experimentar molestias a concentraciones inferiores a los **VLA**, e incluso resultar afectados más seriamente, sea por agravamiento de una condición previa o desarrollando una patología laboral.

Los **VLA** se establecen teniendo en cuenta la información disponible, procedente de la analogía físico-química de los agentes químicos de los estudios de experimentación animal y humana, de los estudios epidemiológicos y de la experiencia industrial.

Los **VLA** sirven exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos incluidos en la lista de valores. Cuando uno de estos agentes se puede absorber por vía cutánea, sea por la manipulación directa del mismo, sea a través del contacto de los vapores con las partes desprotegidas de la piel, y esta aportación pueda resultar significativa para la dosis absorbida por el trabajador, el agente en cuestión aparece señalado en la lista con la notación "**vía dérmica**". Esta llamada advierte, por una parte, de que la medición de la concentración ambiental puede no ser suficiente para cuantificar la exposición global y, por otra, de la necesidad de adoptar medidas para prevenir la absorción dérmica.

El valor límite para los gases y vapores se establece originalmente en ml/m<sup>3</sup> (ppm), valor independiente de las variables de temperatura y presión atmosférica, pudiendo también expresarse en mg/m<sup>3</sup> para una temperatura de 20 °C y una presión de 101,3 kPa, valor que depende de las citadas variables. La conversión de ppm a mg/m<sup>3</sup> se efectúa utilizando la siguiente ecuación:

$$VLA_{\frac{mg}{m^3}} = \frac{(VLA_{ppm}) \cdot (\text{peso molecular del agente químico en gramos})}{24,04}$$

siendo 24,04 el volumen molar en litros en tales condiciones estándar.

El valor límite para la materia particulada no fibrosa se expresa en mg/m<sup>3</sup> o submúltiplos y el de fibras, en fibras/m<sup>3</sup> o fibras/cm<sup>3</sup>, en ambos casos para las condiciones reales de temperatura y presión atmosférica del puesto de trabajo. Esto significa que las concentraciones medidas en estas unidades, en cualesquiera de las condiciones de presión y temperatura, no requieren ninguna corrección para ser comparadas con los valores límite aplicables.

En ausencia de cualquier otra indicación los valores límite se refieren a la fracción inhalable <sup>(4)</sup>.

<sup>(4)</sup> **UNE-EN 481**. Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles

#### **4.1. Tipos de Valores Límite Ambientales**

Se consideran las siguientes categorías de **VLA**:

##### **4.1.1. Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria (VLA-ED)**

Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (ED), tal y como ésta ha sido definida en el [apartado 3.5.1](#), de este documento. De esta manera los **VLA-ED** representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

##### **4.1.2. Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración (VLA-EC)**

Es el valor de referencia para la Exposición de Corta Duración (EC), tal y como ésta se ha definido en el [apartado 3.5.2](#), de este documento.

El **VLA-EC** no debe ser superado por ninguna EC a lo largo de la jornada laboral.

Para aquellos agentes químicos que tienen efectos agudos reconocidos pero cuyos principales efectos tóxicos son de naturaleza crónica, el **VLA-EC** constituye un complemento del **VLA-ED** y, por tanto, la exposición a estos agentes habrá de valorarse en relación con ambos límites.

En cambio, a los agentes químicos de efectos principalmente agudos como, por ejemplo, los gases irritantes, sólo se les asigna para su valoración un **VLA-EC**.

#### **4.2. Límites de Desviación (LD)**

Pueden utilizarse para controlar las exposiciones por encima del **VLA-ED**, dentro de una misma jornada de trabajo, de aquellos agentes químicos que lo tienen asignado. No son nunca límites

independientes, sino complementarios de los VLA que se hayan establecido para el agente en cuestión, y tienen un fundamento estadístico.

Para los agentes químicos que tienen asignado **VLA-ED** pero no **VLA-EC**, se establece el producto de 3 x **VLA-ED** como valor que no deberá superarse durante más de 30 minutos en total a lo largo de la jornada de trabajo, no debiéndose sobrepasar en ningún momento el valor 5 x **VLA-ED**.

#### **4.3. Efectos combinados de agentes químicos.**

Los VLA se establecen para agentes químicos específicos y no para las mezclas de estos. Sin embargo, cuando están presentes en el ambiente varios agentes que ejercen la misma acción sobre los mismos órganos o sistemas, es su efecto combinado el que requiere una consideración preferente. Dicho efecto combinado debe ser considerado como aditivo, salvo que se disponga de información que indique que los efectos son sinérgicos o bien independientes.

De acuerdo con lo anterior, la comparación con los valores límite ha de hacerse calculando

$$\sum \frac{E_i}{VLA_i}$$

donde  $E_i$  representa las exposiciones a los distintos agentes presentes y  $VLA_i$  los valores límite respectivos. Si el resultado obtenido es mayor que la unidad, ha de entenderse que se ha superado el VLA para la mezcla en cuestión.

El cálculo anterior es aplicable, tanto a la comparación de ED con **VLA-ED**, como a la de EC con **VLA-EC**.

#### **4.4. Valoración de la exposición y valoración del riesgo.**

##### **4.4.1. Consideraciones sobre la valoración de la exposición**

En general, el **VLA-ED** de cualquier agente químico no debe ser superado por la ED a dicho agente en ninguna jornada laboral.

No obstante, en casos justificados cabe una valoración de base semanal en lugar de diaria. Para que resulte aceptable el empleo de esta base semanal de valoración, es preciso que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a. Que se trate de un agente químico de largo período de inducción, es decir, capaz de producir efectos adversos para la salud sólo tras exposiciones repetidas a lo largo de meses o años.
- b. Que existan variaciones sistemáticas, esto es, derivadas de distintas situaciones de exposición, entre las ED de diferentes jornadas.

