

# **CURSO de HIGIENE INDUSTRIAL**

**Evaluación de AGENTES químicos**

Jefe del Laboratorio de Higiene Industrial de MAZ

## INDICE

<b>1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS</b>	<b>1</b>
<b>2.- CONCEPTO Y TIPOS DE ENFERMEDADES PROFESIONALES</b>	<b>2</b>
<b>3.- HIGIENE INDUSTRIAL</b>	<b>3</b>
3.1.- Definición	3
3.2.- Reconocimiento o identificación del contaminante	3
3.3.- Evaluación: Medición y valoración	4
3.4.- Control	6
3.5.- Ramas de la Higiene Industrial	6
3.5.1.- Higiene teórica	6
3.5.2.- Higiene de campo	6
3.5.3.- Higiene analítica	6
3.5.4.- Higiene operativa	6
3.6.- Objetivos de un programa de Higiene Industrial	6
<b>4.- CONTAMINANTES QUIMICOS</b>	<b>8</b>
4.1.- Definición	8
4.2.- Normas generales de identificación y etiquetado	8
4.3.- Vías de entrada de los contaminantes en el organismo	10
4.4.- Clasificación por la forma de presentarse	13
4.4.1.- Clasificación	13
4.4.2.- Gases y vapores	14
4.4.2.1.- Definiciones	14
4.4.2.2.- Generación	14
4.4.2.3.- Propagación	15
4.4.2.4.- Ejemplos de gases y vapores	15
4.4.3.- Polvo	20
4.4.3.1.- Características	20
4.4.3.2.- Comportamiento dinámico	20
4.4.3.3.- Generación y dispersión de partículas	21
4.4.3.4.- Clasificación	22
4.4.3.5.- Tipos de fracciones	23
4.4.4.- Fibras	25
4.4.5.- Humos	27
4.4.6.- Humos metálicos	27
4.4.7.- Nieblas	27
4.4.8.- Brumas	27
4.5.- Efectos de los contaminantes químicos	28
4.5.1.- Concepto de dosis	28
4.5.2.- Tipos de efecto	29
<b>5.- EVALUACIÓN HIGIENICA</b>	<b>32</b>
5.1.- Introducción	32
5.2.- Criterios de valoración	34

5.2.1.-	Introducción	34
5.2.2.-	Definiciones	35
5.2.3.-	Criterios de evaluación existentes en diferentes países	35
5.2.4.-	Situación en España	36
5.3.-	Criterios de la ACGIH: TLV's	37
5.3.1.-	Definiciones	37
5.3.2.-	Límites de desviación	37
5.3.3.-	Turnos de trabajo con horario especial	38
	5.3.3.1.- Modelo Brief-Scala	38
	5.3.3.2.- Modelo OSHA	39
	5.3.3.3.- Modelo farmacocinetico de Hickey y Reist	39
5.3.4.-	Asfixiantes simples	40
5.3.5.-	Casos particulares de TLV's	40
	5.3.5.1.- Sustancias cancerígenas	40
	5.3.5.2.- Sustancias de composición variable	41
	5.3.5.3 Mezclas de contaminantes	42
5.3.6.-	Limitaciones de uso de los TLV's	42
5.4.-	Los límites de exposición profesional españoles	43
5.4.1.-	Objetivo y ámbito de aplicación	43
5.4.2.-	Tipos de límites ambientales	43
	5.4.2.1.- Valores límite ambientales-exposición diaria	43
	5.4.2.2.- Valores límite ambientales-exposición de corta duración	44
5.4.3.-	Límites de desviación	45
5.5.-	Criterio de valoración de sustancias sin valores límite	45
5.5.1.-	Calculo de límites a través de información toxicología	45
5.5.2.-	Calculo de límites a partir de la analogía química	46
<b>6.-</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL</b>	<b>48</b>
6.1.-	Introducción	48
6.2.-	Directrices generales para la realización de la evaluación de la exposición laboral a agentes químicos.	48
6.2.1.-	Centrado previo del problema	49
6.2.2.-	Estrategia previa de la medición	50
	6.2.2.1.- Selección de los trabajadores	51
	6.2.2.2.- Selección de las condiciones de medida	52
	6.2.2.3.- Modelo para la medición	55
	6.2.2.4.- Procedimiento de medida	56
6.3.-	Método estadístico	57
6.3.1.-	Generalidades	57
6.3.2.-	Parámetros utilizados	59
	6.3.2.1.- Límites de confianza	59
	6.3.2.2.- Calculo de los límites de confianza	62
	6.3.2.3.- Probabilidad de sobreexposición	67
6.4.-	Norma UNE EN 689	71

6.4.1.- Estimación inicial de la exposición	71
6.4.2.- Estudio básico	71
6.4.3.- Estudio detallado	71
6.4.3.1.- Comparación de la CEL con el VL	72
6.4.3.2.- Criterios estadísticos	73
6.4.4.- Mediciones periódicas	73
6.5.- Determinación de la dosis	77
<b>7.- METODOS Y APARATOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS</b>	<b>78</b>
7.1.- Toma de muestras	78
7.2.- Sistemas de lectura directa	78
7.3.- Sistemas de captación de contaminantes	79
7.3.1.- Tubos adsorbentes	79
7.3.2.- Sistemas de filtración	79
7.3.3.- Otros sistemas de captación	80
7.3.4.- Bombas	80
7.3.5.- Muestreadores pasivos	82
7.4.- Análisis	83
7.4.1.- Características	83
7.4.2.- Técnicas analíticas mas utilizadas	83
<b>8.- CONTROL DE CONTAMINANTES QUÍMICOS</b>	<b>84</b>
8.1.- Introducción	84
8.2.- Actuaciones sobre el foco de contaminante	84
8.3.- Actuaciones sobre el medio de difusión del contaminante	85
8.4.- Actuación sobre el receptor del contaminante	86
<b>9.- PROGRAMA INTEGRAL DE LA PREVENCIÓN</b>	<b>87</b>

## **1.- ANTECEDENTES HISTORICOS**

Los efectos que ciertos trabajos ejercen sobre la salud de las personas son conocidos desde la antigüedad. Hipócrates y Galeno en el Siglo IV A.C. describen las enfermedades que aquejan a los mineros del Plomo. En la Edad Media, el médico cordobés Avicena, realiza estudios sobre el cólico Saturnino y su relación con pinturas que contienen Plomo.

Es sin embargo en el siglo XVII cuando Bernardino Ramazzinni crea la medicina del trabajo, introduciendo por primera vez el término de "Higiene" en su obra "De morbis Artificum Diatriba", en la cual describe detalladamente los riesgos de 54 profesiones distintas.

A partir de este momento se suceden numerosos estudios sobre esta materia, mas por curiosidad científica que por un espíritu preventivo debido fundamentalmente a que la sociedad en este tiempo es fundamentalmente agrícola.

La revolución industrial del Siglo XIX trae como consecuencia un incremento en el número de víctimas tanto por accidentes de trabajo como por enfermedades profesionales y las protestas que empezaron a aparecer obligaron a promulgar las primeras disposiciones legales sobre prevención de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

En España no es hasta 1873 cuando aparece la primera legislación al respecto, regulando el trabajo de mujeres y niños y en 1900 con la conocida ley Dato.

Con la creación de la O.I.T. y el desarrollo de la legislación laboral en los diferentes países, han creado las condiciones necesarias para el desarrollo de la medicina del trabajo y consecuentemente de la HIGIENE INDUSTRIAL.

## **2.- CONCEPTO Y TIPOS DE ENFERMEDADES PROFESIONALES**

Desde un punto de vista legal, en nuestro país las enfermedades profesionales vienen recogidas en el Real Decreto 1995/1978 de 12 de Mayo.

Desde el punto de vista higiénico entendemos como **ENFERMEDAD PROFESIONAL**:

*Toda alteración o pérdida de salud que tenga su origen en las condiciones ambientales a que el trabajador se halla expuesto en su labor diaria.*

Modernamente el concepto de SALUD según la O.M.S. es “*El estado de bienestar físico, psíquico y social*”, entendiéndose como:

- SALUD FÍSICA.- El funcionamiento correcto de todos los órganos del cuerpo.
- SALUD PSÍQUICA.- Un equilibrio emocional e intelectual.
- SALUD SOCIAL.- El bienestar en las relaciones del individuo.

Los factores ambientales que pueden acarrear una pérdida de salud, se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- Sustancias químicas, tales como polvo, humos, gases, vapores, etc. presentes en el ambiente de trabajo y cuya posible entrada en el organismo por vía respiratoria, dérmica o digestiva es el origen de la enfermedad.
- Agentes biológicos ya sean bacterias, virus u otros microorganismos y que son origen de enfermedades tales como la brucelosis, hepatitis o diversas formas de micosis.
- Las causadas por agentes físicos, tales como el ruido, calor y las radiaciones ionizantes y no ionizantes, cuya incidencia sobre el hombre puede ser origen también de enfermedades profesionales.
- Finalmente queda un cuarto grupo de enfermedades profesionales, cuya calificación como tal es objeto de cierta discusión y son aquellas lesiones causadas por una cierta tensión de origen físico como pueden ser ciertas posturas forzadas de trabajo o de origen psíquico tales como el sostenimiento prolongado de la atención concentrada en un determinado punto o instrumento.

### **3.- HIGIENE INDUSTRIAL**

#### **3.1.-DEFINICIÓN**

Comenzaremos la exposición del tema de Higiene Industrial definiendo lo que entendemos por ella. La definición que ha alcanzado mayor aceptación, es la formulada por la (International Occupational Hygiene Association):

*"La Higiene Industrial es la disciplina que se dedica a la previsión, el reconocimiento, la evaluación y el control de los riesgos que se dan en el lugar de trabajo y que pueden afectar desfavorablemente a la salud, el bienestar y la eficiencia de los trabajadores".*

Esta definición nos indica cual va a ser la metodología de actuación de la Higiene Industrial, cuyos pasos más significativos son los siguientes:

#### **3.2.- RECONOCIMIENTO O IDENTIFICACIÓN DEL CONTAMINANTE**

Esta tarea no resulta tan evidente como pueda parecer en un principio, y debe ser objeto de estudio su metodología para poder lograr con éxito la identificación de los agentes contaminantes en los puestos de trabajo.

El gran número de sustancias que se encuentran en las industrias, la gran variedad de procesos industriales, con la consiguiente aparición de productos intermedios y sobre todo de la costumbre industrial de adquirir aquello que "funciona bien" hace que exista un desconocimiento sobre las sustancias que manejan las industrias.

Una vez conseguida la identificación del contaminante, debemos conocer que cantidad del mismo hay, ya que la mera presencia de un contaminante no necesariamente supone un riesgo para la salud.

#### **3.3.- EVALUACIÓN: MEDICIÓN Y VALORACIÓN**

La evaluación higiénica de un puesto de trabajo se realiza en dos fases, la medición y la valoración. Las mediciones deben de hacerse de acuerdo con unas técnicas debidamente normalizadas, de tal manera que sus resultados puedan ser comprobados periódicamente.

Las mediciones en Higiene Industrial al igual que en otros campos, no tendrían sentido si no dispusiésemos de un patrón de referencia con el que podamos compararla. *A esta comparación con patrones de referencia se le denomina en Higiene Industrial valoración.*

#### **3.4.- CONTROL**

Después de comparar las cantidades de contaminantes que nos resultó en los muestreos con los patrones de referencia, puede llegarse de una forma esquemática a dos situaciones.

### *SITUACION SEGURA*

### *SITUACION DE RIESGO*

En el segundo caso, hay que adoptar medidas que hagan posible una situación segura para los trabajadores que están manejando los mencionados contaminantes. Estas medidas correctoras podrán ser corregidas, modificando procedimientos de trabajo, sustancias, máquinas, protección, etc.

En el caso primero o en el segundo ya corregido, no debe pensarse que la situación quedara indefinidamente en las mismas condiciones, pues las empresas son entes dinámicos y las situaciones son cambiantes, por ello deberán realizarse periódicamente evaluaciones de CONTROL que nos permitan verificar que las condiciones siguen siendo SEGURAS, o si por el contrario, han evolucionado siendo necesaria la adopción de medidas correctoras.

La fig. 1, nos presenta de una manera esquemática la metodología de actuación en Higiene Industrial.

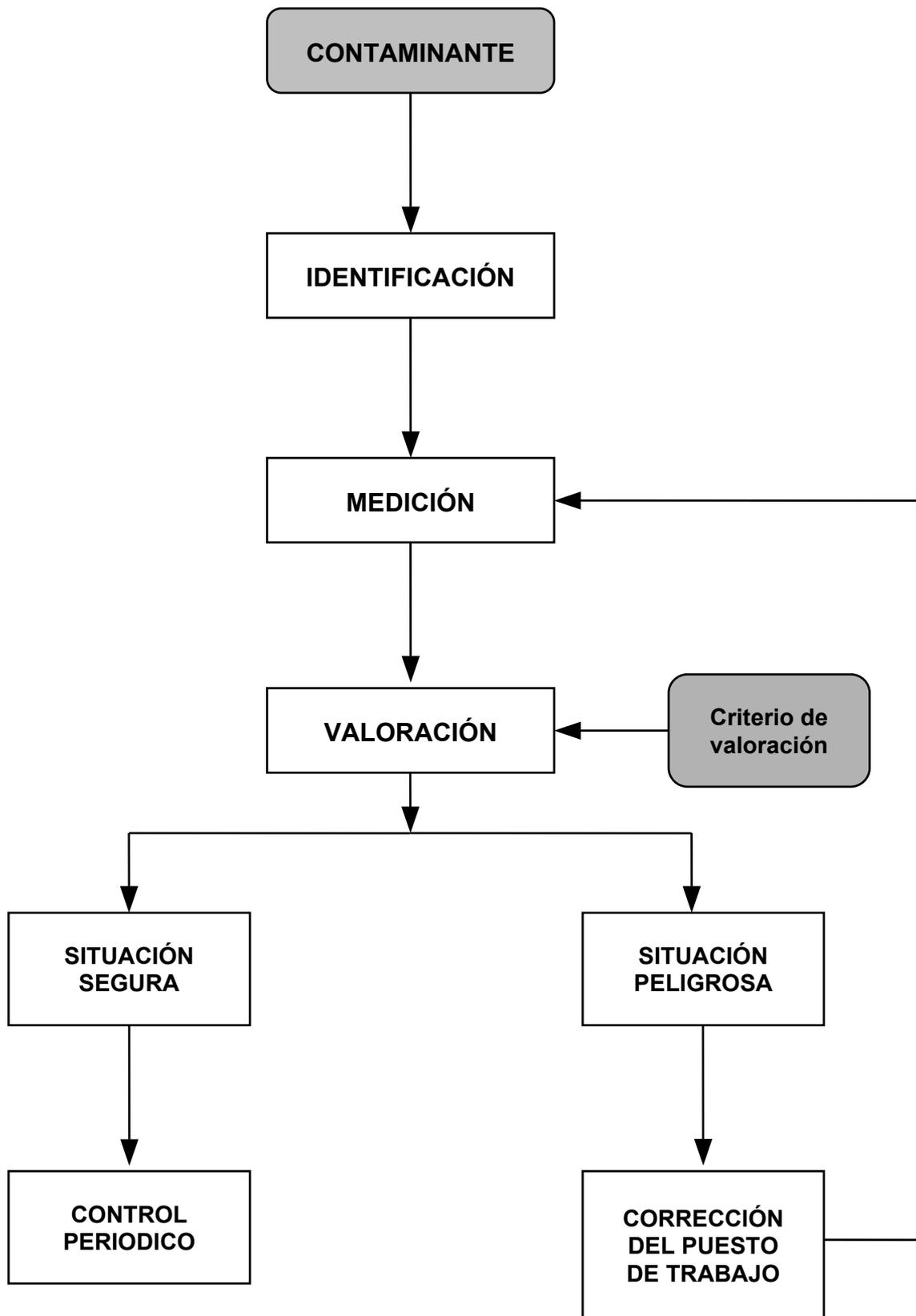


Fig. 1. Metodología de actuación en Higiene Industrial

### **3.5.- RAMAS DE LA HIGIENE INDUSTRIAL**

Se pueden distinguir cuatro ramas fundamentales de la Higiene Industrial.

#### **3.5.1.- Higiene teórica**

Dedicada al estudio de los contaminantes y su relación con el hombre. Esta relación se produce, bien a través de estudios epidemiológicos, experimentación humana o animal y tiene como objeto analizar las relaciones dosis-respuesta y establecer unos patrones de concentración de sustancias en el ambiente y unos periodos de exposición, a los cuales la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin que se produzcan efectos perjudiciales para la salud.

#### **3.5.2.- Higiene de campo**

Se encarga de realizar el estudio de la situación higiénica en el ambiente de trabajo, mediante la toma de muestras para su posterior análisis.

#### **3.5.3.- Higiene analítica**

Realiza la investigación y determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes presentes en el ambiente de trabajo.

#### **3.5.4.- Higiene operativa**

Comprende la elección y recomendación de los métodos de control a implantar para reducir la contaminación, a niveles seguros, en los puestos de trabajo.

### **3.6.- OBJETIVOS DE UN PROGRAMA DE HIGIENE INDUSTRIAL**

De acuerdo con todo lo expuesto hasta ahora, y según la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), los objetivos de un programa de Higiene Industrial serían los siguientes:

- 1.- Determinar y combatir en los lugares de trabajo todos los factores químicos, físicos, mecánicos, biológicos y psicosociales de reconocida y presunta nocividad.
- 2.- Conseguir que el esfuerzo físico y mental, que exige de cada trabajador el ejercicio de su profesión, esté adaptado a sus aptitudes, necesidades y limitaciones anatómicas, fisiológicas y psicológicas.

- 3.- Adoptar medidas eficaces para proteger a las personas que sean especialmente vulnerables a las condiciones perjudiciales del medio laboral y reforzar su capacidad de resistencia.
- 4.- Descubrir y corregir aquellas condiciones de trabajo que puedan deteriorar la salud de los trabajadores, a fin de lograr que la morbilidad general de los diferentes grupos profesionales no sea superior a la del conjunto de la población.
- 5.- Educar al personal directivo de las empresas y a la población trabajadora en el cumplimiento de sus obligaciones en lo que respecta a la protección y fomento de la salud.
- 6.- Aplicar en las empresas programas de acción sanitaria que abarquen todos los aspectos de la salud, lo cual ayudar a los servicios de salud pública a elevar el nivel sanitario de la colectividad.

## **4.- CONTAMINANTES QUIMICOS**

### **4.1.- DEFINICIÓN**

De los tres grandes grupos de contaminantes que existen, químicos, físicos y biológicos, es el primero de ellos el de mayor importancia debido al gran número de compuestos que se emplean en los procesos industriales, y a la diversidad de efectos que, bien individualmente o en mezclas, pueden originar.

*Como contaminante químico se define a toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que durante su fabricación, manejo, uso, transporte, almacenamiento puede incorporarse al aire en forma de polvos, humos, gases o vapores, con efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.*

### **4.2.- NORMAS GENERALES DE IDENTIFICACIÓN Y ETIQUETADO.**

Como hemos comentado anteriormente, la identificación de los agentes químicos que se manipulan o producen durante cualquier proceso productivo suele presentar dificultades.

En la actualidad existe una abundante bibliografía que incluye fichas de una gran variedad de productos químicos, normalmente puros, que resulta de gran utilidad cuando se conocen las sustancias manipuladas.

Así mismo, los proveedores de materias primas a las industrias deben de adjuntar con estas unas *fichas de seguridad* normalizadas, donde se deben de describir con detalle las propiedades de las mismas y dar las recomendaciones necesarias para su correcta manipulación en 16 puntos diferentes:

1. Identificación de la sustancia o preparado y de la sociedad o empresa.
2. Composición/información sobre los componentes.
3. Identificación de peligros.
4. Primeros auxilios.
5. Medidas de lucha contra incendios.
6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental.
7. Manipulación y almacenamiento.
8. Controles de exposición/protección personal.
9. Propiedades físicas y químicas.
10. Estabilidad y reactividad.
11. Información toxicológica.
12. Informaciones ecológicas.
13. Consideraciones relativas a la eliminación.
14. Información relativa al transporte.
15. Información reglamentaria
16. Otras informaciones.

Todos los envases o recipientes deben de indicar información esencial, para

advertir a las personas que los manipulan o utilizan, sobre los riesgos inherentes de la sustancia o preparado.

Existen dos directivas de la Unión Europea (67/548 y 88/379) que han generado dos decretos:

- El Real Decreto 2216/1985 (BOE 27-11-85): “Reglamento sobre sustancias nuevas, clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas”, que prescribe de forma concreta las indicaciones de peligrosidad de cada sustancia.

- El Real Decreto 1078/1993 (BOE 9-9-93): “Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos”.

En ellos se indican una serie de normas para el etiquetado de las sustancias, las mas importantes de las cuales se indican a continuación:

- Los envases estarán etiquetados en forma clara, legible o indeleble en la lengua española oficial del estado.
- El tamaño de la etiqueta debe de corresponder como mínimo a las dimensiones descritas en la tabla 1, y deberán estar colocadas de forma visible y nunca encierres, precintos y otras partes que normalmente se utilicen al abrir el envase.
- Las etiquetas deberán poderse leer horizontalmente cuando el envase este colocado en posición normal.
- La etiqueta no será necesaria cuando el propio embalaje lleve consignadas de forma visible las indicaciones necesarias según lo previsto en apartados anteriores.
- El color y la presentación de la etiqueta o del embalaje, serán tales que los símbolos de peligro y el fondo sobre el que vaya impreso destaquen claramente.
- Las indicaciones como “no tóxico”, “no nocivo” o cualquier otra análoga no podrán figurar en la etiqueta o sobre el envase de las sustancias comprendidas en el reglamento.

