

300618

18  
2ej

**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE QUIMICA**

**INCORPORADA A LA U.N.A.M.**



**"LOS POLVOS COMO ENEMIGOS DE LA SALUD  
OCUPACIONAL Y SU ANALISIS DE RIESGO"**

## **TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A N :**

**ELVIA GUADALUPE RODRIGUEZ ESCUDERO  
LILIA MARGARITA YEPEZ RODRIGUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS :**

**JORGE GARCIA ACEVEDO**

**MEXICO, D. F.**

**1992**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

CAPITULO I	INTRODUCCION	1
CAPITULO II	GENERALIDADES	3
CAPITULO III	MUESTREO Y ANALISIS DE LOS POLVOS	13
CAPITULO IV	EFFECTOS CAUSADOS POR POLVOS	63
CAPITULO V	ANALISIS DE RIESGO	118
CAPITULO VI	LEGISLACION VIGENTE Y MEDIDAS DE SEGURIDAD	143
CAPITULO VII	CONCLUSION	221
	BIBLIOGRAFIA	223

## CAPITULO I

### Introducción.

La Contaminación ambiental es un problema grave que aqueja a la Ciudad de México desde hace más de 50 años, y que se ha venido incrementando con el crecimiento desmedido de la Industria, el Transporte y la Población.

Actualmente en el Valle de México existen poco más de 300,000 establecimientos industriales, de los cuales, alrededor de 4,000 contribuyen significativamente a la emisión de gases y partículas contaminantes; dentro de éstos sobresalen, por su dimensión y procesos de transformación, la industria: química, textil, metalúrgica, hulera, papelera, asfaltos, aceites, grasas y cementeras, siendo la industria química metalúrgica, particularmente, una de las más agresivas al medio ambiente.

Pero este daño no es al medio ambiente externo únicamente, ya que dentro de cada industria, también se sufre el problema de contaminantes por emisión de partículas y gases tóxicos que provocan al ser humano las ya conocidas enfermedades ocupacionales, por lo que debemos empezar a controlar esta situación, primero, dentro, en el ambiente de trabajo, para después poder mejorar la calidad del aire que respiramos diariamente.

Una de las principales fuentes de contaminación son los polvos, por tal razón decidimos estudiarlos, evaluar sus posibles riesgos y poner remedio/control de la manera más rentable y efectiva; aquí es donde entran en juego la Seguridad e Higiene Industrial cuya función primordial es mantener la continuidad en el proceso, eliminando y controlando riesgos de seguridad y/o de confiabilidad de la operación aplicando controles de ingeniería.

El Análisis de Riesgo es uno de los métodos más efectivos para la evaluación de Sistemas y Procesos; está basado en modelos lógicos que describen el comportamiento de subsistemas o componentes a analizar y son llamados lógicos porque siguen la relación causa-efecto.

Dentro de este tipo de análisis los pasos a seguir son:

- 1.- Identificación del Riesgo.
- 2.- Determinación del grado de exposición.
- 3.- Cuantificación del Riesgo.
- 4.- Evaluación del Riesgo.

Los métodos de revisión y análisis se usan para detectar los riesgos en los procesos, dándole la oportunidad y capacidad a la administración para tomar la acción correctiva adecuada, previniendo así accidentes graves tales como muertes, incendios, explosiones, derrames de materiales tóxicos y enfermedades profesionales. TODO esto es una responsabilidad ineludible de la Gerencia General.

## CAPITULO II

### Generalidades.

En la Ciudad de México los procesos industriales han ido evolucionando, junto con ellos la Salud Ocupacional se ha visto afectada por los problemas de la contaminación en la atmósfera de trabajo; uno de los factores principales que contribuyen a esto son los polvos, pero ¿qué es un polvo?, el polvo es un sistema disperso constituido por partículas finas emitidas por elementos naturales o por procesos mecánicos como: molido, triturado, perforación, volado, mezclado, etc.

### COMPOSICION:

Los polvos se pueden clasificar de acuerdo a su aspecto fisiopatológico ( que será tratado en el Capítulo IV ), o de manera más general en función de su naturaleza química como veremos a continuación:

1.- Polvos Inorgánicos.

2.- Polvos Orgánicos.

Dentro de los polvos inorgánicos tenemos dos grupos:

a) Polvos de sílice.- Aquellos que provengan de sílice o materiales que contengan sílice libre. El término sílice es el nombre que se le da al óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), mientras que el sílice libre es cuando se presenta en forma de un compuesto definido como el cuarzo, ópalo, tripolo y otras formas no muy comunes. El término de sílice combinada se usa para la sílice que se presenta en minerales, en combinación

química con bases como sosa (NaOH), cal (CaO), etc., dando como resultado lo que conocemos como silicatos.

b) Polvos sin sílice.- Aquellos que provengan de compuestos metálicos y sustancias inorgánicas como: carbón de piedra, azufre, plomo, hierro, aluminio, etc.

Las autoridades sanitarias están cada vez más preocupadas por las partículas metálicas, inclusive plomo, compuestos de plomo, níquel, cadmio y berilio, que se liberan en algunos ambientes de trabajo.

Dentro de los polvos orgánicos tenemos:

a) Polvos naturales.- Son todos los que se derivan de formas naturales como son harinas, azúcar, algodón, polvo de madera, polen, entre otros.

b) Polvos sintéticos.- Son derivados de productos sintéticos como los plásticos, y de sustancias orgánicas obtenidas en procesos de síntesis.

#### TAMAÑO:

Como mencionamos anteriormente los polvos están constituidos por partículas finas las cuales se presentan en forma de esferas, polígonos regulares y generalmente de manera irregular o amorfa. El tamaño de las partículas de polvo varía desde el submicroscópico 1.0 micras hasta el visible 150 micras. Para obtener las dimensiones aproximadas,

es necesario tomar en cuenta los conceptos de tamaño de partícula, volúmen de poro y área superficial.

Tamaño de partícula.- Es la dimensión representativa que mejor describe el grado de división de la partícula. Para partículas regulares podemos considerar el radio o diámetro de la misma y para partículas cúbicas el largo de una de sus caras.

Para partículas irregulares el tamaño de partícula es un promedio estadístico de los diversos diámetros que presenta, por lo tanto el tamaño depende del método utilizado para determinarlo. (tabla 2.1)

Área superficial.- es el área total disponible para soportar una capa sencilla de gas. El método más común para su medición se basa en la adsorción física de un gas en una superficie sólida.

Volúmen de poro.- es el volúmen que ocupan todas las hendiduras, hoyos, canales, etc., sin incluir el cuerpo de la partícula.

Los tamaños de las partículas de polvo dependen de 3 factores:

a) Procedencia del polvo.- debido a la gran variedad de procesos mecánicos y al manejo de diversos materiales, los polvos emitidos por estos presentan diferentes características como son la densidad, y la distribución de

tamaño, por lo que cada partícula cuenta con una velocidad de asentamiento propia. (fig. 2.1 y 2.2)

b) Sitio donde se toma la muestra.- En este punto el aire juega un papel muy importante ya que las corrientes causadas por el tránsito humano y mecánico difunden las nubes de polvo de manera diferente; cabe recordar que las partículas grandes se asientan cerca del lugar donde se originan, por lo tanto se debe buscar el lugar adecuado para tomar la muestra.

c) Método de muestreo.- En la actualidad no existe ningún método que analice una muestra de polvo en su totalidad y con un 100% de exactitud, ya que existen métodos específicos tanto para partículas pequeñas como para partículas grandes. El muestreo y sus métodos serán explicados en el capítulo III.

#### PROPIEDADES:

a) Eléctricas.- Se ha demostrado que el polvo de la atmósfera de trabajo presenta carga eléctrica; no se conoce con exactitud el grado ni las causas de estas cargas y se duda que sean producidas solo por el frote. Generalmente las partículas de polvo presentan cargas positivas excepto cuando éstas provienen de algún metal. No se tienen pruebas en el sentido de que las grandes partículas tengan cargas contrarias a las de partículas menores, lo que se observa es

que varía la razón entre cargas positivas y negativas al asentarse las partículas menores.

b) Ópticas.- Cuando un rayo de luz incide sobre una nube de polvo parte de esta luz puede ser absorbida, y parte se dispersa, mientras que la restante se transmite a través de la muestra sin sufrir ninguna alteración.

El efecto Tyndall consiste en que, en mayor o menor grado todas las sustancias son capaces de dispersar la luz. Con frecuencia los rayos de sol son visibles lateralmente debido a la luz dispersada por las partículas de polvo.

La ley de Lambert-Beer sirve para calcular el efecto que producen las partículas de polvo en la intensidad de la luz:

$$I = I_0 \exp \{-n\pi d^2 L/4\}$$

I= intensidad de la luz en el punto de observación.

I<sub>0</sub>= intensidad del foco, luz en línea directa de visión.

n= número de partículas por unidad de volumen.

d= diámetro medio de cada partícula.

L= distancia entre foco de luz y punto de observación.

Las partículas de polvo también producen polarización. La intensidad, polarización y distribución angular de la luz dispersada por una nube de polvo depende del tamaño y forma de las partículas dispersoras, de sus interacciones y de la diferencia entre los índices de refracción de las partículas y el medio.

c) Sónicas.- Todas las partículas finas pueden ser colectadas por medio de un campo sónico intenso; la frecuencia requerida oscila entre los 4000 y 7000 Hertz, cuando las partículas se someten a frecuencias entre estos límites en una columna resonante cerrada flocculan en los nodos y se asientan fácilmente.

#### CONCENTRACION:

Como mencionamos anteriormente, una de las dificultades con que se tropieza para la medición de las concentraciones de polvo deriva de los diferentes métodos y equipos a utilizar.

Uno de los métodos de mayor aceptación es en el que se utiliza el instrumento de Greenburg-Smith en el cual se hace pasar aire a través de un tubo de vidrio para que choque a alta velocidad contra una placa de vidrio que se encuentra sumergida en agua u otro líquido; en el matraz de recolección, las partículas de polvo se detienen instantáneamente en el líquido y quedan así capturadas.

Otro instrumento utilizado es el conímetro que consiste de dos secciones; la primera consta de una fuente de succión para llevar el aire a través del dispositivo de muestreo. La segunda es el dispositivo de muestreo en sí, que consta de un recipiente, un tubo de succión y una placa de contacto. Para la succión se utilizan bombas impulsadas por electricidad o eyectores de aire comprimido.

La duración del periodo del muestreo debe ser suficiente para lograr una suspensión satisfactoria del polvo y depende de la concentración de éste en la atmósfera de trabajo; bajo las condiciones industriales usuales las muestras de 0.3 a 1.0 m<sup>3</sup> de aire producen suficiente polvo para el análisis y como la extracción es de 0.03 m<sup>3</sup>/min. el periodo de muestreo dura entre 10 y 30 minutos.

En un capítulo posterior daremos una explicación más detallada de estos instrumentos.

TABLA 2.1 METODOS PARA EVALUAR DIAMETRO PROMEDIO

Media Geométrica	M1	$\left[ \frac{d_m}{\pi \prod_{i=1}^n d_i} \right]^{1/n}$
Media Aritmética	M2	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$
Media Armónica	M3	$\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} \right]^{-1}$

Donde:

- $\pi$  = Producto de todos los diámetros  $d_i$
- $d_m$  = Diámetro mayor
- $d_s$  = Diámetro menor
- $n$  = Número de diámetros

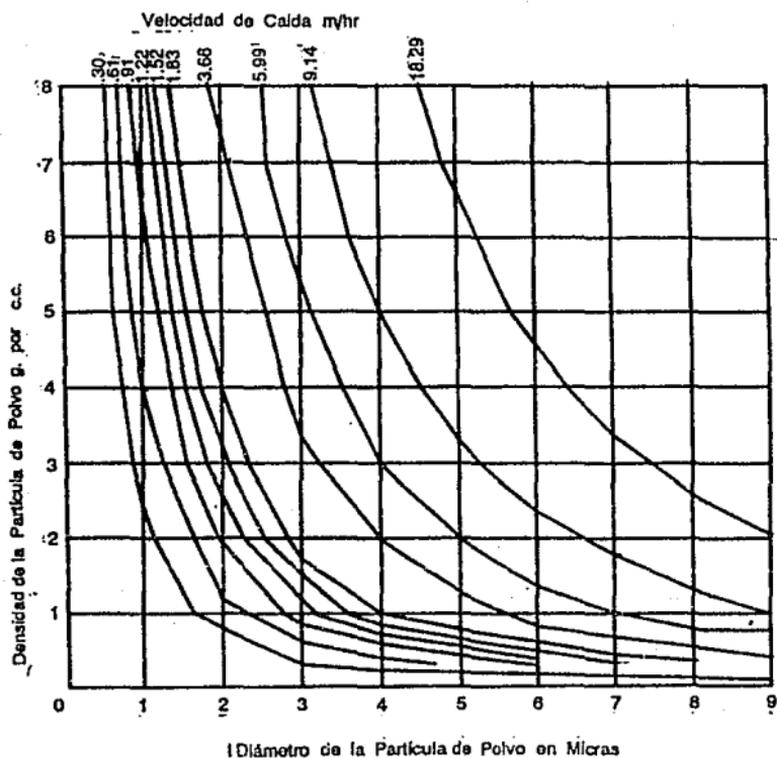


Fig.21 Velocidad de Calda en el Aire para Diversas Clases de Polvos

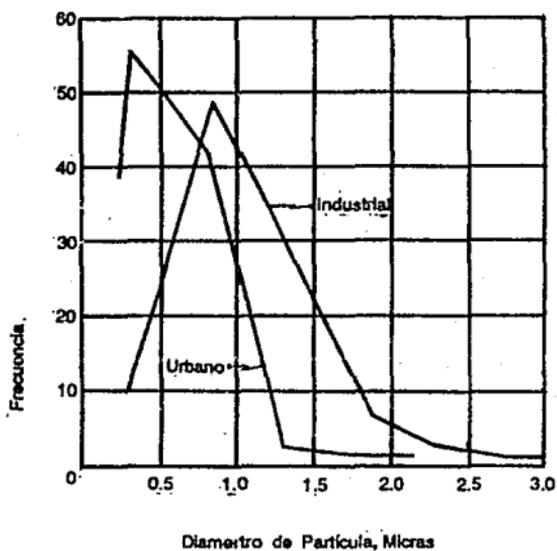


Fig.22 Distribución de Frecuencia de Tamaños de Polvos Industriales y Urbanos

## CAPITULO III

### Muestreo y Análisis de los Polvos.

El análisis completo de las materias que forman partículas en una muestra atmosférica es tan complicado como el análisis de la fase gaseosa, pero además exige la determinación de las propiedades morfológicas. El tamaño de las partículas, por ejemplo, no tiene equivalente en el análisis de gases. Este estudio se complica todavía más por la falta de homogeneidad de una atmósfera con partículas, lo cual significa que no existen pruebas definitivas continuas ni instantáneas. En realidad son necesarios tres distintos pasos para hacer un análisis completo:

- a)Recolección.
- b)Clasificación por tamaños, o identificación morfológica.
- c)Análisis químico.

Por otra parte, rara vez se necesita un análisis completo y algunos métodos básicos se pueden seguir fácilmente para obtener los criterios necesarios sobre la carga total de partículas de una determinada zona atmosférica o sobre la presencia en la misma de materiales peligrosos.

La mayoría de los análisis de partículas se hacen por tandas de muestras, con excepción de varios procedimientos subjetivos.

La cuestión principal es el tamaño de la muestra. Para que las muestras nos den una idea clara de las condiciones de trabajo se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- 1.-Lugar de muestreo.
- 2.-Duración del muestreo.
- 3.-Número de muestras.
- 4.-Volumen de muestras.
- 5.-Equipo de muestreo.

Lugar de muestreo.- Las tomas corrientes tienen por objeto determinar la cantidad de polvo que respiran las personas que trabajan en determinado lugar. Se deben obtener datos complementarios sobre la cantidad de polvo existente que llega al lugar de trabajo y el aire que sale de dicho lugar. Las muestras deben tomarse cerca de los trabajadores y al nivel medio de respiración, procurando que el aparato de muestreo capte el contaminante en forma parecida a la exposición del obrero.

Duración del muestreo.- La frecuencia con que se deben de tomar las muestras dependerá de la cantidad de polvo, del número de personas que trabajen en dicho lugar y de la clase de polvo que en él se produzcan.

Número de muestras.- Si el polvo se produce en forma más o menos constante pueden ser suficientes tres o cinco muestras por ciclo de operación, pero para el cálculo de la exposición diaria, el número de muestras debe ser mayor quedando el límite al criterio del muestreador.

Volumen de muestras.- El volumen va a depender de la sensibilidad del aparato de muestreo, o de la concentración permisible del polvo a analizar y del tiempo de duración de la operación.

Equipo de muestreo.- Los aparatos que se emplean para el muestreo y posterior evaluación de las partículas en la atmósfera dependerán del lugar donde se va a muestrear, la naturaleza del polvo, la capacidad de los instrumentos y de los propósitos de la investigación.

La selección de uno u otro procedimiento depende de la información deseada, puesto que cada uno tiene ventajas en distintos terrenos.

#### INTERPRETACION DE MUESTRAS Y EQUIPOS:

Existen métodos para analizar el número total de partículas o en su defecto para partículas clasificadas. Para el primer caso el aparato más utilizado en este tipo de pruebas de contaminación de la atmósfera de trabajo es el muestreador de gran volumen, éste consiste sólo en una aspiradora con un papel filtro. Casi siempre se coloca

directamente en el lugar del muestreo y se deja funcionar durante periodos de 24 horas. Las velocidades de flujo a través del filtro, antes y después del muestreo, se emplean para calcular el volumen de la muestra; el peso total de las partículas se calcula pesando el papel filtro antes y después. Es preferible usar papel de fibra de virio al de celulosa porque permite que las partículas penetren en su estructura fibrosa, evitando que se forme una capa en la superficie, lo cual provoca un alto gradiente de presión. Sin embargo, el análisis resulta más difícil con los filtros de fibra de vidrio porque no se pueden incinerar y existe el peligro de que los materiales que se encuentran en cantidades muy pequeñas queden adsorbidas cuando la muestra se extrae con un solvente. La principal ventaja del muestreador de gran volumen es su capacidad de muestrear un gran volumen de atmósfera, no sólo dando una medida exacta de la carga total de partículas, sino también proporcionando suficiente muestra para cualquier número deseado de pruebas químicas. La muestra que recolecta representa todas las partículas suspendidas en el aire que son mayores de 0.5 micras.

El muestreador de gran volumen se usa a menudo en combinación con un muestreador de cinta para poder detectar las variaciones de la concentración de partículas en periodos más cortos. Por ejemplo, una muestra de un volumen de 24 horas se puede comparar con las recogidas cada hora, durante un lapso de un día, por el muestreador de cinta para obtener la proporción total diaria de partículas producidas cada

hora. El muestreo se lleva a cabo haciendo pasar aire a través de una mancha circular de una cinta de papel o fibra de vidrio para un intervalo determinado. Cuando pasa este tiempo, la cinta avanza, se va enrollando, y aparece una nueva zona limpia que queda expuesta; así se repite el ciclo. El resultado es una tira de manchas, cada una de las cuales corresponde a intervalos iguales consecutivos de tiempo. Para valorarlos se necesita un fotómetro transmisor de la reflectancia, ya que la cantidad real de partículas que se encuentra en cada mancha es demasiado pequeña para pesarla con exactitud. Hay que establecer una escala para el fotómetro utilizando cinta limpia para marcar el cero y una mancha negra como máximo.

El aparato de coque en líquido también sirve para tomar pequeñas muestras representativas del total de las partículas suspendidas; se puede emplear para análisis químico, morfológico e inclusive gravimétrico.

Otros métodos de muestreo de partículas incluyen los muestreadores de centrifuga y los electrostáticos.

Para las partículas clasificadas hay muchos métodos de recolección que sólo retienen las de determinados tamaños. Otras pueden diferenciarlas de acuerdo con varios márgenes de tamaño. Estos últimos son muy útiles para el estudio de los efectos de la contaminación que dependen del tamaño de la partícula, ésta es una variable de mucha importancia cuando se estudian los efectos de los contaminantes en la salud humana. Las partículas de 5 micras o más generalmente quedan

atrapadas en la nariz, mientras que las más pequeñas, hasta de 0.02 micras, llegan a los pulmones y se depositan en ellos.

La fracción que por su tamaño es más fácil de recolectar y medir es el polvo que cae. Incluye partículas de 5 micras a más de 200 micras que son lo suficientemente pesadas para sedimentarse con rapidez por gravedad. Las partículas más pequeñas tienden a estar sometidas al movimiento del aire y las de tamaño mínimo se mantienen en la parte superior debido al movimiento browniano.

Estos métodos de muestreo se basan en diferentes técnicas como son: precipitación, filtración, sedimentación, etc.

Precipitación.- La precipitación de polvo se mide volviendo a pesar un recipiente tarado previamente, después de que se ha expuesto a la atmósfera durante un periodo determinado. El peso de la muestra reunida se expresa en toneladas por kilómetro cuadrado y por mes y expresa la "suciedad del aire" de una determinada zona. A menudo se hacen además otras pruebas con la muestra para determinar el origen de las partículas o descubrir la presencia de bacterias. Hay que tener cuidado al diseñar y colocar los recolectores, para evitar que se pierda la muestra debido a la acción del viento o de la lluvia.

La técnica de precipitación se divide en:

- a) Precipitación por colisión.
- b) Precipitación electrostática.
- c) Precipitación térmica.

a) Precipitación por colisión.- En los instrumentos basados en el principio de la colisión el aire cargado de polvo es lanzado en forma de chorro contra un obstáculo. El cambio súbito de dirección de la corriente de aire y la inercia de las partículas hacen que éstas caigan sobre una capa cubierta por un adhesivo donde son recolectadas.

Entre los instrumentos de este tipo podemos mencionar los siguientes:

1) Midget-Impinger.- Para tomar la muestra de polvo se utiliza una bomba que funciona manual o eléctricamente, ésta aspira el aire en cantidad determinada durante un periodo entre 10 y 20 minutos. El aire sale del orificio a gran velocidad, choca contra el fondo del recipiente, asciende a través de la columna del líquido en fuerte barboteo y sale por un tubo. Las partículas de polvo queda suspendidas en el líquido cuando choca contra el fondo del recipiente o al atravesar el líquido mismo. El aire es aspirado a razón de tres litros por minuto, y en base a esto la concentración de polvo se puede calcular por recuento o por pesaje una vez evaporado o filtrado el líquido colector.

2) Midget-Scrubber.-El aire es violentamente agitado por un líquido lavador, el líquido es aspirado hacia una pequeña cámara cilíndrica en la cual se obtiene una purificación completa. Las partículas de tamaño inferior a 0.2 micras no son captadas por este aparato.

Entre las ventajas de estos instrumentos está el captar durante un largo periodo de tiempo una cantidad de polvo lo suficientemente grande para determinar su concentración y su composición. Las aglomeraciones de las partículas componentes son disueltas por el uso de un eyector o bien una bomba de vacío, de esta forma se obtiene el número real de partículas que existen en el aire.

3) Conímetro.- Existen varios tipos de conímetros como el Sartorius, Kotsé y Witwatersrand, todos basados en el conímetro de Zeiss, que fue el primero de su tipo. Estos constan de una bomba aspirante accionada por distensión de un resorte que lanza a gran velocidad un chorro de aire cargado de polvo contra una lámina de cristal recubierta de una sustancia adhesiva, a esta lámina se le puede hacer girar, lo cual permite tomar varias muestras. Debido a la inercia las partículas de polvo no siguen el camino o el cambio súbito de la dirección de la corriente de aire y forma sobre el cristal una mancha que se puede examinar con el microscopio.

Las partes esenciales del aparato son una pieza recta de tubo de cristal "pyrex" de 15mm de diámetro exterior, con

longitud aproximada de 375mm el cual termina en una punta de pipeta con orificio de 2.3mm. A una distancia de 5mm del orificio de salida se fija la placa de contacto. El medio de recolección (agua destilada, generalmente) se carga al matraz de muestreo en un volumen suficiente para mantener la placa sumergida a una profundidad de aproximadamente 3mm.

La eficiencia de la recolección del aparato depende de que se satisfagan, en forma adecuada, las dimensiones establecidas para el aparato de contacto y que la velocidad de muestreo se mantenga a  $0.03\text{m}^3/\text{min}$ . En una zona de polvo de sílice las pruebas experimentales con este aparato rindieron eficiencias del 98% a la velocidad de muestreo especificada.

En el conímetro cuya bomba de succión graduable permite tomar diferentes volúmenes de aire, amplía el campo de aplicación haciendo posible la valoración en ambientes con concentraciones relativamente altas. En estos aparatos el recuento de partículas en cada una de las tomas está limitado normalmente a 10,000.

Los conímetros no son los instrumentos adecuados para hacer mediciones muy exactas, pero son de gran utilidad cuando se usan junto con otros instrumentos que proporcionan datos más precisos sobre la naturaleza de las concentraciones de polvos.

b) Precipitación electrostática.- Esta utiliza una corriente eléctrica que fuerza las partículas a migrar fuera de la corriente de aire hacia una superficie colectora. Esta

técnica es de gran utilidad para el análisis químico y microscópico para el conteo y determinación de tamaño de partículas radioactivas. Se obtiene una mejor eficiencia cuando el tamaño de partículas varía entre 0.01 y 10 micras. Este principio da buenos resultados cuando en la atmósfera no existen gases inflamables y no hay riesgos de una explosión.

c) Precipitación térmica.- Esta se basa en el principio de que las partículas de polvo finas no pueden penetrar en el espacio que rodea a un cuerpo caliente, espacio en el cual se produce un gradiente térmico muy marcado. Las partículas de polvo se depositan en el mismo estado en que se encontraban en suspensión en el aire, en un recipiente frío.

Filtración.- Se utiliza para reunir las partículas más pequeñas de la muestra atmosférica hasta menos de 0.01 micras. Hay muchos diferentes tamaños de poros y se puede hacer una clasificación exacta. Los filtros se pueden disolver en solvente, reducir a cenizas o sencillamente hacerlos transparentes con aceite mineral para el examen microscópico.

Los filtros de aire son dispositivos proyectados para separar el polvo y humos del aire, antes de pasar por los espacios ventilados. Se emplean los siguientes procedimientos:

1.-Forzar el aire a través de pequeños orificios para separar las partículas. A éstos se les conoce como filtros secos.

2.-Retener las partículas por medio de pantallas impregnadas de un líquido viscoso, con agujeros mayores que las partículas de polvo. A éstos se les llama filtros húmedos.

3.-Por lavado, haciendo circular el aire por una cámara a través de una lluvia de agua, o por burbujeo a través del agua.

4.-Centrifugamente, haciendo girar el aire cargado de polvo, por lo que las partículas de éste más pesadas que él van hacia el exterior mientras el aire sale por el centro.

5.-Por precipitación electrostática, en el cuál las partículas de polvo toman cargas eléctricas y al pasar entre placas cargadas negativamente son atraídas por éstas últimas.

Los filtros secos funcionan por el mismo principio que el empleado en los aspiradores de limpieza o sacos de vacío, reteniendo el polvo mientras pasa el aire a través del aparato. Debido a que los orificios se obturan con el polvo, la resistencia al paso del aire aumenta con el uso y es necesario limpiarlos con frecuencia.

En los filtros húmedos o de absorción se divide el aire en pequeños chorros que se dirigen a gran velocidad contra las pantallas impregnadas. Las primeras partículas de polvo que se adhieren a la superficie sirven para captar y retener sucesiva e otras. Las que pasan a través de las pantallas pierden parte de su velocidad y caen detrás de las mismas. Un material comúnmente empleado es la fibra de vidrio que puede limpiarse y renovarse mecánicamente.

Los filtros son usados en las fábricas, pero donde los humos y el polvo pueden perjudicar las vías respiratorias no son apropiados para la evacuación de aire.

Los filtros electrostáticos se emplean para la eliminación del polvo y de los humos en las plantas industriales y metalúrgicas, así como para filtrar el aire en las instalaciones de aire acondicionado. Estos filtros se alimentan a 110 Volts. Son muy efectivos para eliminar

partículas de humo y niebla muy pequeñas y como ofrece muy poca resistencia al paso del aire, cabe emplear pequeños ventiladores para la circulación del mismo. Un ejemplo de este tipo es el filtro Fussel el cuál es un instrumento que tiene una membrana de nitrocelulosa con gran poder de retención. A través de un dispositivo de aspiración provisto de un filtro de membrana de entre 47 y 48mm de diámetro se aspira una cantidad de aire predeterminada regulandose la resistencia del filtro con la ayuda de un vacuómetro. Con este aparato se pueden aspirar hasta 40 litros por minuto de aire. El vacío es constante y por lo tanto la cantidad de aire aspirado disminuye a medida que aumenta la resistencia del filtro debido a la torta de polvo formada.

El aparato de toma de muestras electrostático consiste en tubo de metal a lo largo de cuyo eje existe una varilla también de metal. El tubo es un electrodo colector y la varilla es un electrodo ionizante. El aire pasa a través del tubo a razón de 3 ft/min, creándose una corriente por medio de un ventilador eléctrico. De esta forma las partículas de polvo en suspensión en el aire se cargan de electricidad al pasar por el tubo depositándose en su superficie por efecto de campo electrostático.

Apartos de choque.- En esta técnica las partículas de polvo que viajan a través de la corriente de aire son lanzadas contra obstáculos situados a lo largo de la misma trayectoria del mismo. Estos obstáculos provocan que el aire

cambie de dirección pero las partículas continúan su viaje en la dirección inicial chocando contra los obstáculos, que pueden ser portaobjetos, cajas de Petri o bandejas y generalmente poseen una sustancia adhesiva que retiene las partículas de polvo en su superficie; de esta forma se pueden reunir partículas hasta de 2 micras y a menudo un filtro más fino se emplea al final del tren de aparatos de choque.

Dentro de estos instrumentos los más comunes son: el muestreador de Durham, el de Andersen y el de Greenburg-Smith; éste último consta de un vaso cilíndrico con un pequeño tubo de vidrio insertado en el centro, en el fondo del tubo se encuentra la boquilla por donde sale el aire que choca con la placa de cristal o de metal que está inmersa en el líquido colector; este líquido es bueno para capturar polvo, humo, niebla, gases solubles y partículas mayores a 2 micras.

Sedimentación.- En los instrumentos basados en este principio las partículas de polvo se depositan sobre láminas de vidrio que pueden estar sin ninguna preparación o recubiertos por algún adhesivo (vaselina) y se exponen en posición horizontal o inclinada a la corriente de ventilación durante un periodo de 1 a 30 minutos dependiendo de la concentración del polvo. Este método se emplea únicamente para mediciones de polvos aproximadas y presupone concentraciones de polvo bastante grandes, el menor

movimiento posible de aire y un largo periodo de muestreo.

Los aparatos que se basan en esta técnica constan de tubos horizontales ranurados de sección rectangular donde el polvo se va depositando regularmente según la velocidad de caída de las partículas. Si se abre una ranura en el fondo del tubo el polvo que cae se puede recoger en una placa giratoria y se puede medir su concentración en ella.

Estos aparatos pueden funcionar varios días sin exigir cuidado alguno.

Medición óptica.— Para medir el tamaño de las partículas es necesario definir alguna dimensión estándar que se pueda aplicar a todas las variedades de formas. La observación directa al microscopio óptico es necesaria para hacer una medida absoluta, pero incluso estos métodos sólo demuestran un perfil de cada partícula. Por lo tanto, cualquier técnica de medida depende de la orientación al azar de ella.

Un hábil microscopista puede proporcionar mucha más información que simplemente el número y tamaño de las muestras de partículas. A menudo podrá decir exactamente que hay en la muestra y su probable origen. El equipo que puede usar el microscopista en su valoración consiste en un microscopio de suficiente aumento para que las partículas se vean de un tamaño en el que se puedan reconocer. La

iluminación de la muestra es de igual importancia puesto que debe poderse ajustar de forma que haga resaltar las características principales.

Gracias a los avances de la ciencia, podemos contar para este fin, con el microscopio electrónico, el cuál consta de un tubo de un metro o más de alto unido a un complicado equipo de instrumentos auxiliares. Poderosas bombas neumáticas extraen el aire del tubo para permitir que los rayos catódicos se propaguen libremente en su interior. Las lentes de cristal han sido sustituidas por bobinas magnéticas que actúan sobre los rayos catódicos de la misma manera que las lentes sobre los rayos luminosos. En el interior del tubo después de pasar por una serie de bobinas los rayos atraviesan el objeto que deseamos examinar y dibujan su imagen sobre una pantalla fluorescente o sobre una placa fotográfica, de este modo, se puede llegar a un aumento de hasta 200,000 veces.

Con el fin de aumentar el contraste y obtener efectos tridimensionales se emplea la técnica del sombreado. Un metal pesado, como el oro, se evapora en vacío y se dirige con un ángulo determinado sobre la muestra, con lo cual se consigue un efecto de iluminación lateral. Del ángulo de sombreado y de la longitud de las sombras se obtiene una imagen tridimensional de la muestra. Se puede conseguir una imagen todavía mejor si se sombrea ligeramente la muestra en dos direcciones que estén en ángulo recto.

La técnica más útil para examinar las estructuras superficiales es la de replicación. Uno de los métodos de obtención de replicas consiste en colocar la muestra sobre una superficie recién exfoliada de mica y se recubre con carbono, o metal pesado si se desea, evaporado a vacío. La película fina que resulta, que tiene englobada todavía a la muestra, se separa por flotación de la mica en una superficie de agua. Las partículas se disuelven con un disolvente apropiado y la replica que resulta se monta sobre una rejilla de cobre.

Por otra parte también se cuenta con el ultramicroscopio que utiliza la iluminación de campo oscuro que es una técnica útil para detectar la presencia de partículas suspendidas, contarlas e investigar los movimientos de las mismas. Se consigue disponiendo el sistema de iluminación de un microscopio corriente de tal manera que no entre en el objetivo la luz directamente, sino que tan sólo lo haga desviada por la sustancia en estudio.

Si las partículas en una dispersión tienen un índice de refracción lo suficientemente distinto al del medio y se utiliza para iluminarlas un rayo intenso, las partículas desvían la suficiente cantidad de luz para que se observen como puntos brillantes frente al fondo oscuro.

