

# EVALUACION Y CONTROL DE LA EXPOSICION A AEROSOLES

*Alvaro Araque Garcia*

*Ing. Químico Universidad Nacional de Colombia*

*Especialista en Seguridad, Higiene y Gestion Ambiental*

[araque@crpohs.com.co](mailto:araque@crpohs.com.co)

En Salud e Higiene Ocupacional y Ambiental, tradicionalmente los contaminantes químicos han sido clasificados, según su estado físico, como gases, vapores y partículas sólidas y líquidas entre éstos polvos, fibras, nieblas y rocíos. Un término más utilizado en la actualidad para definir este último grupo es el de **Aerosoles**, entendido como un sistema de partículas suspendidas en un medio gaseoso, por lo general aire, cuya importancia está relacionada con un gran número de enfermedades profesionales de acción local como las neumoconiosis o de efecto sistémico como las intoxicaciones por la inhalación de elementos y compuestos metálicos, sin mencionar aquellas que pueden derivar en alteraciones como el asma, cáncer y en general irritación de las vías respiratorias.

Los aerosoles se diferencian de los vapores al menos en tres aspectos: Carecen de una propiedad intrínseca (como la presión de vapor); tienen un tamaño mucho más grande que el de las moléculas del aire, en la cual se encuentran suspendidos y pueden ser generados en muchos tamaños de diámetro.

Ya que los aerosoles no transfieren espontáneamente a la atmosfera como los líquidos volátiles, la mayoría se generan por mecanismos externos como trituración, molienda o por la caída de un material sólido. Operaciones como el raspado, tamizado o soplado puede implicar el rompimiento de la estructura original de un sólido y proyectar pequeñas partículas en el aire o nebulizar un polvo ya existente.

Para apreciar la diferencia entre el tamaño de los aerosoles frente a las moléculas del aire en el cual permanecen, basta comparar la masa de una partícula de polvo del tamaño de 1 micra ( $1.05 \times 10^{-12}$  gramos) a la masa de una molécula de nitrógeno ( $4.67 \times 10^{-23}$  gramos) resultando en una relación de  $2 \times 10^{10}$  a 1. Esto explica porque los aerosoles no pueden ser acelerados o desplazarse en el espacio como lo hace el aire.

Con relación al diámetro de los aerosoles y el tiempo que permanecen suspendidos en el aire es importante mencionar que la velocidad de caída se incrementa con el cuadrado de su diámetro. Esta velocidad puede determinar también el tiempo necesario para depositarse en los alveolos pulmonares. Partículas superiores a 50 micras de diámetro precipitarán rápidamente sin desplazarse lejos de la fuente donde

se generan y tendrán escasa posibilidad de ser atrapadas por los orificios respiratorios. Sin embargo habrá que tener en cuenta que las de mayor tamaño pueden ponerse en contacto con la piel y ser absorbidas o causando dermatitis.

## 6.1. Definiciones

Según su origen y naturaleza física los principales aerosoles conocidos son los siguientes:

**Polvo:** Partícula sólida formada por fragmentación de partículas grandes que puede ser reducido a diámetros que son lo suficientemente pequeños para permanecer en el aire. Polvos de tamaño de 0.1 micras son difíciles de generar y aquellos mayores de 100 micras normalmente no permanecen en el aire.

**Humo:** Partícula sólida formada por condensación de un vapor a alta temperatura, como los provenientes de la fusión de los metales. Los humos pueden tener tamaños de diámetro tan pequeños como 0.01 micra y raramente son de tamaño superior a 0.5 micras.

**Niebla:** Cualquier partícula líquida suspendida en el aire que se forma a temperatura ambiental por aspersión, ebullición, salpicaduras, burbujeo, etc. Las nieblas tienen regularmente forma esférica. Nieblas de tamaños de 1 micra raramente ocurren y aquellas de más de 100 micras no permanecen en el aire.

**Fibra:** Partícula no esférica, de forma alargada cuya relación entre su longitud y su diámetro es de al menos 3:1.

**Bioaerosol:** Partículas de origen biológico (planta, hongo, bacteria). Los bioaerosoles pueden tener su origen en polvos orgánicos o en nieblas que contienen microorganismos.

**Nanopartículas:** Se trata de partículas muy pequeñas, de menos de 100 nanómetros (el equivalente a una millonésima parte de un milímetro), mucho más pequeñas que un virus. Pueden ser de diferentes tamaños y formas (nanotubo, nanofibra, nanoplato, etc.).

Dentro de los aerosoles que, según su naturaleza, se encuentran en los ambientes de trabajo, figuran:

Minerales, tales como los que contienen sílice libre cristalina (por ejemplo cuarzo (carbón y polvo de cemento).

Metálicos, como plomo, cadmio. Zinc, aluminio, níquel, cromo.

Orgánicos y vegetales como harina, madera, algodón, polen.

Biológicos, partículas cultivables, mohos y esporas.

Los aerosoles también pueden tener su procedencia de forma natural como las cenizas volcánicas y las tormentas de arena.