Capacidad del envase	Formato (mm)
Inferior o igual a tres litros	52 x 74
Superior a tres litros e inferior o igual a 50 litros	74 x 105
Superior a 50 litros e inferior o igual a 500 litros	105 x 148
Superior a 500 litros	148 x 210

**Tabla 1.- Tamaño de las etiquetas.**

El texto de la etiqueta debe de incluir:

- Nombre de la sustancia de acuerdo con el listado del Real decreto, o bien, si la sustancia no estuviera incluida, debe de utilizarse preferiblemente la nomenclatura de la IUPAC.
- Nombre común, en su caso.
- Concentración de la sustancia, en su caso.
- Nombre y dirección de la persona natural o jurídica que fabrique , envase, comercialice o importe la sustancia peligrosa.
- Pictogramas e indicaciones de peligro que se describen en la tabla 3. Estos serán como máximo dos y deberán ocupar cada uno de ellos como mínimo la décima parte de las superficies indicadas en la figura 2.
- Mención de riesgos específicos de las sustancias peligrosas (frases R).
- Consejos de prudencia relativos a las sustancias peligrosas (frases S).

#### 4.3.- VÍAS DE ENTRADA DE LOS CONTAMINANTES EN EL ORGANISMO

Para que un agente químico penetre en el organismo, debe de superar una serie de defensas que este opone y que están constituidas por una serie de barreras a las que puede llegar por distintas vías:

Las principales formas de penetración de los contaminantes químicos en el organismo son:

Vía respiratoria: Es la vía de entrada más importante para la mayoría de los contaminantes químicos, en el campo de la Higiene Industrial.

Cualquier sustancia suspendida en el aire puede ser inhalada, pero solo las partículas que posean un tamaño adecuado llegaran a los alvéolos. También influirá su solubilidad en los fluidos del sistema respiratorio en su deposición.

Así por ejemplo, si el contaminante es un gas o vapor, alcanzaran fácilmente el alvéolo pulmonar, y atraviesa la membrana alveolocapilar con una velocidad de difusión que será proporcional a distintos factores. Si el contaminante es sólido (polvo, humos etc.) su acceso por esta vía vendrá condicionado fundamentalmente por el tamaño de partículas, como veremos posteriormente.

El camino que deben de recorrer cualquier sustancia para poder penetrar en el organismo por esta vía es el siguiente:

- Nariz: Es el primer filtro en el que el aire es calentado, humedecido y parcialmente desprovisto de partículas por impacto en las fosas nasales y sedimentación. Son eliminadas por estornudos, mucosidades, etc.

- Faringe y Laringe: Aquí las partículas retenidas pueden ser expulsadas por vía salivar o vía esofágica.
- Arbol traqueobronquial: Aquí las partículas por fenómenos similares a los anteriores son expulsadas al exterior por los cilios que tiene este aparato.
- Alvéolos: Las partículas que han alcanzado la región alveolar, se depositan en las paredes, tanto por fenómenos de difusión como sedimentación o bien pasan a través de la membrana alveolocapilar incorporándose al torrente sanguíneo. En caso de quedarse depositadas, el mecanismo de expulsión es muy lento y sólo parcialmente conocido quedando la mayor parte de las partículas retenidas en las paredes alveolares.

Vía dérmica: Es la segunda vía de entrada en importancia en Higiene Industrial.

No todas las sustancias pueden penetrar a través de la piel, unas lo hacen directamente y otras vehiculizadas por otras sustancias.

Vía digestiva: Esta vía es de poca importancia en Higiene industrial, salvo en operarios con hábitos de fumar, comer y beber en el puesto de trabajo.

Vía parenteral: Es la penetración directa del contaminante en el organismo a través de una discontinuidad de la piel (herida, punción).

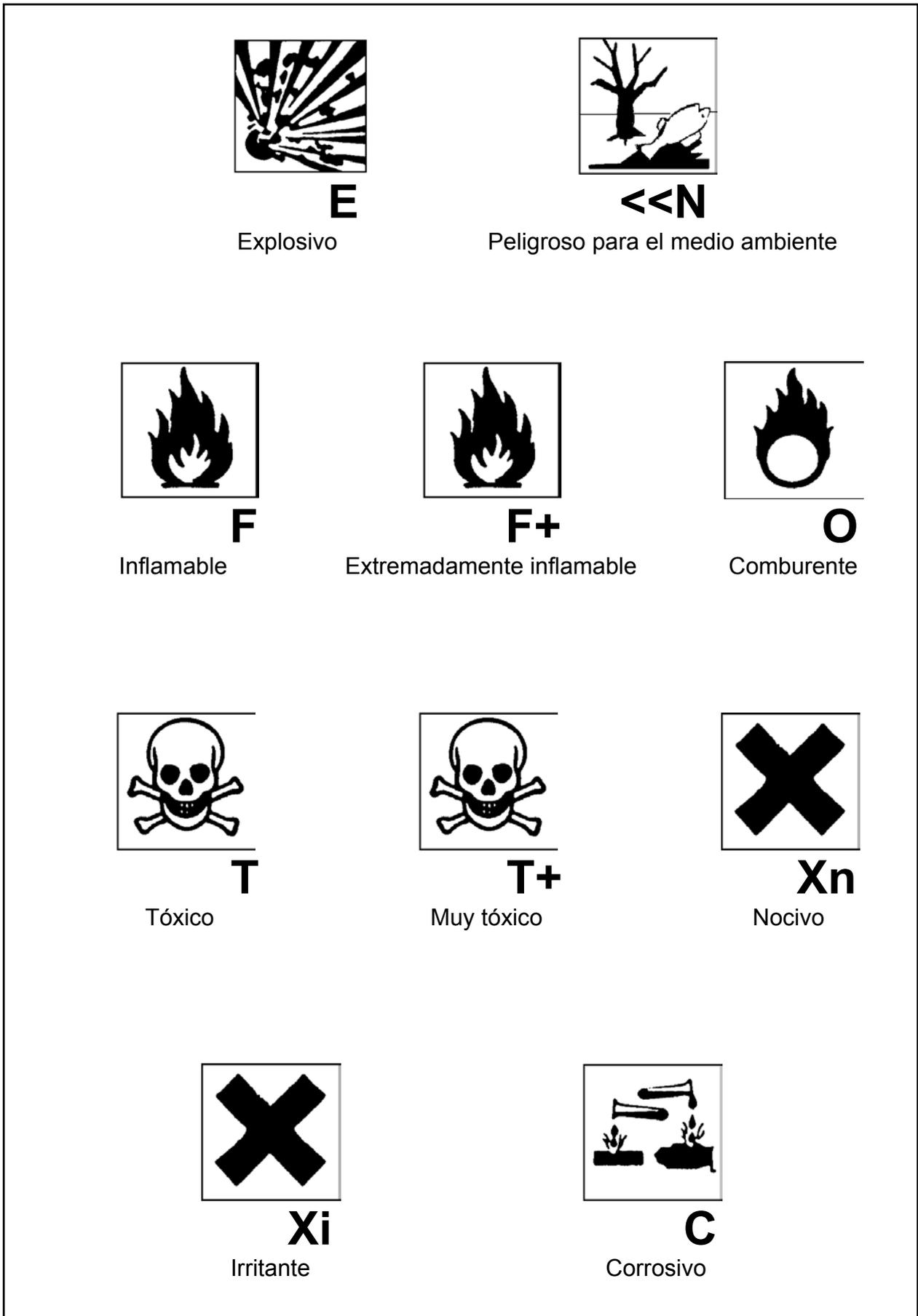


Figura 2.- Pictogramas de peligrosidad

## 4.4.- CLASIFICACIÓN POR LA FORMA DE PRESENTARSE

### 4.4.1.- Clasificación

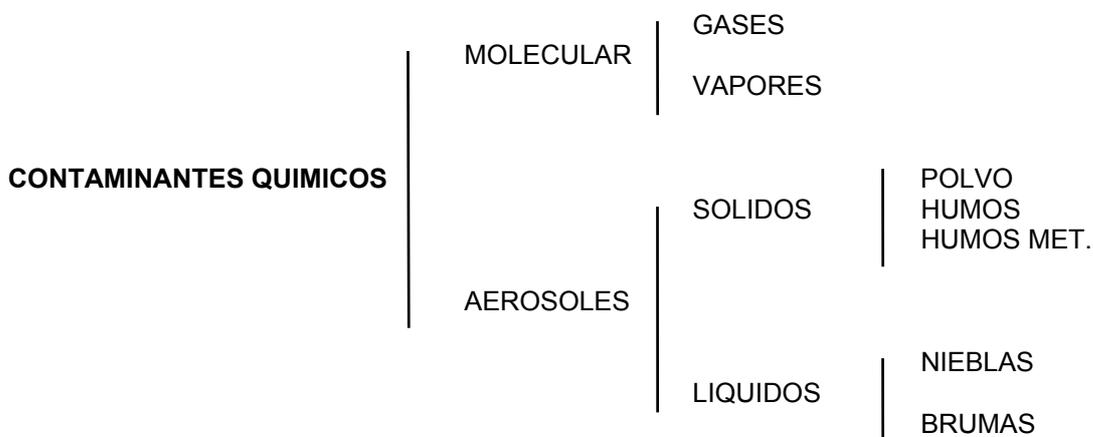


Fig.3.- Clasificación por la forma de presentarse

<u>PARTICULA</u>	<u>INTERVALO DE TAMAÑO (µs)</u>
AEROSOLES	0.005 - 50
NIEBLAS	1 - 50
POLVO y HUMOS METALICOS	0.001 - 100
POLVO DE FUNDICIÓN	1 - 1000
NIEBLA DE AC. SULFURICO	0.5 - 20
GASES	0.0005 - 0.008
NEGRO DE HUMO	0.001 - 0.4
CENIZAS	1 - 800

Tabla 2- Tamaños de partículas de los contaminantes.

A continuación, vamos a describir los tipos de contaminantes mas importantes:

## 4.4.2.- Gases y vapores

### 4.4.2.1.- Definiciones

**Gases:** Son sustancias que a temperatura y presión ambientales normales, (25°C y 760 mmHg) se encuentran en estado gaseoso.

**Vapor:** Es la fase gaseosa de una sustancia que en condiciones normales se encuentra en estado sólido o líquido.

### 4.4.2.2.- Generación

La generación de vapores depende de varios factores:

- **Presión de vapor:** Está relacionada con la capacidad de los líquidos o sólidos para pasar a fase gaseosa de manera que a mayor presión de vapor, mayor facilidad de evaporarse tiene una sustancia. Depende de la naturaleza de la misma y de la temperatura.

La mayor concentración que un vapor puede alcanzar en el espacio libre de un recipiente cerrado, o en el área próxima a su superficie líquida será:

$$C = \frac{P_v}{760} \times 100$$

Donde:

C = concentración expresada en %

P<sub>v</sub> = Presión de vapor del disolvente.

Si se indica en forma volumétrica, es decir en partes por millón (ppm):

$$ppm = \frac{P_v}{760} \times 10^6$$

Esta forma de expresar la concentración de un gas o vapor esta relacionada con la forma gravimétrica, es decir con la forma de miligramos por metro cubico (mg/m<sup>3</sup>), mediante la expresión:

$$mg / m^3 = \frac{P_m}{24.2} \times ppm$$

Donde:

P<sub>m</sub> = Peso molecular

24.2 = Volumen molar a 25°C y 760 mm Hg

- Area superficial del liquido: De manera que cuanto mayor sea la superficie mayor ser la evaporación.
- Temperatura: Tanto del líquido (o sólido) como de la atmósfera. Un incremento de la temperatura implica un incremento de la evaporación.
- Movimiento del aire: Por encima de la superficie líquida.

#### 4.4.2.3.- Propagación

Los gases y vapores se propagan por difusión y por los movimientos de la masa de aire. La velocidad de esta última es muy superior a la de difusión. Incluso con aire en calma pueden existir velocidades de aire de 0,1 a 0,2 m/seg. mientras que las velocidades de difusión son del orden de 0,01 m/seg.

Otros factores que afectan en el desplazamiento de gases y vapores son densidad del gas y temperatura ambiental de manera que un gas menos denso que el aire, tiende a subir mezclándose en la parte superior y bajar ya mezclado, mientras que si es más denso tiende a acumularse en el suelo antes de mezclarse. El efecto de la temperatura es el de disminuir la densidad, y por tanto a aumentar su tendencia a subir las sustancias que absorben calor del ambiente al evaporarse, lo enfrían y tienen tendencia a dirigirse al suelo y desplazarse por él a todo el recinto.

#### 4.4.2.4.- Ejemplos de gases y vapores

##### Gases

*Monóxido de carbono (CO)* es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es menos denso que el aire y en consecuencia difunde rápidamente en el ambiente. Es un gas combustible.

Se produce siempre que tiene lugar una combustión incompleta. Casi como norma general se puede afirmar que toda instalación que funcione con combustibles sólidos, líquidos o gaseosos produce CO.

Operaciones y lugares donde se puede encontrar CO son por ejemplo, fundiciones, forjas, tratamientos térmicos, garajes, salas de calderas, altos hornos, fabricación de coque, motores de combustión interna.

Su afinidad por la hemoglobina es unas 300 veces mayor que la del oxígeno del aire, por lo que impide el transporte por la sangre del oxígeno de los pulmones a las células, produciendo asfixia química.

*Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)* es un gas incoloro, de olor picante y sabor espeso. Se emplea como agente blanqueante y para la obtención de ácido sulfúrico. Se produce en procesos de combustión de productos que contengan azufre como la tostación de piritas o la combustión de carbones y petróleos.

Causa irritación del sistema respiratorio superior.

*Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)* se obtienen como subproductos en la fabricación del

ácido nítrico y otros productos con nitrógeno como los colorantes azoicos, explosivos y fertilizantes. En lugares donde se almacene ácido nítrico sin la debida ventilación se pueden acumular óxidos de nitrógeno.

*Cloro y sus derivados (Cl<sub>2</sub>)* son un grupo de sustancias irritantes. El cloro es un gas amarillo-verdoso de olor característico, mas pesado que el aire. No se encuentra libre en la naturaleza.

Se utiliza para la depuración de aguas y como materia prima para obtener diversos derivados clorados y ácido clorhídrico.

El oxido de cloro es un gas rojo-amarillento, inestable, muy oxidante y soluble en agua. Se suele obtener en el mismo lugar de utilización. Se usa como blanqueante.

Son productos irritantes y dan problemas respiratorios.

*Amoniaco* se emplea en refrigeración en circuito cerrado, pero puede haber escapes por fugas, uniones, válvulas, etc. También se utiliza para la obtención de sosa Solvay, fabricación de resinas, explosivos, abonos, etc. También se desprende en la descomposición de sustancias nitrogenadas, aguas negras, etc.

Causa fuerte irritación en las mucosas del aparato respiratorio superior y ojos.

*Cianuros* la toxicidad que tienen es función de su capacidad de desprender cianhídrico. Este gas tiene un olor característico a almendras amargas. Es un tóxico muy potente que puede entrar en el organismo por inhalación, vía dérmica y vía digestiva.

Su uso principal en la industria es en la galvanoplastia, en los tratamientos de metalurgia y en laboratorios fotográficos.

El mecanismo de intoxicación de este producto es el de una inhibición de la oxidación por inactivación de las enzimas respiratorias.

## Disolventes

Los disolventes son una serie de sustancias, generalmente orgánicas, que se utilizan en distintos procesos y productos industriales como son: desengrase, pinturas y barnices, disolventes de sustancias orgánicas, etc.

Su capacidad de evaporación hace que estas sustancias se encuentren siempre en los ambientes donde se utilizan.

Como norma general se puede decir que el disolvente es el componente mayoritario de una disolución. Un disolvente puede estar en los tres estados de agregación, pero normalmente se sobreentiende por tales los líquidos en condiciones normales.

Los disolventes líquidos se pueden dividir en disolventes orgánicos y disolventes acuosos, si bien en higiene industrial se consideran como disolventes principalmente los orgánicos.

### *Disolventes orgánicos*

Como ya hemos dicho, este tipo de productos son los que se designan

comúnmente como disolventes, estando formados por una o más sustancias orgánicas en estado líquido.

Sus principales características son:

- Son líquidos volátiles con una presión de vapor elevada, la cual facilita su paso al ambiente en forma de vapor.
- Suelen ser mezcla de varios compuestos químicos, cuyo número se eleva gradualmente cuando intervienen destilados de petróleo. Raramente un disolvente es una sustancia única.
- Son sustancias poco polares, por lo que no suelen ser solubles en agua.
- Suelen ser sustancias combustibles, por lo que pueden dar lugar a mezclas de vapores inflamables.
- Tanto los componentes como sus proporciones son muy variables, por lo que es necesario proceder a un análisis del producto para conocer su verdadera composición.
- Su procedencia es muy variada, siendo las principales los productos de destilación del petróleo de donde se obtienen parafinas, hidrocarburos cíclicos y aromáticos; destilación seca de la hulla de donde se obtienen aceites ligeros y compuestos aromáticos; la destilación por arrastre de vapor de la trementina; etc.

Existen pues una gran cantidad y variedad de sustancias. En la tabla siguiente se encuentran clasificadas por familias químicas:

<b>Familia</b>	<b>Ejemplos</b>
Hidrocarburos alifáticos	Hexano, heptano, gasolinas, etc.
Hidrocarburos cíclicos	Ciclohexano, trementina, etc.
Hidrocarburos aromáticos	Benceno, Tolueno, Xilenos, etc.
Hidrocarburos halogenados	Tricloroetileno, tetracloruro de carbono, etc.
Hidrocarburos nitrados	Nitroetano, etc.
Alcoholes	Metanol, isopropanol, etc.
Glicoles	Etilenglicol, etc.
Esteres	Acetato de etilo, acetato de n-butilo, etc.
Eteres	Eter etílico, éter isopropílico, etc.
Cetonas	Acetona, metil etil cetona, etc.
Aldehidos	Acetaldehido

Tabla 3.- Familias químicas de disolventes orgánicos

Para conocer la peligrosidad que tiene un disolvente no es suficiente conocer su toxicidad, que de alguna manera estará indicada por el TLV, ya que también va a influir de una manera determinante su capacidad de pasar al estado de vapor, que es la forma en la que habitualmente será absorbido por el organismo, y que vendrá dada por la presión de vapor; por tanto, se define como índice de peligrosidad a la relación existente entre la capacidad de pasar al estado de vapor y la toxicidad propia del compuesto, que numéricamente se expresa de la siguiente manera:

$$I_0 = P_{\text{vap}} / \text{TLV}$$

En la tabla siguiente se da un listado de compuestos orgánicos ordenados según su índice de peligrosidad.

Sustancia	I <sub>o</sub>	TLV
Bromuro de etilo.....	121200	5
Sulfuro de carbono.....	46000	10
Dietilamina.....	31500	10
Tetracloruro de carbono.....	28340	5
Cloroformo.....	24850	10
Cloruro de metileno.....	8640	50
n-hexano.....	4100	50
Metil cellosolve.....	3150	5
Nitrometano.....	2170	20
Tricloroetileno.....	2000	50
Etilendiamina.....	1710	10
Acetato de metilo.....	1380	200
2-hexanona.....	1000	5
Oxido de mesitilo.....	893	15
Metil etil cetona.....	625	200
1,1,1- tricloroetano.....	489	350
Percloroetileno.....	474	50
Acetona.....	387	750
Tolueno.....	368	100
Ciclohexanona.....	226	25
Etilbenceno.....	126	100
Xileno.....	100	100
Trementina.....	66	100
Diaceton-alcohol.....	8	50

Tabla 4.- Indices de peligrosidad de algunos compuestos

*Criterios a seguir para la elección y utilización de disolventes:*

- Siempre que el proceso lo permita, utilizar un disolvente acuoso.
- Entre los disolventes orgánicos, utilizar los productos menos tóxicos con ventilación adecuada.
- Siempre que se utilicen productos de toxicidad media, utilizar extracción localizada.
- No utilizar nunca aquellos productos cuyo uso como disolvente está prohibido, como benceno y tetracloruro de carbono.

### **4.4.3.- Polvo**

*El polvo puede definirse como un sistema disperso (aerosol) de partículas sólidas heterogéneas en un gas (aire).*

#### **4.4.3.1.- Características**

Los aerosoles no son constantes en su composición, sino que tanto su masa como el número de partículas por volumen de aerosol varía con el tiempo, como consecuencia de la sedimentación de las grandes partículas por la fuerza de la gravedad y el movimiento Browniano y aglutinación de las partículas pequeñas. Estas últimas tienen poca tendencia a unirse, sin embargo, cuando hay partículas mayores, estas tienden a actuar como núcleos de atracción de las pequeñas.

Otro fenómeno que tiene lugar es el de que las partículas frecuentemente se cargan debido a roces y fricciones. Cuando las partículas se cargan con el mismo signo, tienden a repelerse, la aglutinación se hace por tanto más difícil, y consecuentemente su sedimentación. Por el contrario, si se cargan con distinto signo, el fenómeno que ocurre es el contrario, favoreciéndose así la concentración y sedimentación de las partículas.