### Análisis Químico:

El último paso al que se someten las partículas de polvo en un muestreo es el análisis químico que se divide en orgánico e inorgánico.

Análisis inorgánico.- Dispone de varias técnicas instrumentales para la determinación de los elementos específicos de una muestra. Entre ellas están la fotometría de absorción y la polarografía. Los métodos químicos volumétricos y gravimétricos se han eliminado casi por completo del trabajo sobre contaminación del aire, pero se han perfeccionado una serie de reactivos muy específicos que dan reacciones de color para indicar la presencia de ciertos elementos. Estos reactivos se pueden utilizar solos o combinados en métodos más amplios como el horno de anillo.

El horno de anillo es un dispositivo barato que permite que una pequeña cantidad de muestra se divida en partes uniformes para hacer una serie de pruebas con indicadores separados. Se hace en un trozo pequeño de papel filtro sujeto en un anillo circular caliente. Una muestra determinada disuelta en un solvente dado se coloca lentamente en el centro del papel filtro. Al emigrar hacia el borde, el solvente se evapora y deja un delgado y homogéneo anillo en el papel. Aunque el anillo contiene la

misma cantidad de material que había en la muestra original, se ha extendido en una superficie mucho mayor.

Se han desarrollado toda una serie de pruebas de color que se pueden hacer en segmentos del anillo. Cada una es específica de un determinado elemento y generalmente los resultados se pueden conservar en un registro permanente.

Las técnicas de espectrografía de emisión se han empleado durante muchos años como una rápida forma de determinar los metales presentes en las muestras de aire contaminado. Los niveles de energía de los átomos presentes en una muestra se elevan a sus estados de excitación rápidamente con la brusca adición de una energía adicional de un arco eléctrico o de una chispa. Al volver a sus fases de mínima energía los átomos emiten radiaciones de frecuencia característica que se graban en películas fotográficas. Las chispas y los arcos eléctricos tienen más energía que las llamas más calientes y excitan a un mayor número de elementos. La flama es útil cuando se va a estudiar un grupo específico de elementos tales como los metales alcalinos sin que haya interferencia de otros.

La espectroscopia atómica constituye una técnica cuantitativa conveniente y sensible para un gran grupo de metales. Este método relativamente reciente hace posible analizar los elementos individuales en solución, aún en muy bajas concentraciones. Para analizar cada elemento se necesitan fuentes de radiaciones diferentes y hay que

calibrar estas con soluciones estándar. Con este aparato se pueden hacer pruebas cuantitativas en sucesión rápida en un gran número de muestras.

Cuando se desea medir cuantitativamente dos o tres elementos en un gran número de pruebas, algunos laboratorios emplean la polarografía. Esta consiste en la medida del potencial eléctrico, de los iones en una solución en comparación con un electrodo estándar. El electrolito debe elegirse con cuidado para el grupo de elementos que se van a probar y se necesita alguna unidad para interpretar los resultados.

Análisis orgánico.- El muestreo de la atmósfera para buscar partículas orgánicas se hace de la misma manera que para obtener el total de las partículas o la fracción de las inorgánicas, aunque se debe tener cuidado de proteger la muestra de un exceso de calor o de luz solar. El muestreador de gran volumen resulta muy útil debido a las bajas concentraciones de la mayoría de los compuestos orgánicos. Las muestras más pequeñas pueden resultar útiles cuando se busca un compuesto específico o un tipo de compuestos por lo cual se pueden emplear colectores clasificadores para aislar, por ejemplo la fracción que es perjudicial para los pulmones.

Esta interpretación analítica de la muestra de polvo, además de determinar el número de partículas, la composición orgánica o mineralógica del grado de polvosidad en el ambiente de trabajo nos determina aproximadamente las

partículas más finas que como sabemos son las más peligrosas desde el punto de vista de la higiene industrial y por los daños materiales que produce.

#### COLECTORES:

Cámara de sedimentación por gravedad.- El aire sucio es dirigido a través de un tubo de gran tamaño donde la velocidad de las partículas baja lo suficiente para permitir que éstas se asienten por gravedad.

El flujo puede ser horizontal o vertical. En la cámara de Howard, han sido agregados platos horizontales para acortar la trayectoria de asentamiento de las partículas, aumentando la eficiencia del colector pero dificultando su limpieza. Estas cámaras son poco usadas en la actualidad. El espacio que necesitan es grande y su eficiencia es baja, lo que lo limita sólo a prelimpiar el ambiente para alimentar a un colector secundario que sea más eficiente.

Cámara de mampara.- El asentamiento de las partículas es ayudado por un impulso que cambia la dirección del aire. El aire que fluye es dirigido hacia abajo a través de la cámara que contiene una mampara alrededor, donde el aire es desviado; mientras tanto las partículas de polvo grandes tienden a continuar moviéndose hacia el fondo para ser colectadas en una tolva y removerse o usarse más tarde.

Este colector ocupa menos espacio que la cámara de asentamiento de paso estrecho, y tiene casi la misma eficiencia.

Cámara desnatadora.- La corriente de aire sucio entra en una hélice tangencialmente; el polvo es llevado a la periferia por inercia. El aire concentrado de polvo es "desnatado" por medio de canales y es dirigido a una tolva o colector secundario. La corriente de aire limpio que sale de la tolva es mezclada con la que sale de la "cámara desnatadora".

Los colectores en seco de eficiencia media como éste, tienen una salida de corriente que posiblemente no satisfaga algunos de los requisitos de los colectores de polvo. Podría ser requerido un colector secundario. La "cámara desnatadora" es usada para reducir la carga de partículas gruesas que son llevadas a un colector secundario.

Colector tipo respiradero.-El aire sucio pasa por la boca ancha de un prisma o cono que tiene un codillo en punta por donde el aire escapa a través de hendiduras o respiraderos a lo largo de las paredes. Las partículas más grandes son llevadas por inercia al estrecho final de la cámara donde son purgadas con una fracción de aire.

Este colector debe unirse a uno secundario, como un ciclón de alta eficiencia, para separar el aire del polvo. El aire purgado (generalmente menos del 10%) es regresado al colector respiradero y reciclado.

Ciclones.- En su arreglo más común el aire entra al ciclón de manera tangencial en lo alto de una sección cilíndrica y de espirales que bajan al fondo, el cual es, generalmente, la punta de un cono. Las partículas de polvo, a las que se les aplica una gran fuerza centrífuga, se acumulan en la pared y de ahí son bajadas, las partículas están sostenidas contra la pared por la velocidad del aire. En el fondo del ciclón el polvo es separado del aire el cual fluye hacia arriba por un pequeño espiral y sale por el domo del ciclón.

Los sólidos son recogidos por una tolva y removidos por una válvula rotatoria, un transportador de tornillo sin fin, o algo semejante.

Los colectores más utilizados son los ciclones debido a que su costo es bajo, no tienen partes móviles y que tengan que estar recubiertas por una capa refractaria para soportar temperaturas mayores a los  $1800^{\circ}\text{F}$ . Estas unidades pueden ser diseñadas para una gran capacidad de polvo con eficiencia media y caída de presión media. Las altas eficiencias son obtenidas con velocidades mayores y diámetros menores, lo cual trae caídas de presión mayores.

Las unidades pueden estar conectadas en paralelo para flujos grandes de aire, en serie para obtener mayores eficiencias, o bien, combinadas según se requiera.

**Ciclón múltiple.**- Debido a que los ciclones de menor diámetro son más eficientes, lotes de pequeños ciclones son arreglados en forma paralela con una alimentación proveniente de una cámara de plenitud.

La ventaja que se obtiene con este sistema es una alta eficiencia, la desventaja es el obturar los pequeños tubos. Un sólo ciclón de este tipo no opera tan eficientemente en una instalación múltiple, como lo hará por sí sólo. Esta diferencia proviene de una desigualdad de distribución del polvo y del aire en las entradas de los equipos y la recirculación del aire de las tolvas del polvo a través de la salida de éste. Consecuentemente, los ciclones múltiples son manufacturados como si se tratara de una sola unidad para asegurar un buen diseño.

**Colectores de choque.**- En estos aparatos la velocidad con la que entra el aire es aumentada por un Venturi y el impulso de las partículas llevan a éstas a través de canales a un plato liso donde caen a un colector. Las partículas de polvo son recogidas en una superficie mientras que la corriente de aire es desviada alrededor del plato.

La colección de niebla es simple utilizando este tipo de colector, ya que el líquido resbala hacia abajo de la mampara. Estos dispositivos requieren sacudidores o limpiadores de polvo, ya que en ocasiones este se queda en las superficies. Si los sólidos son pegajosos, las paredes deberán ser lavadas continuamente con agua en circulación.

Colector dinámico.- Consta de un ventilador con un impulsor especialmente diseñado y un saco, que emplea una fuerza centrífuga para coleccionar las partículas en la periferia, de donde son retiradas en corrientes concentradas.

Lo que diferencia este colector es el pequeño espacio que ocupa y la baja caída de presión. Funciona como un ventilador real con baja eficiencia (40 a 50%) comparado con un ventilador simple para gas (60 a 65%)

#### LAVADORES HUMEDOS:

Estos recuperan las partículas de polvo como una torta o solución que requiere de un proceso adicional ya sea para obtener el producto o para desecharlo.

En los lavadores húmedos el aire es enfriado y lavado, las partículas son perfectamente removidas, los gases corrosivos deben ser neutralizados con el medio de limpieza adecuado, los riesgos de explosión en las mezclas polvo-aire son reducidas y el equipo ocupa un espacio moderado.

La eficiencia de estos aparatos varia de acuerdo a la fuerza con que entra el aire, presentando un amplio rango dependiendo del diseño que se necesite. Inicialmente, el costo del equipo es bastante razonable sin embargo, el costo de operación es sumamente alto cuando se requiere una alta eficiencia.

Lavadores en aerosol por gravedad.- En éstos el líquido es rociado en la parte superior de la torre, las gotas atrapan las partículas de polvo y caen por gravedad, resbalándose por las mamparas hacia el fondo de la torre donde son recolectadas.

La eficiencia y la caída de presión es baja, sin embargo este tipo de limpiadores es útil para una carga pesada de partículas gruesas o para una absorción de partículas sólidas.

Lavador centrifugo.- El líquido es rociado sobre un remolino de polvo-aire que va en dirección ascendente, las partículas de polvo se mezclan íntimamente con las gotas de agua y son lanzadas por fuerza centrífuga hacia las paredes del colector, donde resbalan hacia el fondo del mismo para ser recolectadas.

Existe una gran variedad dentro de este tipo de aparatos, dependiendo del tamaño de la partícula y del flujo de aire que se vaya a manejar.

Lavadores de cama empacada.- El principio de este colector es similar al de una torre empacada. La mezcla polvo-aire entra por la parte inferior de manera ascendente, pasa a través de una cama empacada por esferas de baja densidad donde se encuentra con el líquido que proviene de la parte superior de la torre a contracorriente.

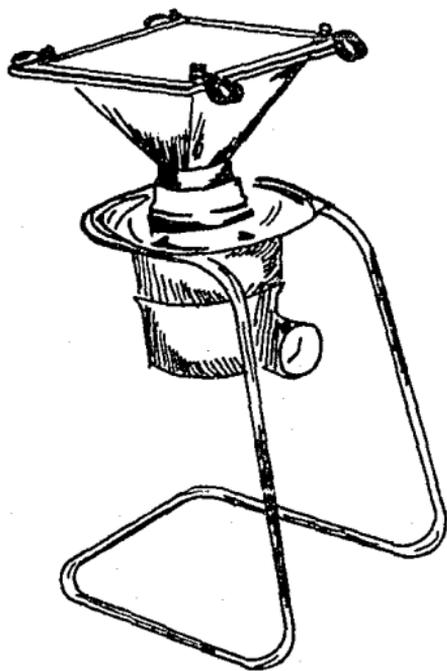
En la parte inferior de la torre se recoge la solución de polvo mientras que en la parte superior sale el aire limpio. Las ventajas de este lavador son: bajo costo y simplicidad, resistencia a la corrosión y no presenta partes móviles.

Lavadores de chorro.- Una corriente de agua es utilizada para arrastrar partículas de polvo, las cuales son separadas del agua en una cámara de sedimentación. El lavador de chorro es muy útil y económico cuando no es necesario añadir un ventilador o un sistema colector.

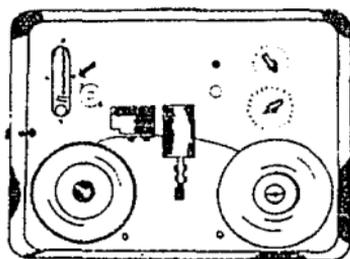
Lavador Venturi.- El agua es introducida en la garganta del aparato y es atomizada por una corriente de aire a gran velocidad. La alta velocidad producida por la aceleración de las partículas y las gotas de agua da como resultado una alta eficiencia. La colección es ayudada por la condensación si el gas es saturado en la zona de

reducción de presión del Venturi siempre y cuando las partículas sólidas sirvan como núcleo de condensación.

El lavador Venturi puede ser diseñado para altas caídas de presión para coleccionar partículas de polvo menores de una micra.



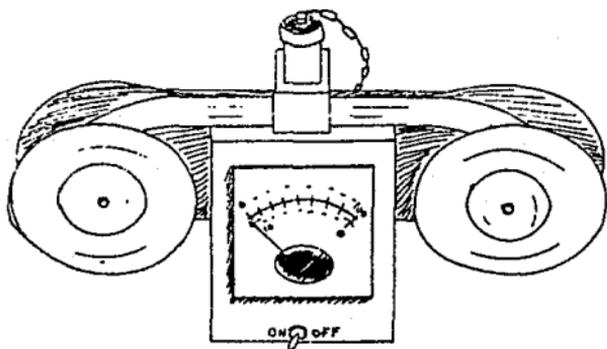
MUESTREADOR DE AIRE DE GRAN VOLUMEN

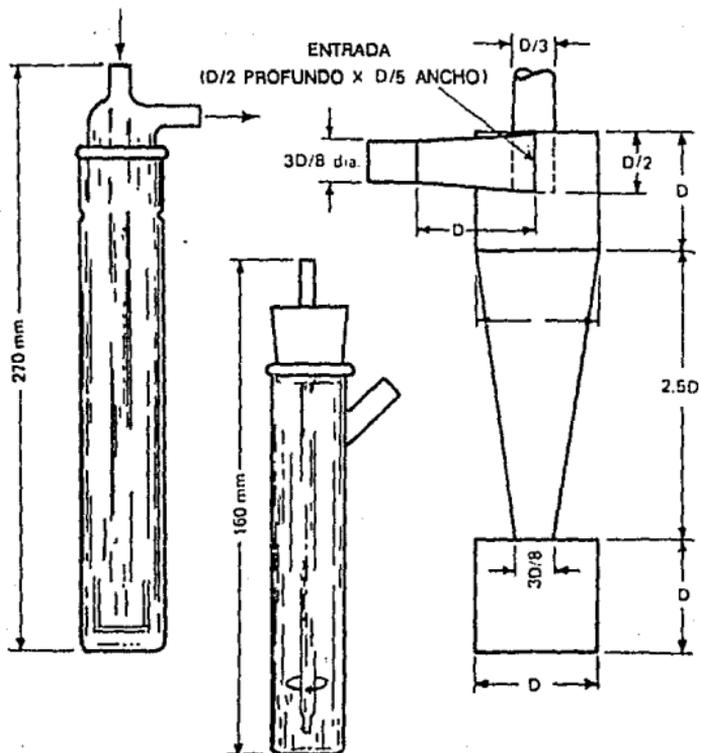


MUESTREADOR DE CINTA

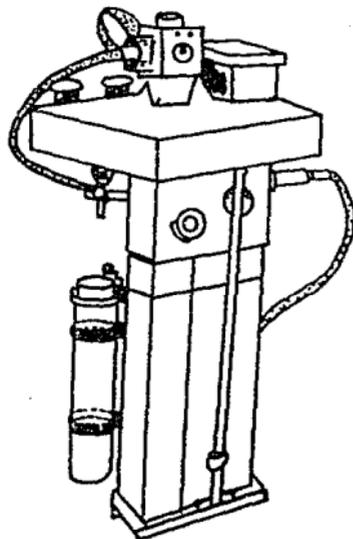
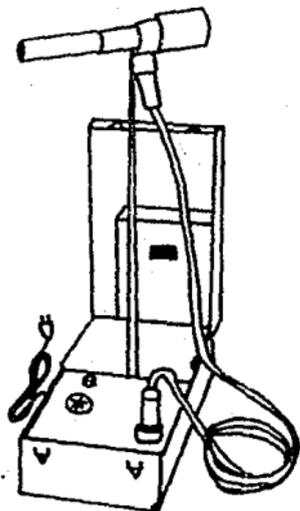
MIDE DENSIDADES,