En tales casos, el parámetro de exposición que se compara con el **VLA-ED** es la Exposición Semanal (ES), que se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ES = \frac{\sum ED_i}{5}$$

Siendo

$ED_i$  las exposiciones diarias correspondientes a los sucesivos días de la semana de trabajo.

Naturalmente, en todos los casos habrá de valorarse la situación, además, de acuerdo con las restantes categorías de los Límites de Exposición Profesional que resulten aplicables.

##### **4.4.2. Consideraciones sobre la valoración del riesgo higiénico**

La evaluación de la exposición a un agente químico, que comporta su medida y la comparación con el valor límite, no es más que una parte, aunque sea metodológicamente muy importante, de la evaluación del riesgo asociado a esa exposición.

En efecto, la exposición ya valorada expresada por ejemplo como un porcentaje del valor límite, sólo proporciona una estimación de la probabilidad (o, más exactamente, un juicio sobre ella) de sufrir el daño específico que el agente en cuestión puede causar, pero nada dice acerca de la gravedad de este daño. Y, sin embargo, como sabemos es imprescindible tomar en consideración

este último aspecto para determinar la magnitud del riesgo y consecuentemente su jerarquía y deducir de ella la prioridad de su control.

Así pues, el esfuerzo que requiere la evaluación de la exposición, y en particular, el diseño de la estrategia que ha de asegurar la validez y precisión de su medida, no debe hacer olvidar que, cuando se termina este proceso con todas las exposiciones en presencia, aún se ha de considerar la gravedad del efecto esperable de cada agente antes de decidir el orden de importancia de las situaciones de riesgo correspondientes.

Para resaltar esta necesidad, no siempre tenida en cuenta, y facilitar su ejercicio, el INSHT decidió, ya en el documento del 2004, incluir las frases R asignadas a cada agente en una columna nueva de las listas de valores límite.

## 5. LISTA DE VALORES LÍMITE AMBIENTALES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL

Los agentes químicos considerados en este documento están distribuidos en dos listas.

La primera es la [Lista General de Valores Límite Ambientales de Exposición Profesional, Tabla 1](#), donde se localizan los agentes químicos que tienen un valor límite adoptado, identificados por sus números EINECS <sup>5</sup> y CAS <sup>6</sup>, considerando en dos columnas los Valores de Exposición Diaria (VLA-ED) y los de Exposición de Corta duración (VLA-EC), indicándose además en la columna “Notas” información complementaria de utilidad práctica.

A fin de poder valorar no sólo la exposición existente sino el riesgo asociado a la misma, que exige tener en cuenta, también, la gravedad del efecto, en la columna "Frases R" figuran, para cada agente, las frases indicativas de las categorías de peligro que tiene asignadas en la Reglamentación sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas <sup>7</sup>. Se indican en negrita las frases que hacen referencia a las propiedades toxicológicas y a los efectos específicos sobre la salud.

La segunda lista, recogida en la [Tabla 2](#) del [Apartado 6](#), Agentes químicos cancerígenos y mutágenos, incluye todos los agentes químicos que, hasta la fecha, están clasificados en las categorías de carcinogénicos C1 y C2 y/o mutagénicos M1 y M2. A su vez los agentes químicos de esta última lista para los que se han establecido Valores Límite Ambientales se encuentran recogidos en la [Tabla 3](#) del mismo [Apartado 6](#).

Por lo tanto, para localizar un Agente Químico en este documento deberá consultarse, en primer lugar la Lista general de Valores Límite, [Tabla 1](#), que se incluye a continuación, y en caso de no encontrarse debe consultarse la [Tabla 2](#) del [Apartado 6](#).

Los términos “incorporación” y “actualización” de agentes químicos, que aparecen a pie de página, se entienden referidos al documento de la edición anterior. Asimismo la notación “Propuestas de modificación de valores límite ambientales” se establece para aquellos agentes químicos con valores límite asignados en Directivas pendientes de transposición o para aquellos que estén en revisión como consecuencia de la actualización de los datos científicos. Esta modificación de los VLA conllevará, en su caso, el estudio de los correspondientes Valores Límite Biológicos, al estar ambos valores límite relacionados, significándose esta circunstancia con la notación “VLB en revisión”.

(5) **EINECS** = European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (Catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas).

(6) **CAS** = Chemical Abstract Service (Servicio de Resúmenes Químicos).

(7) [RD 363/1995](#) de 10 de marzo (BOE de 5 de junio) y modificaciones posteriores.

## 6. AGENTES QUÍMICOS CANCERÍGENOS Y MUTÁGENOS

### INTRODUCCIÓN

Los conocimientos científicos actuales no permiten identificar niveles de exposición por debajo de los cuales no exista riesgo de que los agentes mutágenos y la mayoría de los cancerígenos produzcan sus efectos característicos sobre la salud. No obstante, se admite la existencia de una relación **exposición-probabilidad del efecto** que permite deducir que cuanto más baja sea la exposición a estos agentes menor será el riesgo.

En estos casos, mantener la exposición por debajo de un valor máximo determinado no permitirá evitar completamente el riesgo, aunque sí podrá limitarlo. Por esta razón, los límites de exposición adoptados para algunas de estas sustancias no son una referencia para garantizar la protección de la salud según la definición dada en el [apartado 4](#) de este documento, sino unas referencias máximas para la adopción de las medidas de protección necesarias y el control del ambiente de los puestos de trabajo.