Finalmente señalar que con el paso del tiempo, el polvo fino tiende a rodearse de una capa de aire absorbido, originando una presión parcial superior a la atmosférica que disminuye con la distancia. Por esta razón las partículas de polvo después de un tiempo no tienden a aglutinarse.

#### **4.4.3.2.- Comportamiento dinámico**

Para que una partícula suspendida en un fluido se mueva a través de él, se requiere la existencia de una diferencia de densidad entre la partícula y el fluido. Cuando esta sedimenta, esta sometida a tres fuerzas diferentes, La fuerza de la gravedad, la de flotación (principio de Arquímedes) y la de rozamiento, de manera que la resultante de todas ellas será:

$$R = F_g - F_f - F_R = F_g - (F_f + F_R)$$

La fuerza de la gravedad es la causante de que la partícula caiga con una aceleración  $g$ . Sin embargo, y tal como se ve experimentalmente, Esta se ve progresivamente frenada por las otras fuerzas ya que la fuerza de rozamiento es proporcional al cuadrado de la velocidad, llegando un momento en que la aceleración será nula y por consiguiente la partícula caerá con velocidad constante. A esta velocidad se le llama velocidad límite y esta regida por la ecuación de Stokes:

$$v = \frac{g \times (\rho_s - \rho) \times D^2}{18 \times \eta}$$

Donde:

- v = velocidad de sedimentación (cm/sg)  
 $\rho_s$  = densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho$  = densidad del fluido (g/cm<sup>3</sup>)  
g = aceleración de la gravedad (cm/sg<sup>2</sup>)  
D = Diámetro de la partícula (cm)  
 $\eta$  = viscosidad del fluido (en poises)

En la tabla siguiente, se dan las velocidades de sedimentación en aire de partículas esféricas de densidades y tamaños diversos.

Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Velocidad de sedimentación (cm/sg)		
	$\rho_s=1 \text{ g/cm}^3$	$\rho_s=2 \text{ g/cm}^3$	$\rho_s=5 \text{ g/cm}^3$
100	30	50	120
50	8	16	40
10	0.35	0.7	1.8
5	0.08	0.15	0.45
1	0.003	0.007	0.018

Tabla 5.- Velocidades de sedimentación

De acuerdo con la tabla, el polvo mas fino no tiene, prácticamente, movimiento independiente del aire, en el que permanecerán suspendido largo tiempo. Inicialmente, se considera que las partículas por encima de 50  $\mu\text{m}$  son sedimentables, siendo el “polvo fino” las partículas con un tamaño máximo de 10 a 20  $\mu\text{m}$ .

#### 4.4.3.3.- Generación y dispersión de partículas

La formación de nubes de polvo tiene lugar fundamentalmente debido a dos fenómenos.

- *Acción primaria:* Es la generación del polvo. Normalmente es una acción mecánica que proyecta partículas finas a alta velocidad, desde un estado de reposo al aire. Ejemplos de este tipo de acción son rectificadoras y pulidoras (unidireccionales) o el impacto de un cincel sobre una piedra (multidireccional).
- *Acción secundaria:* La dispersión debido a la propia velocidad de salida y a corrientes de aire secundarias que las transportan hasta lugares lejos del lugar de formación.

#### 4.4.3.40- Clasificación:

El polvo industrial se puede clasificar:



Fig. 4.- Clasificación del polvo

La influencia del tamaño es de gran importancia en Higiene Industrial, porque de él depende la mayor o menor facilidad de penetración de polvo en el organismo.

Como ya hemos visto, el camino que deben de recorrer las partículas de polvo para poder penetrar en el organismo es el siguiente:

- Nariz: Es el primer filtro en el que el aire es calentado, humedecido y parcialmente desprovisto de partículas por impacto en las fosas nasales y sedimentación. Son eliminadas por estornudos, mucosidades, etc.
- Faringe y Laringe: Aquí las partículas retenidas pueden ser expulsadas por vía salivar o vía esofágica.
- Arbol traqueobronquial: Aquí las partículas por fenómenos similares a los anteriores son expulsadas al exterior por los cilios que tiene este aparato.

- **Alvéolos:** Las partículas que han alcanzado la región alveolar, se depositan en las paredes, tanto por fenómenos de difusión como sedimentación. El mecanismo de expulsión es muy lento y sólo parcialmente conocido quedando la mayor parte de las partículas retenidas en las paredes alveolares.

De todo lo expuesto se deduce que cuando menor es el tamaño de la partícula mas facilidad de penetración en el organismo tiene, lo que ha llevado a la definición de las siguientes fracciones de partículas en función de su tamaño.

Mientras que las partículas de diámetro superior a 50 µm sedimentan con rapidez, las menores de 5 µm presentan una velocidad de sedimentación muy pequeña, pudiendo permanecer en suspensión durante largo tiempo en la atmósfera de trabajo o ser arrastradas por corrientes de aire hasta puntos distantes de su lugar de origen. Son precisamente las partículas menores de 5 µm , las que tienen mayor importancia desde el punto de vista fisiopatológico, ya que la probabilidad de alcanzar los alvéolos pulmonares aumenta a medida que disminuye el diámetro.

#### **4.4.3.5.- Tipos de fracciones**

Todas las consideraciones hechas en el apartado interior permitieron definir dos conceptos diferentes:

*FRACCION INSPIRABLE: Fracción de partículas que se inspira de todo el conjunto de materias en suspensión, presentes en el aire que respira el trabajador. A este respecto son determinantes las velocidades de aspiración por la nariz y la boca, así como de las condiciones de circulación del aire alrededor de la cabeza.*

*FRACCION RESPIRABLE: Dado que la fracción inspirable puede, según el tamaño de las partículas, quedar depositada en distintas partes del aparato respiratorio, se denomina fracción respirable a la parte de la fracción inspirable que penetra en los alvéolos pulmonares. Para su captación se utiliza un separador por sedimentación que separe el 50% de las partículas que tengan un diámetro aerodinámico de 5 micras (convenio de Johannesburgo de 1979).*

Estas dos definiciones se encuentran recogidas en la Directiva 88/642/CEE de fecha 16/12/88, que modifica la Directiva 80/1107/CEE sobre la protección de los trabajadores contra riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos, físicos y biológicos, en su Anexo II bis.

Esta doble definición se ha demostrado que no es suficiente para la protección de los trabajadores contra polvo, de forma tal que el Comité Europeo de Normalización CEN publica en 1993 la norma EN-481, traducida al español y publicada por AENOR en 1995 (Norma UNE-EN 481), en la que se definen las fracciones por el tamaño de partículas para la medición de aerosoles. en esta norma se definen las siguientes fracciones:

- *Fracción inhalable: La fracción másica del aerosol total que se inhala a través de nariz y boca.*
- *Fracción extratoracica: Fracción másica de las partículas inhaladas que no penetran mas allá de la laringe.*
- *Fracción torácica: Fracción másica de las partículas inhaladas que penetran mas allá de la laringe.*
- *Fracción traqueo-bronquial: Fracción masica de las partículas inhaladas que penetran mas allá de la laringe pero no pueden penetrar a las vías respiratorias no ciliadas.*
- *Fracción respirable: Fracción masica de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.*

De acuerdo con estas definiciones se definen unas convenciones que dan las especificaciones que deben alcanzar los instrumentos de muestreo.

Los convenios de muestreo tienen en cuenta el hecho de que solamente se inhala una fracción que esta cerca de la nariz y de la boca. Esta fracción, como hemos visto, se llama fracción inhalable.

Para algunas sustancias, tienen especial significación para la salud, las subfracciones de esta que llegan mas allá de la laringe o hasta las vías respiratorias no ciliadas. Se definen así unas curvas de convenio que se aproximan a la fracción inhalada y a las subfracciones de esta que llegan mas allá de la laringe o hasta las vías respiratorias no ciliadas, y que se denominan: Convenio para la fracción inhalable, convenio para la fracción torácica y convenio para la fracción respirable. Los convenios para las fracciones extratoracica y traqueobronquial se pueden calcular a partir de las anteriores.

Es necesario pues que los instrumentos utilizados en el muestreo, estén de acuerdo con el convenio apropiado a la región del tracto respiratorio, donde el deposito de la materia particulada a medir podría llegar a producir un efecto biológico. Por ejemplo, se debería seleccionar un equipo de muestreo que haga un muestreo según el convenio para la fracción inhalable en el caso de que el aerosol pudiera llegar a producir un efecto biológico donde quiera que se deposite. Se escogería un equipo que haga un muestreo según el convenio para la fracción torácica si la región de deposito fueran los bronquios, y según el convenio para la fracción respirable si la región fuese la de los alvéolos.

Los convenios son, necesariamente, solo aproximaciones al comportamiento del tracto respiratorio, y por tanto son particularmente importantes las siguientes hipótesis:

- La fracción inhalable depende del movimiento del aire, (velocidad y dirección), de la cadencia respiratoria y de si la respiración es a través de la nariz o de la boca.

- Las fracciones respirable y torácica varían de individuo a individuo y con el modelo respiratorio, y necesariamente los convenios son aproximaciones para el caso promedio.
- Cada convenio es una aproximación a la fracción que llega a una determinada región del tracto respiratorio, no a la fracción que allí se deposita.
- El convenio para la fracción torácica es una aproximación a esta fracción durante la respiración bucal, que es mayor que dicha fracción durante la respiración nasal.

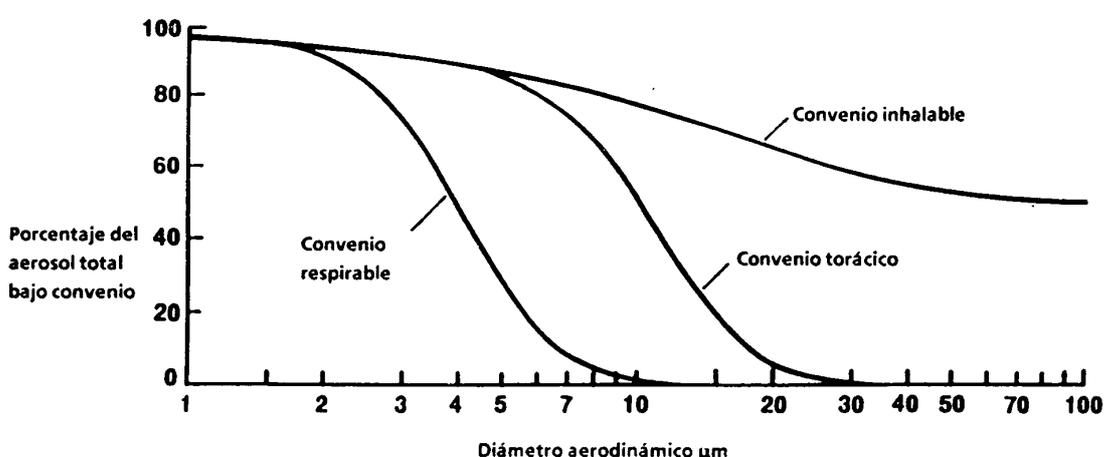


Fig. 4 - Convenios para las fracciones inhalable, torácica y respirable como porcentaje del aerosol total.

#### 4.4.4.- Fibras

El segundo tipo de materia particulada que nos encontramos según su forma es el de las fibras.

En Higiene Industrial, se considera fibra toda aquella partícula que sea mayor que 5 micras de longitud, con un diámetro de sección transversal menor de 3 micras y una relación longitud diámetro mayor de 3.

El motivo de considerar como fibras a las partículas de estas características está basado en el poder de penetración en el organismo, de manera que se acepta que son las fibras que cumplen estos requisitos las que son capaces de llegar hasta los alvéolos pulmonares y consecuentemente producir lesiones y enfermedades en el organismo.

Una clasificación de las fibras viene dada en la tabla siguiente. Las fibras naturales fueron las primeras en utilizarse industrialmente, Pero el alto riesgo para la salud de los que las manipulan tiene alguna de ellas ha dado lugar a una gran proliferación de fibras sustitutivas, la mayoría de ellas artificiales, tanto de origen natural como artificial.

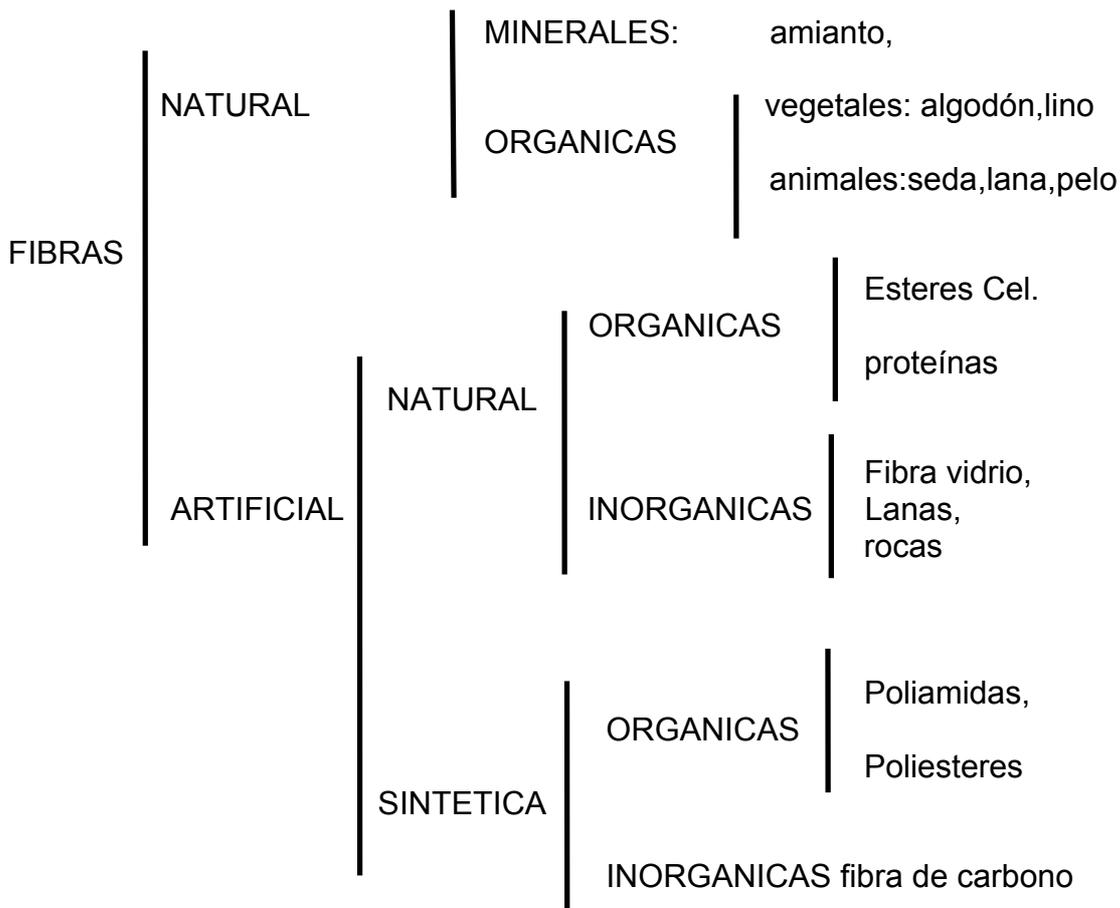


Fig. 5.- Clasificación de las fibras

Existe sin embargo, poca información toxicológica de estos productos, lo que dificulta en gran manera la evaluación de riesgos para la salud.

Los trabajos actuales de investigación sobre los efectos sobre la salud de estos materiales han llevado últimamente a la formulación de una hipótesis denominada "efecto fibra" según la cual, la aparición de cánceres de pulmón es independiente de la naturaleza o composición de la fibra, debiéndose únicamente a la morfología.

Sin embargo, existen otros trabajos que demuestran que los efectos perniciosos no son debidos únicamente a sus características dimensionales, sino también a su composición química.

Hay que señalar pues, que es todavía pronto para aceptar cualquiera de estas hipótesis u otras, continuándose por parte de gran número de especialistas las investigaciones en este terreno.

#### **4.4.5.- Humos (Smoke)**

Los humos son suspensiones en el aire de partículas sólidas originadas en procesos de combustión incompleta.

#### **4.4.6.- Humos metálicos (Fume)**

Estos son suspensiones en el aire de partículas sólidas metálicas generadas en un proceso de condensación del estado gaseoso. A menudo va acompañada de una reacción química generalmente de oxidación.

#### **4.4.7.- Nieblas (Mist)**

Suspensión en el aire de pequeñas gotas de líquido que se generan, ya sea por condensación o por la desintegración de un líquido por atomización, ebullición, etc.

#### **4.4.8.- Brumas (Fog)**

Se definen así a suspensiones en el aire de pequeñas gotas líquidas apreciables a simple vista.

## 4.5.- EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS SOBRE EL ORGANISMO

### 4.5.1.- Concepto de dosis

Cuando un trabajador entra en contacto con un contaminante químico o sustancia extraña a su organismo (xenobiotico) pueden producirse alteraciones de la salud, cuyo alcance está relacionado con factores como son la propia naturaleza de la sustancia en cuestión, o la dosis recibida de la misma.

Tales alteraciones, que se manifiestan mediante el cambio de algún mecanismo biológico o función fisiológica, constituyen lo que a escala individual se denomina *efecto* y que en muchas ocasiones pueden medirse de forma objetiva.

Por dosis, se entiende a *la cantidad de xenobiotico absorbida por el organismo en un tiempo determinado*, que en el plano laboral será de 8 horas.

Se puede establecer una relación dosis-efecto, cuya representación gráfica será distinta, según el xenobiotico y el individuo que se trate. Si el efecto no es aparente, se denomina *efecto subclínico*, mientras que si se pone de manifiesto se denomina *efecto clínico*.

Cuando se relaciona la dosis con el porcentaje de población que manifiesta un determinado efecto, se obtienen lo que se conoce como la relación dosis respuesta con una representación grafica que sigue aproximadamente la distribución gaussiana.

Para el estudio de estas relaciones, se utilizan los siguientes conceptos:

*Dosis tóxica mínima*: Cantidad mínima de sustancia administrada por cualquier vía, que se sepa que haya producido algun efecto toxico.

*Dosis letal mínima*: Cantidad mínima de sustancia que administrada por cualquier vía, produce la muerte en algun animal de experimentación.

*Dosis media*: Es aquella que produce el efecto deseado en el 50 % de los individuos que la reciben. Si el efecto estudiado es la muerte, se denomina dosis letal media (DL<sub>50</sub>)

Tanto en el plano laboral, como en el experimental, la acción de un xenobiotico sobre un organismo, provoca una alteración del estado de salud o intoxicación que puede ser de tres tipos:

- Intoxicación aguda: Es la que da lugar a una alteración grave del organismo, y se manifiesta en un corto periodo de tiempo. Su evolución puede llevar al individuo aun estado irreversible e incluso la muerte.  
Las condiciones para que se de una intoxicación aguda son las siguientes:
  - Exposición en una dosis única o dosis múltiples en cortos periodos de tiempo, generalmente un máximo de 24 horas.

- Absorción rápida del tóxico por el organismo.
- Intoxicación subaguda:  
Presenta un grado inferior de gravedad que la intoxicación aguda, y frecuentemente sigue un curso subclínico.  
Se dan este tipo de intoxicaciones en exposiciones o penetraciones del xenobiotico en dosis frecuentes y repetidas en periodos de varios días o semanas, antes de que aparezcan los primeros síntomas.
- Intoxicación crónica:  
Se entiende por intoxicación crónica la que se produce cuando el xenobiotico penetra en pequeñas dosis repetidas durante un largo periodo de tiempo de la vida del sujeto.  
En general, la absorción rápida del xenobiótico, debido a las pequeñas dosis que se reciben, hace que no se manifiesten síntomas tóxicos en corto periodo de tiempo.  
Esta manifestación tardía de la intoxicación crónica se debe fundamentalmente a dos causas:
  1. Por una acumulación del xenobiótico en ciertas partes del organismo, de manera que la cantidad eliminada es inferior a la absorbida. Como consecuencia la concentración del mismo aumenta progresivamente hasta que se alcanza una cantidad suficiente para que se manifiesten los síntomas clínicos, o que una causa externa ponga en libertad el xenobiótico acumulado. Tal es el caso de la intoxicación por plomo
  2. Una segunda forma de manifestarse una intoxicación crónica es por acumulación de los efectos producidos por la exposición repetida a xenobiótico, el cual, sin embargo, se va eliminando del organismo. Una acumulación de efectos da lugar, tras un periodo de latencia, a las manifestaciones clínicas de la intoxicación.

#### **4.5.2.- Tipos de efecto**

Atendiendo a los efectos que producen sobre el organismo humano, es decir, a su acción fisiopatológica, los contaminantes químicos se pueden clasificar:

- ***Irritantes:*** Son aquellos compuestos químicos que producen una inflamación, debido a una acción química o física en las áreas anatómicas con las que entran en contacto, principalmente piel y mucosas del sistema respiratorio.

Por ser, todas ellas, sustancias muy reactivas, el factor que indica la gravedad del efecto es la concentración de la sustancia en el aire y no el tiempo de exposición.

Las sustancias irritantes, a su vez se dividen en:

- *Irritantes del tracto respiratorio superior*: Son sustancias muy solubles en medios acuosos (ácidos, bases).

- *Irritantes del tracto respiratorio superior y tejido pulmonar*: Son sustancias de solubilidad moderada en medios acuosos, debido a lo cual actúan sobre todo el sistema respiratorio. (Halógenos, ozono, anhídridos de halógenos).