DENSIDAD OPTICA, PORCIENTO DE TRANSMISION



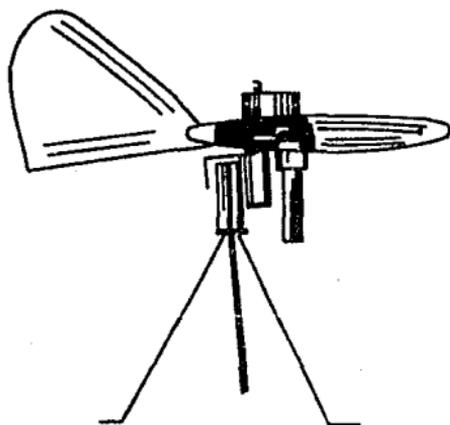


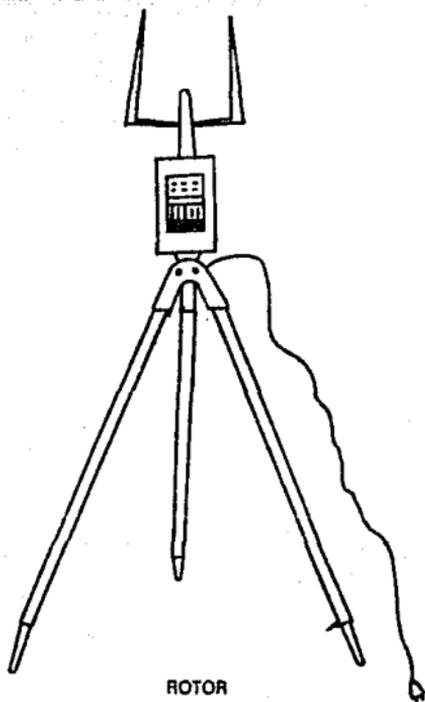
MUESTREADOR GREENBERG SMITH MIDGET IMPIGMER Y CICLONE

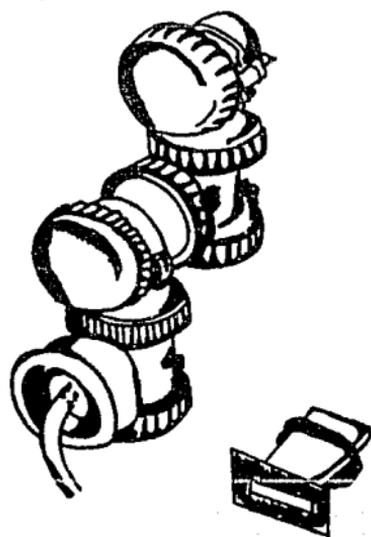


PRECIPITADOR ELECTROSTATICO  
PRECIPITADOR TERMICO

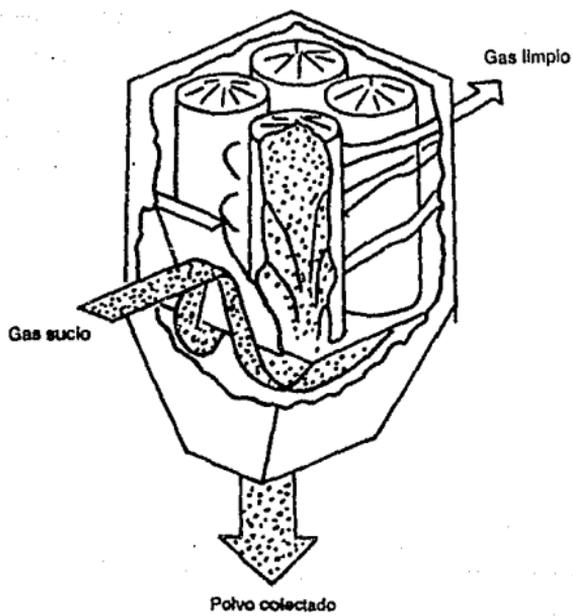
MUESTREADOR DE ESPORAS



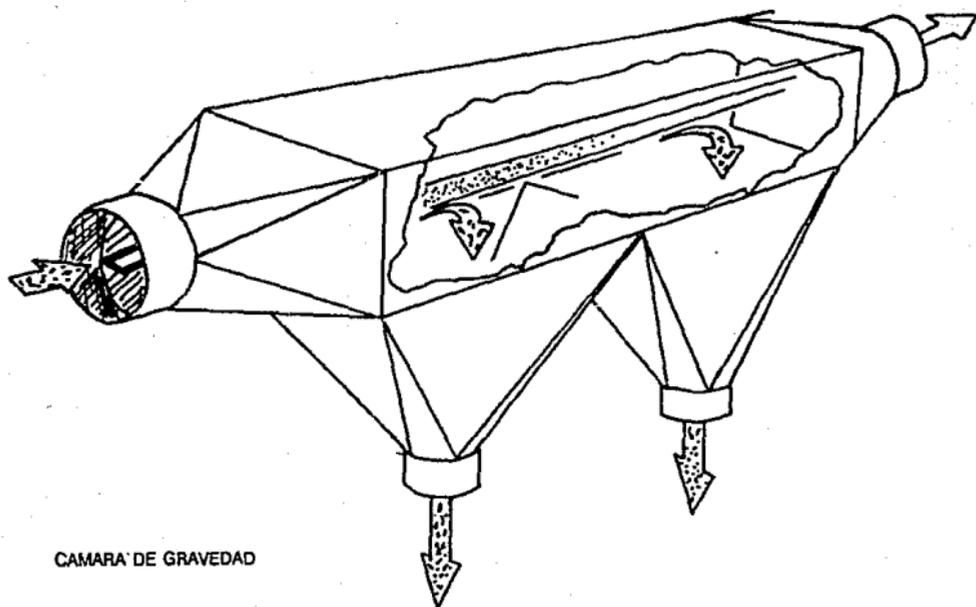




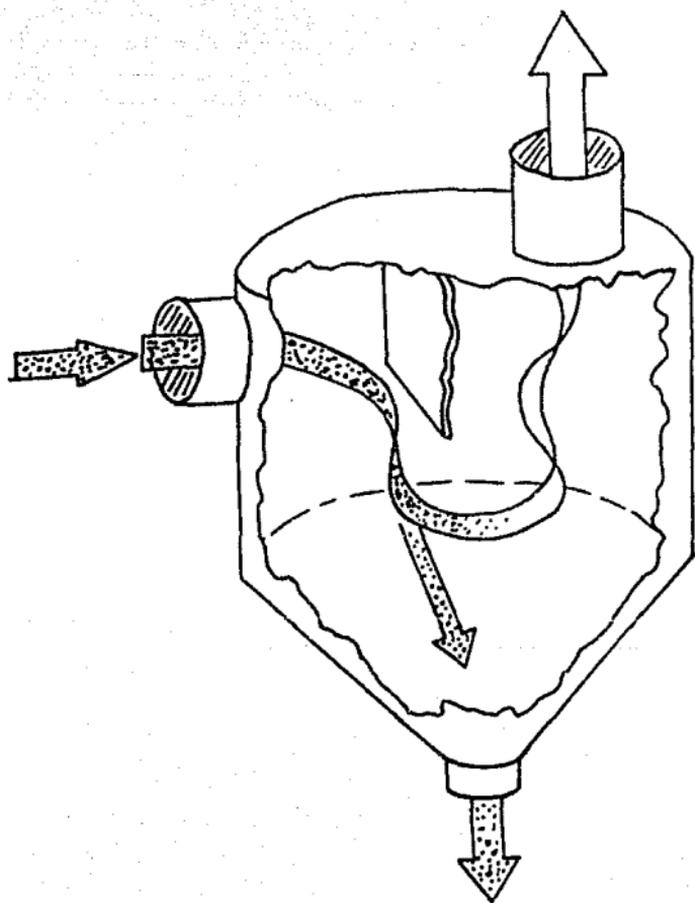
MUESTREADOR DE CASCADA



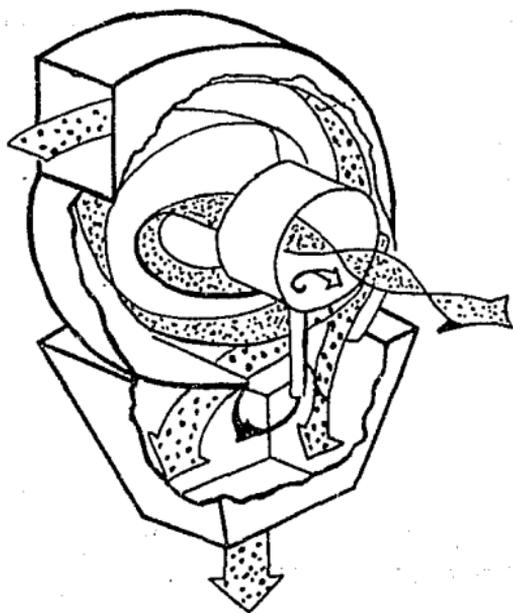
FILTROS



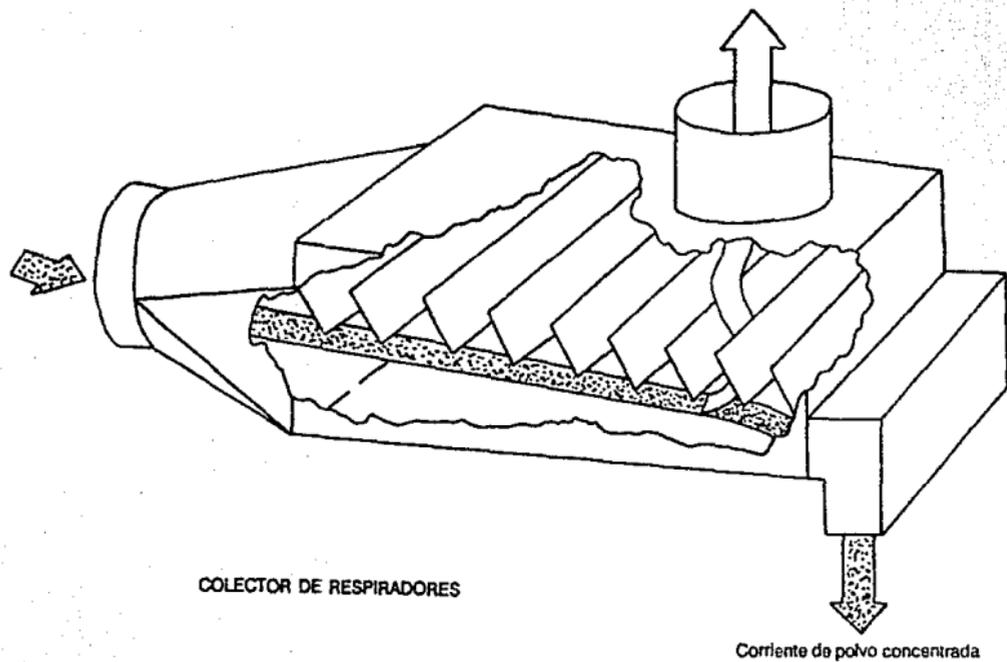
CAMARA DE GRAVEDAD

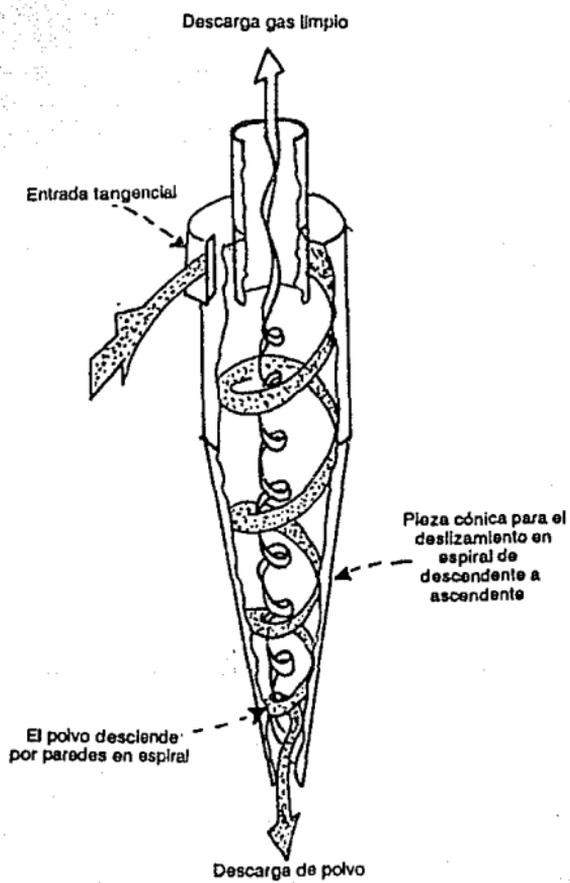


CAMARA DE MAMPARA

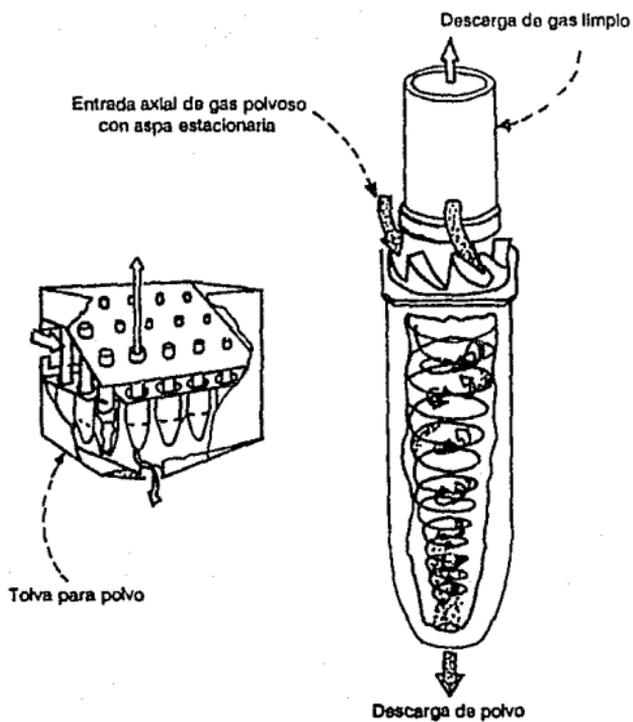


CAMARA DESNATADORA

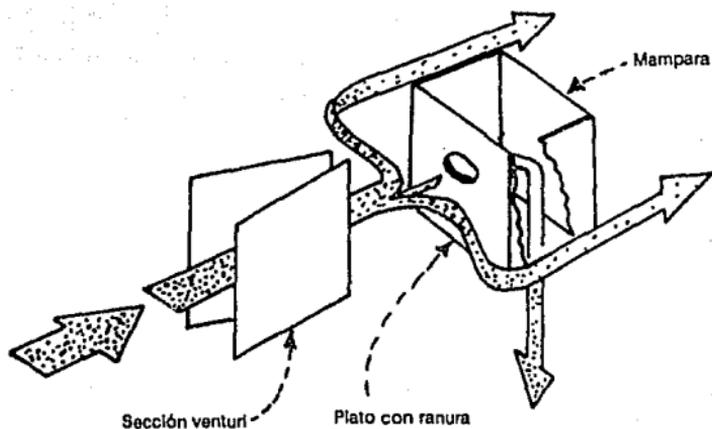




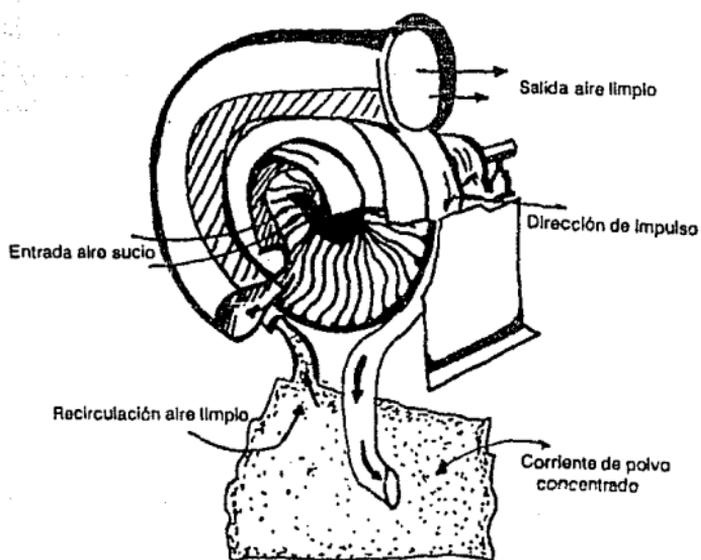
CICLON



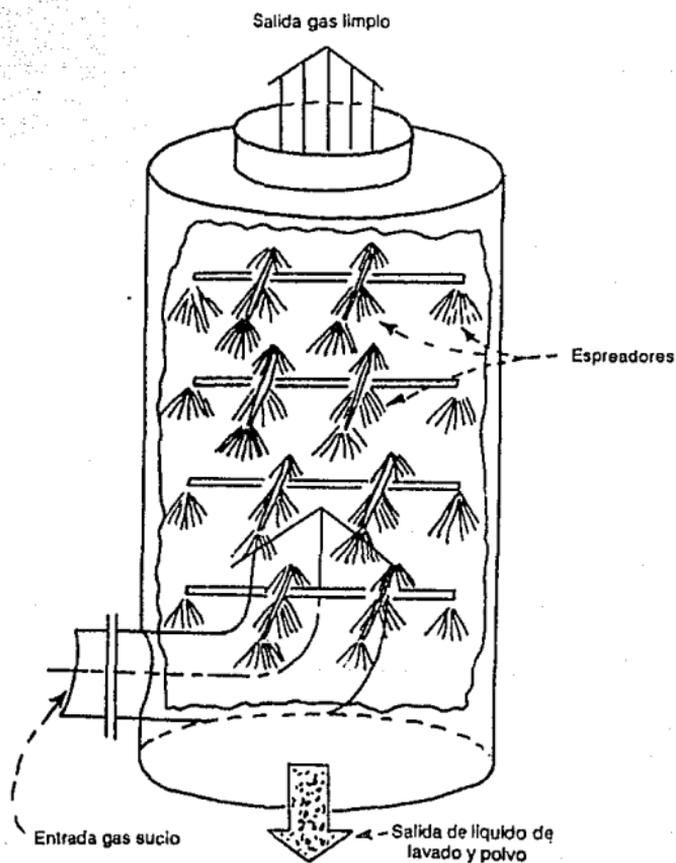
CICLON MULTIPLE



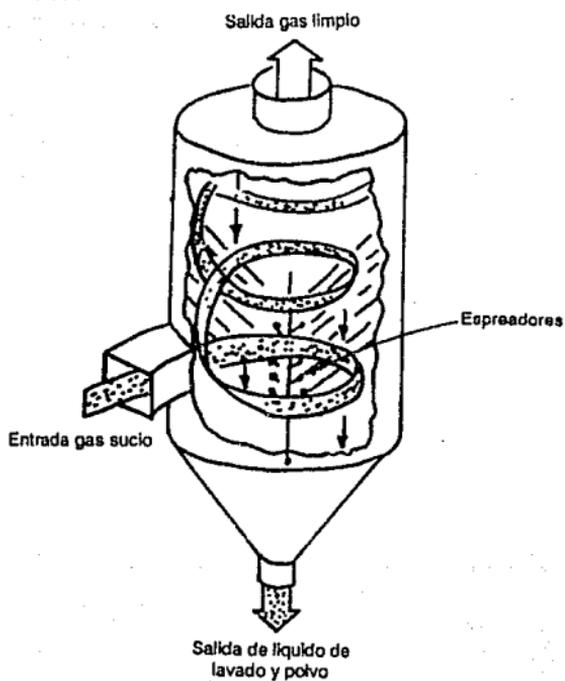
COLECTOR DE CHOQUE



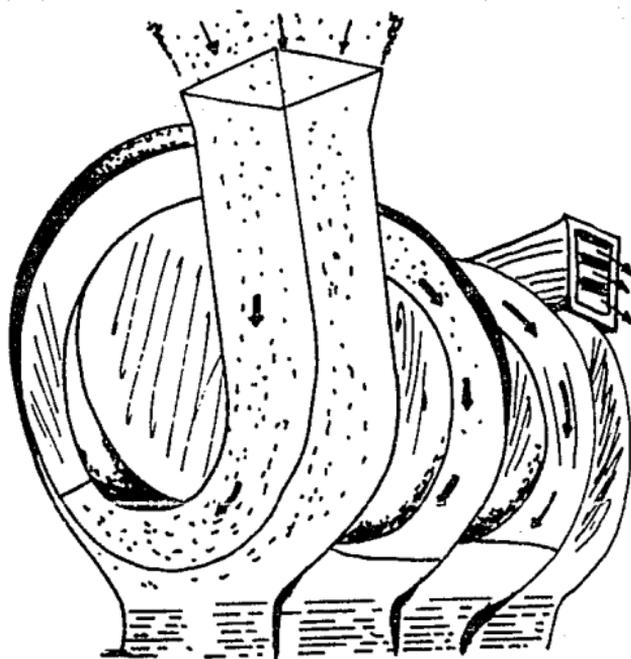
COLECTOR DINAMICO



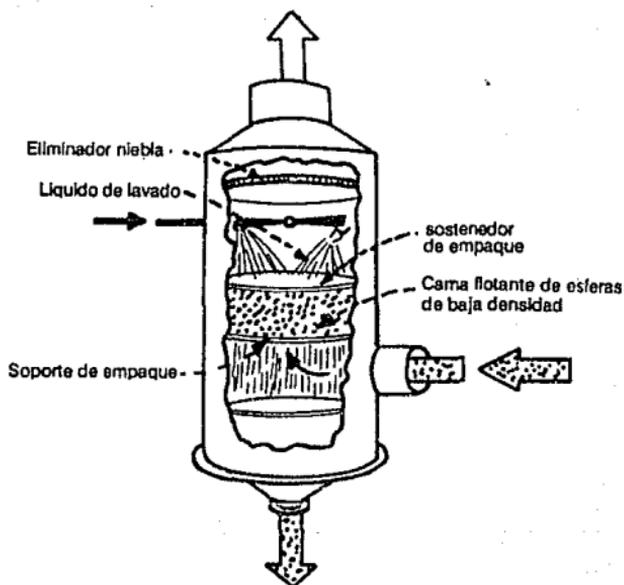
LAVADOR DE ROCIO POR GRAVEDAD



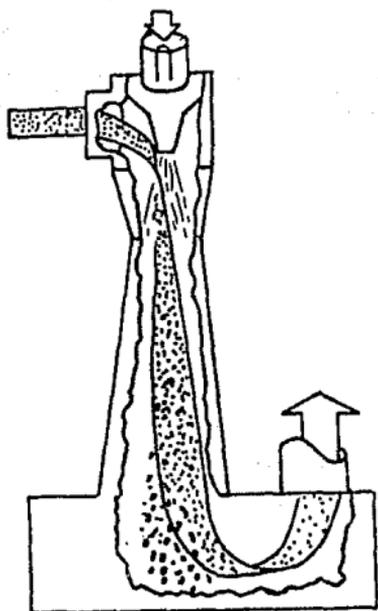
LAVADOR CENTRIFUGO



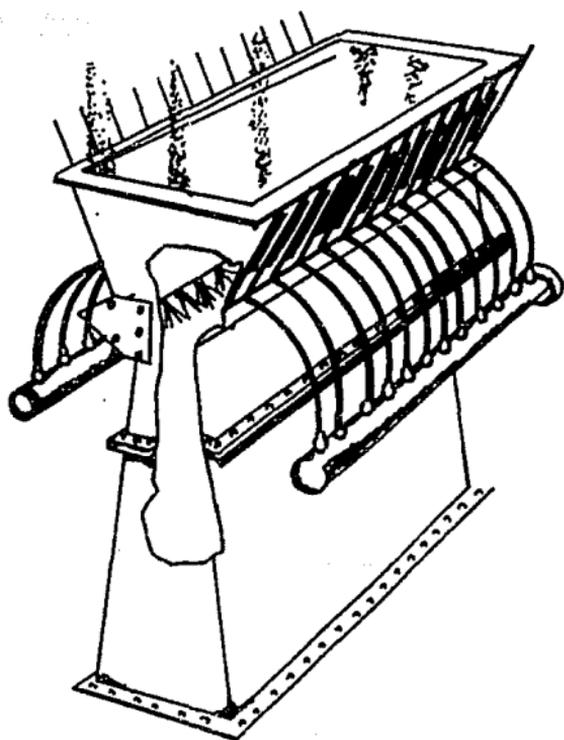
LAVADOR CENTRIFUGO



LAVADOR DE CAMA EMPACADA



LAVADOR DE CHORRO



LAVADOR VENTURI

## CAPITULO IV

### Efectos Causados por Polvos.

El polvo es interesante en virtud de su dispersión casi constante en el aire, de donde es inhalado o ingerido provocando en algunas ocasiones enfermedades. Algunos polvos químicos irritan la piel y provocan quemaduras; también irritan el tejido conjuntivo produciendo lagrimeo y conjuntivitis o bien inflamación de la mucosa nasal, que llega hasta ulcerar el tabique o irritar las vías respiratorias lo suficiente como para causar tos, bronquitis y neumonia.

Las minas, canteras, alfarerías, fundiciones, industrias, y las fábricas de polvos de limpieza para el hogar son una fuente riesgo para el trabajador provocándoles enfermedades, que van desde una pequeña dificultad respiratoria hasta una aguda atrofia del sistema respiratorio, o inclusive la muerte.

Durante la evaluación de los estudios de toxicología existe la constante necesidad de dar a conocer los numerosos factores que pueden influir en la naturaleza, severidad y probabilidad de contraer una intoxicación. Algunos de los factores más importantes se citan a continuación:

1.- Número de exposición.- Algunos de los efectos tóxicos son producidos en respuesta a una exposición de magnitud suficiente, mientras que otros requieren varias exposiciones para su desarrollo.

2.- Magnitud de exposición.- Infiuye en la probabilidad de que un efecto pueda ser producido y su severidad.

3.- Especies en estudio.- Puede existir una relación entre las especies estudiadas con respecto a la potencia relativa de un material dado para producir daños tóxicos.

4.- Ruta de exposición.- Esta tiene una influencia significativa en el metabolismo y distribución del material; las diferentes rutas de exposición influyen directamente en la cantidad del material absorbido y por lo tanto en su efecto tóxico final.

5.- Tiempo de dosis.- El tiempo es un factor importante ya que el daño tóxico depende de si la exposición es por día, mes o año. Los daños se reflejan por una alteración en los mecanismos fisiológicos y bioquímicos.

6.- Formulación.- La formulación del material a tratar es importante para establecer el potencial tóxico del mismo.

7.- Impurezas.- La presencia de impurezas puede modificar la respuesta tóxica, particularmente si poseen una alta toxicidad.

Antes de producirse cualquier efecto tóxico local o sistemático, el polvo tiene que entrar primero en contacto con alguna superficie del cuerpo, a ésto se le conoce como ruta de exposición, y las más comunes son:

a) Ingestión.- Es lo suficientemente irritante como para causar daños en la boca, faringe, esófago y estómago; adicionalmente los materiales cancerígenos pueden provocar la formación de un tumor en el conducto alimenticio.

b) Piel.- Esta puede ser contaminada accidentalmente, o en algunos casos, ciertas sustancias son aplicadas deliberadamente. La piel es la principal ruta de exposición en el ambiente industrial. Algunos efectos locales causan inflamaciones agudas o crónicas, reacciones alérgicas y neoplasia.

c) Inhalación.- El potencial de los efectos adversos de los materiales dispersos en la atmósfera de trabajo dependen de una variedad de factores entre los que se encuentran el estado físico, la concentración, el tiempo y la frecuencia de exposición. La probabilidad de que el material produzca efectos locales en el sistema respiratorio depende de sus propiedades físicas y químicas, su solubilidad, su reactividad con la mucosa y los tejidos del sistema, así como el sitio donde se depositan.

d) Ojos.- Efectos adversos pueden ser producidos por salpicaduras de líquidos o sólidos y por polvos de materiales dispersos en la atmósfera de trabajo. Dichos daños se manifiestan por inflamación aguda, irritación permanente y ocasionalmente ceguera.

Como mencionamos antes, el sistema respiratorio es uno de los más afectados por los polvos, por lo tanto debemos conocer perfectamente las partes de éste así como las zonas de mayor sensibilidad.

El sistema respiratorio se puede considerar dividido en dos partes principales, la superior, que comprende la nariz y la garganta y la inferior con los pulmones y la tráquea.

Los pulmones son estructuras bilaterales no simétricas situadas en la cavidad torácica y están comunicados con la boca y la nariz a través de la tráquea. El pulmón izquierdo tiene dos divisiones o lóbulos y el pulmón derecho tiene tres, siendo cerca del 12% mayor el derecho que el izquierdo.

En el adulto normal la tráquea es de 2 cm de diámetro y está protegida por anillos de cartilago con una abertura en la parte posterior, es fuerte y rígida en la parte frontal y algo elástica en la parte de atrás. Aproximadamente al nivel de la cuarta nervadura del cartilago la tráquea se ramifica en los bronquios y luego estos se subdividen en bronquiolos, los cuales llegan a los sacos terminales de aire o alveolos. En el alveolo es donde se efectúa el intercambio de oxígeno entre el aire y la sangre que circula alrededor de éste en

numerosos vasos capilares. La superficie total que presentan los alveolos es de unos 90 a 100 m<sup>2</sup>. La capacidad de los pulmones es de 4.5 lts. aproximadamente, pero en la respiracion normal solo se desalojan y se reponen las dos terceras partes con un ritmo de unas 16 respiraciones por minuto en la persona adulta.

A medida que aumenta la rapidez del ritmo respiratorio, aumenta el volumen de aire que se respira, y la velocidad de circulación de la sangre. Los aparatos respiratorio y circulatorio actúan simultáneamente bajo control del sistema nervioso respondiendo a la demanda de energía que se presenta en el organismo cuando se desarrolla una actividad.

Una partícula de polvo del tamaño de un grano común de polen (de 15 a 25 micras) es muy probable que sea atrapada en los pasajes nasales o en la parte posterior de la garganta. Si entra cerca del centro de la tráquea entonces no hay impedimento para que continúe hasta el bronquio, no siendo probable que llegue al alveolo. La recolección de tales partículas se debe al choque contra las paredes húmedas de los tubos respiratorios. La tráquea esta recubierta por una gran cantidad de pestañas o cilios de las mucosas al igual que los pasajes nasales. Toda la mucosa se mueve hacia la salida de la nariz y boca no estancándose nunca.

Dentro del alveolo hay otras células fagocíticas especiales que salen en forma ilimitada por el estímulo de un cuerpo extraño, estas células engloban las partículas de polvo y las conducen a pequeños ganglios linfáticos situados cerca de los vasos sanguíneos del pulmón. En dichos ganglios traqueobronquiales se deposita una gran cantidad de polvo por los fagocitos y es aquí donde empieza la fibrosis del tejido pulmonar, después de la inhalación de polvo. Después de diversos estudios se ha encontrado que no todos los polvos son llevados por fagocitos con la misma rapidez, también se ha visto que existe cierta preferencia por algunos polvos.

En la exposición excesiva sin protección adecuada a los polvos se debe considerar que las partículas más grandes son filtradas fácilmente por la nariz, lo cual se favorece por la configuración irregular de ésta, se adhieren a la cubierta mucosa de la faringe, de la tráquea, y de los bronquios, y ahí, o son retenidas, provocando irritación respiratoria alta, o son deglutidas causando irritación gastrointestinal, o son expulsadas o expelidas con la expectoración al toser.

Las partículas más pequeñas, dependiendo de su tamaño, se depositan en diferentes partes del sistema respiratorio: las mayores a 10 micras se alojan en la parte superior del conducto respiratorio; aquellas que estén en el rango de 2-10 micras se depositan progresivamente en la tráquea, bronquio y bronquiolos; solo las partículas menores de 1 micra llegan a

los alveolos; por debajo de 0.1 micras solamente una parte es retenida en los pulmones, siendo el resto expulsado en el aire expirado.

Los medios de protección de que se vale el organismo contra la inhalación de polvos son: la sustancia mucosa secretada por las células epiteliales de que están revestidas las vías respiratorias superiores, cilios de la mucosa de la nariz, la tráquea y los bronquios que sirven para expulsar las partículas de polvo hacia la faringe y la boca, y en menor grado las brisas de las ventanas de la nariz.

El grado de retención de polvo por el pulmón depende de la clase de tejido, del estado general de salud del individuo, de las propiedades físicas del polvo y su concentración y será modificado por la eficiencia del filtro de la nariz, por la frecuencia de la respiración, por el tamaño de la partícula de polvo y por su concentración en el aire inhalado.

Las enfermedades causadas por la penetración de polvo al sistema respiratorio se conocen como Neumoconiosis, (ésta se deriva de tres palabras griegas que significan pulmón, polvo y condición anormal; el término generalmente aceptado es pulmón con polvo). La naturaleza exacta del daño causado a los pulmones varía según sea la composición del polvo. En general, la enfermedad consiste en el desarrollo de tejido fibroso, que se encuentra en la sustancia esponjosa del

pulmón, reduciendo su elasticidad y disminuyendo la superficie de absorción de oxígeno del aire que penetra en la sangre.

El endurecimiento del tejido pulmonar y de la formación de puntos llamados nódulos es un proceso que avanza puesto que no pueden ser disueltas estas formas nocivas.

Los polvos que causan las principales neumoconiosis son: la sílice, el carbón, las sales de calcio, el polvo de algodón y el del bagazo de caña de azúcar.

La silicosis es una variedad de neumoconiosis que es la principal enfermedad de este grupo. El asbesto origina fibrosis en el pulmón pero no la fibrosis nodular característica de la silicosis. El polvo de sílice es el más perjudicial.

La silicosis simple es una enfermedad crónica de los pulmones ocasionada por invasiones nocivas del tejido pulmonar por sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Se caracteriza por la formación de tejido fibroso que puede observarse por medio de radiografías, viéndose nódulos dispersos en todo el tejido pulmonar. Una vez que son visibles los nódulos en la radiografía no es ya posible la regresión. La silicosis por si sola puede incapacitar al trabajador, los sujetos silicosos están más propensos a la tuberculosis y enfisema pulmonar.

En la actualidad se utilizan medidas de prevención de la silicosis mediante la aspiración de polvo fino de aluminio. Si el aluminio y la sílice se localizan en un mismo fagocito se neutraliza el efecto de la segunda y entonces se detiene la reacción de los tejidos a la sílice, también, el curso de los nódulos silicosos ya desarrollados y se cierran las lesiones incipientes. El polvo de aluminio puede quedarse en los tejidos y proteger al individuo por largo tiempo. Ordinariamente el aluminio no produce efectos tóxicos, aunque parece aumentar la propensión a la tuberculosis cuando se administra en grandes dosis.

La asbestosis es otro tipo de neumoconiosis, producida por la inhalación prolongada de polvo de asbesto, que ocasiona una fibrosis pulmonar diferente a la producida por la sílice. La enfermedad va acompañada de cáncer de pulmón en el 16% de los casos.

Se conocen dos tipos de cáncer de pulmón relacionados con el asbesto, el que guarda analogía con el cáncer producido por el humo del cigarrillo y el que lesiona el tegumento del pulmón.

El polvo de algodón ocasiona también enfermedades ocupacionales. La bisinosis es una afección de las vías respiratorias que se presentan después de muchos años de inhalar polvos de algodón. En los primeros periodos del padecimiento se suelen presentar los síntomas el lunes o después de que los trabajadores permanecen alejados del

trabajo algunos días, de ahí la designación vulgar de "fiebre de los lunes". Si en este periodo el trabajador se aleja del lugar polvoso, generalmente se cura de este mal.

El polvo de carbón produce un tipo especial de lesión pulmonar, la antracosis que es la infiltración del parénquima pulmonar por partículas de carbón procedentes de la atmósfera. A causa de la naturaleza del polvo de las minas y del mayor número de personas expuestas a su acción perniciosa constituyen la causa principal de neumoconiosis en muchos países.

Hay otros polvos que producen alteraciones radiográficas en los pulmones similares a la silicosis, pero que se caracterizan por la falta de fibrosis, entre las sustancias que producen este tipo de alteraciones están: el bario, el hierro y el estaño.

A continuación citaremos los polvos industriales más comunes y más dañinos a los trabajadores y a la comunidad de los alrededores.

Polvos de arsénico.- Se encuentran principalmente en fundidores metálicos, herbicidas y pesticidas. Estos polvos son sumamente tóxicos para el hombre aunque el envenenamiento con estos no es muy frecuente, pero cuando se descuidan las medidas de control y precauciones en los fundidores de metales con arsénico se puede presentar. El arsénico se usa

como desecante para procesar las hojas de algodón de la maquinaria, como resultado, al quedar las cenizas de algodón que es quemado, se producen polvos arseniosos que contaminan el aire. La quema de carbón también elimina una cantidad de arsénico a la atmósfera de trabajo. Las enfermedades que ocasiona son principalmente: dermatitis, bronquitis, e irritación nasal.

Polvos de berilio.- Se encuentran principalmente en la industria de las lámparas fluorescentes, y en combustible para cohetes. Presenta una alta toxicidad y graves efectos en la salud humana. El berilio es considerado como la más tóxica y riesgosa sustancia no radiactiva utilizada en la Industria. La expansión de la misma debe tener mayores precauciones para evitar la contaminación del ambiente del trabajador. Las enfermedades que comúnmente se presentan son: daños pulmonares, en la membrana mucosa y en la piel, provocados por las sales de berilio.

Polvos de boro.- Presentes en la Industria del petróleo, de producción de boro y en el carbón. Es moderadamente tóxico para el hombre que ingiere o inhala estos polvos. Si es ingerido o inhalado causa irritación e inflamación del sistema respiratorio.

Polvos de cadmio.- Generalmente provienen de las refineries de zinc e industrias metalúrgicas. Es moderadamente tóxico. Produce varias enfermedades como es el envenenamiento, enfisema, bronquitis, cáncer, gastritis y males del corazón.

Polvos de cromo.- Su fuente principal son las industrias químicas y metalúrgicas, industrias de productos que emplean compuestos de cromo, cementos y asbestos. En su forma metálica no es tóxico pero si se presenta en su forma de trióxido de cromo ( $\text{CrO}_3$ ) en el aire es quizá el componente hexavalente de cromo mas peligroso porque al combinarse con el agua produce ácido crómico ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ) que es muy corrosivo. Estos polvos causan lesiones en los tejidos del cuerpo irritándolos, provoca dermatitis y úlceras de piel.

Polvos de hierro.- Se producen principalmente en la industria metalúrgica, también en forma de cenizas voladoras de la combustión del carbón y aceite combustible. Es medianamente tóxico pero se encuentra muy presente en la atmósfera que se respira diariamente. La neumoconiosis y la siderosis (pigmentación de hierro en los pulmones) son los daños más comunes en el organismo.

Polvos de plomo.- Presente en fundidoras de plomo, emisión atmosférica de los automóviles por el uso de cierto tipo de gasolina. El 50% de lo que se inhala se retiene y llega a juntarse tal cantidad que interviene en el desarrollo de glóbulos rojos y hemoglobina, también dañan a las células del cerebro e interfiere en el funcionamiento de éste. Uno de los principales síntomas del envenenamiento con plomo es una marcada pereza. Investigaciones recientes indican que el plomo afecta el periodo de sueño profundo haciéndolo más corto y menos estable. Estos polvos se depositan principalmente en los pulmones garganta y nariz causando grandes daños a la larga.

Polvos de níquel.- Emitidos por plantas metalúrgicas, incineración de productos de níquel, quema de combustibles de motores que poseen aditivos de níquel, entre otros. Aspirado como polvo o vapor produce irritación de la piel, cáncer pulmonar y otras enfermedades respiratorias.

Polvo de fósforo.- Originados en las plantas de fertilizantes. El daño que causa depende de su concentración y de su composición química, y va desde una simple irritación de la piel hasta un severo daño en el sistema nervioso central.

Polvos de Zinc.- Presentes en las refineries de zinc y en los procesos de galvanización. No es muy tóxico más que en altas concentraciones y cantidades provocando daños al sistema respiratorio y piel.

Polvos de azufre.- Producidos principalmente en la quema de carbón y aceites combustibles. La forma contaminante más dañina es el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). De 115 a 300 microgramos por metro cúbico, en un lapso de 24 horas causa la muerte. Como sabemos el SO<sub>2</sub> es un gas, sin embargo, se combina con partículas y aerosoles, que actúan como catalizadores, provocando numerosos daños al organismo como son: intensa irritación, reducción de la visibilidad, y enfermedades respiratorias y cardíacas.

#### Explosiones de Polvos.

Otro problema que se presenta cuando se trabaja con polvos en la industria es que estos pueden ser combustibles y provocar una explosión. En la actualidad no existe ningún método para predecir el grado de explosividad de un polvo de acuerdo a su composición o calor de combustión, sin embargo toda la información adicional que se pueda conseguir es muy útil para elaborar pruebas.

Algunas pruebas de laboratorio han sido realizadas en diferentes países para permitir que se lleven a cabo investigaciones de las propiedades de las explosiones de polvo. Estas pruebas presentan varias diferencias ya que todas fueron realizadas de manera independiente pero todas tienen un punto en común: "las propiedades de explosividad del polvo provienen de una muestra pequeña del mismo dispersada y en presencia de una fuente de ignición".

Las pruebas de explosividad de polvos son una magnífica ayuda para evitar riesgos industriales en el manejo de nuevos materiales, mezclas de materiales ya existentes manufacturados por nuevos procesos. Los resultados pueden ser aplicados directamente o utilizados en comparación con resultados obtenidos en explosiones industriales previas, (basados en experiencias amargas para evitar situaciones similares). Estas pruebas ayudan también para decidir si un material puede o no ser utilizado en un proceso industrial, teniendo en mente el tipo de precauciones que deben tomarse. Las pruebas se realizan primero a nivel laboratorio y luego se llevan a otra escala que tenga uso industrial.

En todo tipo de prueba para garantizar la utilidad y eficacia de estas es necesario que la muestra de polvo que se tome tenga las propiedades representativas del material a utilizar. La muestra debe ser muy pequeña y por lo tanto es muy difícil obtenerla sobre todo cuando se trata de una

mezcla de materiales. Usualmente unos pocos kilogramos (5lb) de polvo son requeridos para la prueba, sin embargo la cantidad puede ser menor si el polvo es dividido finamente y bien mezclado. Se deben tener cuidados considerables cuando sea tomada la mezcla porque los resultados de esta prueba dependen de la composición de polvo y la recolección de la mezcla generalmente no es tomada por el personal comprometido con la muestra sino por otros que tienen menor familiaridad con la prueba.

Después de que fue tomada la muestra, se pasa a estudiar su toxicidad y sus productos de combustión. Si el material posee propiedades tóxicas se toman o realizan pasos apropiados durante la prueba para garantizar que el riesgo sea minimizado. Cuando el riesgo es muy serio, como con los productos radiactivos o materiales altamente tóxicos, se deben tener varias consideraciones para dar la construcción de un aparato especial para la prueba que pueda ser destruido después de su uso, con toda seguridad. Este procedimiento es muchas veces más económico que una completa descontaminación.

Todas estas pruebas están interesadas en determinar la explosividad o medir las propiedades de explosión de los polvos en suspensión pero no incluyen la medición de los polvos en capas o depósitos.

Clasificación de la explosividad.- Dependiendo de cual fue el comportamiento del polvo durante la prueba, son clasificados como a continuación se muestra:

Grupo a: polvos que se encienden y propagan la flama en el aparato de prueba.

Grupo b: polvos que no propagan la flama en el aparato de prueba.

Los polvos son clasificados dentro del grupo "a" si se prenden y propagan la flama en cualquiera de las tres pruebas con una pequeña fuente de ignición, tal como se recibe el polvo, o después de tamizar y secar la prueba. Los polvos del grupo "b", aunque no son explosivos, pueden presentar riesgo de incendiarse.

Las características básicas de los aparatos utilizados para efectuar la clasificación de acuerdo a su explosividad de los polvos son:

aparato: tubo vertical.

dirección de dispersión del polvo: vertical ascendente.

fuelle de ignición: chispa eléctrica o bobina de alambre calentado por electricidad.

aparato: tubo horizontal.

dirección de dispersión del polvo: horizontalmente.

fuelle de ignición: serpentín de alambre calentado eléctricamente a 1300 grados C.

aparato: inflamador.

dirección de dispersión del polvo: vertical descendente.

fuelle de ignición: chispa eléctrica o serpentín de alambre calentado eléctricamente.

Se necesitan aparatos de prueba de varios tipos porque los polvos tienen un gran rango de dispersión y también porque forman diferentes clases de nubes, con distintos alcances. Además se debe conocer la cantidad de polvo y la presión del aire de dispersión.

El aparato de tubo vertical.- Consiste en un tubo "perspex", de combustión (30.5 cm de largo por 6.4 cm de diámetro interno) montado sobre una taza de dispersión de latón (6.4 cm diámetro y 1.6 cm profundidad), el volumen del aparato es de 1.2 litros. El polvo a probar se coloca sobre la taza y es dispersado por el aire que pasa de manera ascendente por un tubo en el eje de la taza. Para mejorar la dispersión se monta un deflector en forma de hongo en la taza sobre el final de este tubo. La fuente de ignición es un par

de electrodos de latón montados en varias posiciones en el tubo perspex, con una garganta de chispa de aproximadamente 0.6 cm, la chispa proviene de una bobina de inducción. Las observaciones son hechas cuando la flama de propagación pasa a través de la nube de polvo de la fuente de ignición. La concentración de polvo puede variarse cambiando la cantidad de muestra la presión del aire de dispersión. Como algunos polvos no se prenden con una chispa eléctrica, el aparato de tubo vertical puede adaptarse incorporándole un serpentín calentado eléctricamente como fuente de ignición. Así este aparato es apto para probar todo tipo de polvos particularmente los materiales que son adherentes o de alta densidad, o que son disponibles en pequeñas cantidades. (Fig.4.7)

El aparato de tubo horizontal.- Está construido de tubo de vidrio de 1.38 mts de largo y 7.6 cm de diámetro interno, abierto por ambos lados y el polvo se introduce a través de un orificio en la superficie de arriba del tubo a 13 cm antes de un extremo y es depositado como en montón suelto. La bobina de ignición es montada 46 cm. antes del mismo extremo del tubo y consiste en una hélice de 18 mm de largo y 2.5 mm de diámetro interno. El polvo es dispersado por una ráfaga de aire medida, por un tiempo de 2 seg., la cual lo transporta para pasarlo por el serpentín de ignición. La observación se hace cuando la propagación de la flama desde la fuente de ignición ocurre o no. La concentración de polvo se cambia

variando la cantidad de éste colocada en el aparato y por la alteración del flujo de aire. Este aparato es apropiado para aprobar todo tipo de materiales carbonosos, particularmente si son de fácil dispersión, pero no es el adecuado para polvos de metales que pueden dañar la bobina de ignición. (Fig.4.8)

Aparato inflamador.- En este aparato el polvo cae de manera vertical descendente a la fuente de ignición. Un tubo vertical de vidrio (1.02 mts. largo y 7.6 cm de diámetro interno) está abierto en su extremo superior y cerrado en el fondo por un tapón de goma. El tubo es acondicionado con tres brazos a los lados por intervalos de 25 cm. para variar la posición del contenedor de polvo, dos brazos adicionales a los lados a 13 cm del fondo del tubo, facilitan que la chispa eléctrica o que la bobina de alambre puedan ser incertados. La temperatura de la bobina de ignición no es medida. El contenedor de polvo (15 cm de largo y 1.8 cm de diámetro interno), esá conectado a un depósito de aire de 460 cc de capacidad. Cuando el polvo es dispersado del contenedor por el aire, golpea contra un deflector montado en el eje del tubo y lo que cae por gravedad pasa por el encendedor. La observación se hace cuando la flama se propaga lejos de la fuente de ignición. (Fig.4.9)

## Medida de los parámetros de explosión de polvos.

Cuando se conoce de antemano que un polvo es explosivo, además de la información que se tiene, es necesario tomar en cuenta los riesgos de explosión y las precauciones para su manejo seguro. Los parámetros de explosión o propiedades del polvo pueden ser determinadas y son:

- 1) Temperatura mínima de ignición.
- 2) La concentración máxima permisible de oxígeno en la atmósfera para prevenir la ignición en una nube de polvo.
- 3) Concentración mínima de explosividad.
- 4) Energía mínima de ignición.

5) La presión máxima de explosión y la velocidad de aumento de la misma.

1.- Temperatura mínima de ignición.- Esta es medida en una versión modificada del aparato Godbert-Greenwald Furnace que consiste en un tubo de sílica de 21.6 cm de largo y 3.7 cm de diámetro interno que es calentado externamente por una bobina eléctrica. La temperatura más baja del aparato a la cual ocurre una ignición es la que se conoce como temperatura mínima de ignición.

2.- La máxima concentración de oxígeno permisible necesita ser conocida cuando se requiere de una protección para la explosión en una planta. La introducción de un gas inerte, como el nitrógeno es necesaria para mantener la concentración de oxígeno por debajo de la que normalmente trae el aire.

3.- La concentración mínima de explosividad es medida en el aparato de tubo vertical pero utilizando una chispa eléctrica continua como fuente de ignición. El polvo se dispersa de la manera usual, antes mencionada, bajo los mismos criterios. Cuando la explosión ocurre la cantidad de polvo es reducida y las pruebas continúan hasta que no se observe ninguna explosión en las 10 últimas pruebas a la misma concentración de polvo. La masa de la cantidad mínima de polvo a la cual ocurrió la explosión dividida entre el total del volumen del tubo es tomada como concentración mínima de explosión en el aire.

4.- Energía mínima de ignición.- Es medida utilizando una chispa eléctrica como fuente de ignición en un aparato similar al del tubo vertical. Chispas con carga conocida son pasadas entre los electrodos que están conectados a un transformador mientras que una nube de polvo se forma alrededor de ellos. La prueba se repite hasta que la energía mínima de la chispa es obtenida y la flama se propaga a través de la nube de polvo pero no la enciende, esto se debe repetir un mínimo de 10 veces.

5.- Máxima presión de explosión y velocidad de aumento de presión.- Es medida en un aparato más poderoso al del tubo vertical pero con el mismo principio. Para obtener este valor se grafica presión contra tiempo; la presión inicial " $p_1$ " al principio de la prueba a menudo aparece como una planicie debida a la entrada y dispersión del aire en el aparato. El aumento de presión debido a la explosión del polvo es

usualmente mas pronunciado y frecuentemente comienza después que todo el aire de dispersión ha entrado al tubo, aun cuando la fuente de ignición esté presente en forma continua; una vez alcanzado este punto máximo la presión deja de aumentar como se observa en la figura 4.1, donde la presión máxima se da por:  $P = p_2 - p_1$ .

En adición a estos métodos reconocidos adicionalmente con algunas diferencias entre los países, se han desarrollado algunos métodos especiales por industrias, autoridades, etc. con el propósito de proveer información ad hoc para industrias específicas, procesos o materiales y poder hacer comparaciones con materiales con propiedades similares y tener resultados más rápidamente sin necesidad de hacerles una prueba.

Existen cinco pruebas principales que son:

- 1.-Prueba de flamabilidad en donde un cable de platino a 900 grados C se aplicad a un pequeño montón de polvo.
- 2.-Prueba de Ignición en la cual cerca de 100 mg de polvo son depositados en un bloque de aluminio (controlado termostáticamente) a diferentes temperaturas.
- 3.-Prueba de descomposición en la cual el polvo contenido en un tubo es insertado en un bloque de aluminio en el cual se va elevando la temperatura en etapas buscando señales de una reacción exotérmica.

4.-Prueba de martillo en la cual 5 Kg de polvo se dejan caer alrededor de 75 cm en un punzón de acero de un area de 1 cm<sup>2</sup>, el polvo restante es depositado en un yunque de acero; se observa la presencia de flama, chispa o explosión.

5.-Prueba del tubo vertical definida anteriormente.