En este Apartado 6 se presenta, en primer lugar, una tabla ([Tabla 2](#)) con las sustancias clasificadas como carcinogénicas de categoría 1 y 2 y como mutagénicas de categoría 1 y 2, en el [Anexo I del Real Decreto 363/1995](#), de 10 de marzo, y modificaciones posteriores, sobre “Notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas”.

En segundo lugar se presenta otra tabla ([Tabla 3](#)) con los límites de exposición asignados a algunas sustancias de la [Tabla 2](#). Estos límites responden a las consideraciones efectuadas en los párrafos anteriores de este anexo. Los límites de exposición que figuran en ella son, todos ellos, valores de referencia para la Exposición Diaria (**ED**), tal y como ésta ha sido definida en el [apartado 3.5.1.](#) de este documento.

No obstante, la exposición a los agentes cancerígenos por encima del valor límite, dentro de una misma jornada de trabajo, también debe ser controlada. Por esta razón deberán tenerse en cuenta, además, los límites de desviación definidos en el [apartado 4.2](#) de este documento.

Es importante resaltar que a todas las sustancias incluidas en la [Tabla 2](#), tengan o no asignado valor límite en la [Tabla 3](#), les es de aplicación el [Real Decreto 665/1997](#), de 12 de mayo, sobre “Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo” y los Reales Decretos [1124/2000](#) de 16 de junio y [349/2003](#), de 21 de marzo, que lo modifican.

La consideración anterior es el motivo por el que en estas tablas no se incluyen las sustancias carcinogénicas de categoría 3, al no serles de aplicación las disposiciones del citado Real Decreto, y sí las sustancias mutagénicas de categoría 1 y 2.

Para la información sobre la carcinogenicidad y mutagenicidad, consúltese el [Real Decreto 363/1995](#), de 10 de marzo (BOE nº 133 del 5 de junio de 1995), por el que se aprueba el Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas; [OM 21/2/1997](#) (BOE Nº 59 del 10 de marzo de 1997), por la que se modifica el anexo I del Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas, aprobado por [R.D. 363/1995](#), de 10 de marzo; [OM 15/12/98](#) (BOE nº 305 del 22 de diciembre de 1998), por la que se modifica el anexo I del [R.D. 1406/1989](#), de 10 de noviembre, por la que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos; y [Orden de 6 de julio de 2000](#) (BOE nº 165 del 11 de julio de 2000) por la que se modifica el [anexo I del Real Decreto 1406/1989](#), de 10 de noviembre, por la que se imponen limitaciones a la Comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados Peligrosos

## 7. AGENTES QUÍMICOS SENSIBILIZANTES

Son agentes químicos sensibilizantes las sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, puedan ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado dé lugar a efectos negativos característicos. En los lugares de trabajo las exposiciones a estos agentes pueden producirse por las vías respiratoria, dérmica o conjuntiva, provocando reacciones en las propias vías de exposición. Inicialmente, la respuesta de las personas a un compuesto sensibilizante puede ser pequeña o no existir. Sin embargo, después de que un individuo se ha sensibilizado, la exposición siguiente puede producir respuestas intensas incluso a muy bajas concentraciones.

La sensibilización se produce en la mayoría de los casos mediante un mecanismo inmunológico. Las reacciones alérgicas pueden llegar a ser muy graves. Sus manifestaciones más comunes, dependiendo de la vía de exposición, son: rinitis, asma, alveolitis, bronquitis, eczema de contacto, urticaria de contacto y blefaroconjuntivitis. Los trabajadores que se han sensibilizado a un compuesto en particular también pueden presentar una reactividad cruzada a otros compuestos con estructura química similar. Sustancias que no son sensibilizantes, pero sí irritantes, pueden igualmente provocar o agravar la reacción alérgica de los individuos sensibilizados.

La reducción de la exposición a los sensibilizantes y a sus análogos estructurales generalmente disminuye la incidencia de las reacciones alérgicas entre las personas sensibilizadas. Sin embargo, para algunas personas sensibilizadas, la única forma de prevenir la respuesta inmune a los agentes sensibilizantes y sus análogos estructurales es evitar por completo la exposición, tanto en el puesto de trabajo como fuera del mismo.

La capacidad de producir sensibilización está contemplada en la normativa sobre clasificación de sustancias peligrosas, que asigna a estos agentes las frases de riesgo **R42** “puede causar sensibilización por inhalación” y/o **R43** “puede causar sensibilización por contacto con la piel”. En la lista de Valores Límite Ambientales, los agentes capaces de producir este tipo de efectos aparecen señalizados con la notación “**Sen**”. También se señalizan con esta nota los agentes químicos que por su naturaleza no están contemplados en la citada normativa sobre clasificación de sustancias peligrosas, pero que presentan efectos del tipo considerado.

La asignación de estas notaciones no significa necesariamente que la sensibilización sea el efecto crítico en el que está basado el VLA ni que sea el único efecto de ese agente. Los VLA basados en la sensibilización pretenden proteger a los trabajadores de este efecto pero no intentan proteger a los trabajadores que ya han sido sensibilizados.

En consecuencia, los compuestos con notación de sensibilizantes (**Sen**) plantean un problema especial en los lugares de trabajo. En estos casos las exposiciones por las vías respiratoria, dérmica y conjuntiva deben eliminarse o reducirse a un nivel tan bajo como sea técnicamente posible, utilizando las medidas de control adecuadas o, incluso, equipos de protección individual. En cualquier caso se deberá respetar el VLA correspondiente.