- *Neumoconioticos*: Son aquellas sustancias químicas sólidas, que se depositan en los pulmones y se acumulan, produciendo una neumopatía y degeneración fibrótica pulmonar.

Los polvos inertes, si bien no producen esta degeneración del tejido pulmonar, ejercen una acción como consecuencia de la acumulación de grandes cantidades de polvo en los alvéolos pulmonares, impidiendo la difusión del oxígeno a través de los mismos.

- *Tóxicos sistémicos*: Se definen como tales los compuestos químicos que, independientemente de su vía de entrada, se distribuyen por todo el organismo produciendo efectos diversos, si bien ciertos compuestos presentan efectos específicos o selectivos sobre un órgano o sistema (plomo, hidrocarburos halogenados, insecticidas, metanol, etc.).
- *Anestésicos y narcóticos*: Son sustancias químicas que actúan como depresores del sistema nervioso central. Su acción depende de la cantidad de tóxico que llega al cerebro. Deben de ser sustancias liposolubles (disolventes industriales).
- *Alérgicos*: Son sustancias cuya acción se caracteriza por dos circunstancias. La primera es que no afecta a la totalidad de los individuos, ya que se requiere una predisposición fisiológica. La segunda es que se presenta en individuos previamente sensibilizados (resinas, cromo, etc.).
- *Cancerígenos*: Son sustancias que pueden generar o potenciar el desarrollo de un crecimiento desordenado de las células.
- *Asfixiantes*: Son sustancias capaces de impedir la llegada del oxígeno a los tejidos. Existen dos tipos:

- *Asfixiantes simples*: Es cualquier contaminante químico que sin presentar ningún efecto específico, generalmente sustancias inertes, por el mero hecho de estar presente en el ambiente reduce la concentración de oxígeno en el aire (CO<sub>2</sub>, gases nobles, nitrógeno).

- *Asfixiantes químicos*: Son sustancias que impiden la llegada del oxígeno a las células, bloqueando alguno de los mecanismos del organismo. Estas sustancias pueden actuar al nivel de la sangre, de las células, e incluso sobre el cerebro paralizando los músculos de la respiración (CO, CNH, SH<sub>2</sub>).

- Productores de dermatosis: Son sustancias que independientemente de que puedan ejercer otros efectos tóxicos sobre el organismo, en contacto con la piel originan cambios en la misma a través de diferentes formas:
  - Irritación primaria.
  - Sensibilización alérgica.
  - Fotosensibilización.

## **5.- EVALUACION HIGIENICA**

### **5.1.- INTRODUCCIÓN**

El objetivo fundamental de la Higiene Industrial es la Prevención de las Enfermedades Profesionales originadas por los agentes contaminantes existentes en el medio laboral.

La evaluación higiénica va a ser el procedimiento que nos permitir tomar una decisión sobre la mayor o menor peligrosidad existente en un puesto de trabajo, mediante el análisis de los diversos factores que van a influir sobre el, entre los cuales podemos destacar:

- Sustancias que se utilicen, produzcan o emitan al ambiente en el puesto de trabajo.
- Posibles vías de entrada en el organismo.
- Presencia simultánea de varias sustancias.
- Concentraciones ambientales.
- Tiempo diario de exposición.
- Continuidad o interrupción de las exposiciones.
- Condiciones de ventilación.
- Susceptibilidad individual.
- Medidas higiénicas personales.
- Ropa de trabajo y utilización de elementos de protección personal.

Como se puede observar, la mayor o menor toxicidad existente en un puesto de trabajo, depende de múltiples factores y no solamente de la toxicidad intrínseca de los productos o sustancias utilizados.

Para poder realizar esta tarea, existen y se están desarrollando en higiene industrial, una serie de metodologías de actuación que evitan, mediante la detección, cuantificación y control de los contaminantes presentes en los puestos de trabajo, la aparición de la enfermedad profesional. Es la denominada *Evaluación de la exposición laboral*.

En principio, este tipo de evaluación solo considera como vía de entrada la inhalatoria efectuándose, por consiguiente, las mediciones en la zona respiratoria del trabajador. Sin embargo, y tal como ya hemos visto, esta modo de entrada de agentes químicos en el organismo aun siendo el mas importante no es el único y además dado que cada trabajador expuesto es un individuo con distinta reacción a los agentes tóxicos, se están desarrollando métodos de

evaluación del estado de riesgo toxicológico de cada persona. Es la denominada *Evaluación biológica*.

Como primera aproximación, podría decirse que un trabajador estará expuesto a un determinado agente químico, cuando de su manipulación o presencia pueda derivarse un efecto indeseable para su salud a corto, medio o largo plazo. de este modo, la exposición se encuentra indefectiblemente asociada al riesgo higiénico o lo que es lo mismo, con la probabilidad de sufrir un daño a causa de la absorción de un agente químico durante el trabajo. No obstante, conviene distinguir entre dos clases de agentes químicos:

- Aquellos cuyos efectos sobre la salud están relacionados cuantitativamente con su presencia en el entorno de trabajo, de modo que el daño producido será tanto mayor cuanto mas grande sea la cantidad de agente químico absorbido.
- Aquellos en los que no existe una clara relación cuantitativa entre los efectos que producen sobre la salud y su presencia en el ambiente laboral.

## 5.2.- CRITERIOS DE VALORACIÓN

### 5.2.1.- Introducción

El objetivo de un criterio de valoración higiénico, es el de definir unas condiciones de exposición tales que las personas no sufran ni durante su vida laboral, ni una vez terminada esta, una disminución significativa de su nivel de salud que sea imputable a la exposición laboral.

Al efectuar la evaluación en un puesto de trabajo de un determinado contaminante industrial, bien sea de origen físico, químico o biológico, se obtienen unos valores numéricos que expresan las cantidades o concentraciones de contaminantes presentes. Estos datos junto con el tiempo a que el trabajador se encuentra expuesto a dicho contaminante, además de hábitos personales, etc. constituye lo que se denomina *exposición a un contaminante*. La comparación de las concentraciones de exposición al contaminante con lo propuesto por el criterio de valoración define el *RIESGO PARA LA SALUD*.

Los métodos utilizados para la investigación de estos criterios llamados *Niveles Admisibles* están basados en:

- Estudios epidemiológicos.
- Estudios toxicológicos experimentales sobre animales.
- Especulaciones químico-toxicológicas: La analogía química.
- Ensayo con voluntarios en casos en que se midan efectos tóxicos menores.

Sin embargo, existen numerosas dificultades para llegar a su establecimiento, como son:

- Falta de uniformidad en la respuesta individual.
- Cantidad y variedad de contaminantes.
- Aparición de nuevas sustancias.
- Presencia simultánea de varios contaminantes.

Para el establecimiento de un valor límite con toda la información que nos proporciona lo anteriormente comentado, tendremos que contestar a dos cuestiones básicas:

- 1º) Que efecto sobre la salud se establece como admisible.
- 2º) Cual es el porcentaje teórico de la población expuesta que se esta realmente protegiendo con dicho límite.

El establecimiento del límite, puede realizarse con tres criterios diferentes, y según el que se utilice, dará lugar a interpretaciones distintas.

### **5.2.2.- Definiciones**

#### *Criterios de valores máximos admisibles*

Con este criterio, se establece que la concentración de un contaminante en el lugar de trabajo no puede ser sobrepasada en ningún instante.

#### *Criterio de valores promedios*

Este criterio establece, que la concentración media de un contaminante en un determinado periodo, no puede superar un determinado valor límite. Normalmente este periodo se considera 8 horas día, ó 40 horas semanales.

En cualquier caso, los criterios de valoración deben tomarse como una referencia orientativa y nunca como una barrera entre la salud y la enfermedad.

#### *Criterio de cortos periodos de exposición*

Este criterio establece, que la concentración media de un contaminante en un determinado periodo, no debe superar un determinado valor límite. Normalmente este periodo se considera de 15 minutos.

### **5.2.3.-Criterios de evaluación existentes en diferentes países**

En la década de los 30, comienzan a desarrollarse en la URSS, ESTADOS UNIDOS y ALEMANIA, los primeros estudios sobre límites de exposición, siguiendo el concepto de concentración máxima tolerable.

En 1.950 cuando la A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) publica por primera vez una propuesta de "Valores Límite Umbral" (Threshold Limit Values), conocidos mundialmente como TLV's, de gran impacto en el campo de la salud laboral, hasta tal punto que la Administración norteamericana toma parte en estos valores como Estándares Ambientales oficiales, denominándolos PEL (Permissible Exposure Limits).

Todos estos límites, están siendo revisados continuamente.

En Alemania, se siguen unos criterios parecidos, denominándose valores MAK (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen).

Los valores de la URSS responden al concepto de Concentración Máxima Permissible (MAC) con un significado de valor techo.

### **5.2.4.- Situación en España**

La situación actual en España, está recogida por un lado en el "Reglamento de

Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas" (Decreto 2414/1961 de 30 de Noviembre publicado B.O.E. 7/3/62).

Este Reglamento establece una "Lista de concentraciones máximas permitidas en el ambiente interior de las explotaciones industriales" que, como su nombre indica, utiliza un criterio exclusivamente de valor techo.

Sin embargo, el continuo avance de los conocimientos sobre las sustancias, así como el continuo incremento de estas en el mercado han creado una situación de desfase del RAMINP, ya que el listado de este se ha quedado excesivamente corto, (contiene alrededor de 165 sustancias) y además no se ha modificado desde su publicación, por lo que ha venido siendo práctica común en nuestro país durante los últimos años la aplicación de otros criterios, en general más exigentes normalmente los valores TLV's de la ACGIH de los E.E.U.U.

Existen así mismo, reglamentaciones para algunos agentes químicos específicos:

- Amianto:

O.M. 31/10/84 (B.O.E. 07/11/84) traspone la directiva 83/477/CEE.

O.M. 26/07/93 (B.O.E. 05/08/93) traspone la directiva 91/382/CEE.

- Plomo:

O.M. 09/04/86 (B.O.E. 24/04/86) traspone la directiva 98/605/CEE.

- Cloruro de vinilo

O.M. 10/04/86 (B.O.E. 06/05/86) traspone la directiva 78/610/CEE:

La publicación de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, y del Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, que implican la utilización de valores límites de exposición para la valoración del riesgo debido a exposición a agentes químicos, y ante la situación existente, dio lugar a que el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) adoptase y publicase en 1998 unos "*Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España*".

Finalmente, señalar que la C.E.E. ha publicado 2 directivas relativas al establecimiento de valores límite ambientales, la 91/322/CEE y la 96/94/CEE.

En ellas hay un total de 50 agentes químicos con unos valores límite que son indicativos y que no es exigible su transposición a las legislaciones nacionales.

### **5.3.- CRITERIOS DE LA ACGIH: TLV's**

#### **5.3.1.- Definiciones**

Se han definido tres categorías de TLV's.

a) *TLV-TWA (Valor Limite Umbral-Media ponderada en el tiempo)*

Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin efectos adversos.

b) *TLV-STEL (Valor Límite Umbral-Límite de Exposición de Corta Duración)*

Concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos, no mas de 15 minutos, sin sufrir 1) Irritación, 2) Daños crónicos, 3) Narcosis, en grado suficiente para aumentar la probabilidad de accidentes laborales. Las exposiciones por encima del TLV-TWA hasta el valor STEL además de no superar los 15 minutos no deben de repetirse mas de 4 veces al día y debe de haber por lo menos un periodo de 60 minutos entre exposiciones sucesivas de ese rango, se podrían recomendar periodos de exposición distintos de 15 minutos cuando lo justifiquen los efectos biológicos observados.

c) *TLV-C (Valor Límite Umbral-Techo)*

Es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento de la exposición durante el trabajo. Para su valoración se admiten muestreos de 15 minutos, excepto para aquellas sustancias que puedan causar irritación inmediata con exposiciones muy cortas.

### **5.3.2.- Limites de desviación**

Para la inmensa mayoría de sustancias que tienen TLV-TWA no se disponen de suficientes datos toxicológicos para garantizar un STEL, no obstante se deben de controlar las desviaciones o variaciones por encima del TLV-TWA. La recomendación dada es la siguiente:

*"Las desviaciones en los niveles de exposición de los trabajadores, no deben de superar tres veces el valor TLV-TWA durante mas de 30 minutos en una jornada de trabajo, no debiéndose sobrepasar bajo ninguna circunstancia cinco veces dicho valor En cualquier caso, debe de respetarse el TLV-TWA fijado".*

Al revisar un gran número de encuestas sobre Higiene Industrial realizadas por el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), Leidel y colaboradores encontraron que en general, las mediciones correspondientes a exposiciones de corta duración, tenían una distribución logarítmica normal con una desviación geométrica standard que, la mayoría de las veces, fluctuaba entre 1,5 y 2.

La recomendación anterior es una simplificación considerable de la idea de la distribución logarítmico normal de las concentraciones, pero en la práctica de la

Higiene Industrial se considera más cómodo su uso. Si se mantienen las desviaciones de la exposición dentro de los límites recomendados, la desviación standard de las concentraciones medidas, se aproximará a 2,0 lográndose el objetivo de las recomendaciones, por el contrario, su incremento, aunque se respete el TLV-TWA demuestra que el proceso está mal controlado.

### **5.3.3.- Turnos de trabajo con horario especial**

La aplicación de los TLV's a trabajadores con turnos de trabajo diferentes a las 8 horas/día ó 40 horas/semanales, requiere una consideración particular si se quiere proteger a estos trabajadores en la misma medida que se hace con los que realizan la Jornada Normal de trabajo.

Como orientación en la valoración del riesgo en estos casos, los Higienistas aplican el "Modelo Brief y Scala", o el "Modelo de la OSHA".

El Modelo Brief y Scala es el mas conservador de los dos, reduciendo el TLV proporcionalmente tanto en el caso de un incremento del tiempo de exposición como en la reducción que se produce en el tiempo de no exposición. El modelo OSHA, clasifica a los contaminantes por tipos de efectos tóxicos y recomienda procedimientos de ajuste diferentes para los límites de exposición, sobre esta base, incluyendo el ajuste cero.

Ambos modelos, se aplican generalmente a turnos de trabajo superiores a 8 horas/día o 40 horas/semana. No deben de usarse para justificar exposiciones muy elevadas como permisibles, cuando los periodos de exposición son cortos, por ejemplo: Exposición a 8 veces el valor TLV/TWA durante 1 hora, y el resto del turno de trabajo a exposición o, en estos casos, se deben de aplicar las limitaciones generales de los límites de desviación anteriormente expuestos para evitar el uso incorrecto de los mismos.

#### **5.3.3.1.- Modelo Brief-Scala**

La corrección del TLV propuesto por este modelo se realiza a través de las siguientes fórmulas

$$\text{C\acute{o}mputo diario} \quad F_c = \frac{8}{hd} x \frac{24 - hd}{16}$$

$$\text{C\acute{o}mputo semanal} \quad F_c = \frac{40}{hs} x \frac{168 - hs}{128}$$

Siendo **Fc**: Factor de corrección

**hd**: horas/día

**hs**: horas/semana

Para conocer el valor del TLV corregido, basta con multiplicar el Fc calculado, por el TLV propuesto:

$$TLV_c = F_c \times TLV$$

Inconvenientes del método:

No considera la vida media biológica de las sustancias.

Sobrestima el grado hacia el que el TLV debe de ser reducido.

El Fc para una misma jornada de trabajo el igual para todas las sustancias.

La aplicación de este modelo es recomendable cuando los TLV,s están basados en efectos sistémicos y en casos de trabajos de 7 días/semana ó 35 horas/semana.

### 5.3.3.2.- Modelo OSHA

Para utilizar correctamente este método, hay que utilizar previamente una serie de tablas para clasificar las sustancias a evaluar por categorías de toxicidad, así como los efectos sobre la salud, con el fin de determinar si un determinado PEL requiere ajuste o no. Una vez ajustado este, las fórmulas para corregirlo son las siguientes:

$$\text{Cómputo diario} \quad F_c = \frac{8}{hd}$$

$$\text{Cómputo semanal} \quad F_c = \frac{40}{hs}$$

Siendo el PEL corregido  $PEL_c = PEL \times F_c$

### 5.3.3.3.- Modelo farmacocinético de Hickey y Reist

Existen formas más complejas basadas en modelos farmacocinéticos con los cuales los higienistas mas familiarizados con estos pueden hacer una evaluación más exacta del riesgo en casos específicos. Para la aplicación de estos modelos se necesita saber el valor de la vida media biológica de cada sustancia a evaluar y en algunos casos, otros datos adicionales.

Este modelo se basa en igualar la acumulación máxima de tóxico (acumulación pico) al final del ultimo día de la semana. Para sustancias con vida media muy corta, la acumulación pico se alcanza muy rápidamente y es igual en todos los ciclos de trabajo. En las sustancias con vida media muy larga, el factor de corrección es proporcional al numero de horas de exposición y no al modo en que estas están distribuidas.

La formula simplificada, para corregir el TLV, aplicada a ciclos diarios y semanales es:

$$F_p = \frac{(1 - e^{-8k})(1 - e^{-120k})}{(1 - e^{-t_1k})(1 - e^{-t_2k})}$$

Donde:

$F_p$	=	Factor de corrección
$K$	=	Constante de velocidad de eliminación de la sustancia en el organismo $K = \ln 2/t_{1/2}$
$t_{1/2}$	=	Vida media biológica de la sustancia en horas.
$t_1$	=	Horas/día
$t_2$	=	24 x días de trabajo a la semana.

El principal inconveniente de este método radica en la obtención de valores de la vida media biológica de las sustancias en el organismo.

### **5.3.4.- Asfixiantes simples**

No es posible recomendar un TLV para cada asfixiante simple porque el factor limitador es el oxígeno disponible. En condiciones normales el contenido en oxígeno debe de ser el 18% en volumen. Las atmosferas deficientes en  $O_2$  no proporcionan signos de alarma adecuados y la mayoría de los asfixiantes simples son inodoros. Por otro lado, varios asfixiantes simples suponen un peligro de explosión, factor que debe de tenerse en cuenta al limitar la concentración de asfixiante.

### **5.3.5.- Casos particulares de TLV's**

#### **5.3.5.1.- Sustancias cancerígenas**

Sustancias de uso industrial que tienen una acción cancerígena sobre el hombre o que, bajo condiciones de experimentación adecuadas, han provocado cáncer en los animales.

las dividen en cinco categorías diferentes:

*A1 - Cancerígenos confirmados en el humano:* El agente es cancerígeno en los humanos de acuerdo con el peso de la evidencia de los estudios epidemiológicos, o en la evidencia clínica convincente, en los humanos expuestos.

*A2 - Cancerígenos con sospecha de serlo en el humano:* El agente es cancerígeno en los animales de experimentación a niveles de dosis, ruta(s) de administración, puntos de tipo histológico o por mecanismos que se consideren importantes en la exposición de trabajadores. Los estudios epidemiológicos

disponibles son conflictivos o insuficientes para confirmar un aumento de riesgo de cáncer en los humanos expuestos.

*A3 - Cancerígenos en los animales:* El agente es cancerígeno en los animales de experimentación a dosis relativamente elevadas, ruta(s) de administración, puntos de tipo histológico o por mecanismos que se consideren importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un incremento de riesgo de cáncer en los humanos expuestos. La evidencia existente sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en los humanos excepto por rutas o niveles de exposición no frecuentes o poco probables.

*A4 - No clasificados como cancerígenos en humanos:* No hay datos adecuados para clasificar el agente en relación con su carcinogenicidad en los humanos y/o animales.

*A5 - No sospechoso como cancerígeno en humanos:* El agente no es sospechoso de ser cancerígeno en humanos basándose en los estudios epidemiológicos realizados adecuadamente en estos.

Las sustancias para las que no se disponen de datos de carcinogenesis en humanos o en animales de experimentación se las designa como no cancerígenas.

La exposición a cancerígenos debe de ser mínima. Los trabajadores expuestos a los cancerígenos A1 sin valor TLV deben ser equipados adecuadamente para eliminar al máximo posible toda exposición. Para los cancerígenos A1 con valor TLV y para los A2 y A3, la exposición para los trabajadores por cualquier vía de absorción, debe controlarse cuidadosamente a niveles tan bajos como sea posible por debajo del TLV.

### **5.3.5.2.- Sustancias de composición variable**

La asignación de valores límites a sustancias de composición variable presenta algunas dificultades. Para el caso de humos de soldadura de baja toxicidad, se les ha asignado un TLV-TWA de 5 mg/m<sup>3</sup>. Para el caso de los productos resultantes de la descomposición del Politetrafluoroetileno (Teflón), no hay asignado todavía un TLV, estando pendiente la determinación de la toxicidad de los productos resultantes.

### **5.3.5.3.- Mezclas de contaminantes**

Cuando se presente el caso de que existan 2 ó más sustancias, deben de tenerse en cuenta sus efectos combinados mas que sus efectos propios individuales o aislados, los efectos deben de considerarse aditivos siempre que no exista información en sentido contrario.

Si la suma de las fracciones:

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

C = Concentración contaminante

T = TLV del contaminante

supera la unidad, se está superando el TLV de la mezcla

Aunque ningún compuesto supera el TLV, el TLV de la mezcla si que se supera.