Actualmente existe un indice de riesgo de explosividad de los polvos. Los parámetros conocidos como "sensitividad de explosión y severidad de explosión" son calculados para cada polvo y el indice de explosividad (I.E.) de un polvo se obtiene al multiplicar dichos parámetros. Estos son obtenidos por comparación de varias medidas de explosividad de polvo obtenidas en la misma prueba utilizada para el polvo estandar que es el carbón de Pittsburg; la razón de seleccionar este polvo es la larga escala de explosiones producidas en minas experimentales a través de muchos años y la gran cantidad de datos que de este polvo se han acumulado.

T.M.I. \* E.M.I. \* C.M.E. \* M.P.P.

S.I. = -----

T.M.I. \* E.M.I. \* C.M.E. \* M.P

M.P.E. \* M.E.P. \* M.P

S.E. = -----

M.P.E. \* M.E.P. \* M.P.P.

I.E. = S.I. \* S.E.

donde:

S.I. = sensibilidad de ignición.

S.E. = severidad de explosión.

T.M.I. = temperatura mínima de ignición.

E.M.I. = energía mínima de ignición.

C.M.E. = concentración mínima de explosión.

M.P.P. = muestra de polvo Pittsburg.

M.P. = muestra del polvo a evaluar.

M.P.E. = máxima presión de explosión.

M.E.P. = máxima elevación de presión.

El I.E. ha sido correlacionado con los rangos de riesgo de explosión y se llegó a la tabla 4.1.

El I.E. y su rango relativo de riesgo nos brindan una guía útil particularmente cuando se va a tratar con polvos nuevos. Un polvo de I.E. por debajo de 0.1 puede usualmente ser considerado como un riesgo de fuego primario.

Interpretación de pruebas individuales.

Temperatura mínima de ignición.- Los valores usualmente cuantificados en la literatura y acerca de la temperatura mínima de ignición de una suspensión de polvo fueron obtenidas en el aparato de Furnace.

La analogía entre este aparato y la planta industrial existe con la pared de Furnace y el área de calor de la planta pero existen muchas limitaciones. Estas provienen de dos fuentes; el diseño de la prueba y la variación de las condiciones de la planta.

En el aparato Furnace se han hecho algunas observaciones que se pueden aplicar (con algunas modificaciones) en la planta industrial:

a) A temperaturas por encima de la temperatura mínima de ignición, la producción de flama ocurre muy rápido después de la dispersión de polvo dentro del aparato y la flama es relativamente larga.

b) A temperaturas cercanas a la mínima de ignición las flamas son pequeñas y se pueden producir después de un lapso de tiempo.

c) Polvos aparentemente no afectados que no se prenden pueden pasar a través del aparato Furnace a temperaturas por debajo de la mínima de ignición.

d) Si la ignición ocurre, considerables cantidades de vapor son evidentes, particularmente con polvos carbónicos.

e) Aun en los polvos que son dispersables, el volumen de aire usado para la dispersión afecta la probabilidad de ignición a temperaturas cercanas a la mínima de ignición.

f) La probabilidad de ignición también depende de la cantidad de polvo dispersado.

g) Algunos polvos producen chispas en vez de flama.

La temperatura mínima de ignición determinada en el aparato Furnace tiene varios usos, primero que nos proporciona la temperatura mínima a la cual se enciende una suspensión de polvo. Esta temperatura representa un máximo que no debe ser excedido en la planta industrial. El segundo uso de la misma determinada por pruebas a pequeña escala en comparación con los puntos de ignición de diferentes polvos por superficies calientes.

Con una capa de polvo la temperatura mínima de ignición decrece agudamente conforme el grosor del polvo depositado aumenta. fig. 4.2 . También el tiempo requerido para la ignición se incrementa.

Inactividad explosiva con polvos o gas.

El resultado del aparato de Furnace puede errar al menospreciar el porcentaje de gas inerte requerido para prevenir un incendio, particularmente con aquellos polvos que tienen una alta temperatura mínima de ignición en el aire.

Una nube de polvo explota en una mezcla de gas inerte-aire en el aparato Furnace pero no propagará la flama en los alrededores a una temperatura atmosférica, la prueba entonces, sobreestimaré el porcentaje de gas inerte necesaria para prevenir la explosión y el porcentaje permisible de oxígeno será innecesariamente bajo. Este es un error por parte de seguridad y si es pequeño será aceptable en la práctica, sin embargo, si el error fuese grande puede parecer

que la técnica de gas inerte sea poco económica, por lo que se deberá instalar un monitor para asegurar que el porcentaje se mantenga correctamente.

La concentración máxima permisible de oxígeno medida en el aparato estandar es considerablemente mas alta que la del aparato Furnace. Los resultados obtenidos de ambos aparatos para saber el porcentaje de gas inerte pueden diferir y deberán ser interpretados con cuidado. Para decidir que prueba es la más relevante, la aplicación industrial deberá considerar desde el punto de partida.

Si toda la planta trabaja a una temperatura atmosférica por lo que ninguna parte del polvo en suspensión está en un volumen confinado calentado permanentemente el resultado en el aparato de chispa estandar podrá ser usado como base para la estimación del requerimiento de inertes aunque se vea que la fuente de ignición deba ser relativamente larga.

El factor seguridad debe considerar la sensibilidad y la confiabilidad del monitoreo y equipo de control para la atmósfera inerte tanto como las fluctuaciones ocurridas dentro de una planta con recirculación, por fugas de aire, etc.

Para la aplicación de los resultados de pruebas donde el polvo inerte es mezclado con polvo explosivo para prevenir la propagación de flama, son aplicados varios de los comentarios hechos para los gases inertes. Los mismos métodos de prueba, aparato Furnace y chispa estandar son aplicados para determinar la flamabilidad relativa y dificultades semejantes

son encontradas en la aplicación de resultados. La técnica de polvos inertes es poco usada en "industrias de superficie", debido a la contaminación de productos o porque hay alternativas de prevención de explosión, o técnicas de protección más económicas.

Concentración mínima de explosividad.

La razón de medir la C.M.E. del polvo es primordialmente para obtener un índice de concentración peligroso en plantas, particularmente en los sistemas de extracción de polvo y en segundo lugar para permitir que la sensibilidad de ignición y el I.E. sean calculados. El método para medir la C.M.E. fue desarrollado originalmente para dar resultados que puedan ser comparados con experimentos a gran escala. La principal fuente de error es una distribución de polvo no uniforme cuando ha sido dispersado obteniéndose altas concentraciones en parte del aparato. El polvo puede encenderse y expandirse mientras se quema para dar una flama visible y los cálculos se basan en la cantidad de polvo presente y el volumen del aparato da una estimación baja.

Bajo pruebas a condiciones estandar, es poco probable que los valores obtenidos tengan gran exactitud, pero nos permiten hacer comparaciones entre polvos, como en los cálculos de sensibilidad de ignición. La experiencia práctica

indica que los datos obtenidos son reales en procesos industriales.

El polvo y el aire pueden no moverse a una velocidad constante a través de la planta por lo que puede ocurrir una variación de la concentración.

Con varios polvos, la C.M.E. es suficientemente alta para que las nubes de polvo sean opacas. Una nube de polvo de espesor de 1 mt es muy densa para ver a través de ella, los operarios no podrán trabajar con una nube de esta concentración por ningún lapso de tiempo. Este criterio no es invariable, las suspensiones son explosivas cuando son transparentes después de 1 mt o más.

Presión máxima de explosión y velocidad de aumento.

Los valores de P.M.E. son necesarios si la planta es lo suficientemente fuerte para resistir toda la presión de una explosión, en muchos casos este conocimiento no se aplica y las plantas débiles son frecuentemente protegidas de explosiones por ventilación auxiliar, entonces es requerido el valor del máximo aumento de elevación de presión, y es bastante útil si se instala una supresión de explosión automática.

Los aparatos en que se mide la presión máxima son recipientes cerrados por lo que los gases y los polvos no escapan durante la medición. Por esta razón, la prueba no da

información directa del venteo necesario para el polvo y éste tiene que determinarse subsecuentemente. La experiencia en estas pruebas indica que los resultados pueden ser aplicados de manera directa a una escala de planta.

Para una suspensión sin turbulencia, en un recipiente esférico cerrado y con una flama que se propaga a velocidad constante desde el centro, la máxima velocidad de aumento de presión es inversamente proporcional al diámetro del recipiente. En condiciones de turbulencia la proporcionalidad se rompe, y no debe usarse indiscriminadamente cuando se aplique a una planta industrial. La M.V.A.P. medida en la prueba varía de manera considerable entre polvos diferentes y junto con la M.P.E. son necesarias para el cálculo del índice de explosividad.

El promedio de las velocidades de aumento de presión algunas veces es usado como una guía aproximada del riesgo de explosión del polvo. Usualmente existe una correlación entre el promedio de M.V.A.P. para un polvo y puede ser también tomada para calcular el venteo.

#### Ignición por chispas de fricción.

Esta prueba tiene una importante aplicación industrial si el polvo se enciende fácilmente. Bajo estas circunstancias se debe tener mucho cuidado en el diseño de la planta para prevenir la generación de chispas por fricción. El riesgo es mucho mayor con impactos provocados por acciones mecánicas que por manuales.

En esta prueba la chispa es provocada por la acción de una piedra sobre acero, ya que estos materiales son los que más se asemejan a los que están presentes en una planta. El riesgo de las chispas por fricción es mayor si son metales ligeros porque sus chispas son más incendiarias.

Los resultados obtenidos de esta prueba no pueden determinar riesgos provenientes de chispas eléctricas o electrostáticas. Considerando los riesgos de chispas deben hacerse pruebas particulares al tipo de chispa que se usará o que estará presente.

Datos experimentales sobre la propagación de flama de polvos.

Numerosos factores gobiernan la iniciación y secuencia de la propagación de las flamas de polvo; ellos influyen en todas las etapas de una explosión, desde la formación de la nube de polvo antes de la ignición hasta el final de la combustión. Los estudios sobre estos factores envueltos y sus interacciones son necesarios para establecer una base teórica acerca del proceso de explosión.

Aún no se tienen investigaciones y estudios completos de estos factores para saber cómo interactúan y poder controlarlos efectivamente. Se han realizado muchos estudios sobre algunos factores individuales que afectan la propagación de la flama y se han obtenido datos muy interesantes.

A continuación presentamos la información más reciente, disponible, seleccionada de una larga serie de investigaciones realizadas.

La evidencia experimental esta considerada bajo los siguientes conceptos:

- 1) Formación de la suspensión de polvo.
- 2) Influencia de la fuente de ignición.
- 3) Composición del Polvo.
- 4) Diámetro de partícula y superficie específica.
- 5) Concentración del polvo.
- 6) Temperatura ambiente.
- 7) Presión ambiente.
- 8) Presencia de gas inerte.
- 9) Presencia de polvo diluyente.
- 10) Presencia de agua.
- 11) Presencia de gas inflamable.
- 12) Turbulencia.
- 13) Detonación.

1) Formación de suspensión de polvo.- Por definición antes de que una explosión de polvo ocurra una suspensión debe estar presente. En la Industria la nube de polvo puede ser dispersada antes o después de que se incendió y la formación de una suspensión puede ser por acción mecánica independiente o por una pequeña y temprana explosión.

En circunstancias especiales el crecimiento de la suspensión de polvo durante la explosión es de considerable importancia. La manera mas usual de prevenir explosiones de polvos en minas es introducir depósitos de polvo no combustible que viene a ser mezclado con carbón de la atmósfera durante el trabajo normal.

El modo y la facilidad de la dispersión del polvo dependen de las propiedades del mismo y de la superficie. El diámetro y la cohesión de las partículas de polvo son importantes así como su tersura.

El inicio de las etapas de la dispersión han sido estudiadas por un método de tubo "shock" en el cual el polvo es dispersado por una superficie horizontal.

La formación de suspensiones de polvo han sido investigadas en gran detalle desde el punto de vista de obtener suspensiones uniformes. Las técnicas para estos propósitos experimentales pueden ser divididos en tres grupos:

- 1) Dispersión por un paso de aire-vapor a través de la cama de polvo.
- 2) Dispersión por disturbio mecánico del polvo dentro de un recipiente.
- 3) Dispersión por alimentación mecánica de polvo en el aire o en una corriente de aire-vapor.

El metodo 1 se utiliza mucho en pruebas de rutina, su principal ventaja consiste en que es muy simple y se obtiene una dispersión adecuada en la mayoría de los casos. La desventaja de este método es que no se puede obtener un estado firme o estable, que pueda proporcionar las propiedades de una suspensión de polvo para ser medidas antes de la explosión.

El segundo método también se utiliza para pruebas de rutina, sobre todo cuando se involucra una vasija cerrada y de tamaño pequeño. Este método proporciona una dispersión rápida y eficiente pero sin un estado estable. En todas las variaciones de este método la turbulencia siempre se presenta y en algunos casos con alta intensidad.

El metodo 3 presenta la ventaja de que en él si se obtiene un estado estable y se pueden hacer medidas de la suspensión de polvo antes de la explosión. Particularmente se utiliza el método de tubo vertical para llevar a cabo estas investigaciones por su simplicidad.

El método seleccionado para la generación de las suspensiones de polvo depende del tipo de prueba que se vaya a realizar, de la cantidad de suspensión requerida, del tiempo del estado estable que se necesite, y de las propiedades en si del polvo.

2) Fuente de ignición.- La influencia de la fuente de ignición es un factor muy importante en la propagación de la flama de polvo, e intervienen a su vez factores como:

- a) Eficiencia de la dispersión de polvo.
- b) Existencia de M.E.I. o M.T.I.
- c) Ignición de fuentes largas.
- d) Ignición por explosión.

La eficiencia de la dispersión es un factor importante en situaciones donde no hay suspensión de polvo cuando inicia la ignición. La forma de la suspensión depende del tamaño de la fuente de ignición, de si hay una mezcla de gas y de su concentración y uniformidad. Una capa de gas combustible es menos efectiva que un cierto volumen de gas mezclado, y la expansión del gas en la fuente de ignición puede ser disipada en otras direcciones próximas al depósito de polvo donde la efectividad es reducida.

Para que una explosión se propague, la fuente de ignición debe tener más de la temperatura o energía mínima de ignición. La facilidad de ignición del polvo, muchas veces se considera en relación con el gas en el cual esta suspendido. Las principales fuentes de ignición son: chispa mecánica o eléctrica, fricción, llama directa, superficies calientes, cigarrillos o fósforos.

Si una nube de polvo es encendida por una fuente larga de ignición la propagación de la explosión se puede ver

afectada por la energía de la fuente, por lo tanto la propagación de la flama en una nube de polvo se ve totalmente influenciada por el tipo de fuente de ignición y por la energía de la misma.

3) Composición del polvo.- La composición química de las partículas de polvo tienen una influencia fundamental en la propagación de la explosión. Para que una explosión se propague debe existir una reacción química entre las partículas de polvo y el oxígeno presente en el aire, además de que el polvo debe ser combustible, sin embargo, no todos los polvos combustibles pueden causar una explosión.

4) Diámetro de partícula.- Existe una tendencia general para la explosividad de los polvos de incrementarse conforme el tamaño de la partícula disminuye.

El rango de I.E. de severo a débil va variando conforme el diámetro de partículas va de 10 a 120 micras. Fig. 4.3

La energía mínima de ignición y la mínima concentración de explosión aumentan con el tamaño de la partícula. Fig. 4.4

Con las partículas finas, así como va reduciéndose el diámetro de partícula por debajo de 50 micras, la explosividad generalmente tiende a incrementarse pero no marcadamente con algunos materiales. Con el tamaño de las partículas finas es reducido, el polvo se vuelve más cohesivo y la dispersión del mismo para formar una suspensión es más

difícil. Esta propiedad puede causar que el polvo no se disperse en partículas individuales y que permanezca en aglomerados, y que se comporte como si fuera una partícula de gran tamaño. El riesgo de explosión puede ser, aparentemente, menos grave y reducirse, pero este efecto no es real porque algún método de dispersión diferente o una fuente de ignición más rigurosa puede romper el aglomerado y entonces el riesgo de explosión puede incrementarse nuevamente.

Como resultado de un largo número de experimentos en minas, se llegó a la siguiente relación empírica:

$$Z = S / (100-S) = AF + B$$

Z = Coeficiente de explosividad.

S = Porcentaje de polvo diluyente necesario para prevenir la explosión.

F = Superficie específica de polvo (cm<sup>2</sup>/g)

A = Constante =  $5.8 \times 10^{-4}$

B = Constante = -0.24 o 0.78 (dependiendo de las condiciones de dispersión y del poder de la fuente de ignición).

5) Concentración de polvo.- Así como se incrementa la concentración de polvo por encima del límite de explosividad, guardando otras condiciones, la velocidad de flama usualmente crece hasta alcanzar un máximo y luego decrece hasta el límite. Sin embargo la concentración a la cual se alcanza la velocidad mínima de flama no puede ser obtenida ni medida de

manera precisa pero se puede obtener la concentración estequiométrica.

Por debajo de la concentración límite de explosividad que es 0.05-0.010 g/lit las flamas son por lo general delgadas, alrededor de 10 cm. A concentraciones altas el grosor de la flama aumenta hasta 50-100 cm. Fig 4.5

La relación entre la velocidad de quemado y la concentración de polvo se observa como en la Fig. 4.6

6) Temperatura ambiental.- Puede esperarse que la propagación de la flama a través de una suspensión de polvo se vuelva más rápida si la temperatura del polvo y sus alrededores están por encima de la temperatura atmosférica y si la composición química del mismo y sus propiedades físicas no son alteradas.

Las razones de esta rápida propagación son: las velocidades de una reacción química que se incrementan con la temperatura, el efecto de sofocar la humedad en el polvo puede ser reducido a temperaturas altas, y la dispersabilidad del polvo puede ser mejorado por la disminución del contenido de humedad.

7) Presion ambiental.- En la mayor parte de las aplicaciones en varios laboratorios de investigación de propagación de flama la presión del gas, aire usualmente, que

sustentaba la combustión era la atmosférica. Sólo en algunas investigaciones la presión inicial no era atmosférica y en esos casos es preferible considerar la concentración de polvo en terminos de masa de polvo sobre masa de aire, en vez de masa por unidad de volumen. La elevación de la presión durante el curso de las explosiones no es considerada como un cambio en el ambiente, si la presión al inicio de la explosión era atmosférica.

En las explosiones de polvo de carbón en las galerías de las minas el tiempo necesario para que las ondas de presión viajen a lo largo del corredor deben ser lo suficientemente grandes para tener un efecto importante en los movimientos de la flama a lo largo de este. Aunque la presión de explosión inicial es atmosférica, variaciones periódicas en la presión debidas al paso de las ondas de presión y sus consideraciones pueden hacer notable los efectos de la propagación de flama.

B) Gas inerte.- En las explosiones de polvo, el gas en que se dispersa el polvo, y el que sustenta la explosión, es usualmente aire, que contiene 21% de oxígeno. Si un gas inerte se mezcla con el aire para que la concentración de oxígeno se reduzca, la propagación de la flama en una explosión de polvo llega a ser progresivamente mas difícil y es alcanzado un límite al cual la flama no se propaga más. Este límite corresponde a la concentración máxima de oxígeno para prevenir las explosiones de polvo y han sido

desarrolladas pruebas de rutina para medir esta concentración máxima.

Se han tomado consideraciones en el aspecto de que un gas puede no ser inerte para todos los polvos y la selección del mismo deberá hacerse específicamente para el polvo que será protegido. Una indicación de la posible combinación satisfactoria de polvo y gas inerte puede obtenerse a menudo considerando la química de los materiales.

A concentraciones de oxígeno por encima de la máxima permisible para prevenir explosiones, es posible la propagación de flama.

Mientras que la concentración de oxígeno es reducida en el aire, la presión máxima de explosión y la velocidad de aumento de presión disminuye. Para un nivel dado de oxígeno la máxima presión de explosión depende de la concentración del polvo.

La energía mínima de ignición de un polvo en suspensión es extremadamente independiente de la concentración de oxígeno en el gas. El efecto será moderado mientras la concentración de oxígeno disminuya en el aire pero a más bajas concentraciones la energía de ignición aumenta notoriamente.

La temperatura mínima de ignición medida en el aparato de Furnace muestra como va disminuyendo al bajar la concentración de oxígeno, lentamente primero y después rápidamente, para concentraciones más bajas.

9) Polvo diluyente.- La única industria donde éste se aplica para prevenir el riesgo de una explosión de polvo es en las minas de carbón. (ej. arcilla, pizarra, piedra caliza).

Una aplicación de las aparentes contradicciones en la determinación de la efectividad relativa de los diluyentes para suprimir la explosión de polvos es que los diluyentes pueden afectar la dispersabilidad de las mezclas de polvo. En general, si la dispersabilidad que reduce la propagación de la flama se hiciera más difícil, y en consecuencia el diluyente pareciera ser más eficiente de lo que es, otros factores como el tamaño de partículas y el contenido de humedad del polvo afectarían también ésta.

Hay una fuerte evidencia de que los "HALIDES" de alcalis de metal pueden ser altamente eficientes en suprimir explosiones y es importante deducir que una reacción química toma lugar cuando estas sales están presentes. Se han hecho muchos intentos de encontrar diluyentes que tengan una mayor capacidad en suprimir explosiones de polvo de carbón y que además sean eficientes bajo las condiciones que presentan las minas como el no ser afectados por la humedad, no tener efectos adversos en el hombre y maquinaria y que puedan ser competitivos económicamente. Las halides de metal alcali son particularmente efectivas en prevenir la propagación de la flama en el polvo de carbón.

10) Agua.- Se le da atención al agua presente en el polvo ya sea por absorción o por mezclado y a la aplicación de esta sobre las flamas de explosión por polvo.

Como es de esperarse, la humedad tiende a reducir la explosividad de polvos y el efecto es mostrado por un incremento en la concentración mínima explosiva, energía mínima de explosión y en la temperatura mínima de explosión cuando estas propiedades son medidas en un aparato común de pequeña escala.

La reducción en la explosividad debida al agua parece elevarse por dos causas: la primera es el calor absorbido por el agua en evaporación durante la combustión del polvo, la segunda es la reducción de la dispersabilidad causada por esta lo que tiende a prevenir la formación de una suspensión uniforme de polvo con lo cual se estabiliza la propagación de la flama.

Cuando están presentes agua y polvo de piedra junto con el carbón el porcentaje de agua necesario aumenta proporcionalmente como el polvo de piedra disminuye.

El agua ha sido sugerida para ser usada en las minas previniendo las explosiones de polvo de carbón a manera de improvisar una limpieza, puede usarse lavando superficies removiendo el polvo y como una continua neblina puede lavar las partículas de polvo del aire que están en los caminos de ventilación.

11) Gas Flamable.- La propagación de flama en mezclas explosivas, polvo-gas, flamable-aire, se ha investigado a mayor detalle con la mezcla polvo de carbón-metano-aire. En la Industria en base a este criterio se toman resoluciones por comparación de la muestra en cuestion y dicha mezcla.

12) Turbulencia.- Se han realizado pocas investigaciones del efecto de turbulencia en la propagación de explosiones de polvos, aunque las condiciones de turbulencia son ampliamente encontradas en aparatos de laboratorio y en plantas industriales.

La turbulencia se eleva por el movimiento de suspensiones aire-polvo a lo largo de una tubería, por la caída de partículas de polvo bajo gravedad a través del aire o por pasar una flama a través de una suspensión de polvo.

Cuando la turbulencia se incrementa la presión de explosión y la velocidad con que se eleva pasan por un máximo, siendo la velocidad de aumento en la presión particularmente dependiente de la turbulencia.

Se sabe que la turbulencia aumenta la velocidad de quemado en las flamas de los aparatos de Furnace. Los cálculos muestran que el incremento de esta velocidad no puede estimarse por el calor desarrollado ni por la transferencia de masa aumentada por el movimiento mas rápido de partículas relativas al gas.

13) Detonación.- La existencia de detonaciones verdaderas en suspensiones polvo-aire no son generalmente aceptadas, aunque fenómenos semejantes a éstas se han observado en explosiones a gran escalas en minas de carbón, en las cuales las fuentes de ignición generan fuertes ondas de choque.

TABLA 4.1 RELACION ENTRE EL INDICE DE EXPLOSIVIDAD Y RANGO DE RIESGO

RANGO DE RIESGO DE EXPLOSION	SENSIBILIDAD IGNICION	SEVERIDAD EXPLOSION	INDICE DE EXPLOSIVIDAD
DEBIL	< 0.2	< 0.5	< 0.1
MODERADO	0.2 - 1.0	0.5 - 1.0	0.1 - 1.0
FUERTE	1.0 - 5.0	1.0 - 2.0	1.0 - 10
SEVERO	> 0.5	> 2.0	> 10

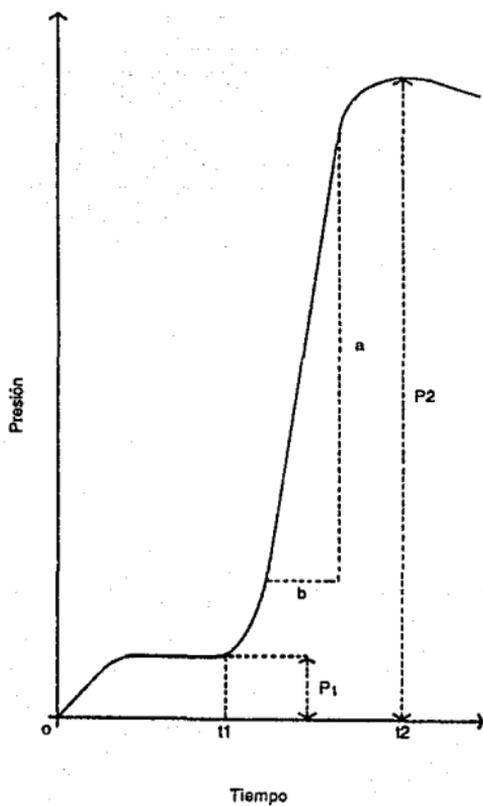


Fig. 4.1

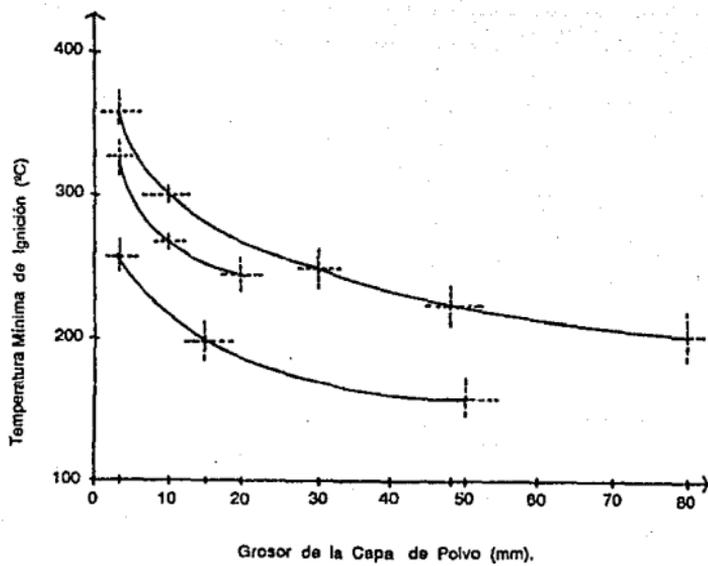


Fig. 4.2

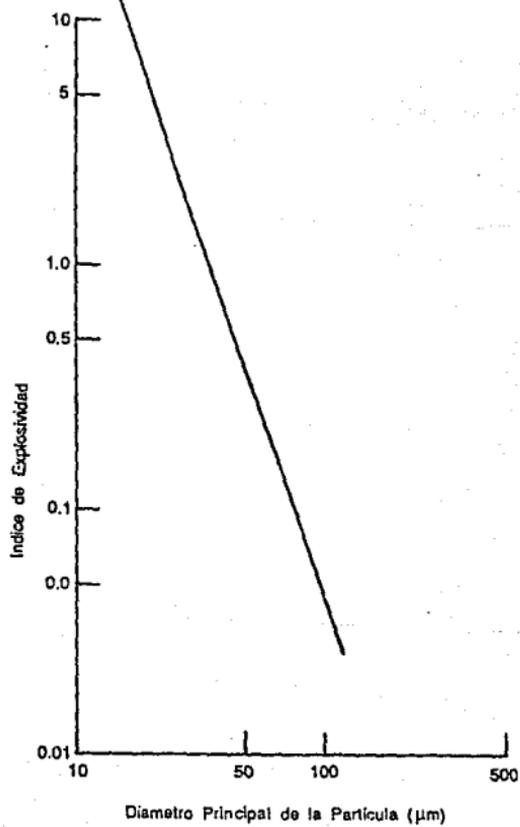


Fig. 4.3

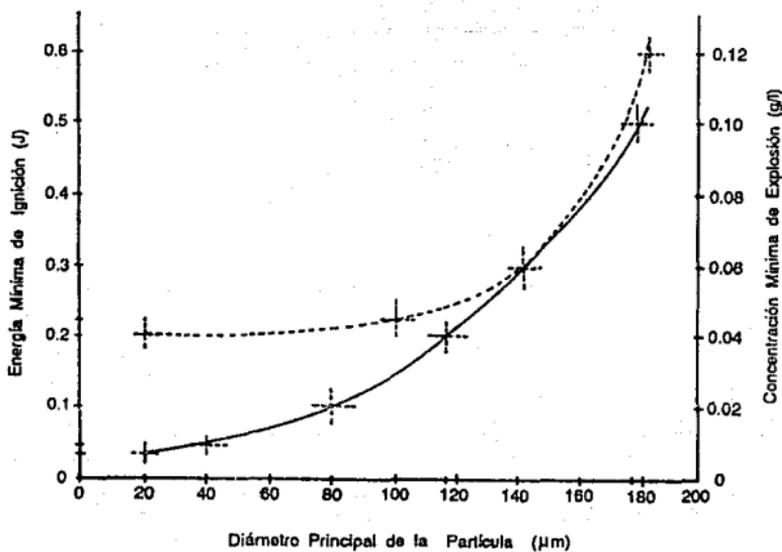


Fig. 4.4

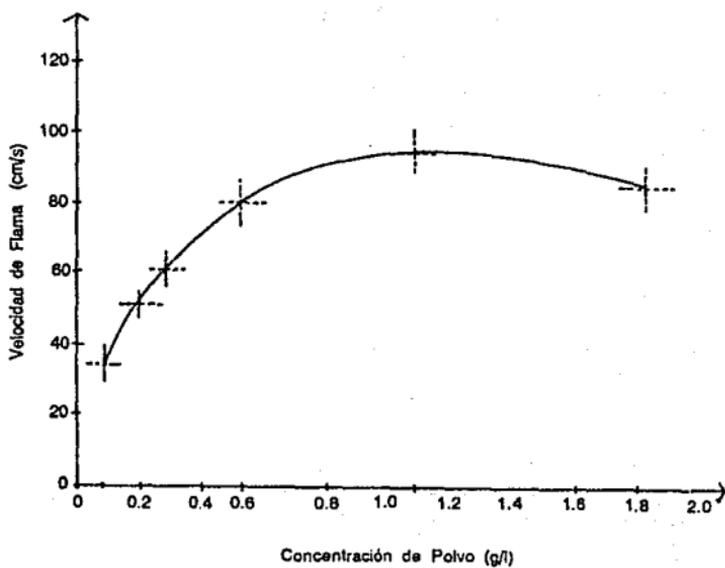


Fig. 4.5

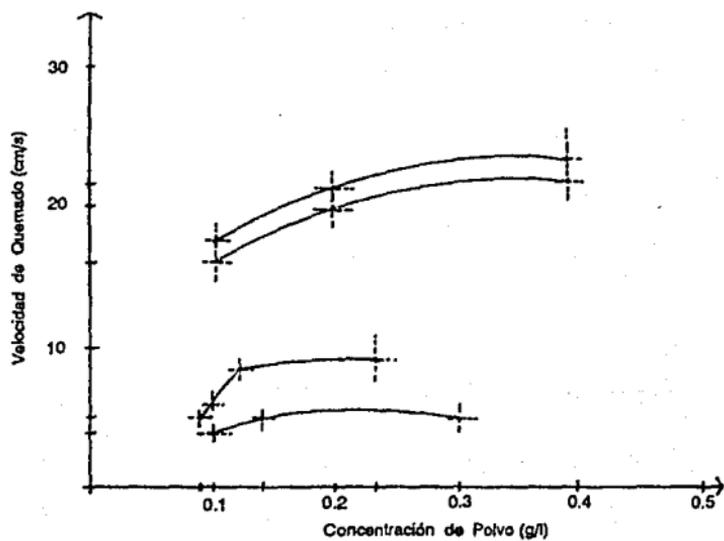


Fig. 4.6 Velocidad de Quemado del Carbón en Función de la concentración de Polvo

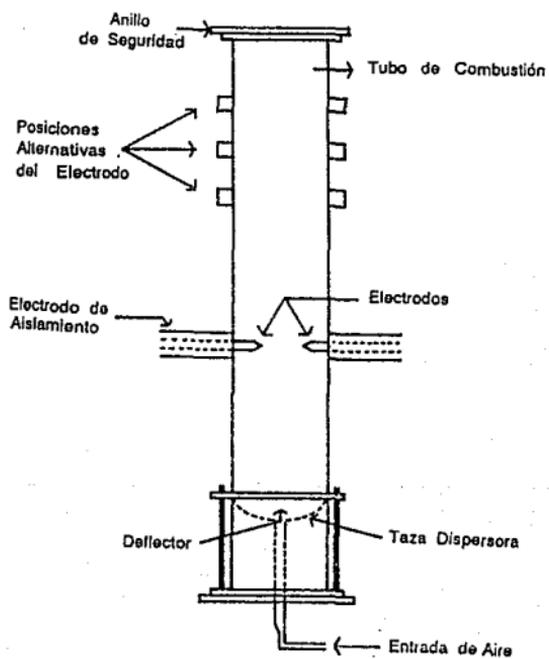


Fig. 4.7

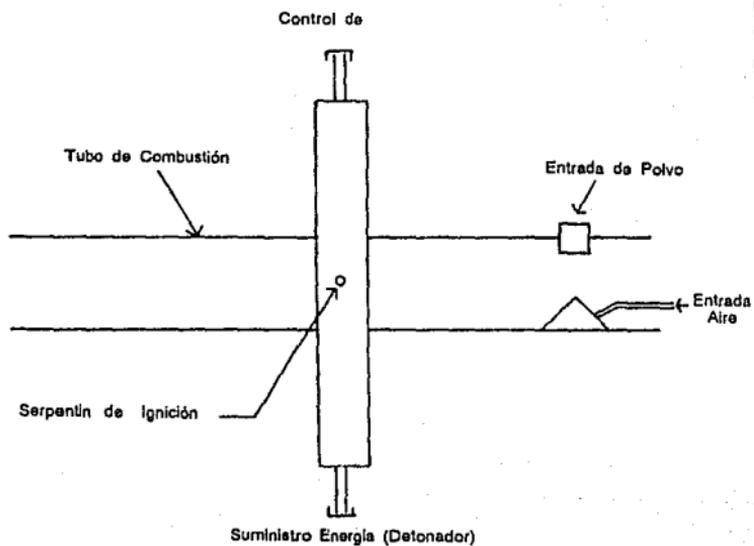


Fig. 4.8

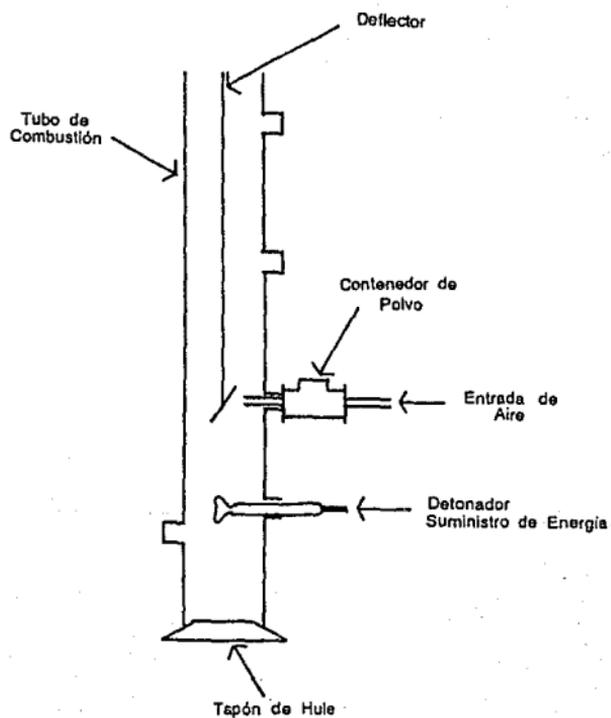


Fig. 4.9

## CAPITULO V

### Análisis de Riesgo

Es necesario en cualquier tipo de industria, prever el potencial de peligro para tomar las acciones preventivas, correspondientes. Existen actualmente numerosos métodos de análisis y revisión de riesgos, todos aplicables a la industria de procesos, que constituyen una rama de la prevención de pérdidas llamada Análisis de Seguridad de Sistemas.