## 8. PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN DE VALORES LÍMITE AMBIENTALES

En esta apartado, se listan, con sus correspondientes valores límite y demás información complementaria, una serie de agentes químicos en los que concurre, al menos, una de las siguientes circunstancias:

- a. Se propone un Valor Límite Ambiental por primera vez.
- b. Se propone un cambio en el Valor Límite Ambiental anteriormente adoptado.
- c. Se propone un cambio en la información complementaria del valor límite.

Durante el tiempo que una sustancia permanezca en esta lista ([Tabla 4](#)), serán bienvenidas las observaciones y sugerencias respecto a la modificación propuesta. Tales comentarios, cuando



proceda por razón de su naturaleza, deben ser acompañados por los documentos científicos en que se apoyen y dirigidos al grupo de trabajo constituido por el INSHT que ha elaborado este documento.

## 9. VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS (VLB)

Son los valores de referencia para los Indicadores Biológicos asociados a la exposición global a los agentes químicos. Los **VLB** son aplicables para exposiciones profesionales de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. La extensión de los **VLB** a períodos distintos al de referencia ha de hacerse considerando los datos farmacocinéticos y farmacodinámicos del agente en particular.

En general, los **VLB** representan los niveles más probables de los Indicadores Biológicos en trabajadores sanos sometidos a una exposición global a agentes químicos, equivalente, en términos de dosis absorbida, a una exposición exclusivamente por inhalación del orden del **VLA-ED**. La excepción a esta regla la constituyen algunos agentes para los que los **VLA** asignados protegen contra efectos no sistémicos. En estos casos, los **VLB** pueden representar dosis absorbidas superiores a las que se derivarían de una exposición por inhalación al **VLA**.

Las bases científicas para establecer los **VLB** pueden derivarse de dos tipos de estudios:

- a. los que relacionan la intensidad de la exposición con el nivel de un parámetro biológico,
- y
- b. los que relacionan el nivel de un parámetro biológico con efectos sobre la salud.

Los **VLB** no están concebidos para usarse como medida de los efectos adversos ni para el diagnóstico de las enfermedades profesionales.

El control biológico debe considerarse complementario del control ambiental y, por tanto, ha de llevarse a cabo cuando ofrezca ventajas sobre el uso independiente de este último.

El control biológico puede usarse para completar la valoración ambiental, para comprobar la eficacia de los equipos de protección individual o para detectar una posible absorción dérmica y/o gastrointestinal.

### 9.1. Consideraciones generales

Los indicadores biológicos medidos en orina son habitualmente analizados en muestras puntuales tomadas en momentos determinados, ya que en el entorno laboral no es fácil ni seguro obtener muestras de orina correspondientes a períodos largos de tiempo (p.e. 24 horas), las cuales proporcionarían una información más exacta sobre la eliminación del xenobiótico. Sin embargo, la medida cuantitativa de la exposición a partir de muestras puntuales puede verse afectada por la variabilidad en la producción de orina, debido a factores como la ingestión de líquidos, la temperatura excesiva, la carga de trabajo, el consumo de medicamentos, etc. que pueden producir efectos de concentración o dilución de la orina, y afectar así al resultado de los indicadores.

Por esta razón es necesario corregir estos resultados, refiriéndolos a la concentración de alguna sustancia con mecanismo de excreción renal similar al del compuesto de interés y cuya eliminación se mantenga razonablemente constante a lo largo del tiempo.

Es práctica común referir los resultados de los indicadores a la concentración de creatinina (sustancia que se elimina por filtración glomerular, como la mayoría de los contaminantes y sus metabolitos) medida en la misma muestra, expresándose los resultados en peso del indicador por unidad de peso de creatinina. Cuando éstos sean excretados por otro mecanismo, como la difusión tubular renal, no se realizará esta corrección, expresándose los resultados directamente en términos de concentración.

Se rechazarán las muestras de orina muy diluidas (densidad < 1,010 g/ml, creatinina < 0,3 g/l) y las muy concentradas (densidad > 1,030 g/ml, creatinina > 3,0 g/l), debiendo repetirse en estos casos la toma de muestra.

En cuanto a los indicadores biológicos medidos en sangre, mientras no se indique lo contrario, se entenderá que la muestra debe ser tomada en sangre venosa.

## **9.2. Interpretación de los resultados de los indicadores biológicos (IB)**

Cuando la medida, en un trabajador, de un determinado indicador biológico supere el **VLB** correspondiente no debe deducirse, sin mayor análisis, que ese trabajador esté sometido a una exposición excesiva, ya que las diferencias individuales, biológicas o de conducta, tanto fuera como dentro del ámbito laboral, constituyen fuentes de inconsistencia entre los resultados del control ambiental y los del control biológico.

De todos modos, incluso en el caso de una superación de carácter puntual, debe ponerse en marcha una investigación con el objetivo de encontrar una explicación plausible para esa circunstancia y actuar en consecuencia o, en su defecto, descartar la existencia de factores causales vinculados al desempeño del puesto de trabajo. Entretanto se alcanza una conclusión al respecto y sin perjuicio de lo que establezcan disposiciones específicas, se deberían adoptar medidas para reducir la exposición del trabajador afectado.

Al margen de esta consideración individual de los resultados, el agrupamiento de los datos correspondientes a los trabajadores de un grupo homogéneo con respecto a la exposición permitirá obtener información sobre el grado de eficacia de las medidas de protección y prevención adoptadas.