La exposición a aerosoles sólidos ha sido identificado en operaciones industriales, extractivas y agrícolas como las siguientes:

Minas y canteras

Construcción

Fundición y otros tipos de actividad metalúrgica

Fabricación de vidrio, cerámica y esmalte.

Fabricación de productos de limpieza y abrasivos;

Industria farmacéutica (manipulación de productos químicos en polvo) y productos químicos

Industrias de caucho y plástico.

Fábricas de Baterías

Fabricación de acumuladores de plomo (óxido de plomo a granel)

Formulación de plaguicidas.

Agroindustria.

Industrias de alimentos.

Industria de la madera.

La exposición a aerosoles sólidos (polvos) se presenta por cualquier operación que produzca avería mecánica como taladrado, aserrado, lijado, pulido, uso de abrasivos. Un tipo de fuente de emisión frecuente es el llenado y transporte de bolsas, o cualquier contenedor con materiales polvorientos.

Tareas como la operación de limpieza con chorro abrasivo, incluso si el material abrasivo no contiene sílice, puede crear peligro para la salud si se utiliza para eliminar materiales peligrosos, por ejemplo, restos de moldes de arena de fundición de metales o pinturas con plomo.

Las operaciones de mecanizado, utilizando herramientas tales como tornos, rectificadoras y fresadoras, pueden producir grandes cantidades de polvo, así como neblinas de aceite. Muchos metales duros se utilizan en la fabricación de herramientas y piezas especiales.

La figura 6.1 muestra algunos tipos de aerosoles y su tamaño como diámetro aerodinámico, expresado en micras.

## Distribución de Tamaño de Partículas

Tipos comunes de material particulado

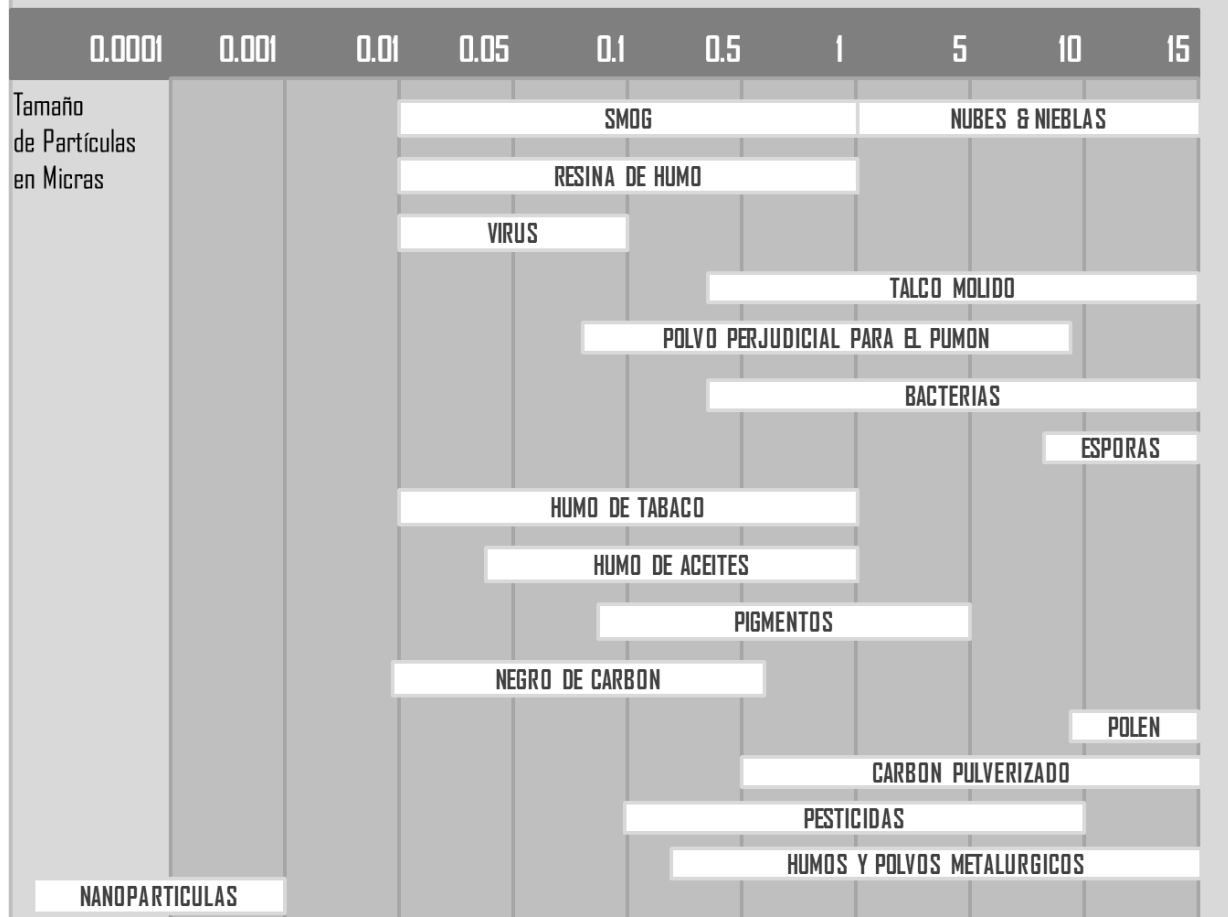


Figura 6.1. Diámetro aerodinámico de los aerosoles – Adaptado Araque G.A. Particle size chart - <http://www.filtercorp.biz/particle-size-chart.html>