El Análisis de Seguridad de Sistemas es un acercamiento lógico y sistematizado a la resolución de los problemas de seguridad usando una metodología de causa y efectos.

Al igual que la productividad, la calidad y los costos, la Seguridad e Higiene Industrial es un factor decisivo para lograr el nivel requerido de competitividad y, de la misma manera que es necesaria la reconversión de los procesos, se requiere el cambio en los enfoques tradicionales hacia aquellos que garanticen la prevención efectiva. Uno de estos nuevos conceptos es el de Seguridad de Proceso y dentro de éste el de Análisis de Riesgo en Unidades de Proceso (ARUP).

#### Marco de Referencia:

Para comprender el alcance de Seguridad de Proceso, es necesario, como primer paso, conceptualizar la relación de los componentes de una operación: mano de obra, maquinaria y materiales. El concepto de mano de obra aplica tanto para los operadores como a la supervisión (línea, media y mayor). Las interacciones esperadas son:

- 1.- El personal opera la maquinaria de acuerdo con métodos de trabajo o procedimientos de operación.
- 2.- La maquinaria esta diseñada para trabajar con los materiales involucrados en el proceso.

3.- Los materiales son los requeridos para elaborar los productos.

Sin embargo existen otras interacciones no deseadas:

- 1.- La maquinaria interactúa con el personal en forma de accidentes.
- 2.- El personal interactúa con la maquinaria desajustándola o cambiando las condiciones de operación.
- 3.- La maquinaria produce ruido, desperdicio, etc.
- 4.- El personal interactúa con los materiales causando contaminación ambiental o en el área de trabajo.
- 5.- Los materiales a su vez pueden causar problemas de salud ocupacional en el personal, contaminación ambiental y daños en la maquinaria.

Dadas estas interacciones es como se genera la necesidad de tecnología en Seguridad e Higiene Industrial, estableciéndose áreas de traslape entre las disciplinas de Seguridad Industrial, Higiene Industrial, Salud Ocupacional y Control Ambiental.

El segundo concepto fundamental es que, para asegurar el logro de los resultados esperados en cada una de las disciplinas mencionadas, es necesario establecer sistemas de administración que cumplan los siguientes requisitos:

- 1.- Compromiso del personal con el resultado.
- 2.- Política que lo fundamente.
- 3.- Procedimientos que indiquen cómo realizarlo.
- 4.- Recursos suficientes.
- 5.- Programa de capacitación y entrenamiento.
- 6.- Mecánica de seguimiento y control.
- 7.- Responsabilidades definidas.

Bajo este concepto, la función de Seguridad Industrial se considera compuesta por los siguientes sistemas:

- 1.- Prevención de accidentes.
- 2.- Seguridad de proceso.
- 3.- Prevención de incendios y eventos de pérdidas.
- 4.- Protección contra incendios y emergencias.
- 5.- Combate y control de incendios y emergencias.
- 6.- Protección y vigilancia.

Con esta visión es posible conceptualizar los diferentes sistemas, programas y actividades que los deben integrar para lograr el nivel necesario de prevención efectiva que asegure la competitividad de la empresa.

#### Seguridad de proceso:

Seguridad de Proceso se define como la aplicación de la Ingeniería (principalmente química, mecánica y eléctrica) para mantener la continuidad en el proceso , eliminando/controlando riesgos de seguridad (personas, comunidad, medio ambiente o instalaciones) y/o de confiabilidad de la operación (calidad y/o productividad). Esta es una responsabilidad ineludible de la Gerencia General. Está compuesta de los siguientes sistemas y programas:

- 1.- Análisis de Riesgo en Unidades de Proceso (ARUP) , que constituye uno de los sistemas preventivos más importantes y efectivos.
- 2.- Seguridad en Proyectos.
- 3.- Especificaciones de equipo de proceso.
- 4.- Operación del proceso.
- 5.- Materiales.
- 6.- Programa de Ingeniería y mantenimiento.
- 7.- Seguridad eléctrica.
- 8.- Instrumentación de control.
- 9.- Cuartos de control en áreas peligrosas.
- 10.- Dispositivos de alivio de presión o vacío.
- 11.- Control de derrames y fugas.
- 12.- Areas de almacenamiento.

Cada uno de los componentes de seguridad de proceso representa en sí mismo, un sistema de administración y en la medida que se implanten de ese modo, se podrá asegurar la continuidad del proceso productivo. Dado el alcance de este sistema, su implantación requiere del esfuerzo e involucramiento de todos los integrantes de la organización y del impulso decidido tanto por la alta gerencia como por los profesionales en seguridad.

**Análisis de Riesgo en Unidades de Proceso (ARUP).**

**Definición.-** ARUP se define como el sistema de administración que involucra a la organización en la prevención efectiva de riesgos en unidades de proceso, mediante la aplicación de técnicas de análisis que permitan la detección y evaluación de riesgos y la especificación de medidas preventivas, correctivas y contingentes para mantener bajo control y en ocasiones eliminar los riesgos, sus causas o sus efectos.

Las técnicas que integran este sistema son :

- Índice MOND de Fuego, Explosión y Toxicidad.
- Guía de Cálculo de Nubes Explosivas.
- HAZOP: Análisis de Falla y Efecto.

Arbol de Fallas.

**Objetivos:**

- Asegurar la continuidad del proceso productivo.
- Minimizar la ocurrencia de eventos de pérdida asegurando la preservación de activos.
- Preservar la integridad física del personal, comunidades, medio ambiente e instalaciones.
- Incrementar la conciencia de seguridad de la organización.
- Soportar la competitividad de la empresa.

#### Beneficios:

- Asegurar el establecimiento de los procedimientos de operación requeridos.
- Base para capacitación del personal en la operación segura del proceso.
- Conocer profundamente las unidades de proceso, en todos los aspectos que involucra .
- Especificar los procedimientos de emergencia requeridos.

#### Campos de Riesgo:

ARUP divide los riesgos en campos, de modo que se tenga claro que enfoque específico se estudia. Los campos de riesgos son:

- 1.- Fuego, Explosión y Toxicidad: enfocado a la determinación de estos riesgos en cada sección y en la unidad completa. Se aplica la técnica índice MOND o el índice DOW de Fuego y Explosión aunque no considere los riesgos por toxicidad.
- 2.- Nubes Explosivas: se enfoca a evaluar la magnitud y el potencial de daño de una nube de vapores explosivos. Se aplica la técnica guía de cálculo de Nubes Explosivas.
- 3.- Operabilidad: Se efectúa un examen crítico de la unidad de proceso, sistema por sistema y componente a componente, de manera que se revisa la relación y dependencia entre la Ingeniería del proceso y su operación. Se aplican las técnicas HAZOP.
- 4.- Efectos de Paro y Arranque: enfocado al estudio de las condiciones en que se efectúa el paro/arranque de la unidad, situaciones donde el proceso sufre cambios súbitos de condiciones y, por ende, la probabilidad de ocurrencia de riesgos se incrementa. Se aplica una técnica no escrita, que consiste en realizar los procedimientos vigentes y verificarlos contra lo que está instalado determinando las medidas preventivas, correctivas y contingentes necesarias para el control de los riesgos.

## TECNICAS ARUP

### 1.- Indice MOND de Fuego, Explosión y Toxicidad:

Es un método estricto, con bases estadísticas que evalúa los riesgos de la unidad y la presencia de sistemas de control, determinando medidas preventivas y de protección específica para dicha unidad. Tiene una exactitud del 80% debiéndose seguir estrictamente el manual de aplicación.

Se inicia dividiendo la unidad en secciones. Se entiende por sección la parte de la unidad donde se realiza una operación o proceso unitario y que se puede identificar lógicamente y fácilmente como una entidad separada. Normalmente es el área donde existe un riesgo material diferente del resto de la unidad.

Para la sección a estudiar, se debe seleccionar el material o mezcla de materiales, considerado como clave. Para seleccionar el material clave se considera aquel o la mezcla de o la reacción de, cuyos riesgos de inflamabilidad y reactividad sean mayores y esté presente en tal magnitud que sea peligroso.

Una vez seleccionado el material clave y con la información completa de la sección: DTI's, diagramas de flujo, de balance de materia y de energía, condiciones y procedimientos de operación, características de cada equipo y línea involucrados, programas de mantenimiento e historial del equipo, se procede a estudiar la sección considerando que los sistemas básicos de protección y seguridad presentes operan normalmente a fin de evaluar la magnitud del riesgo de la sección. No deben considerarse los sistemas especiales o sofisticados de seguridad o de control (interlocks, supresores de explosión, sensores o analizadores de orgánicos, etc.) en la primera parte del estudio, que constituye al análisis de riesgos, ya que serán evaluados en la segunda parte, correspondiente a las medidas de seguridad, control y protección de la sección.

El primer paso del análisis de riesgos es calcular el factor material definido como una medida del riesgo del fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a 25°C y presión atmosférica. Se designa con la letra B.

Se continúa dterminando los siguientes factores de riesgo:

Riesgos Especiales del Material (M) que considera:

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| a)Materiales oxidantes.      | f)Sensibilidad a la ignición. |
| b)Reacción con agua.         | g)Descomposición explosiva.   |
| c)Mezclado y dispersión.     | h)Detonación gaseosa.         |
| d)Combustión espontánea.     | i)Fase condensada.            |
| e)Polimerización espontánea. | j)Otro comportamiento.        |

Riesgos Generales de Proceso (P) que involucra:

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| a)Manejo /cambio físico. | d)Multireacciones.           |
| b)Reacción continua.     | e)Transferencia de material. |
| c)Reacción Batch.        | f)Recipientes portátiles.    |

Riesgos Especiales de Proceso (S) que considera:

- |                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| a)Baja presión.        | h)Reacción de difícil control.        |
| b)Alta presión (p).    | i)Op. cerca o en rango inflamable.    |
| c)Baja temperatura.    | j)Riesgo Explosión mayor al promedio. |
| d)Alta temperatura.    | k)Polvo o neblina.                    |
| e)Corrosión y erosion. | l)Oxidantes gaseosos muy fuertes.     |
| f)Juntas y empaques.   | m)Sensibilidad a la ignición.         |
| g)Vibración y fatiga.  | n)Riesgos electrostáticos.            |

Riesgos por Cantidad (Q) : considera la cantidad total de los materiales presentes en la unidad (Ton.).

Riesgos por Arreglo de Equipo (L) : considera la altura de la unidad en metros (H) y el área normal de trabajo en m<sup>2</sup> (N) y los siguientes aspectos:

- a) Diseño de la estructura.
- b) Efecto Dominó.
- c) Areas subterráneas.
- d) Drenaje superficial.
- e) Otros aspectos.

Riesgos por Toxicidad (T) : se especifica para el material más peligroso, desde el punto de vista de Higiene Industrial que puede NO ser el material clave, considera:

- a) TLV.
- b) Forma del Material.
- c) Exposición corta.
- d) Absorción por piel.
- e) Factores físicos.

Con los resultados de las sumas de valores asignados a cada aspecto aplicable dentro de cada factor, se calculan los índices de riesgo de la sección:

Índice Global DOW/ICI (D)

$$D = E(1+M/100) (1+P/100) (1+(S+Q+L)/100 + T/400)$$

Carga de Fuego (F) en BTU/m<sup>2</sup> :

$$F = BK/N \times 20500 \text{ BTU/lb}$$

donde K = cantidad de material.

Potencial de Explosión Interna (E):

$$E = (m + p + S)/100$$

donde m= características de mezclado y dispersión.

Potencial de Explosión aérea (A): indica la posibilidad de formar una nube explosiva:

$$A = E(1+m/100) QEH (t/100) ((1+p)/1000)$$

donde t = temperatura de proceso (°K)

Indice Unitario de Toxicidad (U):

$$U = (T/100) (1+(M+P+S)/100)$$

Indice por Maximo Incidente Tóxico (C) potencial de daño a la salud en caso de una fuga /derrame mayor:

$$C = QU$$

Indice Global de Riesgo (R) indica el nivel de riesgo de la sección estudiada:

$$R = D(1+(FUEA) 0.5/1000)$$

Los valores de los índices calculados en el análisis de riesgo se disminuyen considerando las medidas de seguridad, control y protección instaladas, multiplicando los valores que se determinen como aplicables, bajo los siguientes apartados, considerando un valor de uno cuando no se cuente con la medida y un valor menor a uno cuando aplique:

Disminución de la Frecuencia:

K1 Sistema de contención :

- |                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| a) Recipientes a presión.  | d) Contención adicional.          |
| b) Tanques atm. verticales | e) Detención y respuesta a fugas. |
| c) Diseño de tuberías.     | f) Material relevado.             |

K2 Control de proceso:

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| a) Sistema de alarma.       | f) Paro de seguridad.             |
| b) Energía de emergencia.   | g) Control por computadora.       |
| c) Sistema de enfriamiento. | h) Protección contra explosiones. |
| d) Gas inerte.              | i) Instrucciones de operación.    |
| e) Estudios de riesgo.      | j) Supervisión de planta.         |

K3 Actitudes de seguridad:

- a) Actitud de la Gerencia.
- b) Entrenamiento de seguridad.
- c) Procedimientos de mantenimiento y seguridad.

Disminución de la Gravedad Potencial.

K4 Protección contra Fuego:

- a) Protección de estructuras.
- b) Barreras contra fuego.
- c) Protección a equipo.

K5 Aislamiento de materiales:

- a) Válvulas de corte.
- b) Ventilación.

K6 Combate de incendios:

- a) Alarma de emergencia.
- b) Extintores portátiles.
- c) Suministro de Agua.
- d) Rociadores y monitores.
- e) Inst. fijas de espuma/inertes.
- f) Brigadas contra incendios.
- g) Apoyo externo/interno.
- h) Ventilación de humos.

Con los valores por medidas preventivas se corrigen los siguientes índices:

Carga de fuego	$F_1 = F K_1 K_4 K_5$
Índice de explosión	$E_1 = E K_2 K_3$
Índice de explosión aérea	$A_1 = A K_1 K_5 K_6$
Índice Global MOND	$R_1 = R K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$

Si estos índices finales salen del rango de riesgo aceptable, se deberá revisar primeramente que cambios pueden hacerse al proceso y en seguida, que medidas no aplicaron y son requeridas, así como otras necesarias para disminuir los índices a los valores aceptables.

## 2.- Guía de Cálculo de Nubes Explosivas:

Desarrollada por Hoeschst Celanese Corporation con base en los estudios de la Industrial Risk Insurers, como un método de evaluación del potencial destructivo de una nube de vapores inflamables y para especificar medidas de emergencia para el momento que ocurran. Es una técnica que debe ser complementada con estudios del campo de operabilidad y que no es aplicable para nubes de polvo.

## 3.- HAZOP:

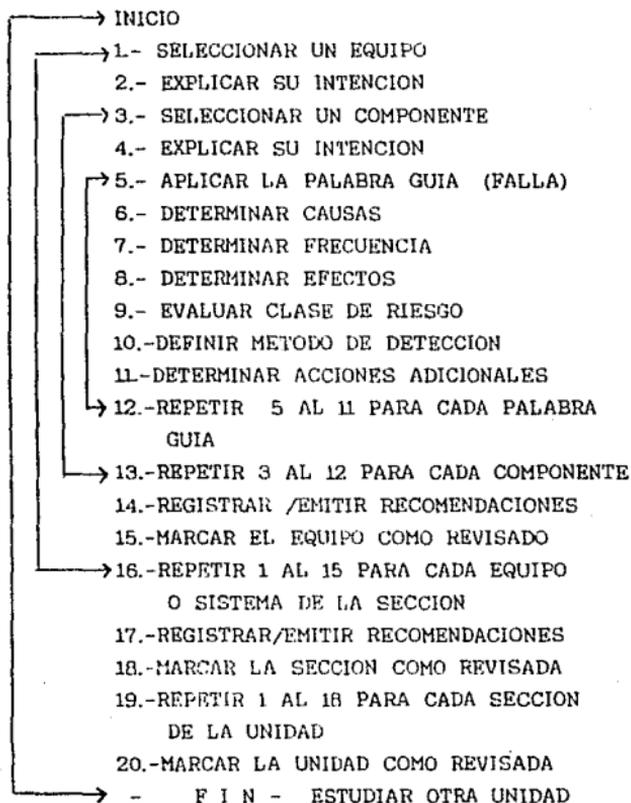
Análisis de Falla y Efecto.- Desarrollada para evaluar los riesgos asociados con la operación del proceso. Se basa en cuestionar cada componente de una unidad de proceso, para determinar que desviaciones de la intención original de diseño pueden ocurrir y cuales pueden dar lugar a un riesgo de seguridad al personal o las instalaciones. Las fallas se determinan por medio de las siguientes 7 palabras guía. (ver la siguiente hoja).

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Palabras Guía	Significado	Aplicación
NO	Negación completa de la intención.	No se realiza la intención de diseño pero no ocurre nada más.
MAS MENOS	Incremento o decremento cuantitativo.	Referido tanto a cantidades como a propiedades.
ADEMAS DE	Incremento Cualitativo.	Se realizan todas las intenciones de diseño además de otra actividad no deseada.
PARTE DE	Disminución cualitativa.	Se realizan parte de las intenciones de diseño.
INVERSO	Intención Lógica opuesta.	Aplicable principalmente a actividades y sustancias.
DISTINTO	Sustitución completa de la intención.	No se da la intención de diseño pero ocurre algo diferente.

Las palabras guías están diseñadas para agotar las posibilidades y modos de falla de los componentes de la unidad.

A continuación se muestra el diagrama de flujo en la aplicación de esta técnica:



En la primera parte del análisis no se consideran los sistemas de control, seguridad y protección de la unidad, a fin de evaluar la magnitud de los riesgos y sus consecuencias, así como fijar objetivamente las prioridades con que se deben cumplir las recomendaciones. En la segunda parte se evalúan los sistemas de control, seguridad y protección de la unidad para evaluar su suficiencia y rapidez de respuesta, para determinar que otros sistemas o medios, y de que tipo se requieren para garantizar la continuidad del proceso y su operación segura.

Para aplicar la técnica se requiere un formato de trabajo con la siguiente información:

Componente.- es la pieza del equipo a estudiar.

Falla.- es la desviación de la intención de diseño del componente definida por las palabras guía.

Causa.- razón por la que ocurre la falla.

Frecuencia.- número de veces por año en que ocurre la falla o frecuencia mayor en que ocurre una de las causas.

Efectos peligrosos.- son los que se espera que ocurran al aparecer la falla.

Clase de riesgo.- clasificación de la gravedad relativa de un efecto peligroso:

a) Insignificante.- Sin consecuencias al personal, comunidades, medio ambiente o proceso.

b) Marginal.- Fallas menores al sistema sin daños al personal, comunidad o medio ambiente.

c) Crítico.- Se requieren medidas inmediatas para proteger al personal, comunidad, medio ambiente o instalaciones. Hay la certeza de que el personal resultará lesionado o recibirá una sobre exposición tóxica.

d) Catastrófico.- Potencial de pérdida mayor del equipo o el personal resultará seriamente dañado o se expondrá a la comunidad o al medio ambiente.

Medio de detección .- Mecanismos existentes en la unidad para detectar la falla, sus causas o los efectos.

Respuesta operacional.- Medios operativos existentes para controlar la falla, sus causas o los efectos.

Medidas adicionales.- Dispositivos y sistemas requeridos para controlar/eliminar la falla, sus causas o los efectos

La aplicación de esta técnica requiere de información completa, detallada y actualizada en la unidad.

Arbol de Fallas.- Debido a la necesidad de analizar la confiabilidad de los sistemas de control y seguridad en procesos nació el Arbol de Fallas.

No podemos decir que la probabilidad de ocurrencia de un incidente de pérdida o accidente pueda reducirse a cero. Al existir una capacidad de pérdida existirá la probabilidad matemática de pérdida y los eventos de pérdida ocurrirán con la frecuencia dictada por esta probabilidad.

Para que haya cero pérdidas, debe haber cero capacidad de pérdida y esto se traduce en cero capacidad de producción y utilidades. Prevención de pérdidas es realmente control, sin comprometer la producción y las utilidades.

La aplicación del Arbol de Fallas nos permite evaluar la probabilidad de pérdida y compararla con la magnitud de la misma, cuantificando las probabilidades, de tal manera que se tomarán decisiones con pleno conocimiento.

Un evento de pérdida, que llamaremos "T" tiene siempre una o más causas, esto es, eventos o condiciones que son desviaciones del estado normal o planeado de un sistema. Si solo uno de estos eventos o condiciones es suficiente para causar "T", entonces la probabilidad de "T" es igual a la probabilidad de que ocurra este evento condición. Si se requiere dos o más eventos y estos son independientes entre sí, entonces la probabilidad de "T" será igual al producto de las probabilidades de ese evento.

Probabilidad es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre cero y uno. La absoluta imposibilidad de cero y la absoluta certeza es uno. Si utiliza la probabilidad relativa de ocurrencia de cada evento, expresada en potencias negativas de diez:  $10^{-3}$ ,  $10^{-8}$ , etc.

#### Construcción del Arbol de Fallas:

El Arbol de Fallas es un diagrama lógico en el que cada evento se muestra como una consecuencia lógica de la combinación de otros eventos y en el que se indica sus relaciones casuales mediante símbolos llamados "puertas".

El Arbol de Fallas se inicia con el evento de pérdida "T" que se desea analizar. Los eventos entrando a "T" tienen como consecuencia la ocurrencia de "T".

La puerta "Y" (and), simbolizada por un punto en la Figura 5.1, indica que para que el evento "T" ocurra, se tienen que cumplir todos los eventos de entrada A, B, C y D. Se puede ilustrar esto por analogía con un circuito eléctrico con interruptores A, B, C y D en serie. Para que la lámpara "T" encienda deben estar todos los interruptores cerrados. Cuando se aplica la puerta "Y" la probabilidad del evento "T" es igual al producto de las probabilidades de los eventos de entrada. (figura 5.1)

La puerta "O" (or), simbolizada por un signo "mas" en la fig. 5.2 indica que para que el evento "T" ocurra solo basta con que satisfaga uno de los eventos de entrada A, B, C ó D. En la analogía del circuito eléctrico, los interruptores están conectados en paralelo y en este la lámpara "T" encenderá si cualquiera de los interruptores se cierra.

Cuando se aplica la puerta "O" la probabilidad de "T" es igual a la suma de probabilidades de los eventos de entrada. (figura 5.2)

Cuando el evento de entrada significa la falla de un componente o equipo de un sistema se denomina Falla Funcional y acepta tres clases de eventos causantes, a través de una puerta "O" (fig. 5.3)

Fallas Primarias.- Son aquellas en las que el componente es o se convierte en incapaz de desempeñar su función de diseño y bajo condiciones normales de operación. Esto puede ser ocasionado por diseño inadecuado, defecto o deterioro durante su servicio. Su símbolo es un círculo.

Fallas Secundarias.- Son aquellas causadas por fuerzas o efectos ajenos al sistema como terremotos, inundaciones, huracanes, etc. Su símbolo es un diamante que generalmente es una terminación, ya que lo producen otros elementos que no están bajo control. Su probabilidad se evalúa de acuerdo con las condiciones ambientales y humanas del área donde se localiza la Planta.

Fallas de Mando.- Son aquellas que ocurren cuando el componente falla por condiciones de proceso excesivas o fuera de control: cargas mecánicas, energía liberada, falsas señales, etc.

A partir de esto el Arbol de Fallas se continúa describiendo hacia abajo, indicando los eventos necesarios y

suficientes para producir cada evento de entrada, utilizando las puertas "Y" y "=" según se requiera.

Una vez terminados todos los eventos en cadena, se anotan las probabilidades de ocurrencia de cada uno de los eventos, empezando con los eventos terminales, estimando su probabilidad y calculando matemáticamente las probabilidades de los eventos subsecuentes de acuerdo a las puertas de entrada, hasta encontrar la probabilidad del evento "T".

El criterio utilizado para evaluar la probabilidad de ocurrencia es:

Probabilidad	Frecuencia Probable
$10^{-0}$	Inminente (ocurre en cualquier momento).
$10^{-1}$	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año).
$10^{-3}$	Probable (ha/puede ocurrir en un año).
$10^{-5}$	Poco probable (no se ha dado en 5 años).
$10^{-7}$	Improbable (no se ha dado en 10 años).
$10^{-9}$	No se ve posibilidad de que ocurra.

Para obtener un Arbol de Fallas adecuado es necesario contar con un diagrama de flujo que muestre todos los equipos involucrados, líneas de flujo, conexiones de arranque y auxiliares, instrumentación, válvulas, etc. Ya que el Arbol de Fallas es un análisis del sistema, es necesario que esté representado completa y claramente.

La probabilidad del evento "T" encontrado en el análisis no dirá nada si no se compara con la magnitud del potencial de pérdida que representa, lo que permitirá evaluar si dicha probabilidad de "T" puede ser aceptada o no. Por ello es necesario determinar un potencial de pérdida razonable. Para resultados uniformes, es necesario que esto se haga por un método uniforme, recomendándose el método de pérdida máxima probable, ya que no dará ni una pérdida demasiado pequeña a una realidad probable, ni una pérdida máxima concebible, la cual es poco probable. En todos los casos para calcular la pérdida probable total se deben incluir tanto las pérdidas probables por daños directos estimados como las pérdidas por interrupción parcial o total de las operaciones.

Una vez obtenida la pérdida probable total, se le asignará un valor de potencial de pérdida, de acuerdo con la siguiente tabla:

Potencial de Pérdida	Pérdida Probable Total (dls.)
1	hasta 10
$10^{-1}$	10 a 100
$10^{-2}$	100 a 1,000
$10^{-3}$	1,000 a 10,000
$10^{-4}$	10,000 a 100,000
$10^{-5}$	100,000 a 1,000,000
$10^{-6}$	1,000,000 a 10,000,000
$10^{-7}$	10,000,000 a 100,000,000
$10^{-8}$	más de 100,000,000

Para que una probabilidad de "T" sea aceptable debe estar en equilibrio con el Potencial de Pérdida; es decir la probabilidad de ocurrencia "T" nunca deberá ser mayor al Potencial de Pérdida. En caso de encontrar que la probabilidad de "T" es mayor que el Potencial de Pérdida, se deberán atacar directamente aquellos eventos/ramales en el Arbol de Fallas que contribuyen más a aumentar la probabilidad de ocurrencia de "T" hasta disminuir ésta a un equilibrio con el Potencial de Pérdida.

Esta es la técnica que requiere de mayor conocimiento del proceso y de mayor objetividad y criterio del grupo que la aplique, a fin de asegurar que se construyan árboles lo más completos posible, pero manejables e interpretables.

Todos los reportes generados de la aplicación del ARUP deben ser manejados de modo que permitan:

- a) Mantener informada a la Gerencia del Centro de trabajo, al área de Seguridad y al personal involucrado, de los resultados obtenidos.
- b) La validación de la aplicación.
- c) La validación y priorización de las recomendaciones.
- d) El seguimiento al programa de cumplimiento de recomendaciones por parte de las Gerencias y Superintendencias involucradas por el área de Seguridad.

- e) Servir como referencia para la solución de problemas y prevenir los riesgos en unidades de proceso similares en la Compañía/Centro de trabajo.
- f) Servir como parte de la capacitación y el adiestramiento del personal de operación y supervisión de la unidad.
- g) Servir de base para profundizar en el Análisis de riesgos en las revisiones posteriores.

Para lograr los puntos anteriores es necesario que los reportes ARUP contengan como mínimo las conclusiones y recomendaciones a las que se anexen las hojas de trabajo del análisis de riesgos y un formato que resuma la información soporte utilizada.

#### Frecuencia de Aplicación del ARUP:

ARUP debe aplicarse sistemáticamente y de acuerdo a los siguientes puntos:

- \*En el diseño de nuevas unidades de procesos o servicios.
- \* En las modificaciones a unidades existentes, aunque se consideren como modificaciones menores.
- \* Como resultado o apoyo a la investigación de accidentes o eventos de pérdida.
- \* Cuando ha pasado un periodo de tiempo entre estudios (de 5 a 7 años dependiendo de la importancia de la unidad o su nivel de riesgo).

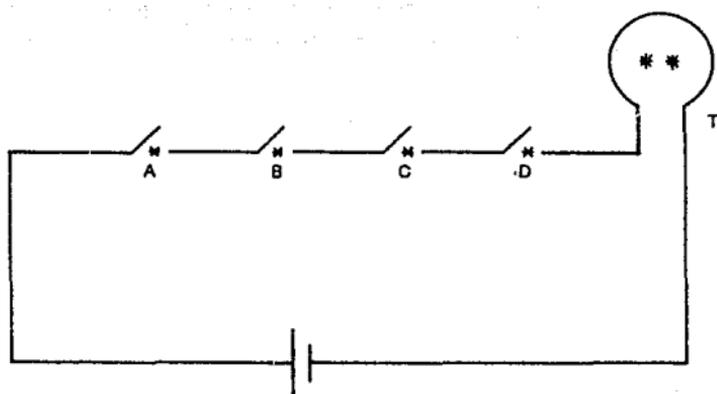


Fig. 5.1

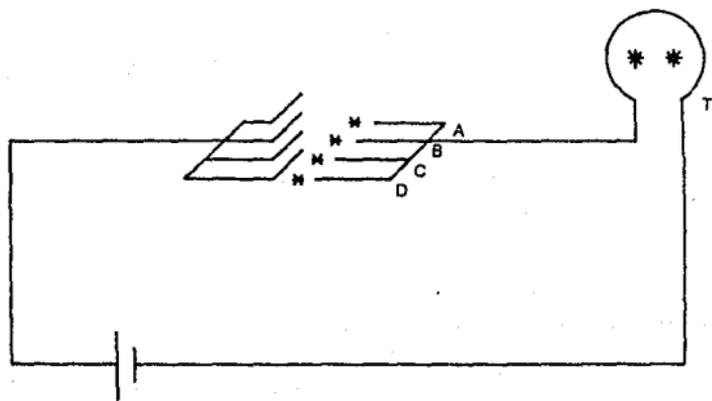


Fig. 5.2

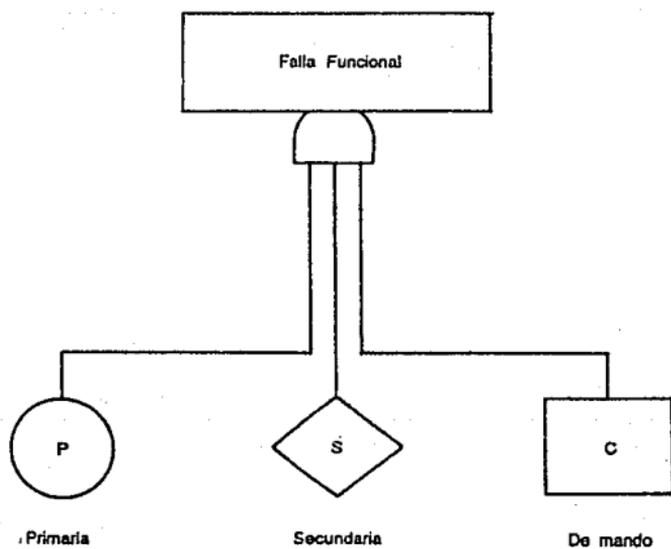


Fig. 5.3

## CAPITULO VI

### Legislación y medidas de seguridad.

Todas las industrias deben conocer perfectamente las propiedades de las sustancias que manejen o que se deriven de sus procesos para así poder tomar las precauciones debidas y evitar todo tipo de riesgo. El objetivo primordial de estas medidas preventivas es brindar al trabajador la seguridad en el ambiente de trabajo. En las industrias polvosas existe un alto índice de enfermedades ocupacionales (generalmente en las vías respiratorias) como producto del incumplimiento de las normas y medidas oficiales de seguridad e higiene.