## **10. LISTA DE VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS**

A continuación se incluye la lista de [Valores Límite Biológicos](#) para los agentes químicos, identificados por sus números EINECS y CAS, especificándose en la columna INDICADOR la matriz biológica en donde se determina el agente químico, alguno de sus metabolitos o el parámetro bioquímico que puede resultar alterado debido a la exposición al xenobiótico. En la columna MOMENTO DE MUESTREO, se indica cuándo debe tomarse la muestra con respecto a la exposición. Las indicaciones de la citada columna, que serán objeto de ulteriores precisiones en las correspondientes notas, han de entenderse en el contexto de una semana laboral estándar constituida por cinco días de trabajo, con jornadas de ocho horas cada una, y dos días de descanso consecutivos. Las adaptaciones a pautas temporales de trabajo distintas, por ejemplo para los trabajadores a turnos, tanto del momento de muestreo como del propio valor **VLB**, como ya se dijo en el apartado anterior, habrán de hacerse considerando los datos farmacocinéticos y farmacodinámicos del agente químico particular. El momento de muestreo indicado debe respetarse escrupulosamente, ya que la distribución y eliminación de un agente químico o sus metabolitos, así como los cambios bioquímicos inducidos por la exposición, son procesos dependientes del tiempo. Los valores **VLB** son aplicables solamente si la toma de muestra se realiza en el momento especificado. En la última columna de NOTAS, a través de las letras correspondientes, se dan las observaciones necesarias de información adicional.

## **11. PROPUESTAS DE MODIFICACIÓN DE VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS**

En este apartado, se listan, con sus correspondientes valores límite biológicos y demás información complementaria, una serie de agentes químicos en los que concurre, al menos, una de las siguientes circunstancias:

- a. Se propone por primera vez un Valor Límite Biológico
- b. Se propone un cambio en el Valor Límite Biológico.
- c. Se propone un cambio en la información complementaria del Valor Límite Biológico.

Durante el tiempo que una sustancia permanezca en esta lista ([Tabla 6](#)), serán bienvenidas las observaciones y sugerencias respecto a la modificación propuesta. Tales comentarios, cuando proceda por razón de su naturaleza, deben ser acompañados por los documentos científicos en

que se apoyen y dirigidos al grupo de trabajo constituido por el INSHT que ha elaborado este documento.

**TABLA 6**  
**Valores Límite Biológicos en revisión**

Leyenda : 

Nueva incorporación
---------------------

LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS EN ESPAÑA 2007							
EINECS	CAS	AGENTE QUÍMICO	INDICADOR BIOLÓGICO (IB)	VLB PROPUESTO	MOMENTO DE MUESTREO	NOTAS	FRASES R
200-753-7	71-43-2	Benceno	Ácido S-Fenilmercaptúrico en orina	0,045 mg/g creatinina	Final de la exposición o final del turno		<a href="#">45-11-36/38-48/23/24/25-65</a>
			Ácido t,t-Mucónico en orina	2 mg/l	Final de la exposición o final del turno		
			Benceno total en sangre	5 µg/l	Final de la exposición o final del turno		
		Cromo (VI), humos solubles en agua	Cromo total en orina	10 µg/g creatinina	Principio y final de la jornada laboral <a href="#">(4)</a>		
				25 µg/g creatinina	Final de la semana laboral <a href="#">(1)</a>		
200-838-9	75-09-2	Diclorometano	Diclorometano en orina	0.3 mg/l	Final de la jornada laboral <a href="#">(2)</a>	<a href="#">S</a>	<a href="#">40</a>
209-731-1	591-78-6	Metil-n-butilcetona	2,5-hexanodiona en orina	0,4 mg/l	Final de la semana laboral <a href="#">(1)</a>	Sin hidrólisis <a href="#">(8)</a>	10- <a href="#">48/23-62-67</a>
200-271-7	56-38-2	Paratión	p-Nitrofenol total en orina	0,5 mg/g creatinina	Para periodos de exposición largos: después de varios turnos		<a href="#">27/28-50/53</a>
			Acetilcolinesterasa eritrocitaria	Reducción de la actividad al 70% del valor de referencia	Para periodos de exposición largos: después de varios turnos		
201-167-4	79-01-6	Tricloroetileno	Ácido tricloroacético en orina	80 mg/l	Final de la semana laboral <a href="#">(1)</a>	<a href="#">I</a>	<a href="#">45-36/38-52/53-67</a>
			Tricloroetanol en sangre	2 mg/l	Final de la semana laboral <a href="#">(1)</a>	<a href="#">I</a>	

## 12. MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS

El [Real Decreto 374/2001](#), sobre la “Protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo” indica en el [apartado 5 del su artículo 3](#) que “la evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso deberá incluir la medición de las concentraciones del agente en el aire, en la zona de respiración del trabajador, y su posterior comparación con el valor límite ambiental que corresponda”.

También se menciona que los procedimientos de medida a utilizar se establecerán siguiendo la normativa específica que sea de aplicación, incluyendo aquella relativa a los requisitos exigibles a los instrumentos de medida, y que en todo caso se utilizarán métodos validados que proporcionen resultados con el grado de fiabilidad requerido.

En este sentido, la norma UNE-EN 482,3.7:1995 “Requisitos generales de los procedimientos de medida” indica que las mediciones cuyo objeto es la comparación con los valores límite de exposición profesional son aquellas que “proporcionan información exacta y fiable sobre la concentración media ponderada en el tiempo de un agente químico específico en el aire que puede ser inhalado o bien permiten su predicción”. Los requisitos más relevantes recogidos en esta norma exigibles a los métodos de toma de muestra y análisis para este tipo de determinaciones se resumen en lo siguiente:

- El **Intervalo de medida** del método debe comprender el valor límite ambiental (VLA) y extenderse al menos de 0,1 VLA a 2 VLA. Esto quiere decir que para todo ese intervalo, la incertidumbre global (determinada combinación del sesgo y la precisión del método recogida en la norma) debe situarse entre los límites especificados: “La incertidumbre global debe ser  $\leq 30\%$  para el intervalo de 0,5 VLA a 2 VLA y  $\leq 50\%$  para el intervalo de 0,1 VLA a 0,5 VLA”.
- El **Tiempo de ponderación** es el periodo de tiempo para el que el método proporciona un resultado individual, y para un procedimiento con etapas separadas de toma de muestra y análisis es equivalente al tiempo de muestreo. Para aquellos métodos de medida cuyo objeto es la comparación con los valores límite, “el tiempo de muestreo debe ser menor o igual que el periodo de referencia del valor límite”.