Si existen razones de peso, para creer que los efectos principales de las diferentes sustancias son independientes, o bien cuando varios componentes de la mezcla producen efectos puramente locales en diferentes órganos del cuerpo humano, se considera que el TLV de la mezcla esta superado cuando cualquiera de las fracciones

$$\frac{C_1}{T_1}, \frac{C_2}{T_2}, \dots, \frac{C_n}{T_n} \text{ supera la unidad}$$

### **5.3.6.- Limitaciones de uso de los TLV's**

La utilización de los TLV's debe de servir de guía en el control de los riesgos para la salud y no como línea divisoria entre concentraciones seguras y peligrosas.

En la práctica, lo mejor es mantener las concentraciones de todos los contaminantes atmosféricos, a un nivel lo mas bajo posible, a pesar de que no se crea probable que puedan sufrir efectos adversos graves a consecuencia de exposiciones a las concentraciones de los TLV's.

Estos límites se han establecido para ser utilizados en la práctica de la higiene industrial, y no pueden ni deben ser utilizados para otros objetivos como por ejemplo:

- Como índice relativo y comparativo de toxicidad
- Valoración o control de la contaminación atmosférica de una población
- Estimación del potencial tóxico a exposiciones continuas
- Prueba de diagnóstico de enfermedad o condición física
- Para adopción de paises cuyas condiciones de trabajo difieran de las de Estados Unidos.

## 5.4.- LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL ESPAÑOLES

### 5.4.1.- Objetivo y ámbito de aplicación

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 su descendencia.

No constituyen una barrera definida de separación entre situaciones seguras y peligrosas.

Se han establecido para su aplicación en la práctica de la Higiene Industrial y no para otras aplicaciones.

### 5.4.2.- Tipos de valores límite ambientales (VLA)

Se han definido dos tipos de valores límite ambientales. Los de exposición diaria (VLA-ED), y los de corta duración (VLA-EC).

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 esos agentes se puede absorber por vía cutánea, sea por manipulación directa del mismo, sea a través del contacto con los vapores con las partes desprotegidas de la piel, y esta aportación puede ser significativa para la dosis absorbida por el trabajador, el agente en cuestión aparece señalado 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 la prevención cutánea.

#### 5.4.2.1.- Valores límite ambientales-exposición diaria (VLA-ED)

Es el valor de referencia para la exposición diaria (ED), entendiendo esta como: *La concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto del tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.*

La exposición diaria puede calcularse matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$ED = \sum c_i t_i / 8$$

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

Estos valores 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 semanales, durante su vida laboral, sin sufrir efectos adversos.

Se han establecido teniendo en cuenta la información disponible, procedente de analogía físico-química de los agentes químicos, de los estudios de experimentación, de estudios epidemiológicos y de la experiencia industrial.

#### **5.4.2.2.- Valores límite ambientales-exposicion corta duración (VLA-EC)**

Es el valor de referencia para la exposición de corta duración (EC), entendiéndolo esta como:

*La concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifiquen un periodo de referencia inferior, en la lista de Valores limite.*

La exposición de corta duración puede calcularse matemáticamente por la siguiente formula:

$$EC = \sum c_i t_i / 15$$

Siendo

$c_i$  la concentración i-ésima

$t_i$  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 formula será igual a 15 minutos.*

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

#### **5.4.3.- Límites de desviación**

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 limites independientes, sino complementarios de los VLA que se hayan establecido para el agente en cuestión, tienen un fundamento estadístico.

Para los agentes químicos que tienen asignado VLA-ED pero no VLA-EC, se establece el producto 3 x VLA\_ED como el valor que no deberá superarse durante mas de 30 minutos en total a lo largo de la jornada de trabajo, no

debiéndose superar en ningún momento el valor 5 x VLA-ED.

## **5.5.- CRITERIOS DE VALORACIÓN DE SUSTANCIAS SIN VALORES LIMITE**

### **5.5.1.- Calculo de límites a través de información toxicológica**

Mediante este procedimiento se pueden establecer un valor limite provisional a partir de los siguientes parámetros:

- Dosis tóxica mínima (DT<sub>m</sub>)
- Dosis letal mínima (DL<sub>m</sub>)
- Dosis letal 50 (DL<sub>50</sub>)

Estos parámetros generalmente vienen expresados en mg de xenobiótico por Kg. de peso.

Como márgenes de seguridad para la exposición humana se toma la 1/100 de la DT<sub>m</sub>, 1/200 de la DL<sub>m</sub> y 1/400 de la DL<sub>50</sub>.

Los cálculos, en general, se realizan para un adulto humano de 75 Kg. de peso, suponiendo una frecuencia respiratoria de 20 l/min. y una jornada de 8 horas.

Así por ejemplo, una dosis equivalente a 1mg/Kg. para un adulto humano sería de 75 mg. Tomando como margen de seguridad para la exposición humana, la centésima parte de la dosis tóxica mínima, la dosis quedaría reducida a 0.75 mg. El valor limite así calculado sería:

$$VL = \frac{0.75}{20 \times 60 \times 8} = 8 \times 10^{-5} \text{ mg/l} = 0.08 \text{ mg/m}^3$$

### **5.5.2.- Calculo de límites a partir de analogía química**

Se lleva a cabo comparando los datos toxicológicos del contaminante al que se pretende asignar un valor limite, con los de otra sustancia de estructura similar y con valor límite establecido. El siguiente ejemplo muestra el modo de proceder, de acuerdo con este procedimiento.

*Se pretende asignar unos valores limite a dos éteres de glicol de uso industrial: **2-fenoxietanol** y **1-fenoxi-2-propanol**.*

De acuerdo con el estudio bibliográfico realizado, no hay evidencia de que los productos en cuestión sean carcinógenos, mutágenos o teratógenos. Tampoco se tiene evidencia de que sean sensibilizantes. Ambos productos son ligeramente irritantes para la piel y las mucosas. La información toxicológica

disponible se muestra en la tabla siguiente:

<b>SUSTANCIA</b>	<b>FORMULA</b>	<b>INFORMACIÓN TOXICOLOGICA</b>
<i>2-Fenoxietanol</i>	$C_6H_5-O-CH_2-CH_2OH$	Oral-rat $DL_{50}=4000$ mg/Kg
<i>1-Fenoxi-2-propanol</i>	$C_6H_5-O-CH_2-CHOH-CH_3$	Oral-rat $DL_{50}=3000$ mg/Kg

Par asignar el valor límite correspondiente, se comparan los datos con los correspondientes a otros productos de la misma familia química y que tengan valor límite establecido. Estos los encontramos en la tabla siguiente:

<b>SUSTANCIA</b>	<b>FORMULA</b>	<b>INFORMACIÓN TOXICOLOGICA</b>	<b>TLV-TWA (mg/m<sup>3</sup>)</b>
2-Butoxietanol	$C_4H_9-O-CH_2-CH_2OH$	Oral-rat $DL_{50}=2000$ mg/Kg	121
2-Etoxietanol	$C_2H_5-O-CH_2-CH_2OH$	Oral-rat $DL_{50}=3500$ mg/Kg	18
2-Metoxietanol	$CH_3-O-CH_2-CH_2OH$	Oral-rat $DL_{50}=2500$ mg/Kg	16
Eter metílico del propilenglicol	$CH_3-O-CH_2-CHOH-CH_3$	Oral-rat $DL_{50}=6000$ mg/Kg	369

El 2-etoxietanol y el 2-metoxietanol tienen valores TLV-TWA más bajos que otros compuestos de la misma familia química, por inducir alteraciones fisiopatológicas en el aparato reproductor de animales de experimentación y existir sospecha que puedan actuar de manera similar en el ser humano. Por otra parte, se observa que la Oral-rat  $DL_{50}$  del éter metílico del propilenglicol es tres veces mayor que la del 2-butoxietanol y lo mismo sucede aproximadamente con su TLV-TWA. Así mismo, de la bibliografía que ambas sustancias son irritantes para piel y mucosas, al igual que las dos de las que se pretende asignar un valor límite. Estas tienen una oral-rat  $DL_{50}$  comprendida entre la del más tóxico y la del menos tóxico. En tales circunstancias, podría adoptarse para las dos sustancias en cuestión un valor límite de 100 mg/m<sup>3</sup>, ligeramente inferior al TLV-TWA del más tóxico, consiguiendo así un margen de seguridad aceptable.

## **6.- EVALUACION DE LA EXPOSICIÓN LABORAL**

### **6.1.- INTRODUCCIÓN**

La realización de evaluaciones representativas de la exposición laboral a los contaminantes presentes en el aire es una tarea difícil. Sin embargo es necesaria para obtener información, evaluar y minimizar la exposición a agentes químicos, y requiere el diseño de una estrategia de muestreo adecuada, que nos permita obtener una estimación válida y representativa de la situación real.

Esta estrategia de muestreo ha de estudiar el número de muestras necesario y las características de las mismas para afirmar, con una determinada certeza, el nivel de riesgo existente. Estas características son fundamentalmente: duración de cada muestra, duración del periodo de muestreo, hora adecuada del muestreo, número de días necesarios para el mismo y frecuencia entre dos mediciones.

Los procedimientos de evaluación que tradicionalmente se ha seguido en España son la estrategia de muestreo diseñada por los americanos y basada en las publicaciones de N.A. Leidel que es un procedimiento estadístico y la determinación del % de dosis. Sin embargo, con el desarrollo de una Legislación Comunitaria, se están desarrollando una serie de normas entre las cuales se encuentra la Norma Europea EN 689, publicada en Febrero de 1995 y traducida al español y publicada en Marzo de 1996, sobre *directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición*.

### **6.2.- DIRECTRICES GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL A AGENTES QUÍMICOS.**

La realización de la evaluación de la exposición laboral a agentes químicos se lleva a cabo mediante una técnica de encuesta higiénica que es la técnica de actuación en higiene industrial, y tiene como fin obtener la información necesaria que permita desarrollar las medidas de control, para eliminar las situaciones de riesgo.

Esta encuesta se realiza en varias fases:

- Centrado previo de problema.
- Identificación del riesgo.
- Cuantificación del riesgo: evaluación
- Toma de decisiones.

#### **6.2.1.- Centrado previo del problema**

En esta fase se debe obtener la información necesaria para identificar las exposiciones potenciales y determinar los factores de exposición en el lugar de trabajo.

- Identificación de exposiciones potenciales:

- Productos manipulados:

- Materias primas.
    - Impurezas.
    - Productos intermedios.
    - Productos finales.

- Determinación de los factores de exposición.

- Procesos de producción.
  - Los ciclos y técnicas de trabajo.
  - Las tareas del trabajo.
  - La configuración del lugar de trabajo.
  - Las medidas y procedimientos de seguridad.
  - Las instalaciones de ventilación y otras formas de control técnico.
  - Las fuentes de emisión.
  - Los periodos de exposición.
  - La carga de trabajo.
  - El número de trabajadores potencialmente expuestos.
  - Datos epidemiológicos.
  - Etc.

Del análisis de todos estos factores se hará una identificación del *riesgo potencial* existente en el lugar de trabajo.

Toxicidad y riesgo no son sinónimos. Mientras que la toxicidad es una propiedad de la propia sustancia, el riesgo potencial derivado de su uso viene dado por:

a) Factores que afectan a las concentraciones de sustancias en el aire:

- El número de fuentes emisoras de agentes químicos;
  - El ritmo de producción en relación con la capacidad de producción;
  - El grado de emisión de cada fuente;
  - El tipo y el emplazamiento de cada fuente;
  - El tipo y el emplazamiento de cada fuente;
  - La dispersión de los agentes debida al movimiento del aire;
  - El tipo y la eficacia de los sistemas de extracción y ventilación;

b) factores relacionados con actuaciones y comportamientos individuales;

- La proximidad del individuo a las fuentes;
- El tiempo de permanencia en cada zona;
- Los hábitos individuales de trabajo;
- La especial sensibilidad al agente por parte de alguna de las personas expuestas.

Con la recopilación de todos estos datos se realiza una *estimación inicial* de la situación en que se encuentra el lugar de trabajo. Cuando esta estimación inicial no permita excluir con certeza la presencia de un agente en el aire en el lugar de trabajo es necesario continuar la investigación con un *estudio básico* que nos proporcionara información cuantitativa sobre la exposición de los trabajadores afectados teniendo en cuenta, especialmente, las tareas con mayores exposiciones. Las posibles fuentes de información son:

- Mediciones anteriores;
- Mediciones en instalaciones o en procesos comparables;
- Cálculos fiables basados en datos cuantitativos apropiados.

Si a pesar de todo la información obtenida no es suficiente para poder hacer una comparación válida con los valores límite, el estudio debe completarse con mediciones en el propio lugar de trabajo, es decir, es necesario realizar un *estudio detallado* del lugar de trabajo.

### **6.2.2.- Estrategia previa de medición**

Como regla general, para obtener datos cuantitativos de las exposiciones, a través de la realización de mediciones, es preciso un enfoque que permita el uso más eficaz de los recursos.

Si los niveles de exposición son claramente inferiores o superiores a los valores límite, la confirmación de estas situaciones puede realizarse usando técnicas fáciles de aplicar y que pueden ser no tan precisas. Es frecuente en estos casos que la evaluación de la exposición laboral pueda concluirse sin investigaciones adicionales.

En otros casos, cuando se sospecha que las exposiciones están próximas al valor límite, será necesario emprender una investigación más precisa, utilizando al completo las capacidades técnicas instrumentales y analíticas de que se disponga. En este caso hay que considerar tres apartados:

- Selección de trabajadores a medir:
- Selección de las condiciones de medida.
- Procedimiento de medida.

### 6.2.2.1.-Selección de trabajadores

Cuando se realiza un estudio detallado del lugar de trabajo, en primer lugar hay que elaborar un programa de muestreo para todos los trabajadores que puedan estar expuestos.

Esto puede suponer un elevado coste del estudio, y para reducirlo al menos inicialmente, se suele realizar una selección de trabajadores para las mediciones de exposición.

No es posible definir con precisión un procedimiento para la selección de un trabajador o de un grupo de trabajadores para las mediciones de exposición. Sin embargo si se pueden dar unas directrices generales.

Una posibilidad es el muestreo aleatorio de trabajadores en el conjunto de la población expuesta. Sin embargo, desde un punto de vista estadístico, esto requiere un número relativamente grande de muestras. Además, en muchos lugares de trabajo, si se utiliza este procedimiento, hay un riesgo considerable de que puedan pasarse por alto pequeños subgrupos de personas altamente expuestas.

Es preferible subdividir la población expuesta en grupos homogéneos de exposición que tendrán una variabilidad del nivel de exposición mucho menor. En cualquier caso, como regla práctica, si la exposición de un trabajador es menor que la mitad o mayor que el doble de la media aritmética del grupo, hay que reexaminar los factores de exposición en el lugar de trabajo para determinar si la hipótesis de homogeneidad fue correcta.

Los grupos se seleccionan mediante un estudio crítico de los ciclos de trabajo y el examen de los resultados de los estudios preliminares.

Los agrupamientos tienen la ventaja práctica, de que los recursos pueden concentrarse en aquellos grupos de trabajadores con mayor exposición atendiendo a criterios como:

- Distancia a la fuente
- Movimientos del trabajador
- Movimientos del aire
- Operaciones de trabajo
- Tiempo de exposición

Con respecto al tamaño de la muestra, como regla general, el muestreo debería efectuarse, al menos, a un trabajador de cada diez en un grupo homogéneo adecuadamente seleccionado.

### **6.2.2.2.- Selección de las condiciones de medida**

Una vez establecida la situación en que se encuentra el puesto de trabajo y escogidos los trabajadores, se procede al muestreo con objeto de obtener el grado de contaminación que potencialmente tiene que soportar el trabajador.

#### *Representatividad del muestreo*

El objetivo fundamental del muestreo será pues obtener resultados que respondan a las condiciones reales del ambiente en puesto de trabajo dando una estimación suficientemente aproximada de las concentraciones verdaderas a las que los trabajadores están expuestos.

En la práctica esto presenta una serie de dificultades que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- 1.- La variación de las concentraciones ambientales puede ser fuerte incluso a cortas distancias.
- 2.- Los trabajadores pueden variar frecuentemente de posición y en ocasiones de actividad.
- 3.- Las condiciones de trabajo habitualmente varían a lo largo de la jornada de trabajo y entre diferentes días.
- 4.- La relación de volumen muestreado a volumen de aire ambiental es muy baja.
- 5.- El tiempo de muestreo es forzosamente limitado.
- 6.- Los aparatos y métodos de medición, toma de muestra y análisis introducen errores aleatorios inevitables.

Es pues necesario tener un conocimiento profundo de todos ellos para elegir un sistema de muestreo que permita obtener unos resultados representativos de la situación del trabajador expuesto.

#### *Clases de muestreo*

Ya hemos visto que la elección del tipo de muestreo es fundamental debido a la gran cantidad de factores que influyen sobre su Representatividad, y las distintas clases de contaminantes que se deben de captar. Por ello no puede hablarse de una clasificación única de los distintos métodos utilizados para la toma de muestras.

Los distintos métodos se pueden clasificar:

- Por sus características:
  - ◆ De lectura directa
  - ◆ Captación del contaminante existente en una cantidad de aire medida.
- Por el tipo de contaminante:
  - ◆ Polvos, humos, nieblas, etc.
  - ◆ Gases y vapores
- Por la localización de la muestra:
  - ◆ Personal
  - ◆ Zona respiratoria
  - ◆ Ambiental
- Por el tiempo de muestreo:
  - ◆ Muestras únicas periodo completo
  - ◆ Muestras consecutivas periodo completo
  - ◆ Muestras consecutivas periodo parcial
  - ◆ Muestras puntuales

Respecto a las dos primeras clases, posteriormente veremos los aparatos que se utilizan según la clase de muestra a tomar y por ello no merece la pena un mayor comentario.

Respecto a la localización de la muestra, hay que señalar que el muestreo ambiental no es aconsejable en higiene industrial como se ha demostrado en numerosos estudios.

El muestreo personal es el de mayor interés, pues permite un muestreo continuado en vías respiratorias, acompañando al trabajador al lugar a que se desplace.

El muestreo en zona respiratoria es adecuado, pero la exigencia de una segunda persona para portar el sistema de muestreo y mantenerlo en todo momento en la zona respiratoria del trabajador, lo hace adecuado sólo para muestras de corta duración.

La elección del tiempo de muestreo es crítica para la obtención de muestras representativas. La figura 6 muestra gráficamente los distintos tipos de muestras que se pueden tomar de acuerdo con su duración:

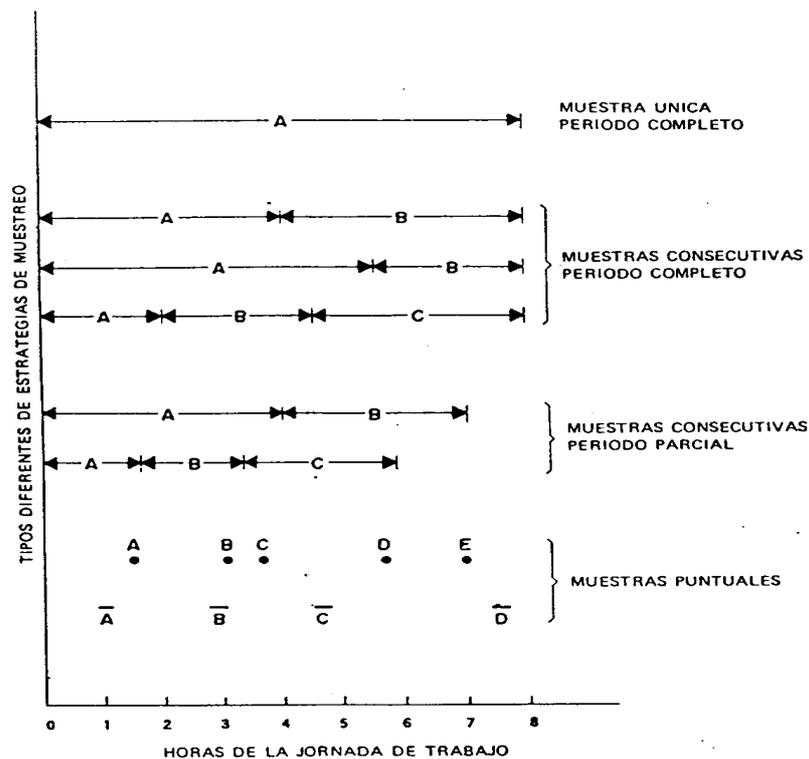


Fig. 6. - Tipos de muestreo por su duración

### Muestra única periodo completo

La muestra se toma durante un periodo de tiempo igual a aquel para el que está definido el standard. Normalmente este tiempo es de 8 horas para un standard TWA y 15 minutos para un standard techo.

Es un buen sistema de toma de muestra. Presenta el inconveniente de que hay que disponer de un método de toma de muestra/análisis que lo permita.

### Muestras consecutivas periodo completo

Se toman varias muestras consecutivas de igual o diferente duración durante todo el tiempo para el que está definido el standard.

Es la mejor estrategia de muestreo. Estadísticamente es preferible mayor o número de muestras consecutivas y periodos cortos de tiempo, pero económicamente el coste se incrementa fuertemente al incrementar el número de muestras. Conduce a unos niveles de confianza más estrechos en la estimación de la exposición.

### Muestras consecutivas periodo parcial

Se obtienen una o varias muestras de igual o diferente duración durante una porción de tiempo para el cual está definido el standard.

Debe hacerse el muestreo al menos un 70-80% del periodo completo. Su mayor problema es como considerar la porción de periodo no muestreado, ya que estrictamente hablando la medida sólo resulta válida para el periodo de tiempo cubierto por el muestreo.