Los métodos más comunes para la prevención del riesgo y para proteger la salud de los trabajadores parten del principio de eliminar el riesgo en su origen, estos son:

- 1.- Reducir o eliminar la fuente de contaminación por medio de un sistema adecuado de ventilación.
- 2.- Sustitución de sustancias nocivas por otras menos peligrosas o perjudiciales.
- 3.- Cambios en el proceso. La mecanización y automatización de los procesos industriales reducen el número de personas expuestas a la acción del polvo y permiten la introducción de otros métodos que minimizan la dispersión de éste en la atmósfera de trabajo.

4.-Evitar la dispersión del agente contaminante, aislando el área de contaminación por medio de cabinas cerradas.

5.-Protegiendo con equipo de seguridad al trabajador.

6.-Educar al trabajador para que acepte y use adecuadamente su equipo personal de protección e inculcarle hábitos de higiene.

7.- Comprobar que se cumplan las medidas de seguridad mediante una supervisión constante y efectiva.

8.- Realizando exámenes médicos periódicos a los trabajadores para prevenir enfermedades.

9.- Mantener orden y limpieza en todas las áreas de trabajo.

10.- Teniendo las instalaciones necesarias para que el personal labore cómoda y satisfactoriamente.

11.- Mantener aseadas y en buen estado las instalaciones sanitarias.

Con respecto a la prevención de enfermedades profesionales el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo establece las siguientes disposiciones:

Artículo 159.- Los patrones deben poner a disposición de los trabajadores y estos deben usar los equipos de protección personal a que se refiere este título en los casos que se requieran de conformidad con este Reglamento y sus instructivos.

Artículo 160.- El equipo de protección personal deberá ser el adecuado y brindar una protección eficiente, de conformidad con el instructivo correspondiente y la norma oficial mexicana.

Artículo 161.- Las comisiones de seguridad e higiene deberán vigilar:

I Que se seleccione el equipo apropiado, de acuerdo con el riesgo.

II Que el equipo de protección personal sea facilitado siempre que se requiera y sea necesario.

III Que el equipo sea mantenido en óptimas condiciones higiénicas y de funcionamiento.

IV Que el equipo sea utilizado por los trabajadores adecuada y correctamente.

V Que no se le cause daño intencional al equipo.

Las propias Comisiones de Seguridad e Higiene reportarán a los patrones y a las autoridades del trabajo cualquier falla en el cumplimiento de estas disposiciones.

Artículo 168.- A los trabajadores que estén expuestos a la inhalación de aire contaminado por polvos, humos, nieblas, rocíos, gases o vapores nocivos, se les deberá proporcionar equipos de protección respiratoria tomando en cuenta en sus selección las condiciones que se establezcan en los instructivos correspondientes y las especificaciones de la norma oficial mexicana.

Artículo 169.- Siempre que se realicen las labores en atmósferas tóxicas o deficientes en oxígeno se deberá disponer de equipo personal de protección respiratoria específico para que, cuando menos otro trabajador esté presente con equipo similar y en forma tal que se pueda establecer intercomunicación por procedimientos audibles, visuales u otros y se deberá contar también con equipo de rescate.

Artículo 175.- En el sitio de trabajo no se deberá tomar ningún alimento a menos que tal sitio esté destinado parcial o totalmente a la venta y consumo de alimentos. En casos especiales y cuando a su juicio se le justifique la necesidad de hacerlo, la autoridad del trabajo podrá autorizar excepciones.

Artículo 176.- Los centros de trabajo cuyas tuberías no estén conectadas a los servicios municipales de agua potable, deberán contar con depósito para almacenamiento de agua que garantice el abastecimiento diario en cantidad no menor de 100 lts. por trabajador.

Los depósitos destinados al agua potable deberán estar contruidos e instalados de manera que garanticen la potabilidad del agua. Esta deberá distribuirse por tuberías diferentes a las del agua destinada a otros usos.

Artículo 177.- El depósito de agua potable a que se refiere el artículo anterior, será independiente de la reserva de agua para incendio.

Artículo 178.- Los centros de trabajo deberán contar con bebederos higiénicos de agua potable o con depósitos con agua purificada y vasos higiénicos desechables, convenientemente distribuidos y en proporción de uno por cada 30 trabajadores o fracción que exceda de 15.

Artículo 179.- En los centros de trabajo se deberán instalar lavabos con servicio de agua corriente y desagüe al albañal en proporción de uno por cada 25 trabajadores o fracción que exceda de 10, y estarán anexos a las áreas de trabajo, a los servicios sanitarios y en su caso, a los comedores. En los lavabos colectivos las llaves deberán poder usarse simultáneamente.

Artículo 180.- Los instructivos especificarán las clases de trabajo en las que se requieran regaderas para el servicio de los trabajadores, así como sus características.

Artículo 181.- Los centros de trabajo que estén provistos de las regaderas a que se refiere el artículo anterior, deberán disponer de vestidores y casilleros adecuados, de conformidad con el instructivo correspondiente.

Artículo 182.- En los centros de trabajo deberán existir mingitorios y excusados del tipo aprobado por la autoridad competente, dotados de agua corriente en proporción de uno por cada 15 trabajadores o fracción mayor de 7 respectivamente. Deberán estar separados los de los hombres y mujeres y marcados con letreros que los identifiquen.

Artículo 185.- En los servicios destinados a los trabajadores, deberán llevarse a cabo las medidas generales de aseo, cuando menos cada 24 horas.

Artículo 186.- En los locales de los centros de trabajo, la maquinaria y las instalaciones se deberán mantener limpios. La limpieza se hará al terminar cada turno de trabajo.

Artículo 187.- En los centros de trabajo la basura y los desperdicios deberán manejarse y en su caso eliminarse de manera que no afecten la salud de los trabajadores.

Artículo 188.- La responsabilidad de la seguridad y la higiene en el trabajo corresponde tanto a las autoridades como a los trabajadores y patrones, en los términos que establecen las disposiciones legales.

Artículo 189.- Las autoridades de trabajo elaborarán y pondrán en práctica programas tendientes a orientar a los patrones y trabajadores respecto a la importancia que tiene la adopción de medidas preventivas adecuadas para evitar riesgos en los centros de trabajo.

Artículo 190.- Las autoridades del trabajo promoverán estudios e investigaciones técnicas y estadísticas en materia de la prevención de riesgos de trabajo y facilitarán la difusión de sus resultados. Las organizaciones obreras y empresariales coadyuvarán con las citadas autoridades en el desarrollo de los programas a que se refiere el artículo anterior.

Artículo 213.- Las autoridades del trabajo, los patrones y los trabajadores promoverán el desarrollo de servicios preventivos de medicina del trabajo en los establecimientos, atendiendo a los índices de frecuencia y gravedad de los riesgos realizados a la naturaleza y características de la actividad que se efectúe y el número de trabajadores expuestos. Dichos servicios estarán bajo la supervisión de un médico.

Las autoridades del trabajo proporcionarán asesoría técnica para el establecimiento y funcionamiento de los servicios preventivos de medicina del trabajo y estos a su vez, le informarán de las actividades que realicen en sus centros de trabajo.

Artículo 214.- Los servicios preventivos de medicina del trabajo a que se refiere el artículo anterior, realizarán las siguientes actividades:

I Determinar las condiciones de salud de los trabajadores y promover su mejoría.

II Investigar las condiciones ambientales en las que los trabajadores desarrollan sus labores.

III Analizar los mecanismos de acción de los agentes agresores para el hombre en el trabajo.

IV Promover el mantenimiento de las condiciones ambientales adecuadas y proponer las medidas de seguridad e higiene que deban adoptarse.

V Detectar las manifestaciones iniciales de las enfermedades en los trabajadores con el fin de prevenir su avance, sus complicaciones y secuelas.

VI Administrar los medicamentos y materiales de curación necesarios para los primeros auxilios y adiestrar al personal que los preste.

Artículo 215.- Los servicios preventivos de medicina del trabajo a que se refiere el artículo 213, coadyuvarán a la orientación y en su caso a la capacitación de los trabajadores en materia de prevención de riesgos del trabajo.

Artículo 216.- Para los servicios a que se refiere el artículo 213, las autoridades del trabajo promoverán la capacitación de los especialistas en medicina del trabajo.

Artículo 221.- En los centros de trabajo en que deban tomarse precauciones especiales o usarse equipos de protección obligatoria de acuerdo con este reglamento y conforme a los instructivos que la autoridad laboral expida, se colocarán avisos en lugares visibles, los que deberán ajustarse a lo que establecen las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

Artículo 222.- Los patrones están obligados a colocar en un lugar visible de las áreas de trabajo avisos de seguridad e higiene y propaganda para la prevención de riesgos, en función de la naturaleza de las actividades que se desarrollen en cada centro de trabajo. Las comisiones de seguridad e higiene vigilarán el cumplimiento de esta obligación.

## INSTRUCTIVO No. 10

### I Disposiciones generales.

El presente instructivo es de observancia obligatoria y tiene por objeto establecer medidas para mejorar las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas que por sus propiedades, niveles de concentración y tiempo de acción sean capaces de contaminar el ambiente laboral y alterar la salud de los trabajadores, así como establecer los niveles máximos permisibles de concentración de dichas sustancias.

En los centros de trabajo a que se refiere este instructivo, los patrones, en la adopción de medidas preventivas, deberán tomar en cuenta la naturaleza del trabajo y, en su caso, lo siguiente:

- a) Las características de las fuentes generadoras.
- b) Las características fisicoquímicas de las sustancias.
- c) Las características, la naturaleza, el tiempo y la frecuencia de la exposición de los trabajadores a dichas sustancias.

Los patrones tendrán la obligación de efectuar el reconocimiento, evaluación y el control necesario para prevenir alteraciones en la salud de los trabajadores expuestos.

Los trabajadores tendrán la obligación de colaborar en las medidas de evaluación y observar las de control que se establezcan en los centros de trabajo donde desempeñen sus actividades.

Los patrones deberán llevar, conservar, mantener actualizado y mostrar a las autoridades competentes el registro de los niveles de concentración de las sustancias químicas a que se refiere este instructivo, con las horas y las fechas en que se practiquen los muestreos correspondientes, a fin de adoptar las medidas de seguridad tendientes al control de dichas sustancias.

El patrón deberá informar a los trabajadores de las posibles alteraciones en su salud por la exposición a las sustancias químicas de que trata este instructivo, y orientarlos sobre la forma de evitarlos.

## II Del Reconocimiento.

Para llevar a cabo el reconocimiento los patrones deberán realizar lo siguiente:

- a) Identificar las fuentes generadoras.
- b) Delimitar las zonas donde exista el riesgo de exposición.
- c) Conocer las características tóxicas de las sustancias y las alteraciones que produzcan en la salud de los trabajadores.
- d) Señalar con avisos de seguridad, los locales de almacenamiento y las zonas de exposición a dichas sustancias. Los avisos deberán ser colocados en lugares visibles y ajustarse en general a la norma oficial mexicana correspondiente.

## III De la Evaluación.

Para efectuar la evaluación el patrón deberá muestrear y cuantificar periódicamente los niveles de concentración, aplicando los métodos e instrumentos que señalan las normas oficiales mexicanas correspondientes. Así mismo hará las anotaciones respectivas en el registro a que se refiere la disposición cinco de este instructivo.

#### IV Del Control.

9.- Cuando las sustancias químicas contaminantes rebasen los niveles máximos de concentración permisibles referidos en la tabla 6.1 de este instructivo para todos los efectos correspondientes, los patrones deberán aplicar, en su orden, la siguientes medidas:

a) Modificar o sustituir las sustancias que estén alterando el medio ambiente de trabajo capaces de causar daño a la salud de los trabajadores por otras sustancias que no lo causen.

b) Reducir al mínimo las sustancias químicas contaminantes.

c) Efectuar modificaciones en los equipos o en los procedimientos de trabajo.

Quando por la naturaleza de los procesos productivos del centro de trabajo no sea factible reducir las sustancias a los límites permisibles, los patrones deberán adoptar en su orden algunas de las siguientes medidas:

a')Aislar las fuentes de contaminación en los procesos, los equipos o las áreas.

b')Aislar a los trabajadores.

c')Limitar los tiempos y frecuencias en que el trabajador esté expuesto a las sustancias químicas contaminantes.

d')Dotar a los trabajadores del equipo de protección específico al riesgo. En la selección de éste, el patrón deberá considerar los niveles de atenuación del mismo, con

el propósito de que las concentraciones medias a que se exponga el trabajador no rebase los niveles máximos permisibles previstos en la tabla 6.1.

10.- Los niveles máximos de concentración permisibles a que pueden estar expuestos los trabajadores con jornada diaria de ocho horas serán los señalados en la tabla 6.1.

11.- La producción, el almacenamiento y el manejo de sustancias químicas de elevada peligrosidad por razón de su toxicidad deberán ser efectuados en locales separados, con el menor número posible de trabajadores y con las medidas de seguridad que correspondan a las sustancias mencionadas.

Para determinar el grado de peligrosidad referida se tendrá en cuenta la tabla 6.2 que se anexa al presente instructivo, y que forma parte del mismo para todos los efectos correspondientes.

12.- Las autoridades del trabajo, los patrones y los trabajadores promoverán, mediante exámenes médicos iniciales y periódicos, el mejoramiento de las condiciones de salud de los trabajadores que vayan a estar o estén expuestos a las sustancias químicas contaminantes. Dichos exámenes se llevarán a cabo de acuerdo con la exposición de cada caso.

13.- La Secretaria del Trabajo y Previsión Social, escuchando la opinión de los sectores involucrados, y con base en las experiencias disponibles y adecuadas, realizará las investigaciones y los estudios necesarios para actualizar los niveles máximos permisibles a que se refiere la tabla 6.1, así como para establecer los correspondientes a sustancias químicas nuevas de efectos nocivos para la salud de los trabajadores.

#### V De los Centros de Trabajo de Nueva Creación.

14.- Los centros de trabajo de nueva creación deberán ser planeados, instalados, organizados y puestos en funcionamiento de modo que la exposición de los trabajadores a las sustancias químicas no exceda los niveles máximos permisibles previstos en la tabla 6.1.

#### VI De las Sanciones.

15.- En los casos de inobservancia de las medidas a que se refiere este instructivo, la autoridad competente impondrá las sanciones previstas en la ley federal del trabajo y sus reglamentos, pudiéndose llegar incluso a la clausura parcial o total del centro de trabajo.

## EQUIPOS DE PROTECCION RESPIRATORIA.

El uso de un determinado equipo de protección personal de las vías respiratorias, en cualquier caso debe estar respaldado por un conocimiento apropiado de las características de éste y del ambiente donde se vaya a utilizar.

Con el fin de divulgar características, forma de utilización y cuantas posibilidades ofrecen los equipos, así como hacer que tanto los técnicos responsables de la seguridad y la higiene en las empresas, como los trabajadores, dispongan de la información necesaria a éste respecto se elaboró el siguiente capítulo.

Como principio debemos mencionar que los equipos de protección personal para las vías respiratorias se clasifican en dos grupos: Independientes del medio ambiente y Dependientes del medio ambiente (Fig. 6.1 y 6.2).

Cuando exista un ambiente en el que haya deficiencia de oxígeno o partículas contaminantes que representen un peligro inmediato para la vida se deberá recurrir a un equipo independiente al medio ambiente el cuál describimos a continuación.

## EQUIPOS INDEPENDIENTES.

Los equipos independientes del medio ambiente son aquellos que aíslan la respiración del usuario del aire ambiental contaminado donde se desenvuelven, y le suministran para su respiración aire procedente de un lugar sin contaminantes, o del recipiente a presión.

Los equipos independientes se dividen en dos grupos fundamentales:

a) Independientes semiautónomos.- en los que el suministro de aire al usuario no es transportado por éste.

b) Independientes autónomos.- en los que el propio usuario transporta el sistema que le suministra el aire que necesita para la respiración.

Estos dos grupos se subdividen en diversos tipos que a continuación se van a definir.

Los semiautónomos de aire fresco, que suministran aire procedente de un ambiente no contaminado. Cuando este aire lo aspira directamente el usuario a través de una manguera, el equipo se llama de aire fresco con manguera de aspiración. Cuando el aire es suministrado por medio de un sopiante a través de una manguera se llaman equipos de manguera de aire fresco a presión.

Los equipos semiautónomos son de aire comprimido cuando éste viene de recipientes a presión o de compresores.

Los equipos autónomos también admiten una división en dos grupos:

Autónomos de circuito abierto, en los que el aire procedente de las botellas es inhalado por el usuario y después expulsado fuera del adaptador facial a través de sus válvulas de exhalación, sin posibilidad de ser aprovechado.

Autónomos de circuito cerrado, los que aprovechan el aire procedente de la respiración del usuario recirculándolo, tras eliminar el dióxido de carbono por adsorción en unidades filtrantes, intercaladas en el circuito. Este tipo de equipos se divide a su vez en circuito cerrado con producción de oxígeno y circuito cerrado sin generación de oxígeno.

#### Características generales de los equipos:

Todos los materiales utilizados para la fabricación de estos aparatos deberán tener una resistencia mecánica y una durabilidad adecuadas. No se deben deteriorar bajo el efecto del calor o al contacto con el agua de mar y deben ser antiestáticos, dentro de lo posible. El empleo de las aleaciones de aluminio debe estar limitado todo lo posible y no serán utilizadas más que cuando no haya otra opción.

Los materiales utilizados deberán resistir los agentes de limpieza y de desinfección recomendados por los fabricantes.

La forma del aparato debe de permitir el fácil desmontaje de sus piezas principales con el objeto de limpiarlas y examinarlas, los acoplamientos deben cerrarse a mano y estar protegidos contra cualquier aflojamiento accidental y cualquier torsión del tubo respiratorio de aire comprimido o del tubo de alimentación. Se debe proveer a estos aparatos de un arnes o un cinturón para sostener el adaptador facial y el tubo de respiración. Las hebillas que lleven estos elementos deben ser de calidad y no deben resbalar. Finalmente el aparato completo debe sufrir también ensayos sobre el hombre en condiciones reales.

Equipos semiautónomos de aire fresco con manguera de aspiración.- Dentro de los independientes, estos son los equipos más simples y tienen en la práctica un gran campo de aplicación. Sin embargo, no se recurre a ellos con toda la frecuencia que se debiera ni incluso para ciertos trabajos concretos en los que debieran ser imprescindibles. Estos equipos son de gran utilidad para las operaciones de limpieza que se llevan a cabo en el interior de grandes depósitos empleados para almacenar sustancias químicas, también son recomendables para trabajos en alcantarillas o recintos subterráneos en los que pueden generarse riesgos higiénicos por presencia de contaminantes químicos.

(fig 6.3).

Estos equipos constan de un adaptador facial, que puede ser de tipo máscara o mascarilla, un tubo de respiración o conducto flexible a través del cual llega el aire respirable al usuario y que se extiende desde la pieza de conexión con el adaptador facial hasta el acoplamiento principal, donde se une con la manguera de aspiración. El acoplamiento principal además de servir para unir la manguera de aspiración con el tubo de respiración, debe tener la resistencia necesaria para soportar el esfuerzo que supone arrastrar, en determinadas circunstancias, la manguera que puede constar de varios trozos, unidos entre sí por medio de acoplamientos secundarios.

La pieza que une al tubo de respiración con el adaptador facial se denomina pieza de conexión.

Al final de la manguera se coloca una pica que tiene por objeto fijar el extremo de la manguera en un punto donde el aire sea respirable. En ocasiones se coloca en su extremo un filtro, para eliminar el riesgo de que entren en la manguera elementos extraños que la obturen, o en aquellos casos en que haya contaminación, aunque lógicamente deberá ser mucho más baja que la presente en el lugar en el que se encuentre el usuario.

El material que se utiliza para construir este equipo debe ser incombustible o de combustión lenta, los elementos de sujeción deben ser adaptables a varias tallas y ser funcionales, es decir, que no ofrezcan dificultades para colocárselos y ser de fácil acomodación al tamaño del

usuario. Es importante que el tubo de respiración sea flexible y que las mangueras en todos sus tramos sean homogéneas.

Los equipos semiautónomos de manguera de aspiración se dividen en dos grupos:

a) Cuando la manguera de aspiración es impermeable a los hidrocarburos.

b) Cuando la manguera de aspiración es permeable a los hidrocarburos.

Al margen de los requisitos generales expuestos en el equipo anterior, los semiautónomos de aire fresco con manguera de aspiración deben cumplir con ciertas exigencias que se comprueban y cuantifican experimentalmente en laboratorio. Las prestaciones exigidas son: hermeticidad, pérdida de carga y permeabilidad de la manguera.

Hermeticidad.- la hermeticidad de todo el equipo es requisito imprescindible, si se pretende que la contaminación ambiental no llegue a las vías respiratorias de quien usa el equipo y dentro de este principio y con el objeto de facilitar las comprobaciones experimentales, se exigirá que tanto en el tubo de respiración como en sus uniones a la pieza de conexión y al acoplamiento principal no haya fugas.

Lo mismo se pide a la manguera de aspiración y a sus uniones, tanto al acoplamiento principal como a los secundarios, si los hubiere.

Para comprobar la hermeticidad de los equipos de aire fresco se emplean dos tipos de ensayos diferentes; uno para el tubo de respiración y su unión al acoplamiento principal y a la pieza de conexión y el otro para la manguera y sus acoplamientos.

El fundamento de la prueba para comprobar la hermeticidad del tubo de respiración y sus acoplamientos es crear, dentro del conjunto que se somete a prueba, un ambiente contaminado con aire borboteado en una solución de amoníaco manteniéndolo a una presión de 12 cm de columna de agua. Si hay fugas en el tubo o sus acoplamientos, el aire que escapa, al llevar amoníaco, originará un cambio colorimétrico de la fenolftaleína que impregna el trapo que sirve de testigo y que se pasa por toda la superficie de los elementos que se prueban.

Dadas las características de los elementos a probar, mangueras y acoplamientos, las condiciones de prueba son diferentes a las del ensayo anterior, y en relación a estas diferencias, se estima que la sensibilidad para captar la presencia de fuga o falta de hermeticidad es menor, pues no se emplean testigos; sin embargo, las condiciones generales del ensayo son más rígidas y se adaptan mejor al tipo de material con el que se verifica. Para realizarlo, se

sumergen en agua la manguera unida al acoplamiento principal, y si hay acoplamientos secundarios, al menos uno de ellos, y se introduce en su interior aire hasta alcanzar una presión de 0.5kg/cm<sup>2</sup> que debe mantenerse al menos durante 1 minuto. En el caso de que haya fugas, se detectarán por el burbujeo que genera en el agua el aire que escapa.

Pérdida de carga.- Está supeditada a la longitud de la manguera, es decir, para un mismo material, a mayor longitud mayor pérdida de carga.

Los equipos semiautónomos de aire fresco llevan en el acoplamiento principal una válvula de inhalación que, unida a la que llevan los adaptadores, hará que el espacio muerto se pueda controlar mejor y así ayudar al adecuado funcionamiento de la unidad de protección. Por medio de este ensayo también se controla la resistencia al aplastamiento, pues se mantendrá la misma exigencia cuando la manguera soporte una fuerza de aplastamiento, que hará disminuir su diámetro interior, y en consecuencia aumentar la pérdida de carga que origine, cuando a su través pase el caudal de aire de prueba. El límite máximo permitido a la pérdida de carga a la inhalación es de 55 mm de columna de agua, en la que se incluye la originada por el adaptador facial correspondiente.

Como todos los ensayos de pérdida de carga, éste se basa en hacer pasar un caudal de aire por el recorrido que, en condiciones de uso normal, seguirá el que inhala el usuario, para cuantificar la diferencia de presión del caudal del aire de ensayo, antes y después de pasar a través del equipo. También deberá superar la misma prueba soportando un peso de 100 kg, distribuido sobre una superficie metálica de 300 por 300 mm.

Permeabilidad de la manguera a los hidrocarburos.- El estudio de la permeabilidad de la manguera es una característica que no se recoge en la normativa de otros países, exceptuando la americana.

En este ensayo la prueba se hace solo en la manguera como tal, aunque en todo caso deberá llevar, al menos un acoplamiento secundario. La prueba consiste básicamente en hacer pasar a través de ella un caudal del aire cuando esta sumergida en un hidrocarburo, concretamente hexano. Después se muestrea el aire de salida y se cuantifica la posible presencia de este contaminante.

Prueba mecánica de manguera y acoplamientos.- Un factor a controlar, dentro de la funcionalidad de los equipos semiautónomos de aire fresco con manguera de aspiración es la fuerza y la calidad de las uniones entre la manguera y los distintos acoplamientos, pues el propio uso la someterá a esfuerzos que tendrá que superar sin tener mermas en sus

**NEEDNO ED VITVA  
FALLA DE ORIGEN  
NOZ SISZI**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

prestaciones. Para llevar a cabo la prueba mecánica se toma un trozo de manguera de 600 mm en el que se incluye el acoplamiento principal, y otro trozo de igual longitud que incluya un acoplamiento secundario. Ambos se someterán a una tracción de 100 kgm por cinco minutos.

Equipos semiautónomos de aire fresco con manguera de presión.- Estos equipos son prácticamente iguales a los anteriores y la base de su funcionamiento es parecido. La diferencia está en que el aire es impulsado por medio de un mecanismo sopiante que puede funcionar a mano o auxiliado por un motor. Es decir, que el aire fresco se toma de un ambiente no contaminado y va a través de la manguera, impulsado a una cierta presión. Esta diferencia arrastra otras peculiaridades que son propias del equipo de que se trata (Fig 6.4).

Así, al recibir el usuario el aire a una cierta presión, le es proporcionada mayor protección y, en condiciones normales de uso, el esfuerzo para respirar será más bajo que al utilizar manguera de aspiración.

Se entiende que estos equipos sean recomendables para situaciones en las que el riesgo higiénico conlleva a un peligro inmediato. Quizás el mayor inconveniente está en que para usar estos equipos es necesaria la asistencia de una segunda persona, encargada de manejar el sopiante manualmente o atender el funcionamiento del motor, así como para auxiliar al usuario si surge algún peligro inesperado.

Las prestaciones que se exigen a estos equipos son básicamente las mismas que a los de manguera de aspiración, aunque al llevar un elemento soplante se agregan algunas específicas.

En relación a la unidad soplante, la misma podrá girar en una sola dirección o en ambas pero en el sentido en que lo haga tendrá que proporcionar el caudal necesario para la respiración del usuario. En ningún equipo existirá un sistema múltiple de soplantes, es decir, que el suministro de aire al usuario debe efectuarse por un solo soplante y también a la inversa, es decir, que no se debe suministrar aire con un solo soplante a varios equipos.

Las prestaciones que se deben exigir a estos equipos en orden a hermeticidades, pérdida de carga, y mecánica de manguera y acoplamientos, así como la clasificación por la permeabilidad o no a los hidrocarburos son las mismas que para los equipos de manguera de aspiración. Por otra parte, hay que tener en cuenta las características del elemento soplante. Si es manual, el par de arranque, no superará los 0.5 kgm. Ya en funcionamiento y para mantener un caudal de 50 lts. de aire por minuto y a una velocidad de rotación que no supere las 50 rpm. Cuando la manivela es sustituida por un motor, se darán las siguientes características: la conexión entre motor y unidad soplante será de tal forma que sea fácil desconectarlo para trabajar con él manualmente, y por lo tanto también cumplirá con los requisitos que se exigen a los soplantes manuales y el soplante, cuando trabaje a

motor, dará a 50 rpm un caudal que no supere los 150 lts. por minuto.

Par de arranque.- Para medirlo se coloca en el eje del soplante una polea de 20 cm de diámetro y sobre ésta se lia una correa, uno de cuyos extremos estará unido a la polea, y en el otro extremo se unirá un dispositivo en el que se podrá ir colocando pesas hasta que se logre un par de arranque que sea capaz de hacer girar el eje del soplante.

Si se tiene en cuenta que el par de arranque no puede superar los 0.5 kgm el peso máximo que se podrá colocar en el extremo de la correa para que el soplante cumpla con las exigencias establecidas será de  $0.5 \text{ kgm}/0.2 \text{ m} = 2.5 \text{ kg}$ .

Energía de mantenimiento.-Tras poner en marcha el soplante manual, la energía necesaria para mantener un régimen de funcionamiento adecuado a las necesidades respiratorias del usuario también está limitada. Para comprobar si un soplante reúne en este sentido las características técnicas adecuadas, se acopla al eje del soplante una llave dinamométrica graduable a la que se coloca un sistema para que actúe como si se tratara de una manivela. Después se hará girar hasta lograr una velocidad de rotación de 50 rpm, que se medirá por medio de un tacómetro. Como la llave está regulada para soportar hasta un par de 0.5 kgm en el caso de que no ceda y se logre la velocidad indicada se estimará que el soplante supera la prueba. Si la unidad soplante no supera la prueba del par de

arranque, no es necesario someterla a la de energía de mantenimiento.

Una prueba imprescindible a la que se deben someter las unidades soplantes es la que tiene por objeto comprobar si la calidad de las mismas es suficiente para que estas conserven sus prestaciones. Se entenderá que las unidades soplantes conservan las prestaciones cuando los caudales suministrados por las mismas para las pruebas mencionadas, no sufran variaciones superiores a  $\pm 1\%$  del caudal que tenían antes de verificarlas.

Equipos semiautónomos de aire comprimido.- Estos son los que ofrecen mayor protección, aunque como contrapartida también son los más complicados y los que imponen mayor dependencia a los usuarios. Son comparables con los equipos autónomos de circuito abierto, sobre todo en la forma en que llega el aire hasta el usuario, es decir, la presión del aire que se suministra y la manera de regular el caudal. Parte de los elementos que integran estos equipos se pueden utilizar con equipos autónomos de circuito abierto.

En estos equipos el aire comprimido puede provenir fundamentalmente de dos fuentes: de grandes recipientes a presión, que incluso pueden ser varios acoplados, o de compresores que pueden suministrar el aire directamente o alimentar una línea fija de la que toman el aire uno o varios equipos acoplándolos en lo que sería una red general de abastecimiento (Fig 6.5).

Estas características posibilitan el uso de los equipos durante el tiempo que se necesite, sin tener limitado el mismo por la capacidad de los recipientes, caso de los equipos autónomos, por lo que tienen un amplio campo de aplicación, y en casos concretos son los más adecuados.

Es imprescindible que estos compresores se instalen en un lugar donde el aire no esté contaminado y en todo caso, éste debe ser filtrado, tanto antes de pasar por el compresor como cuando sale de él.

Estos equipos tienen como elemento básico el adaptador facial (mascara o mascarilla), que se une al acoplamiento principal por medio de un tubo de respiración a través del cual llega el aire respirable a el usuario.

El acoplamiento principal puede ser de tres clases:

-Simple.- Que sirve como unión entre el tubo de respiración y la manguera de presión y debe estar adecuadamente fijado a los elementos de sujeción, para impedir que se transmita al tubo de respiración cualquier esfuerzo procedente de la manguera.

-Con llave de regulación.- Que son aquellos que, además de cumplir con las funciones de los simples, llevan una llave para regular el caudal de aire que llegará al adaptador facial.

-De tres vías.- Que son los que además de cumplir con las funciones de los anteriores tienen una salida para acoplar sistemas neumáticos (pistola de pinturas, aspersores, etc.) y pueden no llevar llave de regulación.

La pieza que une el tubo de respiración con el adaptador facial se denomina pieza de conexión, y en algunos equipos en ese lugar se acoplará la válvula a demanda. El aire que alimenta estos equipos, procedente de botellas o compresores, debe tener una presión próxima a las 4 atm. En el caso de tomar el aire de recipientes a presión, estos llevarán monorreductores adecuados que, lo mismo que los recipientes, deberán tener las prestaciones que se exijan en los reglamentos de recipientes a presión.

Los equipos semiautónomos de aire comprimido pueden tener enormes variaciones; sin embargo, en base a determinadas características se pueden agrupar para tener más facilidad en la elección y definición de las prestaciones mínimas exigibles.

Desde el punto de vista del sistema de alimentación, el aire puede llegar al adaptador y por tanto al usuario de tres maneras:

- A flujo constante.
- A demanda presión positiva.
- A demanda presión negativa.

En el primer caso el mismo usuario regula manualmente por medio de una válvula de paso el caudal de aire que necesita para la respiración y generalmente, dicho caudal creará una presión positiva en el adaptador facial.

En los de demanda a presión positiva la válvula dejará pasar el aire de la manguera al tubo de respiración o al mismo adaptador facial, en respuesta a la propia respiración del usuario, siempre que el interior del adaptador facial no se llegue a la presión de tarado de la válvula de exhalación, con lo que se consigue que en el interior del citado adaptador exista siempre una sobrepresión con respecto a la atmósfera.

Cuando se trata de presión negativa, básicamente responderá a la disminución de la presión en el adaptador facial, originada por la inhalación.

Atendiendo a la fuente por la que se suministra el aire, estos equipos se agrupan en:

- Aquellos que se alimentan por botellas de aire comprimido.
- De línea de aire comprimido por compresores.

Las prestaciones que requieren estos equipos son:

- Hermeticidad.
- Resistencia de la manguera a la presión.
- Características de la válvula a demanda.
- Capacidad de retención del filtro de línea.
- Características generales de las válvulas reguladoras de caudal.

Válvula a demanda.- Las prestaciones que a éstas se exigen están relacionadas con la sensibilidad de las mismas y los flujos de aire que dejan pasar. Las válvulas a demanda deben ser regulables, es decir, que el propio usuario pueda ajustar la válvula según sus necesidades respiratorias.

El procedimiento de prueba consiste en hacer que la válvula que se verifica responda adecuadamente a una presión (positiva o negativa), que esté dentro de los límites tolerados y que permita el paso de un caudal de aire, que esté dentro de las cantidades de aire que se estiman como adecuadas a cada situación. El aire que llega hasta la válvula lo a de hacer a una presión que se tiene como media, es decir, en torno a las 4 atm.