Además, la norma UNE-EN 482 indica que el método debería cumplir, de forma general, las normas europeas elaboradas por el Comité Técnico 137 de CEN (Comité Europeo de Normalización) “Evaluación de la exposición en los lugares de trabajo” relativas a los requisitos exigibles a los instrumentos de medida utilizados en la toma de muestra y el análisis. Todas estas normas han sido adoptadas como normas españolas:

- Para todos aquellos métodos que utilicen sistemas de muestreo activo, las bombas de muestreo personal serán conformes a la norma UNE-EN 1232 y las bombas para caudales superiores a 5 l/min a la UNE-EN 12919.
- Los métodos para la determinación de agentes químicos presentes en la atmósfera como gases y vapores cumplirán además la UNE-EN 1076 si utilizan tubos adsorbentes o la UNE-EN 838 si se trata de muestreadores pasivos por difusión.
- Los métodos para la determinación de agentes químicos presentes en la atmósfera como partículas y que requieran de selectores de tamaños tendrán en cuenta las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205. Para la determinación de metales y metaloides se deberá cumplir además con los requisitos de la norma UNE-EN 13890.

Es de gran importancia a la hora de seleccionar un método el que se tengan en cuenta las consideraciones expuestas. La descripción de los métodos de toma de muestra y análisis seleccionados debería contener toda la información necesaria para llevar a cabo el procedimiento, con indicación expresa del intervalo de medida, de los límites de detección y cuantificación, de las interferencias, y de las informaciones relativas a las condiciones ambientales u otras que pudiesen influir, además de la incertidumbre global alcanzable.

Asimismo, es aconsejable utilizar métodos recomendados y publicados por Instituciones de reconocido prestigio en este campo y que dispongan de programas de normalización y validación, especialmente aquellas que publican los protocolos de validación que recogen los requisitos exigidos a sus métodos y que junto con los métodos hacen públicos los resultados de la validación.

Los métodos para llevar a cabo el control biológico de la exposición a agentes químicos mediante la determinación de los contaminantes, de sus metabolitos o de otro indicador biológico directa o indirectamente relacionado con la exposición del trabajador al contaminante en cuestión, se rigen por principios similares a los expuestos para la determinación de contaminantes en aire, aunque este campo no esté tan regulado.

### **Instituciones que publican métodos de toma de muestra y análisis**

#### **Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)**

**Métodos de Toma de Muestra y Análisis** (textos completos en español e inglés)  
<http://www.mtas.es/insht/mta/mta.htm>

#### **Health and Safety Executive (HSE)**

**Methods for the Determination of Hazardous Substances** (lista de métodos disponibles en papel, en inglés)

[http://www.hsl.gov.uk/publications/mdhs\\_list.htm](http://www.hsl.gov.uk/publications/mdhs_list.htm)

#### **Institute National de Recherche et la Sécurité (INRS)**

**Metrologie des polluants** (textos completos en francés e inglés)

<http://www.inrs.fr/>

#### **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)**

**Analyses of Hazardous Substances in Air** (lista de libros disponibles en alemán e inglés)

[http://www.wiley-vch.de/books/info/dfg/index\\_en.php](http://www.wiley-vch.de/books/info/dfg/index_en.php)

#### **National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)**

**Manual of Analytical Methods** (textos completos en inglés)

<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/nmammenu.html>

#### **U.S. Occupational Safety & Health Administration (OSHA)**

**Sampling and Analytical Methods** (textos completos en inglés)

<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html>

## **ANEXO A: ÍNDICE DE LOS AGENTES QUÍMICOS ORDENADOS POR SU Nº CAS**

Para facilitar la búsqueda utilice el [ANEXO A](#) o bien la [herramienta de búsqueda del Web](#).

## **ANEXO B: NOTAS A LAS TABLAS 1 A 6**

Para facilitar la búsqueda utilice el [ANEXO B](#) o bien la [herramienta de búsqueda del Web](#).

## **ANEXO C: FRASES R**

Para facilitar la búsqueda utilice el [ANEXO C](#) o bien la [herramienta de búsqueda del Web](#).

## **ANEXO D: BIBLIOGRAFÍA**

[Real Decreto 374/2001](#), de 6 de abril (BOE nº 104 de 1 de mayo de 2001), sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

European Commission: Occupational Exposure Limits. Recommendations of the Scientific Expert Group (1991-1992). Health and Safety series. EUR 15091 (1994). Luxemburgo.

Commission of the European Communities: Occupational Exposure Limits. Criteria documents. Health and Safety series. EUR 14178, 14211, 14212, 14219, 14239, 14240, 14241, 14314, 14383, 14384, 15694, 15960, 15961, 15962, 16668 y 16866 (1992-1996). Luxemburgo.

European Commission: Occupational Exposure Limits. Recommendations of Scientific Committee for Occupational Exposure Limits (SCOEL) to Chemical Agents 1994-1997. Report EUR 18216. Luxemburgo 1998.