### Muestras puntuales

Son aquellas muestras de corta duración (generalmente minutos o segundos) que se toman a intervalos aleatoriamente distribuidos a lo largo del periodo de tiempo para el cual está definido el standard.

Es la peor estrategia de todas para la valoración de la exposición diaria. Los límites de confianza son tan amplios que es preciso tener unos resultados de exposición muy bajos, para demostrar estadísticamente el cumplimiento de standard.

Si tuviera que realizarse este tipo de muestreo, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

El número mínimo de muestras a tomar, será de 5, recomendándose de 8 a 11 siempre que las condiciones de trabajo sean relativamente constantes.

Si las condiciones de trabajo varían mucho, deberán incrementarse sensiblemente el número de muestras.

La duración de cada muestra será el mínimo necesario para recoger suficiente cantidad de muestra para análisis.

Los periodos en los cuales se realizaran los muestreos se seleccionarán de forma aleatoria.

### **6.2.2.3.- Modelo para la medición**

El modelo para la medición puede estar influenciado por ciertos problemas prácticos, tales como la frecuencia y la duración de algunas tareas, y el uso óptimo de los recursos analíticos y de la higiene industrial. Dentro de estas limitaciones, el muestreo debe de organizarse de manera que los datos sean representativos de las tareas identificadas por periodos conocidos. Esto es particularmente importante en muchos lugares de trabajo, donde las tareas cambian durante el periodo de trabajo, lo que puede implicar interrupciones y no poder alcanzar una duración de 8 horas a lo largo de la jornada.

Siempre que, durante un período de trabajo, el perfil de la concentración no cambie de forma significativa, pueden seleccionarse los tiempos de muestreo que no cubran el período completo. En la practica, la duración de un muestreo individual viene determinada por las limitaciones del método de toma de muestra y análisis.

Sin embargo, el tiempo no muestreado es el principal punto débil en la credibilidad de cualquier medición de exposición. Durante este tiempo, es necesaria una observación cuidadosa de los hechos. La hipótesis de que no han ocurrido cambios durante el período no muestreado tiene que ser examinada siempre de forma crítica.

Si una exposición se caracteriza por presentar picos de concentración, éstos tienen que evaluarse de acuerdo con los requisitos de los límites de corta duración, si los hubiere.

También debe de tenerse en cuenta, el hecho de que los trabajadores puedan estar expuestos de forma simultánea o consecutiva a más de un agente.

#### **6.2.3.4.- Procedimiento de medida**

El procedimiento de medida debe de dar resultados representativos del trabajador. Para ello la exposición debe de medirse utilizando equipos para el muestreo personal fijados en el individuo.

El procedimiento de medida debería incluir:

- Los agentes;
- El procedimiento de muestreo;
- El procedimiento analítico;
- El(los) emplazamiento(s) del muestreo;
- La duración del muestreo;
- La distribución en el tiempo y el intervalo de las mediciones;
- Los cálculos que proporcionan la concentración de la exposición laboral, a partir de los resultados analíticos individuales;
- Las instrucciones técnicas adicionales adecuadas a las mediciones;
- Las tareas a controlar.

## 6.3.- METODO ESTADÍSTICO

### 6.3.1.- Generalidades

En general se considera que la variación de las concentraciones en un puesto de trabajo tanto intra como interdías, esta lognormalmente distribuida, mientras que los errores de muestreo y análisis adoptan una distribución normal.

Una distribución normal se caracteriza por el valor medio y la desviación típica. El valor medio coincide con la media aritmética, y la desviación típica estima la dispersión de los diferentes valores medidos en torno al valor medio.

La distribución Lognormal está caracterizada por la media geométrica y la desviación típica geométrica. Esto es, la transformación logarítmica de los datos de una distribución lognormal se dispone normalmente.

La variación de los datos ambientales puede ser repartida en tres componentes mayoritarios:

- Errores del método de muestreo
- Errores del método de análisis
- Variaciones ambientales con el tiempo

Las dos primeras son normalmente conocidas, y siguen una distribución normal como se ha dicho anteriormente, caracterizada por su media y su desviación típica. En la práctica se utilizan las concentraciones relativas y desviación típica relativa conocida comúnmente como coeficiente de variación, para que la distribución sea independiente del standard elegido:

$$C_r = \frac{X}{STD} \qquad C_v = \frac{\sigma}{STD}$$

Se utiliza como un índice de dispersión, de manera que dentro de los límites comprendidos entre la media verdadera, mas o menos dos veces el coeficiente de variación, se encontrarán aproximadamente el 95% de los datos medidos.

Un laboratorio debe de conocer los coeficientes de variación del aparato de muestreo (CVp) y el coeficiente de variación de método analítico (CVa). El coeficiente de variación total será:

$$Cv_t = \sqrt{{}^1(Cv_p)^2 + (Cv_a)^2}$$

En la tabla 6 se dan algunos coeficientes de variación.

<b>MÉTODO DE TOMA DE MUESTRAS/ANÁLISIS</b>	<b>C. V.</b>
- Tubos colorimétricos	0,14
- Medida del caudal en bombas personales con rotámetro (muestreo solamente)	0,05
- Tubos de carbón activo (toma de muestras/análisis)	0,10
- Asbestos (toma de muestras/contaje)	0,24 - 0,38
- Polvo respirable, excepto en minas de carbón (toma de muestras/análisis)	0,09
- Polvo total (toma de muestras análisis)	0,05

Tabla 6. - Coeficientes de variación para algunos métodos de toma de muestra y análisis

Las variaciones ambientales de las concentraciones adoptan una distribución lognormal, debido a una serie de condicionantes entre los que caben destacar:

- Las concentraciones que se encuentran pueden cubrir un amplio rango de valores, con frecuencia, de varios ordenes de magnitud incluida la concentración cero.
- La variación de las concentraciones medidas puede ser del mismo orden de tamaño que el valor medio.
- Hay una probabilidad finita de encontrar valores muy altos.

Por tanto, estas variaciones que tienen lugar tanto en el día o entre días, se caracterizarán mediante la desviación típica geométrica (DTG). Una DTG de 1,0 indica ausencia de variabilidad en el ambiente. Una DTG de 2,0 o superior, indica una variabilidad relativamente alta.

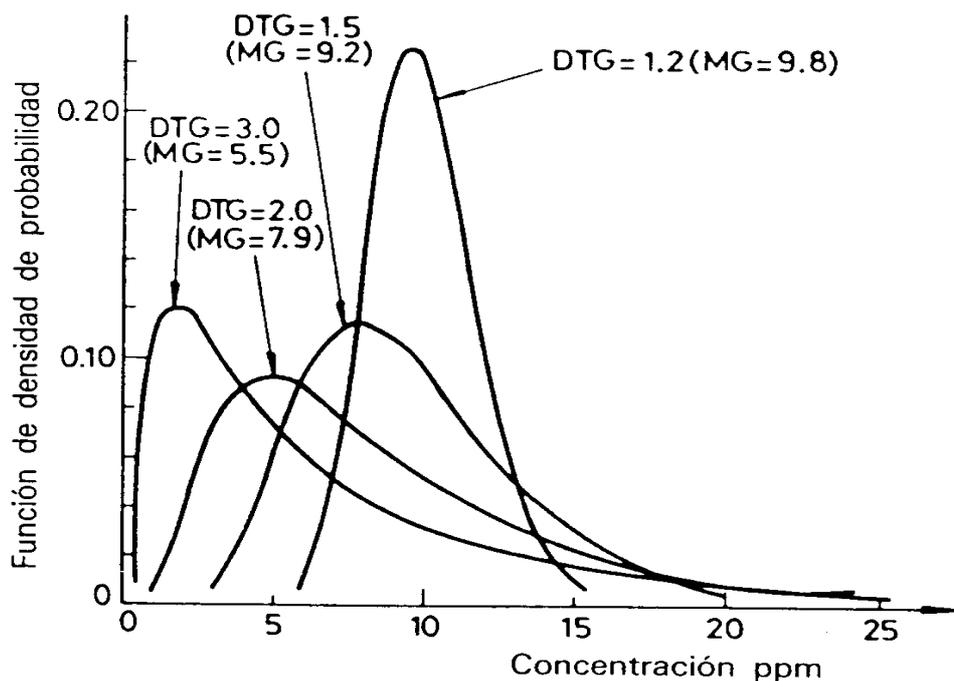


Fig. 7. - Variación de la distribución lognormal en función de la DTG

Como se observa en la figura 7, cuanto menor es la variabilidad, más se aproxima una distribución lognormal a una distribución normal.

### 6.3.2.- Parámetros utilizados

#### 6.3.2.1.- Límites de confianza

Es imposible conocer el valor verdadero de la concentración, pero si es posible determinar los extremos superior e inferior de un intervalo, que con una determinada posibilidad incluyan el valor verdadero. Estos extremos son los llamados límites de confianza superior (LCS) e inferior (LCI) que se utilizan en la valoración de los resultados obtenidos.

El método de obtención de estos límites de confianza, variará según la estrategia de muestreo realizada.

La verificación del cumplimiento o no con el standard es clasificada según la siguiente forma:

CLASIFICACIÓN	DEFINICION	CRITERIO ESTADÍSTICO
A - NO CONFORME	Existe un 95% de posibilidades (basado en las mediciones de que un trabajador esté expuesto a concentraciones superiores al standard	LCI(95%) > STD
B - INDECISIÓN	Cualquier situación que no pueda ser clasificada en A ó en C	
C - CONFORME	Existe un 95% de posibilidades (basado en las mediciones) de que la exposición del trabajador sea inferior al standard	LCS (95%) <STD

Tabla 7. - Clasificación de la situación un puesto de trabajo en función de los límites de confianza

Pues bien, si  $\bar{x}$  es la concentración media ponderada, para el caso de muestras consecutivas periodo completo o parcial, o la media relativa en el caso de muestra única periodo completo, tenemos que:

Si  $LCI > 1$ , el puesto se clasifica como *NO CONFORME*

$$Si \bar{X} / STD > 1$$

$$y$$

$$LCI < 1$$

ó

$$Si \bar{X} / STD < 1$$

y

$$LCS > 1$$

el puesto se clasifica como *INDECISIÓN*

$$Si LCS < 1$$

el puesto se clasifica como *CONFORME*

La figura 8 ilustra gráficamente estas situaciones:

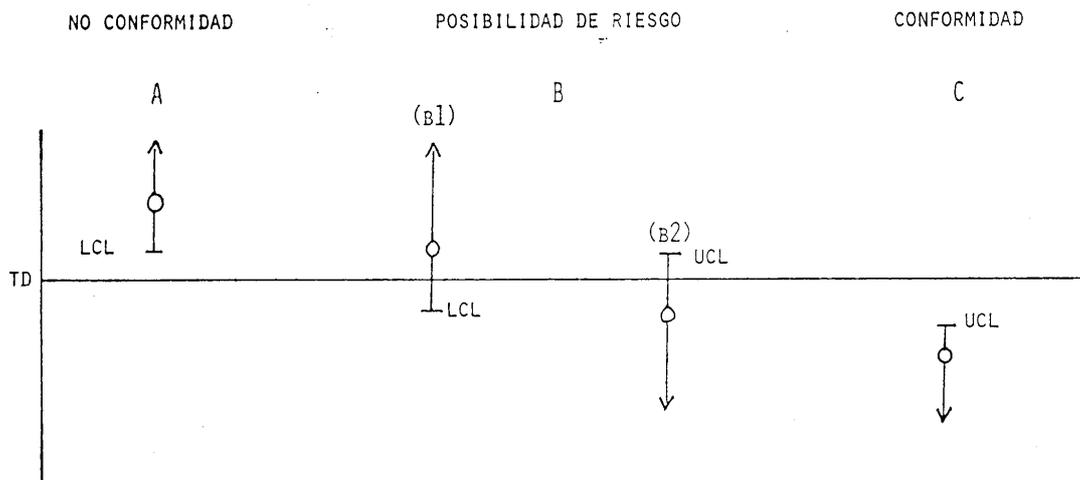


Fig. 8. - Gráfica de posibles situaciones de un puesto de trabajo

Con objeto de realizar una programación de muestreos sistemáticos, se realiza una clasificación más completa teniendo en cuenta el nivel de acción.

Como nivel de acción se define a la concentración por debajo de la cual se considera que no existe exposición, y por tanto ninguna acción de control es necesaria. Usualmente se utiliza la mitad del TLV.

La figura 9 nos da la clasificación teniendo en cuenta el nivel de acción.

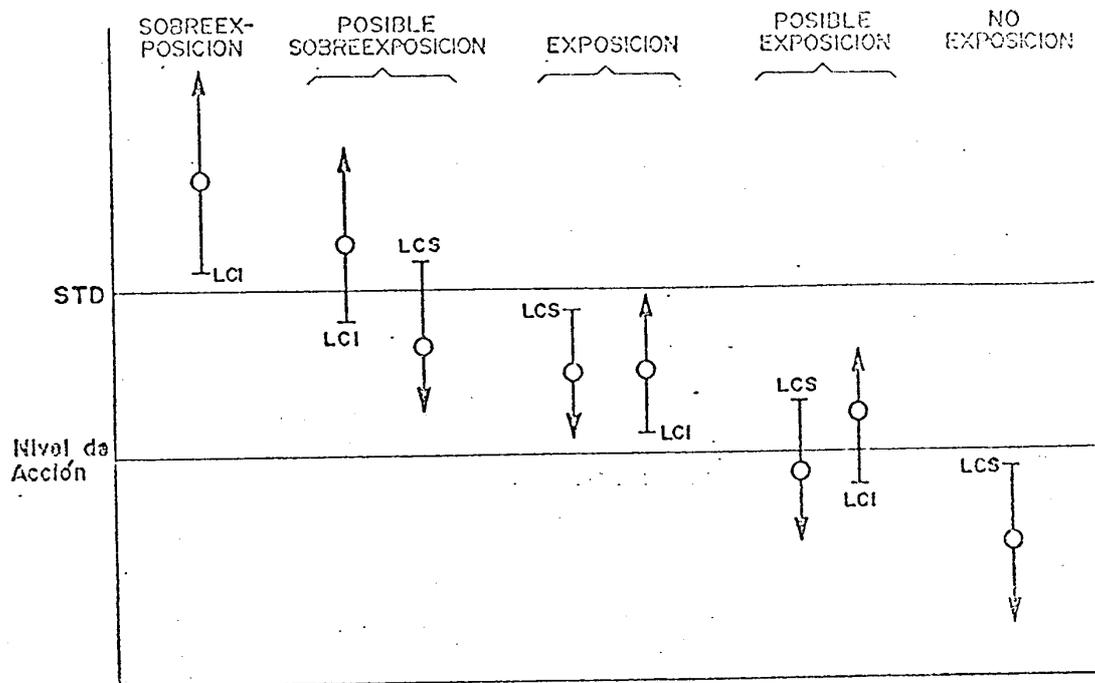


Fig. 9. - Posibles situaciones de un puesto de trabajo en función del nivel de acción

### 6.3.2.2.- Calculo de los límites de confianza

- *Muestras consecutivas periodo completo o muestras consecutivas periodo parcial.*

1) Cuando las concentraciones ambientales obtenidas son uniformes, la distribución es de tipo normal.

Si las concentraciones obtenidas son:  
 $x_1, x_2, \dots, x_n$  durante los tiempos  $t_1, t_2, \dots, t_n$

La concentración media ponderada en el tiempo de muestreo será:

$$\bar{x} = \frac{x_1 t_1 + x_2 t_2 + \dots + x_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

y los límites de confianza se calculan mediante las expresiones

$$\text{LCS} = \frac{\bar{x}}{\text{STD}} + \frac{1,645 C_{v_t} \sqrt{\frac{i}{1} \sum t_i^2}}{\sum t_i^2}$$
$$\text{LCI} = \frac{\bar{x}}{\text{STD}} - \frac{1,645 C_{v_t} \sqrt{\frac{i}{1} \sum t_i^2}}{\sum t_i^2}$$

En el caso de una muestra única se convierte en las expresiones.

$$\text{LCS} = \frac{\bar{x}}{\text{STD}} + 1,645 C_{v_t}$$

$$\text{LCS} = \frac{\bar{x}}{\text{STD}} - 1,645 C_{v_t}$$

Este procedimiento es exacto con un nivel de confianza del 95%

2) Cuando las concentraciones obtenidas no son uniformes, la distribución que seguirán será del tipo lognormal.

En este caso los límites de confianza vienen dados por las expresiones:

$$\text{LCS} = \frac{\bar{x}}{\text{STD}} + \frac{1,645 C_{v_t} \sqrt{t_1^2 x_1^2 + \dots + t_n^2 x_n^2}}{\text{STD}(t_1 + t_2 + \dots + t_n) \sqrt{1 + C_{v_t}^2}}$$

$$LCI = \frac{\bar{x}}{STD} - \frac{1,645Cv_t \sqrt{t_1^2 x_1^2 + \dots + t_n^2 x_n^2}}{STD(t_1 + t_2 + \dots + t_n) \sqrt{1 + Cv_t^2}}$$

Este procedimiento no es exacto y normalmente tiene un nivel de confianza mayor del 95%, sobrestimando el error de muestreo en la concentración media. Esto es para una misma x, este procedimiento de cálculo dará un mayor LCS y un menor LCI.

▪ *Muestras Puntuales*

1) Pequeño número de muestras (menos de 30 durante toda la jornada).

- Sea  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ( $n < 30$ ) los resultados de las muestras puntuales tomadas en n periodos aleatoriamente elegidos durante la jornada.
- Calcular los valores relativos de las concentraciones obtenidas, dividiendo su valor por el standard

$x_i = \frac{X_i}{STD}$  a este valor le llamaremos concentración relativa.

- Hallar el logaritmo (log 10) de cada una de las concentraciones relativas, tendremos así

$y_1 = \log x_1 ; y_2 = \log x_2 ; \dots ; y_n = \log x_n$

- Calcular la media aritmética " y " de los valores  $y_i$  y la desviación standard de su distribución "s" mediante las fórmulas

$$Y = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + \dots + y_n)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2 - n y^2)}$$

- Ir al gráfico de decisión (fig. 10), en donde:

La variable de decisión Y aparece en el gráfico en ordenadas, y la variable S en abcisas.

- Dos familias de curvas limitan las regiones de calificación. Cada uno de estos límites es función del número de muestras obtenidas "n".
- Usar el gráfico de decisión de la siguiente manera:
  - Señalar un punto en el gráfico, definido por los valores Y, y, S.

- Si el punto así definido, cae en o por encima de la curva superior correspondiente al número de muestras "n", entonces la exposición será clasificada como *NO CONFORME*.
- Si por el contrario, el punto cae por debajo de la correspondiente curva inferior, entonces será clasificada como *CONFORME*
- Si el punto queda situado entre las dos curvas, entonces se clasificará como *INDECISIÓN*
- Si el valor de s es mayor de 0,5, es porque una o más de las concentraciones obtenidas, está relativamente muy distante del cuerpo principal de la distribución. Cuando esto sucede, deberán realizarse muestreos adicionales.
- Si por el contrario, el punto cae por debajo de la correspondiente curva inferior, entonces será clasificada como *CONFORME*
- Si el punto queda situado entre las dos curvas, entonces se clasificará como *INDECISIÓN*
- Si el valor de s es mayor de 0,5, es porque una o más de las concentraciones obtenidas, está relativamente muy distante del cuerpo principal.