Filtro de línea.- Definir las prestaciones exigibles a estos filtros es cuestión complicada. No obstante, se estima imprescindible someter a los filtros de línea a ciertas pruebas de verificación que aclaren su comportamiento. Para cumplir con tal objetivo, se parte de seleccionar los contaminantes que se puedan aceptar como más frecuentes en este aire, y frente a ellos se debe estudiar el comportamiento de los filtros.

Se estima que los contaminantes frente a los que se deben ensayar los filtros son aceite en suspensión, monóxido de carbono y partículas sólidas en suspensión.

Para verificar la capacidad de estos filtros para retener las posibles partículas sólidas en suspensión que

pueda arrastrar el aire, procedente de compresores, se prueban frente a una corriente de aire contaminado de polvo de sílice. Con este objeto se prepara una atmósfera contaminada, de la que se extrae un caudal a través del filtro que se somete a prueba. Para controlar la concentración en el interior de la cámara de prueba, así como la capacidad de retención del filtro de línea en cuestión, se emplean medidas gravimétricas.

Equipos autónomos de circuito abierto.- Lo más importante a destacar de estos es justamente su autonomía, pero no se pueden marginar sus limitaciones; la principal de ellas es el tiempo máximo de uso, tanto para las botellas de aire comprimido u oxígeno, los filtros generadores de oxígeno o los que tienen por objeto retener el CO<sub>2</sub>. Esta importante supeditación y el peso de los equipos, son mayores limitaciones para su empleo (Fig. 6.6).

Sin embargo, se presentan situaciones laborales en las que no hay otro medio de lograr una protección adecuada de los trabajadores que usar equipos autónomos, casos que se dan en cualquier situación en la que no se conozcan los contaminantes que crean el riesgo higiénico, y en la que, además, el usuario necesite de una gran movilidad.

A los materiales con que se construyen los equipos autónomos y a los mismos equipos se les debe exigir unas características y requisitos básicos, que no requieren para

su comprobación ensayos específicos o que no es posible hacer (al menos en laboratorio) por lo general.

Algunas de las características con las que deberán cumplir los materiales a emplear son:

- Ser incombustibles o de combustión lenta.
- Su olor no podrá ser causa de trastornos en el usuario.
- No producirán enfermedad alguna.
- El aluminio y sus aleaciones se emplearán lo mínimo, y en caso de su uso se protegerá para evitar los posibles riesgos de explosión.
- No pesará más de 18 kg.
- Los elementos del equipo serán adecuados para su funcionalidad y los de sujeción adaptables a varias tallas.
- Facilidad en el montaje de los acoplamientos.
- Facilidad para que el usuario conozca la presión del aire por medio de un manómetro.
- Facilidad para el usuario de abrir o cerrar la válvula principal con el equipo puesto.

Elementos de respiración:

Botellas de presión.- Son elementos fundamentales para estos equipos, aunque ni el tratamiento de sus prestaciones ni el control de su calidad suele ser competencia de los organismos especializados en higiene y seguridad del trabajo.

La mejor botella sería aquella que tuviera la máxima capacidad y al mismo tiempo el mínimo peso y con la mayor resistencia. La función que tiene la botella de presión es que de la cantidad de aire que contenga dependerá el tiempo útil de uso de cada equipo. Luego, a mayor volumen y mayor presión del aire y a una demanda de aire constante, mayor tiempo de uso. Pero en la práctica, no se puede ir ni a grandes botellas ni a presiones demasiado altas, dado que el peso está limitado.

Las inspecciones y pruebas a las que debe someterse las botellas de aire según la legislación, se pueden compediar en lo siguiente:

a) En primer lugar se entenderá como presión de timbre la máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio.

b) La presión hidrostática a que se someterá es de 1.5 veces la presión máxima de servicio (presión de timbre) y el color distintivo es : negro para el cuerpo y negro con bandas blancas para la ojiva.

c) Las pruebas de presión se efectuarán con bomba hidráulica de doble pistón, con válvula de seguridad para regular la presión máxima que debe alcanzarse y llevará un purgador para hacer bajar la presión sin necesidad de parar la bomba.

d) La botella debe de llevar la mención "aire respirable" o una mención equivalente, en la lengua que convenga y debe indicar la presión de relleno autorizada.

El tiempo de utilización del equipo autónomo de circuito abierto dependerá de la capacidad de las botellas de aire a presión que tenga el equipo, y el caudal de aire que consuma el usuario por minuto.

La normativa actual clasifica los equipos por el tiempo de autonomía que dan al usuario en tres grupos:

- De gran duración ..... superior a 45 minutos.
- De duración media ..... entre 15 y 45 minutos.
- De escape o autosalvamento, de menos duración e indicados solo para huir de un riesgo.

Válvula reductora de presión.- Es también llamada manorreductora, y es un elemento clave en los equipos independientes autónomos de circuito abierto, en especial si estos funcionan con válvula a demanda. En un manorreductor la presión del aire de salida disminuirá al disminuir el aire en las botellas de alimentación y en consecuencia, bajará el caudal de aire que suministra.

Las prestaciones exigibles a las válvulas reductoras de presión deben ser dos:

1) Suministrar al usuario un cierto caudal de aire, según la demanda de este, que no dependa de la presión existente en las botellas.

2) Que el caudal de aire que pueda suministrar llegue al valor máximo que los expertos requieran del equipo.

Reguladores de caudal.- En los equipos semiautónomos que emplean aire comprimido, éste puede tener dos procedencias distintas: de botellas o botellones grandes, o de compresores de aire; tanto con una como con otra fuente de alimentación, se dan algunas situaciones distintas a las presentes en los equipos autónomos de circuito abierto, por lo que se debe seguir un planteamiento distinto tanto a la hora de utilizarlos como en el laboratorio cuando se someta a los correspondientes ensayos de verificación. Para los equipos semiautónomos la cantidad de aire no es un factor limitante fundamental y en consecuencia, los reguladores de caudal cumplirán con su función que aunque básicamente sea la misma, diferirá en cuanto a las limitaciones exigidas.

Válvulas a demanada.- Estas abren el paso al aire cuando la presión en el lado de la boca del usuario desciende por debajo de un cierto límite, y es éste el que diferencia a un tipo de otro; así la válvula a presión negativa abre el paso de aire cuando existe una presión en la boca del usuario inferior a la presión en el exterior de la máscara, por lo que se encuentra a vacío respecto a la presión ambiental en el momento de apertura; en cambio, la válvula a presión positiva abre el paso de aire cuando la presión en la boca del usuario ha descendido respecto a la existente al exhalar, pero aún es superior a la atmósfera del exterior de la máscara a presión respecto a la exterior.

Las prestaciones que deben dar estas válvulas están condensadas en los siguientes puntos:

- Es imprescindible definir la sensibilidad de la válvula a demanda, es decir, conocer la caída de presión necesaria para que esta se abra y deje pasar el aire procedente de la manguera de media presión.

- No es suficiente que la válvula abra ante una determinada caída de presión, sino que ésta debe permitir el paso de un caudal de aire óptimo, es decir, el necesario para responder a las necesidades respiratorias del usuario.

- Todo regulador debe funcionar adecuadamente incorporado al equipo del que forma parte, es decir, que supiera las pruebas ya mencionadas de sensibilidad en la apertura y permite el paso a un caudal determinado de aire, deberá responder correctamente a una prueba de funcionalidad global, empleando en los ensayos de laboratorio para este fin un pulmón artificial que responda a los ciclos respiratorios correspondientes a distintas situaciones de trabajo.

Tubos.- Estos se clasifican en tres tipos, dependiendo de la presión que puedan soportar:

- Tubos de alta presión.- Este es el que une el manómetro de control con la toma, que estará en cualquier caso antes del manorreductor, pues el objeto de este elemento, es conocer en cualquier momento la presión del aire en las

botellas. Este tubo deberá soportar igual presión que la que tenga el aire en las botellas, y se entenderá que los mismos son de alta presión.

- Tubos de media presión.- la conducción de aire desde el manorreductor, acoplado a la salida de la botella de presión, hasta las válvulas de flujo constante o a demanda son tubos que funcionan a una presión intermedia entre la que tenga el aire en la botella y la que alcanza en el adaptador facial.

- Tubos de baja presión.- si la válvula a demanda o de flujo constante no está en el adaptador facial sino que se une por medio de un tubo éste será el denominado tubo traqueal o respiratorio .

Elementos de control.- En los equipos autónomos de circuito abierto los elementos de control son de enorme importancia, pues tienen como función hacer que el usuario sepa el aire de reserva que contienen las botellas y por lo tanto, el tiempo de uso que aún tiene la unidad respiratoria.

Los más empleados son los que emiten una señal acústica por medio de un timbre vibrador, una campana o un silbato.

Equipos Independientes Autónomos de Circuito Cerrado.-  
Estos equipos aprovechan el aire exhalado por el usuario y, lo recirculan tras dejarlo en condiciones de que vuelva a ser respirable. Estos tienen su principal campo de aplicación en situaciones de emergencia y para escapar o autosalvarse, y en operaciones que se llevan a cabo en atmósferas deficientes en oxígeno o con contaminantes con riesgo inmediato para la vida.

En estos equipos se han encontrado defectos funcionales que son importantes como:

- Elevación excesiva de temperatura del aire.
- Descenso excesivo de la humedad del aire.
- Incremento excesivo de la concentración del CO<sub>2</sub> en el aire.
- Incremento excesivo y a veces descenso de la concentración de O<sub>2</sub> en el aire.
- Riesgo de incendio y explosión en aquellos equipos que utilicen generadores o recipientes a presión de O<sub>2</sub>.

Los equipos autónomos de circuito cerrado se clasifican en dos grupos:

a) Autónomos de circuito cerrado con producción de oxígeno.- Son aquellos en los que el elemento filtrante que forma parte del circuito cerrado de aire, elimina el CO<sub>2</sub> pero no genera oxígeno, y éste se debe suministrar al circuito por medio de una botella que lo contenga a presión u otros dispositivos independientes del propio filtro que se ha mencionado (Fig. 6.7).

b) Autónomos de circuito cerrado sin producción de oxígeno.- Son aquellos en los que el elemento filtrante, tiene por misión eliminar el CO<sub>2</sub> generado en la respiración, y, al mismo tiempo, general oxígeno necesario para acondicionar el aire y que éste vuelva a ser respirable. Proceso que se lleva a cabo gracias a la humedad que lleva el aire.

El elemento filtrante es la parte fundamental para que el equipo funcione, sirve también para diferenciar unas unidades de protección de otras.

A continuación describiremos el esquema básico de funcionamiento para los equipos autónomos de circuito cerrado sin generación de oxígeno (Fig. 6.8)

El punto (4) es el de la conexión del equipo con el adaptador facial correspondiente y de dicha pieza salen dos conducciones, generalmente tubos de respiración, a los que se les exigirán las características ya señaladas en los de circuito abierto.

Por el tubo de exhalación (16) sale el aire procedente de la exhalación del usuario, pobre en O<sub>2</sub> y enriquecido en CO<sub>2</sub>, este aire, tras pasar por la válvula de exhalación (5) (que tiene por objeto impedir un posible retroceso del aire cuando inhala el usuario) pasa al filtro que retiene el CO<sub>2</sub>. En este filtro, se produce un considerable desprendimiento

de calor que hará aumentar la temperatura del aire en del circuito. Por esta razón es frecuente encontrar a la salida del filtro un dispositivo para refrigerar el aire.

A continuación el aire pasa al interior de un saco respiratorio (2), elemento que actúa como regulador de flujo, pero también influye de forma considerable en la temperatura del aire procedente de la exhalación del usuario, pobre en oxígeno y del que se ha eliminado ya el exceso de CO<sub>2</sub>. De este saco inhalará el usuario el aire que necesite para su respiración.

El aire que se encuentra en el saco es deficiente de oxígeno, por lo que entre éste y el adaptador facial se debe actuar sobre el circuito de manera que pase al mismo la cantidad necesaria de oxígeno para hacer el aire respirable. Esto se consigue por medio del dispositivo (15) denominado regulador de flujo, al que llega el aire del saco respiratorio y el oxígeno que proviene del recipiente (3).

El dispositivo regulador funciona de forma que siempre habrá una proporcionalidad entre el flujo de aire que pasa del saco al tubo respiratorio, que conduce el flujo hasta el adaptador facial y el oxígeno suministrado.

El mecanismo se basa en un juego de válvulas en las que actúa un dispositivo, similar al de los reguladores de flujo a demanda, que gradúa así la entrada de oxígeno que será siempre proporcional al caudal total de aire que inhala el usuario.

Por el tubo de inhalación (17) se conduce el flujo de aire hasta la conexión con el adaptador facial (4), y de ahí al propio adaptador. Sobre el mismo tubo de inhalación irá una válvula (10) también de inhalación que tiene como misión, igual que en el tubo de exhalación, impedir inoportunos retrocesos en el flujo.

Cuando se pone en funcionamiento el equipo se debe proceder previamente a un barrido de la parte del circuito destinada a la inhalación, con el objeto de desplazar tanto del saco respiratorio como del resto de la conducción, el aire presente, presumiblemente deficiente de oxígeno. Con tal objeto debe haber en esta clase de equipos una conexión directa (13) entre el recipiente que contiene el oxígeno y el saco respiratorio; esta entrada está controlada por un dispositivo de válvulas que funcionan a mano y sobre la que debe actuar el usuario en aquellos casos en que sea necesario.

Por último estas unidades autónomas deben llevar los dispositivos de control necesarios para saber el tiempo de utilización que le da al recipiente que contiene el oxígeno, e igual que los autónomos de circuito abierto suelen llevar un dispositivo de alarma sonoro y un manómetro.

## EQUIPOS DEPENDIENTES.

Este equipo tiene muchas limitaciones, por lo que su uso es muy específico. Se utilizará un equipo dependiente del medio ambiente donde hay oxígeno suficiente para mantener la vida y donde el nivel de contaminante en el aire esté dentro del límite de concentración especificado para cada aparato. La vida útil de estos protectores está limitada por la concentración de los contaminantes en el aire, la demanda respiratoria de quien los lleva y la capacidad de retención del medio que actúa como purificador.

Estos equipos se clasifican en tres grupos:

\* Filtros de Retención Mecánica

\* Filtros de Retención o Transformación:

+ Filtro de Cartucho

+ Filtro de caja (Canister)

\* Filtros Mixtos:

+ Filtro de Cartucho

\* Filtro de Caja (Canister)

Respiradores de Filtro Mecánico.- Ofrecen protección contra las sustancias presentes en el aire en forma de partículas, incluyendo polvos, nieblas, humos metálicos y

carbonosos, pero no contra gases, vapores o deficiencia de oxígeno.

Como ejemplo de algunos polvos pueden citarse: Aluminio, celulosa, cemento, carbón, harina, yeso, fierro, piedra caliza, aserrín, madera, plomo, asbesto, cadmio, magnesio, selenio, etc.

Estos filtros consisten esencialmente en una pieza aplicada a la cara, ya sea en forma de cuarto de máscara, media máscara, o de máscara completa. Directamente unido a la máscara va acoplado alguno de los distintos tipos de filtros mecánicos (cartuchos intercambiables), fabricados con un material fibroso, generalmente papel o fieltro, que separa las partículas nocivas reteniéndolas a medida que el aire pasa a través del mismo.

Sin embargo, el filtro debe ser muy eficiente, para poder separar las partículas más pequeñas, y debe reemplazarse o limpiarse frecuentemente ya que si se taponea restringe la respiración y deja de funcionar.

Existen muchos respiradores para usos especiales con objeto de proporcionar la protección más económica y eficiente.

**Respiradores de Cartucho Químico.**- Proporcionan protección contra concentraciones de ciertos gases y vapores (0.10 a 100 ppm en volúmen) mediante el empleo de cartuchos que contiene sustancias químicas que retienen los gases y vapores dañinos.

Estos consisten en una media máscara conectada directamente a uno o dos pequeños recipientes de carbón activado o sal sódica (KOH + Na) que absorben las concentraciones bajas de algunos vapores y gases.

Esta clase de respiradores son dispositivos protectores que no están destinados a ser usados en emergencias y nunca deben ser empleados en atmósferas inmediatamente peligrosas, exepto con propósito de escape.

Las cuatro reglas principales NEGATIVAS que se aplican a los respiradores de cartucho químico son:

- § No usar contra materiales gaseosos que son extremadamente tóxico.
- § No usar para exposiciones a sustancias gaseosas nocivas que puedan ser detectadas claramente por su olor.
- § No usar para material gaseoso que irrita los ojos sin llevar protección ocular.

\* No usar con sustancias que no sean retenidas en el cartucho.

Respiradores Mixtos cartucho mecánico/químico.- Estos aparatos utilizan filtros para polvos, nieblas o humos, junto con un cartucho químico para exposiciones duales o múltiples. Dentro de esta categoría se utilizan respiradores con filtros mecánicos independientes reemplazables, puesto que normalmente el filtro de polvo se tapa antes de que se agote el filtro químico.

Un respirador en combinación de filtro mecánico y filtro químico emplea un elemento filtrante colocado hacia atrás y resulta apropiado para operaciones de pintura por rociado y soldadura donde el contaminante del aire se concentra frente al operario.

Clasificación de los equipos P. personal vías respiratorias

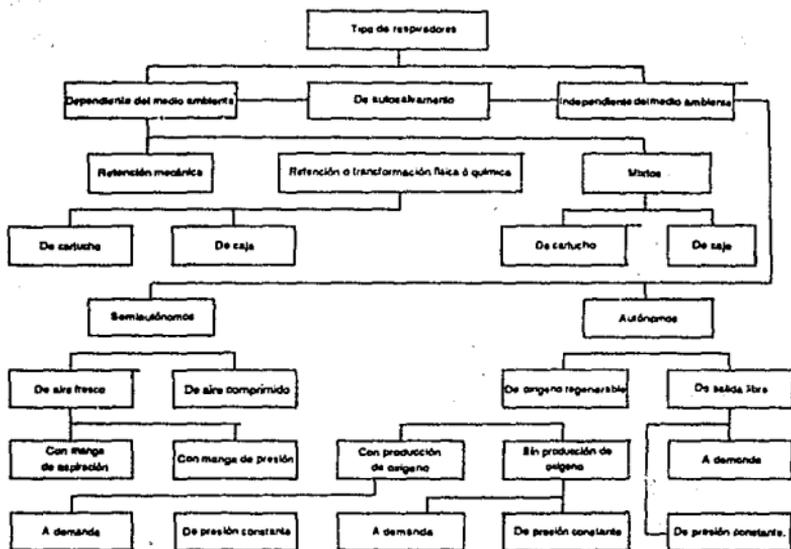


Fig. 6.1

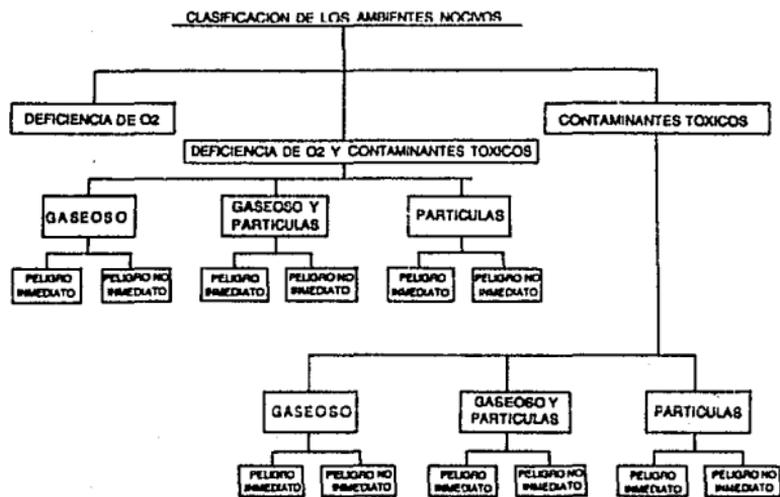
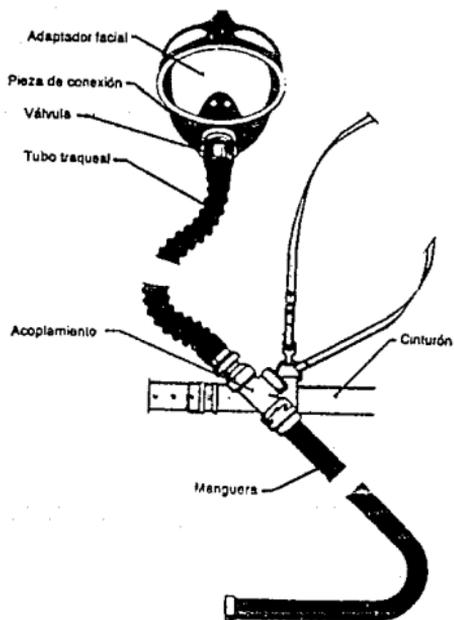
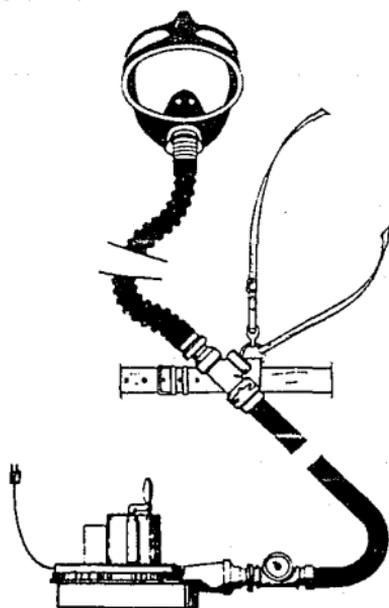


Fig. 6.2



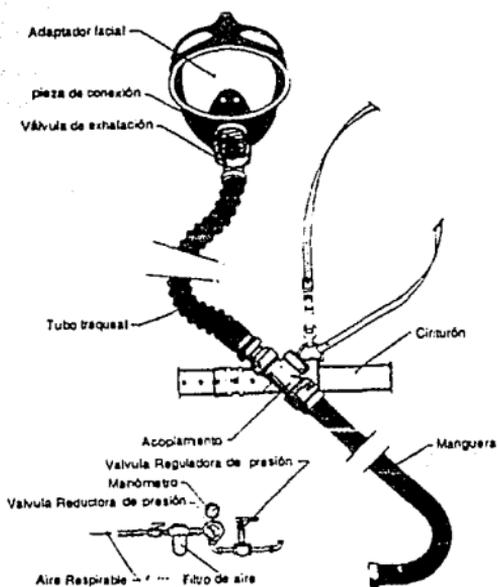
EQUIPO SEMIAUTÓNOMO DE AIRE FRESCO CON  
MANGUERA DE ASPIRACIÓN

Fig. 6.3



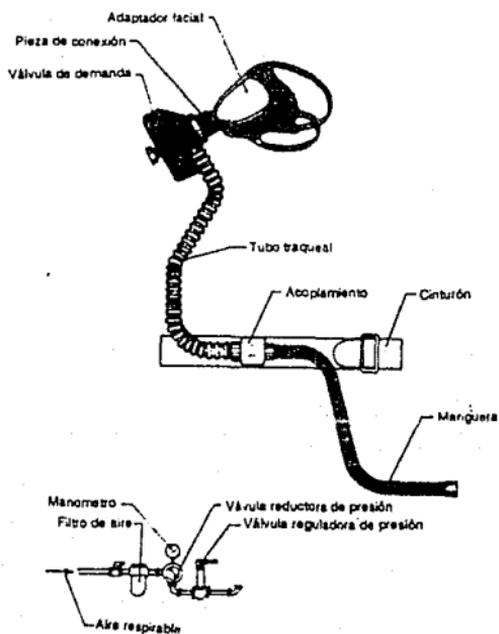
EQUIPO SEMIAUTONOMO DE AIRE FRESCO CON  
MANGUERA DE PRESION

Fig. 6.4



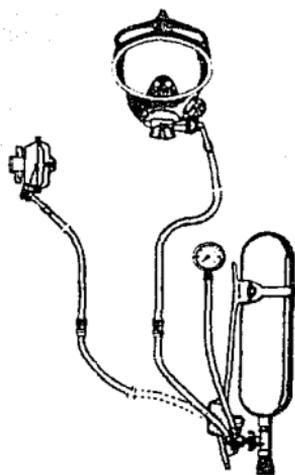
EQUIPO SEMIAUTÓNOMO DE AIRE COMPRIMIDO A FLUJO CONSTANTE

Fig. 6.5 a



EQUIPO SEMIAUTÓNOMO DE AIRE COMPRIMIDO A DEMANDA

Fig. 6.5 b



EQUIPO AUTÓNOMO DE CIRCUITO ABIERTO

- 1.-Soporte con atalajes
- 2.-Botellas de aire a presión
- 3.-Válvula principal o grito
- 4.-Manorreductor
- 5.-Manguera de media
- 6.-Manómetro
- 7.-Reductor de flujo constante o válvula a demanda
- 8.-Tubo de alta
- 9.-Tubo traqueal de respiración
- 10.-Conexión manómetro

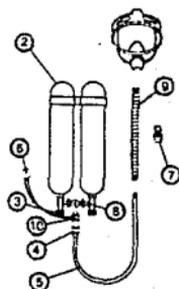
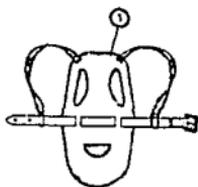
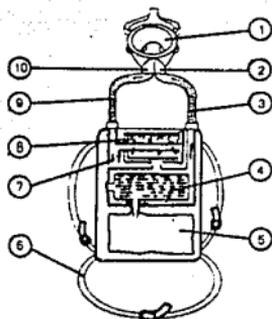


Fig. 6.6

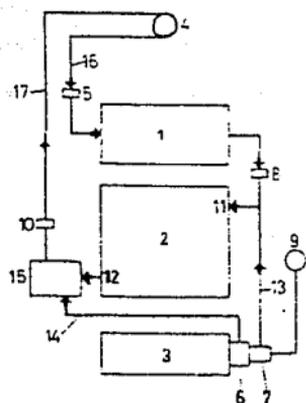


- 1.-Adaptador facial
- 2.-Válvula de inspiración
- 3.-Tubo de inspiración
- 4.-Evaporador
- 5.-Saco respiratorio
- 6.-Atalaje
- 7.-Válvula de seguridad
- 8.-Cartucho de regeneración
- 9.-Tubo de espiración
- 10.-Válvula de espiración

APARATO DE PROTECCION RESPIRATORIA AUTONOMO DE CIRCUITO CERRADO

Y GENERACION DE OXIGENO

Fig. 6.7

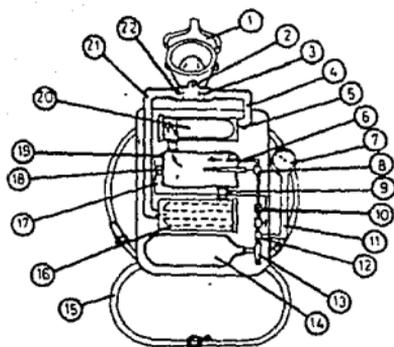


- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1 Filtro                                     | 5 Manómetro                        |
| 2 Saco respiratorio                          | 10 Válvula de inhalación           |
| 3 Recipiente de oxígeno                      | 11 Entrada saco respiratorio       |
| 4 Pieza de conexión con el<br>acabado facial | 12 Salida saco respiratorio        |
| 5 Válvula de exhalación                      | 13 Conducción para barrido previo  |
| 6 Grifo de recipiente                        | 14 Conducción de oxígeno           |
| 7 Manorreductor                              | 15 Dispositivo regulador de flujos |
| 8 Refrigerador                               | 16 Tuba de exhalación              |
|  | 17 Tuba de inhalación              |

Esquema básico de equipo independiente autónomo de circuito cerrado

sin generación de oxígeno.

Fig. 6.8

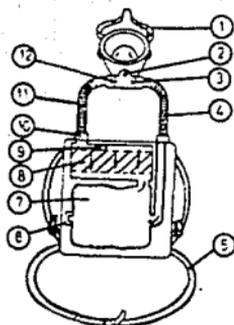


- 1.-Adaptador facial
- 2.-Conexión
- 3.-Válvula de inspiración
- 4.-Tubo de inspiración
- 5.-Deposito saliva
- 6.-Tubo de alimentación de oxígeno
- 7.-Manómetro
- 8.-Válvula a demanda
- 9.-Dispositivo de purga
- 10.-Menorreductor
- 11.-Tubo de manómetro
- 12.-Llave de aire acondicionado
- 13.-Válvula de botella
- 14.-Botella de oxígeno
- 15.-Atalaje
- 16.-Cartucho generador
- 17.-Seo respiratorio
- 18.-Válvula de seguridad
- 19.-Alarma
- 20.-Refrigerante
- 21.-Tubo expiratorio
- 22.-Válvula expiratoria

APARATO DE PROTECCION RESPIRATORIA AUTONOMO DE CIRCUITO

CERRADO Y OXIGENO COMPRIMIDO

Fig. 6.9



- 1.-Adaptador facial
- 2.-Conexión de la máscara
- 3.-Válvula de inspiración
- 4.-Tubo de inspiración
- 5.-Arnés
- 6.-Válvula de seguridad
- 7.-Saco respiratorio
- 8.-Cartucho generador de O<sub>2</sub> y absorbedor de CO<sub>2</sub>
- 9.-Dispositivo de arranque
- 10.-Conexión del tubo respiratorio
- 11.-Tubo de expiración
- 12.-Válvula de expiración

APARATO DE PROTECCION RESPIRATORIA AUTONOMO DE CIRCUITO

CERRADO Y OXIGENO LIQUIDO

Fig. 6.10

Tabla 6.1

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONCENTRACION DE LOS CONTAMINANTES (SOLIDOS, LIQUIDOS Y GASEOSOS, EN EL AMBIENTE DE LOS CENTROS DE TRABAJO, PARA JORNADAS DE 8 HORAS

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Abate .....	—	10
Aceite mineral niebla .....	—	5
Aceites vegetales niebla (excepto aceites irritantes) .....	—	8.1
Acetaldehido .....	100	180
Acetato de etimonometil etilenglicol (acetato de metil celosolve, piel) .....	112	540
Acetato de etilo .....	400	1400
Acetato de isoamilo .....	100	525
Acetato de isobutilo .....	150	700
Acetato de isopropilo .....	250	350
Acetato de metilo .....	200	610
Acetato de n-amilo .....	100	530
Acetato de n-propilo .....	200	840
Acetato de n-butilo .....	150	710
Acetato de sec-amilo .....	125	670
Acetato de sec-butilo .....	200	950
Acetato de sec-hexilo .....	50	300
Acetato de terbutilo .....	200	950
Acetato de vinilo .....	30	100
Acetileno .....	C	—
Acetona .....	1000	2400
Acetonitrilo (piel) .....	40	70
Acido acético .....	10	25
Acido fórmico .....	5	9
Acido fosfórico .....	—	1.0
Acido nítrico .....	2	5
Acido oxálico .....	—	1.0
Acido sulfúrico .....	—	1.0
Acido tioglicólico .....	1.0	5
Acido triclorofenoxiacético (2,4,5 T) .....	—	10
Acrilamida (piel) .....	—	0.3
Acrilato de butilo .....	10	55
Acrilato de etilo (piel) .....	5	20
Acrilato de 2-hidroxi-propilo (piel) .....	0.5	3
Acrilato de metilo (piel) .....	10	35

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Acritlonitrilo (piel) .....	2A.2	4.5 A.2
Acroleína .....	0.1	0.25
Aguares (tramentina) .....	100	560
Alicanfor sintético .....	2	12
Alcohol alílico (piel) .....	2	5
Alcohol diacetónico (4 hidroxí 4 metil-2 pentanona) .....	52	250
Alcohol etílico (etanol) .....	1000	1900
Alcohol furfurílico (piel) .....	12	40
Alcohol isomilico .....	100	360
Alcohol isobutilico .....	50	150
Alcohol isopropilico (piel) .....	400	980
Alcohol metilico (metanol, piel) .....	200	280
Alcohol N-butílico (piel) .....	50	150
Alcohol sec-butílico .....	150	450
Alcohol terbutílico .....	100	300
Aldrin (piel) .....	—	0.25
Algodón (polvos) .....	—	0.2
Alundum .....	—	B.1
Aluminio, alquinos .....	—	2
Aluminio (humos de soldadura) .....	—	5
Aluminio, metal y óxido .....	—	10
Aluminio (sales solubles) .....	—	2
Aluminio (polvos de piro) .....	—	5
2-amino etanol (etanol amina) .....	3	8
4-amino difenil (p-xenilamina) .....	A3	A3
2-amino piridina .....	0.5	2
Amoníaco .....	50	35
Anhídrido acético .....	5	20
Anhídrido ftálico .....	2	12
Anhídrido maleico .....	0.25	1.0
Anicidina (isómeros o Y p.) piel .....	0.1	0.5
Anilina y homólogos (piel) .....	2	10
Antimonio y compuestos (como Sb) .....	—	0.5
Atrazina .....	—	10
Antu (alfa naftil tiorrea) .....	—	0.3
Arseniato de calcio (como As) .....	—	1.0
Argón .....	— C	C
Arseniato de plomo (como Pb) .....	—	0.15
Arsénico (soluble como As) .....	—	0.2
Aralina .....	0.05	0.2
Asbestos (todas sus formas) .....	Al	Al

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Asfalto (petróleo) humos	—	5
Barlo (compuestos solubles como Ba)	—	0.5
Baygón (o-isopropoxi fenil-metil carbamato)	—	2.0
Benceno	(10)* A.2	(30)* A.2
Bencidina (piel)	A.3	A.3
Benomil	0.8	10
p-benzoquinona	0.1	0.4
Berilo	—	0.002A.2
Bifenil	0.2	1.5
Breas	—	B.1
Breas de carbón y volátiles (hidrocarburos aromáticos policíclicos, partículas)	—	0.2.A.1
Bromacil	1-	10
Bromo	0.1	0.7
Bromocloro metano (clorobromometano)	200	1050
Bromoformo (piel)	0.5	5
Bromuro de etilo	200	890
Bromuro de hidrógeno	3	10
Bromuro de metilo (piel)	15	60
Butadieno (1,3 butadieno)	1000	2200
Butano	800	1900
2-butanona	200	590
Butanotiol (butil mercaptano)	0.5	1.5
Butilamina (piel)	5	15
N-butil lactato	5	25
2-butoxietanol (butilcelosolve) (piel)	50	240
Cadmio, polvos, sales (como Cd)	—	0.05
Caí	—	B.1
Canfor (2 canfanona)	—	2.0
Canfeno clorado (piel)	—	0.5
Caolín	—	B.1
Caprolactama	—	—
Poivo	—	1.0
Vapor	5	20
Captafol (difolatan) (piel)	—	0.1
Captano	—	5
Carbaril (sevin)	—	5
Carbofurano (furaldan)	—	0.1
Carbonato de calcio (mármol)	—	B.1
Carburo de silicio	—	B.1