European Commission: Occupational Exposure Limits. Updated summary of SCOEL Recommendations (1999-2003).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 2006 TLVs® and BEIs®. Threshold Limit Values for Chemical Substances, Physical Agents and Biological Exposure Indices.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists: TLVs Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos en el ambiente de trabajo e Índices Biológicos de Exposición para 2004. Versión autorizada en castellano y editada por la Consejería de Trabajo y Asuntos Sociales de la Generalidad Valenciana.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 7ª Ed. 2001 and the Supplement for 2004. Cincinnati (EE UU).

Deutsche Forschungsgemeinschaft: List of MAK and BAT Values 2005. Report No. 39. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim (Alemania).

Deutsche Forschungsgemeinschaft: Occupational Toxicants. Critical Data Evaluation for MAK Values and Classification of Carcinogens. Volumes 1-7. 1991-1996. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim (Alemania).

Health and Safety Executive: EH40/2005 Occupational Exposure Limits 2005. HSE, Sudbury (Inglaterra)

Comisión de las Comunidades Europeas, COM (2001) 262 final: Aplicación de la estrategia comunitaria en materia de alteradores endocrinos – sustancias de las que se sospecha interfieren en los sistemas hormonales de seres humanos y animales – COM (1999) 706. Bruselas, 14.06.2001

Comisión de las Comunidades Europeas, COM (1999) 706 final: Estrategia comunitaria en materia de alteradores endocrinos (sustancias de las que se sospecha interfieren en los sistemas hormonales de los seres humanos y animales). Bruselas 17.12.1999

## **ANEXO E: INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

### **Limitaciones a la comercialización y uso de diversas sustancias y preparados peligrosos**

La legislación sobre limitaciones a la comercialización y el uso de sustancias y preparados peligrosos es extensa y complicada de consultar. Teniendo esto en cuenta, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha preparado una aplicación informática disponible en la página web <http://www.mtas.es/insht/practice/limitaciones.htm>. Donde se pueden consultar las limitaciones al uso de los agentes químicos que están incluidos en este documento.

Dicha aplicación incluye además, una base de datos que contiene el listado armonizado de acuerdo con la Unión Europea, de sustancias clasificadas como peligrosas según el [anexo I del RD 363/1995](#), de 10 de marzo de 1995 por el que se regula la notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas así como sus modificaciones posteriores.



## Frases R y S actualizadas

Folleto electrónico actualizado con el contenido de los Anexos III y IV del [R.D. 363/1995](#)

### Frases R (Anexo III)

#### Naturaleza de los riesgos específicos atribuidos a las sustancias y preparados peligrosos

##### Frases R simples

- R1** Explosivo en estado seco.
- R2** Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R3** Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R4** Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.
- R5** Peligro de explosión en caso de calentamiento.
- R6** Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire.
- R7** Puede provocar incendios.
- R8** Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
- R9** Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.
- R10** Inflamable.
- R11** Fácilmente inflamable.
- R12** Extremadamente inflamable.
- R14** Reacciona violentamente con el agua.
- R15** Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.
- R16** Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.
- R17** Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.
- R18** Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables.
- R19** Puede formar peróxidos explosivos.
- R20** Nocivo por inhalación.
- R21** Nocivo en contacto con la piel.

- R22** Nocivo por ingestión.
- R23** Tóxico por inhalación.
- R24** Tóxico en contacto con la piel.
- R25** Tóxico por ingestión.
- R26** Muy tóxico por inhalación.
- R27** Muy tóxico en contacto con la piel.
- R28** Muy tóxico por ingestión.
- R29** En contacto con agua libera gases tóxicos.
- R30** Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- R31** En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- R32** En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.
- R33** Peligro de efectos acumulativos.
- R34** Provoca quemaduras.
- R35** Provoca quemaduras graves.
- R36** Irrita los ojos.
- R37** Irrita las vías respiratorias.
- R38** Irrita la piel.
- R39** Peligro de efectos irreversibles muy graves.
- R40** Posibles efectos cancerígenos
- R41** Riesgo de lesiones oculares graves.
- R42** Posibilidad de sensibilización por inhalación.
- R43** Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
- R44** Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- R45** Puede causar cáncer.
- R46** Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- R48** Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- R49** Puede causar cáncer por inhalación.
- R50** Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- R51** Tóxico para los organismos acuáticos.
- R52** Nocivo para los organismos acuáticos.
- R53** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R54** Tóxico para la flora.
- R55** Tóxico para la fauna.
- R56** Tóxico para los organismos del suelo.
- R57** Tóxico para las abejas.



- R58** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.
- R59** Peligroso para la capa de ozono.
- R60** Puede perjudicar la fertilidad.
- R61** Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R62** Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.
- R63** Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R64** Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- R65** Nocivo. Si se ingiere puede causar daño pulmonar
- R66** La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel
- R67** La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo
- R68** Posibilidad de efectos irreversibles

### Combinación de frases R

- R14/15** Reacciona violentamente con el agua, liberando gases extremadamente inflamables.
- R15/29** En contacto con el agua, libera gases tóxicos y extremadamente inflamables.
- R20/21** Nocivo por inhalación y en contacto con la piel.
- R20/22** Nocivo por inhalación y por ingestión.
- R20/21/22** Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- R21/22** Nocivo en contacto con la piel y por ingestión.
- R23/24** Tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- R23/25** Tóxico por inhalación y por ingestión.
- R23/24/25** Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- R24/25** Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- R26/27** Muy tóxico por inhalación y en contacto con la piel.
- R26/28** Muy tóxico por inhalación y por ingestión.
- R26/27/28** Muy tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
- R27/28** Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
- R36/37** Irrita los ojos y las vías respiratorias.
- R36/38** Irrita los ojos y la piel.
- R36/37/38** Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.
- R37/38** Irrita las vías respiratorias y la piel.
- R39/23** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.
- R39/24** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.