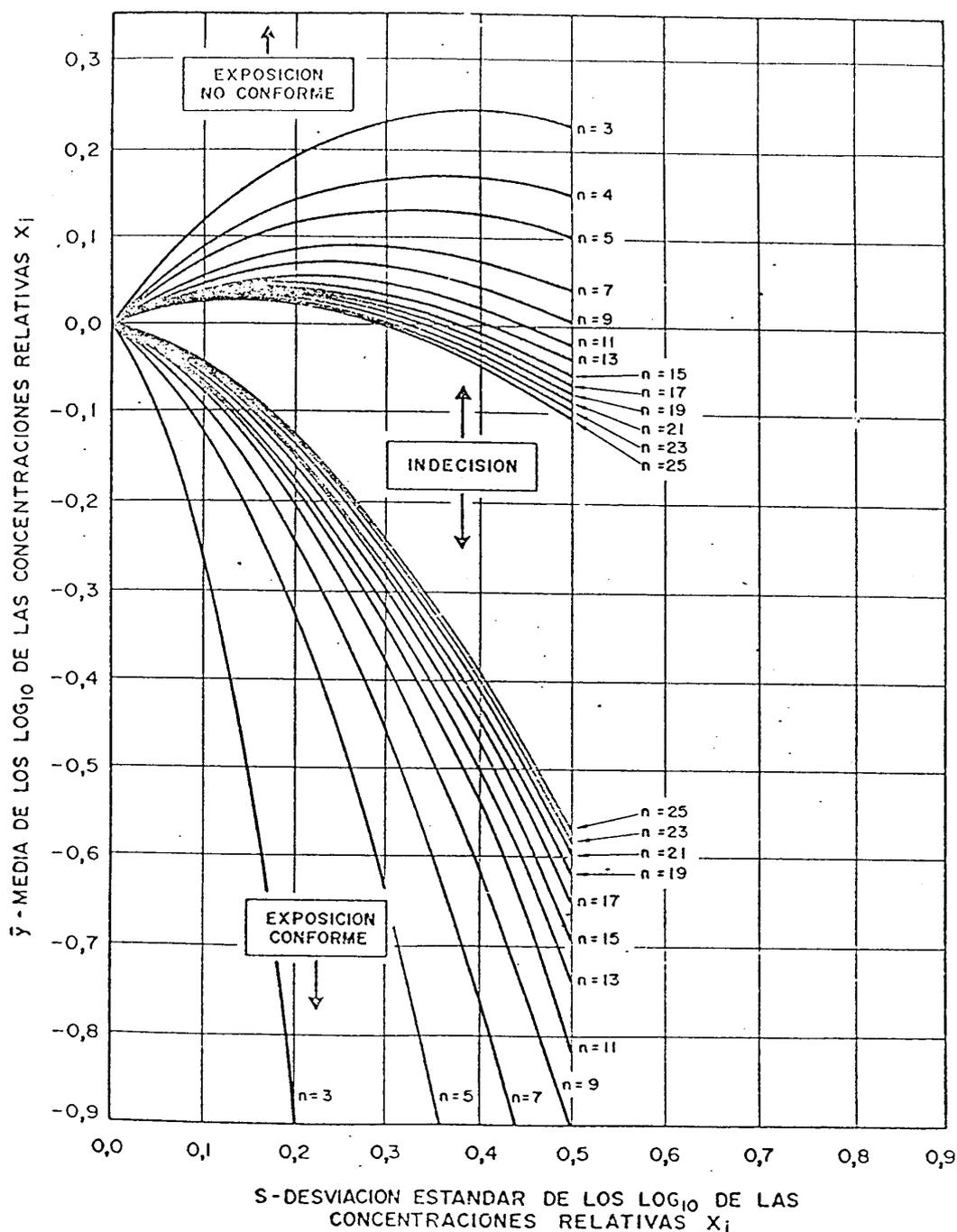


Fig. 10.- Gráfico de decisión para una estrategia de muestras puntuales

Calcular el valor de la exposición media más probable  $x^*$  utilizando el gráfico de estimación de exposición y los valores de Y y S (fig. 11) de la siguiente manera:

- Señalar en el gráfico la situación del punto (S, Y).
- Seguir la curva que pasa por ese punto hasta el eje de ordenadas de la derecha; Leyendo en el valor  $(x^*/STD)$  correspondiente. Interpolando para encontrar el valor de  $(x^*/STD)$  correspondiente puntos que no caigan exactamente encima de una de las curvas del gráfico.

- Calcular  $x^* = (x^*/STD) \times STD$
- Si los valores de "Y" y/o "S" están fuera de rango, entonces utilizar la fórmula

$$\frac{\bar{x}}{STD} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

para estimar la exposición media relativa.

**2) Gran número de muestras (más de 30 muestras durante toda la jornada)**

sean  $x_1, x_2, \dots, x_n$  los valores de concentración de las muestras obtenidas.

Calcular las concentraciones relativas  $X_i = \frac{x_i}{STD}$

Calcular la media aritmética y la desviación estándar de las concentraciones relativas

$$\bar{x} = \frac{1}{n}X_1 + X_2 + \dots + X_n$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}(X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2 - n\bar{x}^2)}$$

- Calcular LCI o LCS de la siguiente forma

$$LCI = X - \frac{1,645s}{\sqrt{n}}$$

$$LCS = X + \frac{1,645s}{\sqrt{n}}$$

- Decisión:

Si  $LCI > 1$  clasificar como **NO CONFORME**

Si  $LCS < 1$  clasificar como **CONFORME**

Si  $LCI < 1$  y  $LCS > 1$  clasificar como **INDECISIÓN**

$$\bar{X}^*/STD = 1,05$$

$$\bar{X}^* = (1,05) (1000 \text{ ppm}) = 1050 \text{ ppm}$$

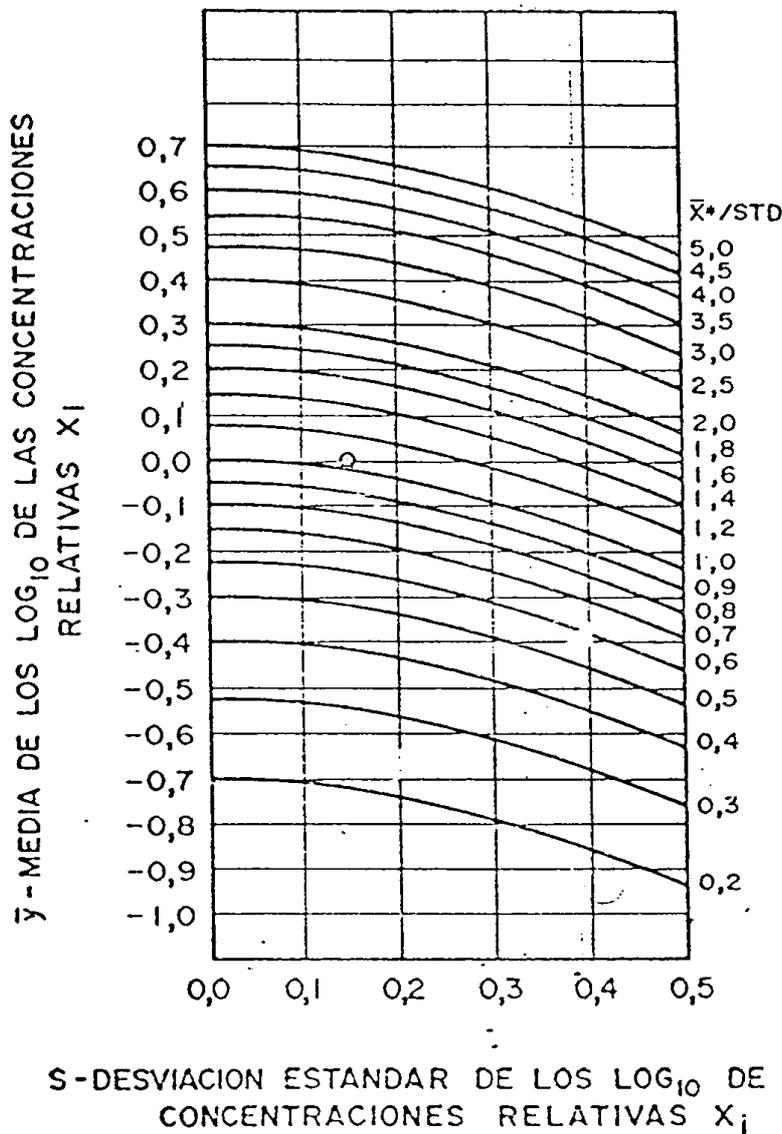


Fig. 11. - gráfico para estimar la exposición media más probable, para estrategias de muestras puntuales

### 6.3.2.3.- Probabilidad de sobreexposición

Como se ha comentado anteriormente, la variabilidad ambiental entre días, es grande, por lo que resulta de gran interés para un correcto control de la situación ambiental de un puesto de trabajo, ver cual es la probabilidad de que en un momento determinado se pueda superar el standard establecido.

La probabilidad de sobreexposición es un indicador cuantitativo del riesgo higiénico. Representa el porcentaje de veces (o tanto por uno) que la concentración del agente químico considerado sobrepasa el valor límite.

El método de cálculo está basado en que la distribución que siguen las concentraciones medias obtenidas en distintos días, es de tipo lognormal.

La metodología a seguir es la siguiente:

a) Calcular las concentraciones medias diarias "relativas"; dividiendo las concentraciones por el correspondiente standard. Es decir obtener:

$$X = \frac{x_i}{STD}$$

b) Hallar los log de las concentraciones medias relativas

$$Y = \log X$$

c) Calcular la media aritmética de los valores de los logaritmos y la desviación standard de los mismos.

Es decir calcular:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

d) La exposición media a largo plazo, viene dada por la media geométrica (MG) de las concentraciones medias; es decir:

$$MG = \left( anti \lg. \bar{Y} \right) . STD$$

y la variabilidad ambiental entre días por la desviación geométrica standard DGS de los valores de las concentraciones; es decir:

$$DGS = anti \lg(S)$$

e) La probabilidad Ps de superar el standard, se calcula a partir de Y y S, de la siguiente manera:

Calcula:

$$Z = \frac{|\bar{Y}|}{S}$$

Hallar Ps, usando la tabla de esta forma:

Entrar en la tabla 8 con el valor de **Z** y leer el valor correspondiente

Si  $\bar{Y} < 0$ , entonces  $P_s = 1 - \text{Valor en tabla}$

—

Si  $Y > 0$ , entonces  $P_s =$  Valor en tabla

f) para valorar el riesgo existente, se siguen los siguientes criterios:

- Si  $P_s < 0.01$ , se considera que la persona no está expuesta y no se adopta corrección alguna.
- Si  $0.01 \leq P_s \leq 0.05$ , existe una potencial exposición al agente químico. En tal caso se establece un calendario de mediciones periódicas para controlar en el tiempo la situación existente.
- Si  $P_s > 0.05$ , existe una clara exposición al contaminante debiendo implantarse acciones correctoras.

*NOTA: Para poder aplicar este método, con cierta fiabilidad, es necesario tener al menos cuatro valores de la exposición media diaria.*

Este procedimiento presenta la ventaja de contemplar las fluctuaciones de la propia concentración de contaminante, al introducir la desviación típica en el modelo de evaluación.

	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8105	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

Tabla 8.- Tabla de valores z

## **6.4.- NORMA UNE EN 689**

Publicada en Marzo de 1996, la norma UNE-EN 689 es traducción de la norma europea EN 689 y ha sido adoptada con el rango de Norma nacional.

Básicamente el fundamento de la norma es realizar una evaluación de la exposición laboral (EEL) y en función del resultado corregir la situación si es superior al valor límite (VL), realizar mediciones periódicas si es inferior al valor límite pero existe cierto grado de exposición, o simplemente controlar (sin medir) que la exposición se mantiene suficientemente alejada del VL.

Todo el peso recae en la EEL, y, por ello, se definen estrategias y metodologías tanto para la evaluación como para la realización de las mediciones.

Para la EEL describe tres etapas que progresivamente requieren mayor complejidad, por lo que cuanto antes se puedan obtener conclusiones, menor esfuerzo requerirá la evaluación.

### **6.4.1.- Estimación inicial de la exposición**

Da una aproximación de las características de la exposición haciendo un estudio de las distintas variables que puedan afectar a las concentraciones de las sustancias en los lugares de trabajo y cuya descripción ya hemos visto anteriormente. Si en esta etapa se está en condiciones de asegurar que la exposición esta muy por debajo del VL, y que esta situación se mantendrá con el tiempo, se puede dar por terminada la evaluación, en caso contrario se pasara a realizar un estudio básico.

### **6.4.2.- Estudio básico**

Consiste en recopilar información cuantitativa sobre resultados recientes de mediciones o datos provenientes de procesos comparables. Si, como en el caso anterior, se puede alcanzar una conclusión similar a la enunciada en el apartado anterior, la EEL se podrá dar por concluida, sino habrá que realizar un estudio detallado.

### **6.4.3.- Estudio detallado**

Este tipo de estudio, que requiere la utilización de mayores recursos para su realización, da una información cuantitativa de la exposición.

En esta etapa debe de tenerse en cuenta la estrategia de la medición, seleccionando los trabajadores a muestrear, las condiciones de la medición y diseñando el modelo de la medición de tal manera que los datos obtenidos sean representativos de la situación real.

Para la selección de trabajadores *recomienda* la confección de grupos homogéneos de exposición.

Con respecto de las condiciones de medición, se *recomienda* el muestreo personal a jornada completa, durante suficientes días y diferenciando las fases laborales mediante muestras diferentes.

El modelo de medición debe de recoger las conclusiones de las anteriores selecciones quedando plasmado en un "*procedimiento de medición*".

La conclusión del EEL, no es una simple comparación de la concentración de la exposición laboral (CEL) con el VL, sino que debe de establecer las acciones a tomar, bien sea dar por concluido el estudio por ausencia de riesgo, adopción de medidas preventivas cuando se supera el VL, o mediciones periódicas (MP) si la CEL siendo inferior al VL requiere vigilancia posterior.

De acuerdo con la norma, hay dos maneras diferentes para alcanzar conclusión de la EEL:

#### **6.4.3.1.- Comparación de la CEL con el VL**

Calcular la concentración de la exposición laboral (CEL), como media ponderada en el tiempo de las concentraciones de las muestras tomadas.

Calcular el índice de exposición a la sustancia:  $I = \frac{CEL}{VL}$

a) Si  $I \leq 0.1$  en la primera jornada de trabajo evaluada, la exposición es inferior al límite.

b) Si  $I \leq 0.25$  al menos en tres jornadas de trabajo diferentes, la exposición es inferior al límite

c) Si  $I \leq 1$  al menos en tres jornadas de trabajo diferentes, y su media geométrica es  $\leq 0.5$ , la exposición es inferior al límite.

d) Si  $I > 1$ , la exposición es superior al valor límite.

e) En cualquier otro caso, el procedimiento no conduce a ninguna decisión.

Si se cumple cualquiera de las condiciones a), b), o c) la EEL puede considerarse como concluida, y en los casos c) y d) la CEL puede interpretarse como la primera medición periódica.

#### **6.4.3.2.- Criterios estadísticos**

La norma recomienda dos tipos de estudios:

*Gráficos de probabilidad:* Este tipo de gráficos dan información sobre el tipo de distribución que tienen los valores de concentración obtenidos. Para calcular la probabilidad de sobreexposición. Los cálculos matemáticos se realizan de manera análoga a la descrita en el método estadístico.

*Media ponderada móvil:* para ver tendencias.

Una vez realizados los cálculos, y de acuerdo con la probabilidad de sobreexposición calculada, las situaciones que se pueden encontrar son las siguientes:

Situación verde: con una probabilidad  $P \leq 0.1\%$  no son necesarias más mediciones y se puede dar por concluida la EEL.

Situación naranja: con una probabilidad  $0.1\% < P \leq 5\%$  son necesarias mediciones periódicas.

Situación roja: con una probabilidad  $P > 5\%$  hay que adoptar medidas para la reducción de la exposición.

Los valores umbrales de probabilidad se ofrecen únicamente como guía. Se permitiría una cierta tolerancia para tomar decisiones.

#### **6.4.4.- Mediciones periódicas**

Una vez realizado el estudio estadístico de las concentraciones medidas en los lugares de trabajo, se puede plantear la conveniencia de la elaboración de un programa de mediciones periódicas.

El principal interés de las mediciones periódicas está en objetivos a largo plazo, tales como la comprobación de que las medidas de control permanecen eficaces. La información obtenida probablemente indicara las tendencias o los cambios de la exposición permitiendo que puedan tomarse medidas antes de que ocurran exposiciones excesivas.

El intervalo entre mediciones debería establecerse, una vez consideradas las siguientes situaciones:

- Los ciclos de procesos, incluyendo en ellos condiciones de trabajo normales;
- Las consecuencias de fallos en los dispositivos de protección;
- La proximidad al valor límite;
- La eficacia de los controles de los procesos;
- El tiempo requerido para restablecer la situación normal;
- La variabilidad temporal de los resultados.

El establecimiento de un calendario de mediciones periódicas se hace definiendo en primer lugar una unidad de tiempo (siempre inferior o igual a una semana). La periodicidad inicial se define igual a 8 unidades de tiempo.

El intervalo máximo de tiempo hasta la próxima medición periódica depende del resultado de la medición anterior.

El calendario básico de mediciones periódicas se puede confeccionar de acuerdo con los siguientes criterios:

- 64 semanas si la CEL no excede 1/4 del VL.
- 32 semanas si la CEL excede 1/4 del VL pero no excede de 1/2 del VL
- 16 semanas si la CEL excede de 1/2 del VL pero no excede el VL.

Las mediciones periódicas deben llevarse a cabo en las condiciones normales de trabajo. Esto puede implicar que el programa de trabajo puede cambiarse a criterio profesional.

Si una CEL excede al valor límite, debe identificarse la causa por la que se ha superado y deben de tomarse las medidas apropiadas para la reducción de la exposición tan pronto como sea posible.

El calendario inicial puede modificarse de acuerdo con los resultados de las mediciones:

El resultado de cada medición periódica (C) se compara con cuatro niveles de referencia:

N1 = 0.40 VL

N2 = 0.70 VL

N3 = 1.00 VL

N4 = 1.50 VL

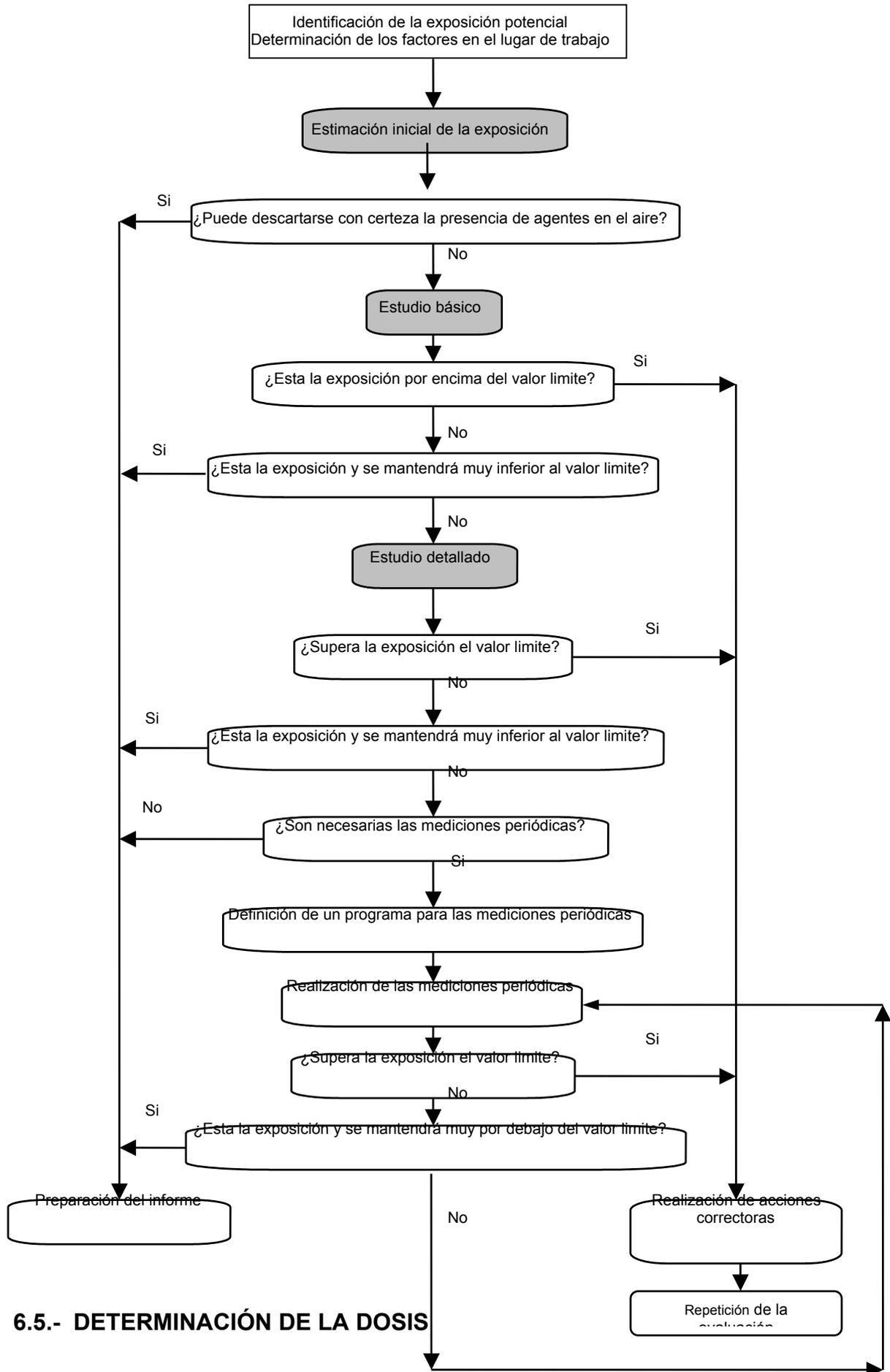
Las decisiones posibles se resumen en la siguiente tabla:

Situación	Resultados de las mediciones periódicas	Decisión
1	$C \leq N1$ dos veces consecutivas	Las tres mediciones programadas siguientes no se efectúan.
2	$C \leq N2$	Se continua según el calendario básico.
3	$N2 < C \leq N4$	Una medición adicional durante la unidad de tiempo.
4	$N2 < C \leq N4$ para dos unidades de tiempo consecutivas.	Se efectua una medición adicional en cada uno de los 4 intervalos programados siguientes. Si este intervalo es una unidad de tiempo, deben de aplicarse medidas inmediatas para reducir la exposición.

5	$N3 < C \leq N4$ dos veces consecutivas	Actuación inmediata para reducir la exposición.
6	$C > N4$	Actuación inmediata para reducir la exposición
En las situaciones 3 y 4, si $C > N3$ , deben identificarse las razones por las que el valor límite se ha excedido y deben de tomarse las acciones apropiadas para remediar la situación tan pronto como sea posible.		

Tabla 9.- Modificación del calendario básico de mediciones periódicas.

Todos los criterios expuestos hasta el momento son dados por la norma a título de ejemplo, quedando siempre a criterio del técnico la adopción de los mismos. En la página siguiente se da el esquema básico de trabajo de acuerdo con las directrices dadas por la Norma.