\* El valor 10 ppm entró en vigor el 28 de mayo de 1987

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Carburo de silicio	—	8.1
Catecol (pírocatecol)	5	20
Celulosa (fibra de papel)	—	8.1
Cemento portland	—	8.1
Cetena	0.5	0.9
Cianamida	—	2
Cianamida de calcio	—	0.5
Cianógeno	10	20
Cianuros (Como Ca piel)	—	5
Cianuro de hidrógeno (piel)	10	10
Ciclo hexilamina (piel)	10	40
Ciclohexano	300	1050
Ciclohexanol	50	200
Ciclohexanona	50	200
Ciclohexeno	300	1015
Ciclopentadieno	75	200
Clorido	—	10
Cloroacetaldehido	1	3
α-cloroacetofenano (Cloruro de Fenacil)	05	0.3
Clordano, (piel)	—	0.5
Cloro	1	3
Clorobenceno (Mono cloro benceno)	75	350
o-clorobencilidimalononitrilo (piel)	0.05	0.4
2-cloro 1, 3 Butadieno β ( cloropreno) (piel)	25	90
Cloro Difenilo: (piel)	—	1.0
42% Cloro	—	0.5
54% Cloro	—	0.5
Clorodifluorometano	100	3500
o-clorostireno	50	285
Cloroforno (Triclorometano)	10 -2	50 A2
2 cloro (triclorometil) piridina	20	100
1 cloro 1 nitropropano	20	100
Cloroclorina	0.1	0.7
o-clorotolueno, (piel)	50	250
Clorpirifos (Dursban, piel)	—	0.2
Cloruro de Alilo	1	3
Cloruro de Amonio (Humo)	—	5
Cloruro de Bencilo	1.0	10
Cloruro de Carbonilo (Fosgeno)	0.1	0.4
Cloruro de Etilo	10x10	2500
Cloruro de Hidrógeno (Acido Clorhídrico)	5	7
Cloruro de metilano (diclorometano)	100	360

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Cloruro de metilo .....	100	210
Cloruro del vinilideno .....	10	40
Cloruro de vinilo .....	(10)*A 1	(20)*A 1
Cloruro de zinc, humo .....	—	1
Cobalto, metal, polvo, humo (como Co) .....	—	0.1
Cobre, humo, polvo y niebla (como Cu) .....	—	1.0
Corundum (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	—	8.1
Crag, herbicida .....	—	15
Cresol, todos los isómeros (piel) .....	5	22
Cromatos (algunos compuestos insolubles en agua de Cr IV) .....	—	1
Cromato de terbutilo (como Cr O <sub>3</sub> ) piel .....	—	0.1
Cromato de zinc (como Cr) .....	—	0.05 A2
Cromita (mineral de proceso como Cr) .....	—	0.05 A.1
Cromo (compuesto de Cr II y Cr III) .....	—	0.5
Cromo (compuesto soluble en agua de Cr VI)	—	0.5
Cromo metal .....	—	0.5
Cromo, sales solubles (crómicas y cromo- sas) .....	—	0.5
Crotonaldehído .....	2	6
Cruformate .....	—	5
Cumeno (piel) .....	50	245
Diclorotetrafluoroetano .....	1000	7000
Dicloruro de propilano (1,2-dicloropropano) .	75	350
Dieldrin (piel) .....	—	0.25
Dietilamina .....	25	75
Dietiltilamina (piel) .....	1	4
Dietiltilato .....	—	5
Difenilamina .....	—	10
Difluorodibromometano .....	100	860
Difluoruro de oxígeno .....	0.05	0.1
Difonato .....	—	0.1
Dihidroxibenceno (hidroquinona) .....	—	2
Di- <i>n</i> -butilacetona .....	48.33	290
Disocianato de difenilmetano (isocianato de bisfenil metilano M D I) .....	0.02	0.2
Disocianato de isoforona (piel) .....	0.02	0.18
Diisopropilamina (piel) .....	5	20
2,4-disisocianato de tolueno .....	0.02	0.14

\* El valor 10 ppm entró en vigor el 28 de mayo de 1967

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Dimetilacetamida (piel) .....	10	35
Dimetilamina .....	10	18
Dimetilnilina (N,N-dimetilnilina, piel) .....	5	25
Dimetilbenceno (xileno, piel) .....	200	870
2,6-dimetil-4-heptanona (diisobutilcetona) ..	48	290
1,1 dimetilhidrazina (piel) .....	0.65 A2	1.3 A2
Dimetilformamida .....	20	60
Dimetilftalato .....	—	5
Dimetoximetano (metilal) .....	1000	3100
2,4-D (ácido 2,4-dicloro fenoxiacético) .....	—	10
D.D.T. (dicloro difenil tricloroetano) .....	—	1
D.D.V.P. (dicloruros, piel) .....	0.16	1.5
Decaborano (piel) .....	0.05	0.3
Demeton (sistox, piel) .....	0.015	0.15
Dietilaminoetanol (piel) .....	10	50
Diazinon (piel) .....	—	1.0
Diazometano .....	0.2	0.4
Diborano .....	0.1	0.1
Dibrom .....	—	3
1,2 dibromoetano (piel) .....	26	200
2 n-dibutilamino etanol (piel) .....	2	14
Diciclo-penta difenil fierro .....	—	10
Dicloropentadieno .....	6	36
Diclorotetra fluor metano .....	1000	7000
Diclorofos (bldrin, piel) .....	—	0.25
Dicloroacetileno .....	0.1	0.4
o-diclorobenceno .....	50	300
p-diclorobenceno .....	75	450
Diclorodifluorometano .....	1000	4950
1,3 dicloro 5,5 dimetilhidantion .....	—	0.2
1,1 dicloroetano .....	200	810
1,2 dicloroetano .....	50	200
1,2 dicloroetileno .....	200	790
Dicloromono fluorometano .....	500	2100
1,1 dicloro 1 nitroetano .....	10	60
Dinitrobenceno (todos los isómeros, piel) ..	0.5	1
Dinitrato de etilenglicol y/o nitroglicerina (piel) .....	0.2	2
Dinitro-o-cresol (piel) .....	—	1
3-5 dinitro toluamida (zoaleno) .....	—	5

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Etil amil cetona (5-metil-3-etanona) .....	25	130
Etil amina .....	10	18
Etil benceno .....	100	435
Etil butilcetona (3-heptanona) .....	50	230
Etilen-clorhidrina (2-cloroetanol, piel) .....	1	3
Etilen diamina (1,2-diaminoetano) .....	10	25
Etilenglicol .....	—	—
Partículas .....	—	10
Vapor .....	100	250
Etilen imina (piel) .....	0.5	1
Etileno .....	C	—
Etil mercaptano .....	0.95	2
n-Etil morfina (piel) .....	20	95
Etilen (nialato, piel) .....	—	0.40
2-Etoxil-etanol (piel) .....	100	370
2-Etoxil-etil acetato (acetato de celosolve, piel) .....	100	540
p-fenil diamina (piel) .....	—	0.1
Fenil etileno (estireno monómero) .....	100	420
Fenil fosfina .....	0.05	0.25
Fenil glicidil éter (PGE) .....	10	60
Fenil hidrazina (piel) .....	5	20
Fenil mercaptano .....	0.5	2
Fenol (piel) .....	5	19
Fenotiazina .....	—	5
Fen sulfotión (dasanil) .....	—	0.1
Ferbam .....	—	10
Ferro vanadio, polvo .....	—	1
Ferro, sales solubles (como Fe) .....	—	1.0
Flúor .....	1	2
Fluoroacetato de sodio (1080) (piel) .....	—	0.05
Fluoruro (como F) .....	—	2.5
Fluoruro de carbonilo .....	5	15
Fluoruro de hidrógeno (como F) (ácido fluorhídrico) .....	3	2.5
Fluoruro de paricloro .....	13	14
Fluoruro de sulfuro .....	5	20
Forato (Thimet, piel) .....	—	0.05
Formaldehído .....	2	3
Formamida .....	20	30
Formato de etilo .....	100	300

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Dinitrotolueno (piel).....	—	1.5
Dioxano, grado técnico (piel).....	100	360
Dioxiatlon (delnav, piel).....	—	0.2
Dióxido de azufre.....	5	13
Dióxido de carbono.....	5000	9000
Dióxido de cloro.....	0.1	0.3
Dióxido de nitrógeno.....	5	9
Dióxido de titanio (como Ti).....	—	8.1
Dióxido de vinil ciclohexano.....	10A2	60A2
Diquat.....	—	0.5
Disec, octilftalato (Di-2-etilhexilftalato).....	—	5.
Disiston (piel).....	—	0.1
Disulfirán.....	—	2.0
Disulfuro de carbono.....	20	60
Disulfuro de propil aillo.....	2.0	12
2-6 dterbutil-P-cresol.....	—	10
Diurón.....	—	10
Emery (esmeril).....	—	8.1
Endosulfán (piel).....	—	0.1
Endrín (piel).....	—	0.1
Epiclorhidrina.....	5.0	20
E P N.....	—	0.5
Estaño, compuestos inorgánicos, excepto SnH <sub>4</sub> y SnO <sub>2</sub> (como Sn).....	—	2.0
Estaño compuestos orgánicos (como Sn).....	—	0.1
Estearato de zinc.....	—	8.1
Estivind.....	0.1	0.5
Estircnina.....	—	0.15
Etano.....	C	—
Etanolamina.....	3.0	8.0
Etanolol (etilmercaptano).....	0.5	1.0
Eter dicloropftílico.....	5.0	30
Eter diglicidílico (DGE).....	0.6	3.0
Eter etílico (éter dietílico).....	400	1200
Eter fenílico (vapor).....	1.0	7.0
Eter fenílico-difenilo mezcla (vapor).....	1	7
Eter glicidil aílico (AGE, piel).....	5	22
Eter glicidil n-butílico (BGE).....	50	270
Eter glicidil isopropílico (IGE).....	1000	340
Eter isopropílico.....	500	2100
Eter metil di propilenglicol (piel).....	100	670

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPI <sup>1</sup>	mg/m <sup>3</sup>
Fosfín (mevinphos, piel) .....	0.01	0.1
Fosfato de dibutilo .....	1	5
Fosfina .....	0.3	0.4
Fósforo (amarillo) .....	—	0.1
Fósforo, pentacloruro de .....	1	1.5
Fósforo, pentasulfuro de .....	—	3
Fósforo, triclouro de .....	0.5	5
Ftalato de dibutilo .....	—	5
m-Ftalodinitro .....	—	5
Furfural (piel) .....	5	20
Gas licuado de petróleo (GLP) .....	1000	1800
Gypsum (yeso) .....	—	B.1
Glicerina, niebla .....	—	B.1
Glicidol (2,3-epoxi 1-propanol) .....	50	150
Glutaraldehído .....	0.2	0.7
Grafito (sintético) .....	—	B.1
Guthion (motil azinfos, piel) .....	—	0.2
Halnio .....	—	0.5
Helio .....	C	—
n-Heptano (piel) .....	400	1600
Heptacloro (piel) .....	—	0.5
Hidraína (piel) .....	0.1A2	0.1A2
Hidróxido de calcio .....	—	5
Hidróxido de cesio .....	—	2
Hidróxido de sodio .....	—	2
Hidróxido de triciclohexilina (pictran) .....	—	5
Hidrógeno .....	C	—
Hidruro de litio .....	—	0.025
Hexaclorociclopentadieno .....	0.1	1.0
Hexaclorocetano (piel) .....	10	100
Hexacloronaftaleno (piel) .....	—	0.2
Hexafluoroacetona (piel) .....	0.1	0.7
n-Hexano .....	100	360
y otros isómeros .....	500	1800
2-Hexanona (metilbutilcetona, piel) .....	25	100
Hexafluoruro de selenio (como Se <sub>6</sub> ) .....	0.05	0.4
Hexafluoruro de azufre .....	1000	6000
Hexafluoruro de telurio (como Te <sub>6</sub> ) .....	0.02	0.2
Hexona (metilisobutilcetona, piel) .....	100	410
Hexilen Glicol .....	25	125
Humos de soldadura .....	—	5

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Indano .....	10	45
Indio y compuestos (como In) .....		0.1
Isoforona .....	5	25
Isopropilamina .....	5	12
Lindano (piel) .....		0.5
Madera, polvo, madera dura, como en la fabricación de muebles .....	—	5
Magnesita .....		8.1
Malatlon (piel) .....		15
Manganeso y compuestos (como Mn) .....		5
Manganeso, humo (como Mn) .....		5
Mercurio (compuestos de alquilos) (piel) (como Hg) .....	0.01	0.1
Mercurio (todas sus formas excepto alquilos como Hg), vapor .....		0.05
Metano .....	C	
Metanolol (metil-mercaptanos) .....		2.5
Metilanosil (piel) .....		0.2
Metil-acrilonitrilo, piel .....	1	3
Metil-acetileno-propadieno, mezcla (MAPP) .....	1000	1600
Metil acetileno .....	1000	1650
Metilal (dimetoximetano) .....	1000	3100
Metil n-amilcetona (2-heptanona) .....	100	465
Metilamina .....	10	12
Metil bis (4-ciclo-hexiloisocianato) .....	C.01	0.11
4-4 metilen bis (2-cloranilina, piel) .....	0.02 A2	0.22 A2
Metilen-bisfenil-isocianato (MBI) .....	0.02	0.2
Metil-ciclohexano .....	400	1600
Metil-ciclohexanol .....	50	235
Metil-cloroforno (1,1,1-tricloroetano) .....	350	1900
o-Metil-ciclohexanona (piel) .....	50	230
Metil-ciclo penta dienil tri-carbonil manganeso (como Mn, piel) .....		0.2
α Metil estireno .....	100	480
Metil 2-ciano acrilato .....	2	8
Metil-dimetón (piel) .....		0.5
Metil-etil-cetona (2-butanona) .....	200	590
Metil-formiato .....	100	250
Metil isobutil-cetona (hexona, piel) .....	100	410
Metil-isocianato, (piel) .....	0.02	0.05

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Metil-isobutil-carbino (alcohol-amilmetílico, piel) .....	25	100
Metil-metacrilato .....	100	410
Metil-isocamil-cetona .....	100	475
Metil-parallon (piel) .....		0.2
Metomil (piel) .....		2.5
Metoxiclor .....		10
2-Metoxietanol (piel) .....	25	80
Molibdeno (como Mo):		
Compuestos solubles .....		5
Compuestos insolubles .....		10
Monocrotófos (Azodrin) .....		0.25
Monometil-anilina, piel .....	2	9
Monometil-hidrazina (piel) .....	0.2 A.2	0.35 A.2
Monocloruro de azufre .....	1	6
Monóxido de carbono .....	50	55
Mcrifolina, (piel) .....	20	70
β-Naftil-amina .....		A3
Naftaleno .....	10	50
Neón .....	C	
Negro de humo (negro de carbón) .....		3.5
Nicotina (piel) .....		0.5
Niquel-carbonil (como Ni) .....	0.05	0.35
Niquel; compuestos solubles (como Ni) .....		0.1
Niquel; metal .....		1.0
Niquel, sulfuro de (humos y polvos) .....		1.0A1
p-Nitro-anilina (piel) .....	1	6
Nitro-benceno, (piel) .....	1	5
p-Nitro-cloro-benceno (piel) .....		1
Nitro-cloro-metano (cloro-picrin) .....	0.1	0.7
4-Nitro-difenil .....	A3	A3
Nitro-etano .....	100	310
Nitro-glicarina .....	0.2	2
Nitro-metano .....	100	250
1-Nitro-propano .....	25	90
2-Nitro-propano .....	25 A.2	90 A.2
Nitrotolueno .....	5	30
Nonano .....	200	1050
Norborneno de etilideno .....	5	25
Octacloro naftaleno (piel) .....	—	0.1
Octano .....	300	1450

Contaminante	Nivele: máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Oxido de boro	—	10
Oxido de cadmio, humo (como Cd)	—	0.05
Oxido de cadmio, producción (como Cd)	—	0.05 A2
Oxido de calcio	—	2
Oxido de difenil clorado	—	0.5
Oxido de etileno	45	90
Oxido de estaño	—	B.1
Oxido de fierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> como Fe)	—	10
Oxido de magnesio, humo (como Mg)	—	10
Oxido nítrico	25	30
Oxido propileno (1,2-epoxipropano)	100	240
Oxido de zinc, humo	—	5
Oxido de zinc, polvos	—	B.1
Ozono	0.1	0.2
Parafina, humos	—	2
Paraquat, todos tamaños respirables	—	0.1
Paration piel	—	0.1
Partículas policíclicas de hidrocarburos aromáticos, como bencenos solubles	—	0.2 A.1
Pentaborano	0.005	0.01
Pentacarbonilo de fierro (como Fe)	0.01	0.8
Pentaclorofenol (piel)	—	0.5
Pentacloro naltaleno	—	0.5
Pentaeritritol	—	B.1
Pentafluoruro de azufre	0.025	0.25
Pentafluoruro de bromo	0.1	0.7
Pentano	600	1800
2-Pentanona	200	700
Percloroetileno (piel)	100	670
Perclorometil mercaptano	0.1	0.8
Peróxido de benzilo	—	5
Peróxido de hidrógeno	1.0	1.5
Peróxido de metil etil cetona	0.2	1.5
Picloram	—	10
Piretrum	—	5
Piridina	5.0	15
Pival (2-pivalin 1,3 indaldiona)	—	0.1
Plaste de París	—	B.1
Plata:		
Metal	—	0.1
Compuestos solubles (como Ag)	—	0.01

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Platino, sales solubles (como Pt) .....	—	0.002
Plomo: polvos inorgánicos, .....	—	0.15
Propano .....	—	C
Propileno .....	—	C
Propanol .....	200	500
Propilenimina (piel) .....	2 A2	5 A2
n-Propilnitrate .....	26	110
Quinona .....	0.1	0.4
RasorcínoI .....	10	45
RDX (piel) .....	—	1.5
Rodlo, metal, humos y polvos (como Rh) .....	—	1
Rodlo, sales solubles (como Rh) .....	—	0.001
Ronal .....	—	10
Rosina (productos de la pirolisis de las varillas de soldadura) como formaldehído .....	—	0.1
Rotenona (comercial) .....	—	5
Sacarosa .....	—	B.1
Selenio compuestos (como Se) .....	—	0.2
Seleniuro de hidrógeno (como Se) .....	0.05	0.2
Silano (tetrahidruro de silicio) .....	5	7
Silicato de calcio .....	—	B.1
Silicato de etilo .....	10	85
Silicato de melilo .....	5	30
Silicio .....	—	B.1
Solvente de hule (nafta) .....	400	1600
Solvente stoddard (mineral spirits) .....	500	2950
Substancias (enzimas proteolíticas, como enzima cristalina 100% pura) .....	—	0.00005
Sulfato de dimetilo (piel) .....	1.0 A2	5.0 A2
Sulfato de amonio (ammate) .....	—	10
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) .....	10	14
Tallo, compuestos solubles (como Ta, piel) .....	—	0.1
Tantaló .....	—	5.0
Sulfotep (piel) .....	—	0.2
Teluro y compuestos (como Te) .....	—	0.15
Teluro de bismuto .....	—	10
Teluro de bismuto (drogado en Se) .....	—	5.0
Tepp (piel) .....	0.004	0.05
Terbutil tolueno .....	10	60
Terfenilos .....	1.0	9.0

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Terfenilos hidrogenados .....	0.5	5.0
Terboratos, sales de sodio:		
— Anhidro.....	—	1.0
— Decahidratado .....	—	5.0
— Pentahidratado .....	—	1.0
Tetrabromuro de acetileno .....	1.0	15
Tetrabromuro de carbono .....	0.1	1.4
1, 1, 1, 2-tetracloro-2,2-difluoroetano .....	500	4170
1, 1, 2,2-tetracloro 1, 2 difluoroetano .....	500	4170
Tetracloro naftaleno .....	—	2.0
1,1,2,2-tetracloro etano (piel) .....	5	35
Tetracloro aileno (por cloro, etileno, piel) ...	200	1250
Tetracloruro de carbono (piel) .....	10 A2	65 A2
Tetraetil de plomo (como Pb, piel) .....	—	0.1
Tetrafluoruro de azufre .....	0.1	0.4
Tetrahidrofurano .....	200	590
Tetrahidruro de germanio .....	0.2	0.6
Tetrametil de plomo (como Pb, piel) .....	—	0.15
Tetrametil succino nitrilo (piel) .....	0.5	3
Tetranitro metano .....	1	8
Tetraf (2, 4, 6 trini trofenilmetil- nitramina, piel) .....	—	1.5
Tetóxido de osmio (como Os) .....	0.0002	0.002
Thiram .....	—	5
4, 4 Tiobis (6 terbutil — m— cresol) .....	—	10
Tolueno (toluol, piel) .....	200	750
o-Toluidina (piel) .....	5	22
Toxafeno canteno fluoruro (piel) .....	—	0.5
Tributil fosfato .....	0.4	5
Tribromuro de boro .....	1.0	10
Tricarbonil ciclopentadienil manganeso (co- mo Mn, piel) .....	—	0.1
1, 2, 4, tricloro benceno .....	9.37	75
1,1,2, tricloroetano (piel) .....	10	45
1,1,1, tricloroetano (metil cloroformo) .....	368	2000
Tricloro etileno .....	100	535
Tricloro fluorometano .....	1000	5600
Tricloro naftaleno .....	—	5
1,2,3-tricloro propano .....	50	300
1,1,2, tricloro 1,2,2, trifluoroetano .....	1000	1600
Trietil amina .....	25	100

Contaminante	Niveles máximos permisibles de concentración	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
Trifenil fosfato.....	—	3
Trifluoro monobromo metano.....	1000	6100
Trifluoruro de boro.....	1	3
Trifluoruro de cloro.....	0.1	0.4
Trifluoruro de nitrógeno.....	10	30
Trimetil benceno.....	25	125
Trimetil fosfito.....	2	10
2, 4, 6, Trinitro fenil metil nitroamin (piel) ...	—	1.5
2, 4, 6, Trinitro fenol (ácido picrico, piel).....	—	0.1
2, 4, 6, trinitrotolueno (TNT).....	—	0.5
Trlorio cristal fosfato.....	—	0.1
Tróxido de antimonio (uso y manipulación) (como Sb).....	—	0.5
Tróxido de antimonio (producción).....	—	1.0 A.2
Tróxido de arsénico (producción).....	—	0.5 A.2
Tungstano y compuestos (como W): Solubles Insolubles.....	—	1 5
Uranio (natural) compuestos solubles e insolu- bles (como U).....	—	0.2
Valeraldehído.....	50	175
Vanadio (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) polvos y humo (como V).....	—	0.5
Vidrio (fibra o polvo).....	—	10
Vinil tolueno.....	100	480
VM y P nafta.....	300	1350
Warfarín.....	—	0.1
Xileno (o-m-p-Isómeros) (piel).....	100	435
M-xileno -cc-cc- diamina.....	—	0.1
Xilideno (piel).....	5	25
Yeso (gypsum).....	B.1	B.1
Yodo.....	0.1	1.0
Yodoformo.....	0.6	10
Yoduro de metilo (piel).....	5 A.2	28 A.2
Ytrium.....	—	1
Zirconio, compuestos, (como Zr).....	—	5

APENDICE A. QUE FORMA PARTE DE LA TABLA L.I

A. Cancerígenos

A.1. Contaminantes potencialmente cancerígenos.

Contaminante	Niveles máximos de concentración permisibles	
	PPM	mg/m <sup>3</sup>
* Asbesto en todas sus formas . . . . .	5 fibras/ cc PPM	5 UMI mg/m <sup>3</sup>
Breas de carbón y volátiles (hidrocarburos aromáticos policíclicos y partículas) . . . . .	—	0.2
Cromita, mineral de procesos: (cromato) . . . . .	—	0.05
Cloruro de vinilo . . . . .	(10)	(20)
Níquel, sulfuro de humos y polvos . . . . .	—	1
Partículas policíclicas de hidrocarburos aromáticos como bencenos solubles . . . . .	—	0.2

A.2. Cancerígenos potenciales para el hombre, basados en evidencias epidemiológicas limitadas.

Antimonio, trióxido de (producción) . . . . .	—	1
Acrido nitrilo . . . . .	2.0	4.5
Benceno . . . . .	(10)	(30)
Berilio . . . . .	—	0.002
Cadmio óxido de (producción) como Cd . . . . .	—	0.05
Cloroformo . . . . .	5	50
Cromatos de zinc (como Cr) . . . . .	—	0.05
1,1 Dimetilhidracina (piel) . . . . .	0.65	1.3
Dióxido de vinil ciclohexano . . . . .	10	50
Hidracina, piel . . . . .	0.1	0.1
4,4 Metilen bis (2 cloro-anilina) piel . . . . .	0.02	0.22
Monometil hidracina (piel) . . . . .	0.2	0.35
2 nitropropano . . . . .	25	90
Propilenimina (piel) . . . . .	2.0	5.0
Sulfato de dimetilo (piel) . . . . .	1.0	5.0
Tetracloruro de carbono (piel) . . . . .	10	65
Yoduro de metilo (piel) . . . . .	5.0	28
Trióxido de arsénico (producción) . . . . .	—	0.5

\* Tres años después de la fecha de expedición del presente instructivo, este valor será revisado y se otorgarán valores a cada tipo de fibra.

**A.3. Cancerígenos en el hombre.** Sustancias o sustancias asociadas con procesos industriales, reconocidos como cancerígenos potenciales sin asignarles un valor máximo permisible. No se permite la exposición del trabajador por ninguna vía, para lo cual se deben utilizar los métodos de control específicos.

- 4 Amino difenil (p-xonilamina)
- Bencidina, piel
- $\beta$ -Nafthil amina
- 4 Nitrodifenilo

**APENDICE B. QUE FORMA PARTE DE LA TABLA 6.1**  
**B. Polvos minerales**

Sustancia	Nivel máximo permisible
a) Sílice, SiO <sub>2</sub>	(1) NMP en mppmc* 10 580
Cuarzo cristalino	% Cuarzo + 10
	(2) NMP Para polvo respirable en mg/m <sup>3</sup> 10 mg/m <sup>3</sup>
	% Cuarzo respirable + 2
	(3) NMP Para polvo total respirable y no respirable 30 mg/m <sup>3</sup>
	% Cuarzo + 3
Cristobalita	Use la mitad del valor calculado con la fórmula (1) ó (2) para cuarzo
Tridimita	Use la mitad del valor calculado de la fórmula para cuarzo
Sílice fundido	Use la fórmula para cuarzo
Trípoli	Use la fórmula (2) para cuarzo
Sílice amorfo	705 mppmc
b) Silicatos (< 1% de cuarzo)	

\* mppmc: Millones de partículas por metro cúbico

Sustancia	Nivel máximo permisible
<b>Asbestos:</b>	
Amosita	0,5 fibras /cm <sup>3</sup> > 5 μm de longitud
Crisotilo	2,0 fibras /cm <sup>3</sup> > 5 μm de longitud
Crocidolita	0,2 fibras /cm <sup>3</sup> > 5 μm de longitud
Otras formas	2,0 fibras /cm <sup>3</sup> > 5 μm de longitud
Grafito natural	530 mppmc
Mica	708 mppmc
Fibra de vidrio mineral	10 mg/m <sup>3</sup>
Perilita	1 060 mppmc
Cemento portland	1 060 mppmc
Soapstone	705 mppmc
Talco (que no contenga fibras de asbesto)	2 mg/m <sup>3</sup> como polvo respirable
Talco (fibroso)	Use los límites para asbesto
c) Polvos de carbón	2 mg/m <sup>3</sup> (si la fracción de polvo respirable contiene menos de 5% de cuarzo; si contiene más de 5%, use la fórmula (2) para cuarzo)

#### B.1. Partículas molestas

Para los siguientes contaminantes la concentración máxima permisible en el ambiente laboral es de 10 mg/m<sup>3</sup>, siempre que no estén presentes impurezas tóxicas.

En el caso de polvos, la concentración máxima permisible es de 10 mg/m<sup>3</sup> como polvo total o 5 mg/m<sup>3</sup> como polvo respirable.

#### CONTAMINANTES

Carbonato de calcio  
 Silicato de calcio  
 Celulosa (fibra de papel)  
 Cemento portland  
 Corundum (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)  
 Cal  
 Magnesita  
 Mármol  
 Pentaeritrol  
 Plaste de París  
 Silicio (carburo de)

Tabla 6.2

Tabla de referencia para la clasificación de las sustancias de elevada peligrosidad por su toxicidad

Clase	DL <sub>50</sub> para la rata (mg/kg de peso corporeo)				CL <sub>50</sub> para la rata (ml/m <sup>3</sup> en volumen por una hora de exposición)
	Oral		Cutánea		Respiratoria
	Sólidos*	Líquidos*	Sólidos*	Líquidos*	Gases*
I. Extremadamente peligrosa	Menos de 5	Menos de 20	Menos de 10	Menos de 40	Menos de 400
II. Altamente peligrosa	5 - 50	20 - 200	10 - 100	40 - 400	400 - 4000
III. Moderadamente peligrosa	50 - 500	200 - 2000	100 - 1000	400 - 4000	4000 - 40000
IV. Levemente peligrosa	Más de 500	Más de 2000	Más de 1000	Más de 4000	-----

Estos términos se refieren al estado físico tanto de un producto puro como al de una formulación particular.

DL<sub>50</sub>: Dosis letal media; significa aquella dosis que es letal a 50% de un grupo homogéneo de animales.

CL<sub>50</sub>: Concentración letal media.

FUENTE: OMS; NOM, para plaguicidas.

## CAPITULO VII

### Conclusion.

Durante el desarrollo de este trabajo pudimos observar el papel que juega la Seguridad e Higiene en la Industria y la importancia de contar con un método de análisis y control de riesgos.

Hace algunos años, la experiencia era la que determinaba que medidas de seguridad se debían tomar para la prevención de futuros accidentes, pero esto no era lo óptimo ya que tenía que ocurrir algún evento para poder establecer una resolución práctica.

En la actualidad, primero, se escoge un método de análisis, se evalúan los procesos y sistemas y se toman toda clase de medidas preventivas, minimizando así riesgos, accidentes y por ende costos.

Los polvos son una de las principales fuentes de contaminación de la atmósfera de trabajo ocasionando, como ya vimos, daños, que van desde una simple irritación hasta la muerte. Esta es una razón de peso para poner más énfasis en el estudio de los mismos y poner una solución práctica a dicho problema.

Hoy en día, dada la complejidad y el avance de los procesos industriales, se genera una gran cantidad de polvos, en este trabajo nos esforzamos por dar a conocer las características y efectos de los más comunes, así como algún método para su control.

Es nuestra responsabilidad, como ingenieros, el prevenir lesiones al personal, daños a la comunidad, medio ambiente e instalaciones, así como soportar la competitividad y crecimiento de nuestra industria para contribuir a un mejor desarrollo de nuestro País.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) DUST COLLECTION EQUIPMENT.  
Gordon D. Sargent  
Chemical Engineering  
Enero 27, 1969.  
E.U.A.
- 2) DUST EXPLOSIONS AND FIRES.  
K. N. Palmer  
John Wiley and Sons Inc.  
E.U.A. 1973
- 3) AIR POLLUTION TECHNOLOGY.  
Dean E. Painter  
Reston Publishing Company Inc.  
E.U.A. 1974
- 4) LA INDUSTRIA Y LA CONTAMINACION DEL AIRE.  
R. D. Ross  
Editorial Diana  
México 1974
- 5) INDUSTRIAL FIRE HAZARDS HANDBOOK.  
NFPA, First edition  
National Fire Protection Association, Inc.  
E.U.A. 1979
- 6) AIR POLLUTION CONTROL ENGINEERING.  
William Licht  
Marcel Dekker Inc.  
E.U.A. 1980
- 7) ANALISIS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE.  
Peter D. Warner  
Editorial Paraninfo  
España, 1981
- 8) INDUSTRIAL HYGIENE AND TOXICOLOGY.  
Frank Patty  
Vol I y II  
Interscience Publication  
E.U.A. 1982
- 9) CHEMICAL HAZARDS OF THE WORKPLACE.  
Nick H. Proctor and James P. Hughes  
J. B. Lippincott Co.  
E.U.A. 1982

- 10) DANGEROUS PROPERTIES OF INDUSTRIAL MATERIALS.  
N. Irving Sax  
Van Nostrand Reinhold  
E.U.A. 1984
- 11) EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL DE LAS VIAS RESPIRATORIAS  
INDEPENDIENTES DEL MEDIO AMBIENTE.  
J. M. Llamas Labella y M. Risquet Millan.  
Fundacion MAPFRE  
España, 1985
- 12) REGLAMENTO GENERAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
E INSTRUCTIVOS.  
IMSS y STPS  
México, 1987
- 13) GUIAS PARA LAS COMISIONES MIXTAS DE SEGURIDAD E HIGIENE  
DE LOS CENTROS DE TRABAJO.  
IMSS y STPS  
México, 1987
- 14) PRINCIPLES OF ENVIROMENTAL SAMPLING.  
Lawrence H. Keith  
American Chemical Society  
E.U.A. 1988
- 15) INDOOR AIR POLLUTION CONTROL.  
Thad Godish  
Lewis Publishers  
E.U.A. 1989
- 16) ANALISIS DE RIESGO EN UNIDADES DE PROCESO (ARUP).  
Seminario  
Gaston Rocha M.  
AMHSAC  
México, 1990
- 17) ENVIROMENTAL SAMPLING AND ANALYSIS (A PRACTICAL GUIDE).  
Lawrence H. Keith, Ph. D.  
Lewis Publishers  
E.U.A. 1991
- 18) INSTRUMENTAL ANALYSIS OF POLLUTANTS.  
J. Cairns Jr. and R. M. Harrison  
Elsevier Applied Science  
E.U.A. 1991
- 19) MANUALES DE EQUIPO DE PROTECCION RESPIRATORIA Y  
MONITOREO.

MSA  
AD

INFRA  
3M