- R39/25** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- R39/23/24** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- R39/23/25** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- R39/24/25** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- R39/23//24/25** Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R39/26** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación.
- R39/27** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- R39/28** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por ingestión.
- R39/26/27** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación y contacto con la piel.
- R39/26/28** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación e ingestión.
- R39/27/28** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel e ingestión.
- R39/26/27/28** Muy tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R42/43** Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.
- R48/20** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- R48/21** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- R48/22** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.
- R48/20/21** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- R48/20/22** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- R48/21/22** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.
- R48/20/21/22** Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R48/23** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.
- R48/24** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- R48/25** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.

- R48/23/24** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación y contacto con la piel.
- R48/23/25** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión.
- R48/24/25** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel e ingestión.
- R48/23/24/25** Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
- R50/53** Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R51/53** Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R52/53** Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R68/20** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación.
- R68/21** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel.
- R68/22** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por ingestión.
- R68/20/21** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación y contacto con la piel.
- R68/20/22** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación e ingestión.
- R68/21/22** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles en contacto con la piel e ingestión.
- R68/20/21/22** Nocivo: posibilidad de efectos irreversibles por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

## Frases S (Anexo IV)

### Consejos de prudencia relativos a las sustancias y preparados peligrosos

#### Frases S simples

- S1** Consérvese bajo llave.
- S2** Manténgase fuera del alcance de los niños.
- S3** Consérvese en lugar fresco.
- S4** Manténgase lejos de locales habitados.
- S5** Consérvese en ... (líquido apropiado a especificar por el fabricante).
- S6** Consérvese en ... (gas inerte a especificar por el fabricante).
- S7** Manténgase el recipiente bien cerrado.
- S8** Manténgase el recipiente en lugar seco.
- S9** Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.
- S12** No cerrar el recipiente herméticamente.
- S13** Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

- S14** Consérvese lejos de ... (materiales incompatibles a especificar por el fabricante).
- S15** Conservar alejado del calor.
- S16** Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.
- S17** Manténgase lejos de materiales combustibles.
- S18** Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.
- S20** No comer ni beber durante su utilización.
- S21** No fumar durante su utilización.
- S22** No respirar el polvo.
- S23** No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles [denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante].
- S24** Evítese el contacto con la piel.
- S25** Evítese el contacto con los ojos.
- S26** En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
- S27** Quítese inmediatamente la ropa manchada o salpicada.
- S28** En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con ... (productos a especificar por el fabricante).
- S29** No tirar los residuos por el desagüe.
- S30** No echar jamás agua a este producto.
- S33** Evítese la acumulación de cargas electrostáticas.
- S35** Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
- S36** Úsese indumentaria protectora adecuada.
- S37** Úsense guantes adecuados.
- S38** En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado.
- S39** Úsese protección para los ojos/la cara.
- S40** Para limpiar el suelo y los objetos contaminados por este producto, úsese ... (a especificar por el fabricante).
- S41** En caso de incendio y/o de explosión, no respire los humos.
- S42** Durante las fumigaciones/pulverizaciones, úsese equipo respiratorio adecuado [denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante].
- S43** En caso de incendio, utilizar ... (los medios de extinción los debe especificar el fabricante). (Si el agua aumenta el riesgo, se deberá añadir: "No usar nunca agua").
- S45** En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrole la etiqueta).
- S46** En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstrole la etiqueta o el envase.
- S47** Consérvese a una temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).

- S48** Consérvase húmedo con ... (medio apropiado a especificar por el fabricante).
- S49** Consérvase únicamente en el recipiente de origen.
- S50** No mezclar con ... (a especificar por el fabricante).
- S51** Úsese únicamente en lugares bien ventilados.
- S52** No usar sobre grandes superficies en locales habitados.
- S53** Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso.
- S56** Elimínense esta sustancia y su recipiente en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos.
- S57** Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.
- S59** Remítirse al fabricante o proveedor para obtener información sobre su recuperación/reciclado.
- S60** Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos.
- S61** Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.
- S62** En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstrela la etiqueta o el envase.
- S63** En caso de accidente por inhalación, alejar a la víctima fuera de la zona contaminada y mantenerla en reposo
- S64** En caso de ingestión, lavar la boca con agua (solamente si la persona está consciente)

### Combinación de frases S

- S1/2** Consérvase bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños.
- S3/7** Consérvase el recipiente bien cerrado y en lugar fresco.
- S3/9/14** Consérvase en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- S3/9/14/49** Consérvase únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- S3/9/49** Consérvase únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado.
- S3/14** Consérvase en lugar fresco y lejos de ... (materiales incompatibles, a especificar por el fabricante).
- S7/8** Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco.
- S7/9** Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar bien ventilado.
- S7/47** Manténgase el recipiente bien cerrado y consérvase a una temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).
- S20/21** No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización.
- S24/25** Evítese el contacto con los ojos y la piel.

- S27/28** Después del contacto con la piel quítese inmediatamente toda la ropa manchada.
- S29/35** No tirar los residuos por el desagüe; elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
- S29/56** No tirar los residuos por el desagüe; elimínese esa sustancia y su recipiente en un punto d recogida pública de residuos especiales o peligrosos.
- S36/37** Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.
- S36/37/39** Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
- S36/39** Úsense indumentaria adecuada y protección para los ojos/la cara.
- S37/39** Úsense guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
- S47/49** Consérvese únicamente en el recipiente de origen y a temperatura no superior a ... °C (a especificar por el fabricante).