## 6.5.- DETERMINACIÓN DE LA DOSIS

Este parámetro compara la concentración media del contaminante (C) frente al valor límite (VL), así como el tiempo de exposición (T) con la duración de una jornada normal de trabajo (8 horas diarias) correspondiente al tiempo para la que habitualmente viene definido el valor límite. Se expresa en porcentaje y corresponde a la expresión:

$$\%DOSIS = C/VL \times T/8 \times 100$$

En su más estricto significado, cifras superiores al 100% indican que la concentración media del contaminante ha sobrepasado el valor límite, mientras que valores inferiores al 100% indican que la concentración media no ha superado dicho VL durante la jornada de trabajo.

En el caso de que se encuentren en la atmósfera de trabajo varios contaminantes cuyos efectos sobre el organismo se consideren aditivos, el porcentaje de DOSIS a tener en cuenta es la suma de los % de DOSIS de cada sustancia.

Conviene precisar que el porcentaje de DOSIS es simplemente un indicador numérico de la exposición media por vía inhalatoria, que si bien contempla el tiempo de exposición como elemento condicionante del riesgo higiénico, no considera la variabilidad de la concentración en el transcurso de la jornada laboral. Con el fin de paliar esta limitación, se suele tomar el 50% de DOSIS como nivel de acción, a partir del cual se adopta algún tipo de medida de vigilancia o acción correctora.

## **7.- MÉTODOS Y APARATOS DE TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS**

### **7.1.- TOMA DE MUESTRAS**

Básicamente existen dos tipos de aparatos de medida.

- De lectura directa: dan el resultado "in situ".
- Captadores de contaminantes: el análisis hay que realizado posteriormente en el laboratorio.

### **7.2.- SISTEMAS DE LECTURA DIRECTA**

Se utilizan para análisis cuantitativos detectando y dando directamente el resultado analítico.

- Conímetro.- Sirve para evaluar orientativamente el polvo suspendido en aire. El fundamento es el siguiente: el aire contaminado, es obligado a pasar mediante un émbolo a través de una tobera donde, debido a su poca sección, se acelera, siendo proyectado finalmente sobre unas placas de vidrio ligeramente engrasadas donde quedan adheridas las partículas. El conteo se realiza mediante un microscopio que incorpora el propio aparato.
- Tubos colorimétricos.- Son tubos de vidrio rellenos de un material poroso impregnado de un reactivo químico. Al pasar el aire contaminado, entra en contacto con el reactivo dando una sustancia coloreada. La concentración se determina generalmente midiendo la longitud que alcanza la coloración en una escala que se halla impresa en el propio tubo.

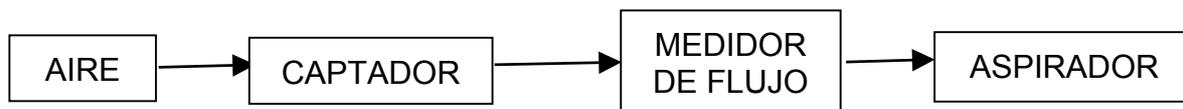
Los tubos, que son específicos para cada contaminante, son acoplados a la entrada de un sistema de aspiración manual, tipo fuelle, que aspira un volumen de aire conocido, usualmente 100 cc., debiéndose efectuar un determinado número de carreras según el contaminante.

El inconveniente principal que tienen es su poca precisión (tienen un error admitido de hasta el 25%) por lo que se les debe considerar como un sistema semicuantitativo. Además pueden tener interferencias que hay que controlar.

- Muestreadores específicos de precisión: Permiten detectar de manera directa y precisa, la concentración ambiental de un contaminante. Se componen de un elemento sensor, cuyo funcionamiento se basa en principios físicos o químicos diversos (eléctricos, electromagnéticos, electroquímicos, etc.). En presencia del agente químico, el sensor genera una señal eléctrica que es función de su concentración que queda recogida en un registro.

### **7.3.- SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE CONTAMINANTES**

El esquema básico es el siguiente:



A continuación, describimos brevemente algunos de los tipos comerciales que habitualmente se usan, y las aplicaciones más comunes.

### **7.3.1.- Tubos adsorbentes:**

Son sustancias sólidas granuladas dentro de un tubo de vidrio, que debido a su elevada actividad superficial, retienen al contaminante por adsorción, resultando muy aptos para la captación de gases y vapores.

Los más utilizados son tubos de carbón activo de 7 cm. de longitud y 4 mm. de diámetro interior que contienen dos secciones con carbón activo de 20/40 mallas. La primera sección contiene 100 mg. y es la que retiene el contaminante. La segunda tiene 50 mg. y sirve de testigo.

Se utiliza fundamentalmente para la captación de vapores de tipo orgánico provenientes de disolventes, desengrasante, estireno, etc..

Existen una gran variedad de tubos adsorbentes normalmente diseñados para la captación de un determinado contaminante o grupo de contaminantes de un diseño similar al tubo de carbón activo. Rellenos de productos como el de gel de sílice y resinas sintéticas (XAD, Tenax, etc.)

### **7.3.2.- Sistemas de filtración**

Mediante este sistema, la retención de partículas del contaminante se produce sobre un soporte material o membrana porosa, también denominada filtro.

Los filtros se colocan en un portafiltros (cassette) de tres cuerpos sobre un cartón poroso que sirve de soporte.

Los tipos de filtro más utilizados son los siguientes:

*Filtros de PVC:* Se fabrican de numerosos tamaños y diámetros de poro. Los más usados son de 37 mm. de diámetro y 5 µm. de tamaño medio de poro. Estos filtros se montan en un cassette de plástico de triple cuerpo con un soporte de celulosa.

Se utiliza para la captación de polvos, humos, etc. y posterior análisis gravimétrico.

Cuando lo que se pretende recoger es alguna de las fracciones del polvo en suspensión, normalmente la fracción respirable, se utiliza en combinación con un *ciclón* que tenga el diseño que se pare las partículas de acuerdo con las convenciones de Johannesburgo.

Filtros de esteres de celulosa : Este tipo de filtros también se fabrican de diversas medidas y tamaños. Los mas utilizados son los de 37 mm. de diámetro y 0.8  $\mu\text{m}$ . de tamaño de poro, montados sobre un cassette de plástico de triple cuerpo con un soporte de celulosa.

Se utilizan para la captación de metales como Pb, Cd, Zn, etc. , pero no se pueden usar en análisis gravimétricos por ser higroscópicos.

También se utilizan este tipo de filtros para la captación de fibras de amianto, siendo en este caso de 25 mm. de diámetro y 1.2  $\mu\text{m}$ . de tamaño de poro montado sobre un cassette de triple cuerpo y soporte de celulosa, al que se le retira la tapa delantera y se le añade un tubo protector de 44 mm. de longitud.

Filtros de teflón: Son muy estables y resistentes a los ácidos y a los disolventes orgánicos. Estas propiedades, junto con su naturaleza hidrofóbica, los hace muy útiles para la captación de contaminantes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Filtros de fibra de vidrio: Están compuestos de microfibras de vidrio borosilicatado, pudiendo llevar o no un ligante a base de resinas acrílicas. Son útiles para la captación de algunos plaguicidas.

### **7.3.3.- Otros sistemas de captación:**

Impinger: Son recipientes de vidrio, con una determinada cantidad de un líquido capaz de absorber el contaminante que se debe de recoger, y en el que se sumerge una boquilla a través de la cual se hace borbotear en el líquido el aire contaminado.

Su uso es cada vez menos frecuente debido a los riesgos de rotura que hay durante su utilización, pérdida de líquido por evaporación, etc..

Se utiliza para la determinación de nieblas de ácido fosfórico, isocianatos, etc..

### **7.3.4.- Bombas**

Alto y medio caudal: Son bombas cuyo caudal de utilización oscila normalmente entre los 0.5 l/min y lo 3 l/min.

La regulación de caudal, que antiguamente era mediante rotámetro, es normalmente electrónica. Sirven para tomar muestras durante periodos de tiempo de 8 o más horas. Funcionan mediante baterías recargables.

**Bajo caudal:** El caudal de este tipo de bombas es de hasta 200 cc/min con regulación electrónica del mismo. Se utilizan, normalmente, en combinación con los tubos adsorventes.

**Calibración de las bombas:** El control de las bombas y su caudal de aspiración antes, durante y después de la toma de muestra es fundamental para la validez y representatividad de los mismos, no aceptándose variaciones de caudal mayores del 5 %.

El procedimiento mas utilizado es el flujómetro de pompa de jabón que es una bureta invertida de vidrio, cuyo extremo inferior esta en contacto con una disolución de agua jabonosa y, la superior se conecta a la unidad de muestreo mediante un tubo flexible. Al poner en funcionamiento la citada unidad, se produce una burbuja que asciende por la bureta y mediante un cronometro se mide el tiempo que tarda en pasar entre dos aforos.

En la actualidad existen equipos electrónicos basados en el mismo principio, en los que la medida se lleva a cabo por medio de células fotoeléctricas.

En la figura 12 podemos observar un montaje típico para la calibración de las mismas.

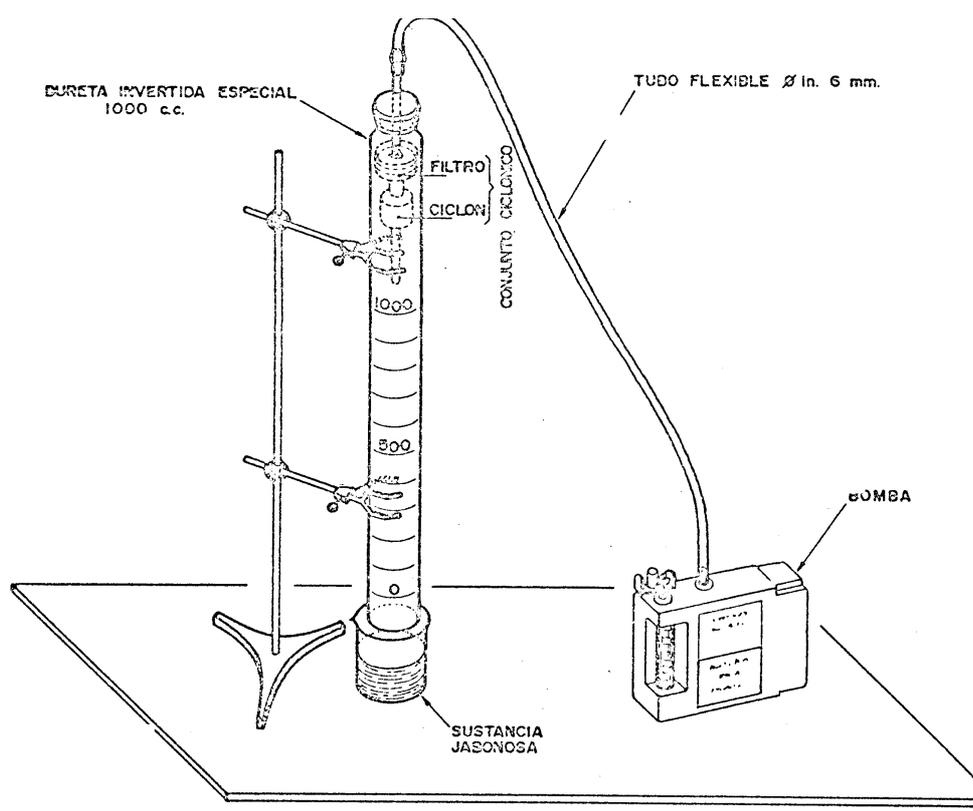


Fig 12.- Montaje para calibración de bombas

### 7.3.5.- Muestreadores pasivos

El muestreo de monitores pasivos constituye un procedimiento para obtener muestras ambientales, que sirvan para su posterior análisis en el laboratorio, sin forzar el paso del aire a través del captador.

El fundamento teórico de estos dispositivos descansa en los fenómenos de permeación y difusión. Estos fenómenos explican la capacidad que tienen para atravesar una membrana sólida con una permeabilidad específica dada, (Ley de Henry) y la tendencia que tienen las moléculas de un gas a repartirse uniformemente en el seno del otro (1ª Ley de Fick).

En la práctica, los diferentes fabricantes comercializan modelos de distintas geometrías, sobre la base de ambos fenómenos.

La masa total de contaminante transferido desde el aire al muestreador pasivo viene dado por la expresión:

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

donde:

M = Masa total transferida

D = Coeficiente de difusión

A = Área superficial del muestreador

L = Camino de difusión

C = Concentración ambiental

t = Tiempo de muestreo

A la expresión:

$$\frac{L}{D * A}$$

se le denomina caudal equivalente Q y representa el volumen de aire muestreado que contiene la misma cantidad de contaminante que capta el muestreador por segundo. Deben ser especificados por el fabricante para cada producto a muestrear.

La concentración ambiental será pues:

$$C = \frac{M}{Q * t}$$

#### Ventajas e inconvenientes:

- Son inespecíficos con excepción de los desarrollados para formaldehído, óxido de etileno y algunas sustancias inorgánicas;
- Son de aplicación prácticamente exclusiva para gases y vapores;

- Sencillos de manejo. No necesitan bombas ni personal especializado;
- De gran utilidad para muestreos en zonas estériles, muestreos prolongados de productos concretos, etc. ;
- Hay que conocer exactamente el caudal equivalente para cada contaminante;
- Los factores fisico-químicos ambientales influyen de forma decisiva en su sensibilidad.

## **7.4.- ANÁLISIS**

### **7.4.1.- Características**

En Higiene Industrial se utilizan una serie de técnicas analíticas cuyas características fundamentales son:

- Gran sensibilidad, pues se opera con muestras de muy baja concentración.
- Rapidez y seguridad en los resultados.
- Necesidad de preparación previa de las muestras por procedimientos determinados tanto por la técnica a utilizar como por el contaminante a analizar.
- Utilización de reactivos especiales y limpieza adecuada del material.
- La elección de la técnica adecuada para la realización de una determinación, esta condicionada por el contaminante, exactitud de los resultados y posibles interferencias.
- Coste elevado tanto de los equipos como de su mantenimiento.

### **7.4.2.- Técnicas analíticas mas utilizadas**

*Gravimetrías:* determinación de polvos y humos.

*Espectrofotometría de absorción atómica:* Determinación de metales

*Espectrofotometría Visible-UV:* Determinación de diversos compuestos

*Potenciometrías:* Determinación de aniones como fluoruros, cianuros etc.

*Espectrofotometría de infrarrojo:* Determinación de sílice.

*Difracción de rayos X:* Determinación de sílice.

## **8.- CONTROL DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS**

### **8.1.- INTRODUCCIÓN**

Se entiende por control a la eliminación o reducción de la contaminación ambiental por debajo de los valores límite aceptados.

Para conseguir este propósito, se puede actuar sobre tres puntos:

- Sobre el foco de generación de contaminante.
- Sobre el medio de difusión del contaminante.
- Sobre el receptor del contaminante

### **8.2.- ACTUACIONES SOBRE EL FOCO DE CONTAMINANTE**

#### **Sustitución del producto:**

Básicamente consistirá en cambiar un material más tóxico por otro menos tóxico. El cambio de las condiciones físicas de los materiales (ejemplo, utilizar briquetas en vez de polvo) también sería un ejemplo de este control.

#### **Modificación del proceso:**

Por ejemplo, la pintura por rociado electrostático comporta un menor riesgo higiénico que la pintura por aire comprimido.

#### **Encerramiento o enclaustramiento:**

Colocar una barrera física entre el foco y el operario.

#### **Métodos húmedos:**

Es uno de los métodos más sencillos de control de polvo.

#### **Extracción localizada:**

Son sistemas que captan los contaminantes en su lugar de origen, antes de que puedan pasar al ambiente de trabajo.

Los componentes básicos de un sistema de extracción localizada son los siguientes:

- **Campana:** Es un elemento diseñado para encerrar total o parcialmente el foco contaminador o para guiar el flujo de aire de forma adecuada, consiguiendo así capturar el contaminante.
- **Conducto:** Su misión es proveer un canal para que el aire contaminado extraído por la campana, fluya hacia el punto de descarga.

- **Purificador:** Es un elemento destinado a separar el contaminante del aire extraído, para que este cumpla los requisitos de “Calidad de emisión”.
- **Extractor:** Constituido por el ventilador y su motor, es la unidad de movimiento del aire.
- Los tipos de ventilador mas frecuentemente utilizados son:
  - *Centrífugos*, para vencer perdidas de carga elevadas.
  - *Helicoidales*, dan grandes caudales a bajas presiones.

En la figura 13, podemos ver un esquema del mismo.

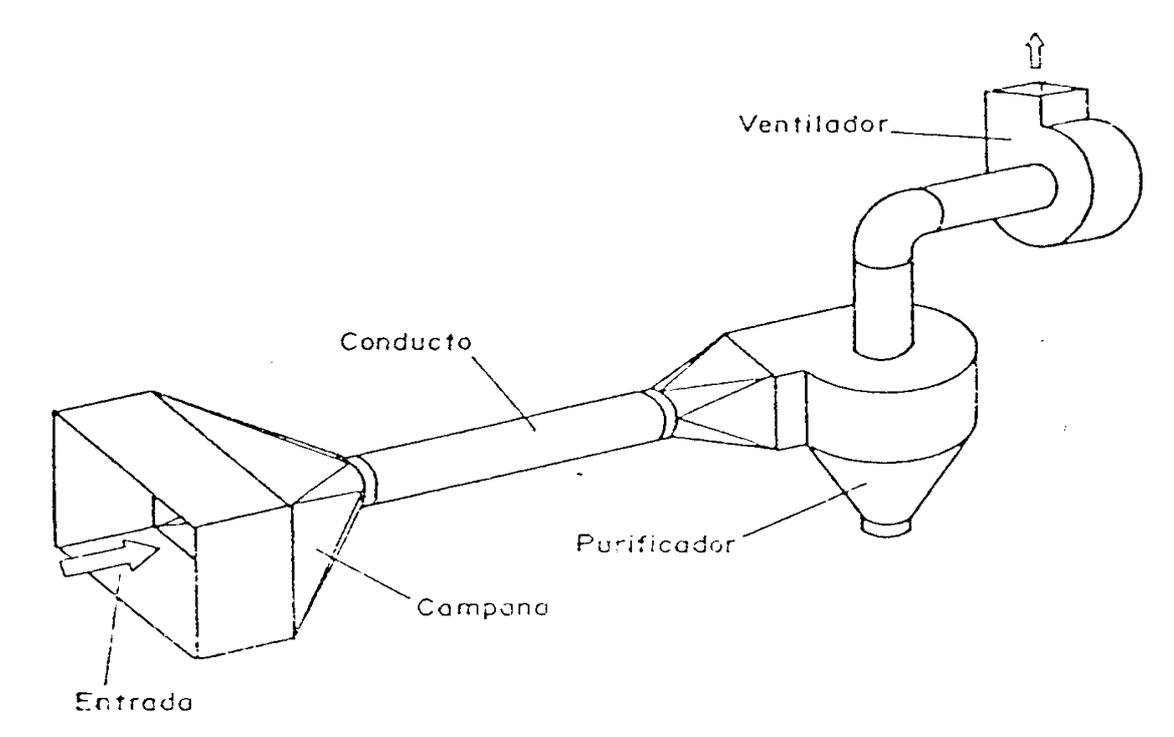


Fig 13.- Esquema general de un equipo de extracción localizada

### 8.3.- ACTUACIÓN SOBRE EL MEDIO DE DIFUSIÓN DEL CONTAMINANTE

#### *Orden y limpieza:*

El polvo acumulado en el puesto de trabajo puede volver a la propia atmósfera por cualquier corriente de aire, incluso la producida por el propio movimiento del operario.

#### *Ventilación general:*

Consiste en la introducción o extracción de aire en las naves de trabajo con objeto de mantener la concentración en los niveles adecuados (dilución del contaminante)

*Aumento de distancias:*

Cuanto mas alejado este un operario del foco de contaminación, menor es la concentración del contaminante en el aire.

#### **8.4.- ACTUACIÓN SOBRE EL RECEPTOR DEL CONTAMINANTE**

*Entrenamiento e instrucción:*

Importante no solo para los trabajadores, sino también para la dirección de la empresa.

*Disminución del tiempo de exposición:*

De esta manera se puede conseguir que la cantidad de contaminante que se recibe este por debajo de la considerada peligrosa.

*Protección personal:*

Se considera como el método de control menos adecuado y debe de aplicarse sólo cuando no sean factibles la utilización de ningún otro método de control, o bien en situaciones de exposiciones cortas o esporádicas.

## **9.- PROGRAMA INTEGRAL DE PREVENCIÓN**

Un programa integral de prevención de la enfermedad profesional en fabricas y plantas industriales, no solo ha de contemplar este aspecto de control ambiental, sino que ha de basarse en tres pilares fundamentales:

### ***Control ambiental***

Debe de realizarse una evaluación objetiva de las condiciones ambientales a través de un programa de muestreos sistemáticos para determinar el nivel de contaminación a que se encuentran, cuantificar el riesgo para la salud, determinar su origen y finalmente poner las medidas correctoras necesarias.

### ***Control médico y biológico***

Nos permitirá detectar la intoxicación profesional en sus fases mas precoces, con el fin de aplicar, a nivel individual, las medidas necesarias y evitar de esta forma el progreso de la enfermedad.

### ***Educación***

Dirigida tanto a la Dirección como a los trabajadores, con el fin de informarse clara y completamente de los riesgos para la salud que puedan derivarse del trabajo que se realiza.