### 6.2. Exposición y reconocimiento ambiental

El riesgo para la salud relacionado con un aerosol depende de varios factores a tener en cuenta, como la naturaleza química del material, determinante de la propiedad toxicológica, el tamaño aerodinámico de las partículas, la carga física de trabajo y de la exposición ocupacional, que representa la dosis. La exposición está relacionada directamente con la cantidad de aerosol con posibilidades de ser inhalada en función del volumen de aire respirado por el individuo (concentración) y el tiempo al cual es expuesto.

Cualquier proceso de identificación o reconocimiento de las circunstancias a las cuales se exponen los individuos a los aerosoles en los lugares de trabajo debe incluir inspecciones a las áreas de interés para tener conocimiento detallado de los procesos

y operaciones llevadas a cabo, así como los ingredientes químicos utilizados como materias primas , subproductos y productos finales. Esta información puede obtenerse simplemente haciendo preguntas durante la visita a los sitios de interés o a partir de observaciones y revisión de los diagramas de flujo contenido en textos o disponibles en los manuales técnicos de las empresas que describen la operación en particular.

Consideraciones adicionales importantes son las siguientes:

Composición porcentual de los materiales cuando se trata de mezclas, cantidades usadas, grado de toxicidad, circunstancias de exposición ( directa, indirecta ), número de trabajadores expuestos, alternativas de cambios sobre la forma de realizar la tarea, aislamiento o confinamiento de la operación o proceso, existencia de sistemas de control técnico como ventilación local exhaustiva, estado actual de los mecanismos de control técnico, sugerencias del trabajador sobre la mejor manera para reducir o eliminar la contaminación, síntomas asociados con el material en estudio.

La colaboración de los supervisores, ingenieros y trabajadores de la producción, así como el personal de salud, es de fundamental importancia para ayudar a entender los procesos de trabajo, los agentes asociados y sus posibles efectos.

Aunque cualquier inspección preferiblemente debe llevarse a cabo bajo condiciones de funcionamiento normales, los episodios de exposición no rutinaria o poco frecuente deben tenerse en cuenta. La información relativa al estado de salud de los trabajadores, tales como registros médicos, puede contribuir en gran medida a la identificación de los riesgos.

### **6.3. Evaluación de la exposición**

La evaluación es el proceso a través del cual es posible estimar el nivel de contaminación o de exposición que este agente puede generar al clima laboral o a las personas que en el intervienen.

El resultado de la evaluación ambiental contribuye de forma importante en la toma de decisiones no solo sobre las conductas para la vigilancia del estado de salud de los trabajadores, sino en la puesta en marcha de las medidas de control técnico y /o administrativo que son necesarias para asegurar condiciones de trabajo saludables y seguras, incluidas la selección y el uso de los elementos de protección personal tanto de tipo respiratorio como de los ojos y de la piel, en general.

Existen dos maneras básicas de llevar a cabo la evaluación ambiental de los aerosoles en los sitios de trabajo, estos son: La evaluación cualitativa, conocida también como control por bandas, basada en el análisis de información relacionada con las propiedades de los productos en estudio y formas de uso y la evaluación cuantitativa que utiliza equipos, instrumentos y técnicas de análisis de laboratorio, debidamente normalizados.

#### **6.3.1. Evaluación cualitativa**

Son modelos simplificados que se utilizan para obtener una estimación inicial del riesgo y, en determinadas situaciones, permiten discriminar una situación aceptable de una situación no aceptable. También muestran su utilidad al evidenciar situaciones claras de riesgo, para las cuales pueden tomarse medidas preventivas sin necesidad de pasar a evaluar el riesgo de forma más exhaustiva<sup>1</sup>.

La evaluación cualitativa tiene como fin controlar el riesgo a partir de la evaluación de este, tomando como punto de partida la peligrosidad intrínseca del agente para salud (información conocida) y la condición de trabajo y circunstancia de exposición potencial para obtener escalas de clasificación. En resumen esta técnica genérica de evaluación y gestión de riesgos consiste en agrupar los riesgos (bandas de riesgos), la potencial de exposición (bandas de exposiciones) y sus combinaciones en grupos, a fin de generar un conjunto de estrategias de control (bandas de controles)<sup>2</sup>.

Desde la propuesta del Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido a través del denominado COSHH Essentials<sup>3</sup>, se han desarrollado múltiples modelos simplificados de evaluación, propuestas de aplicación práctica como las formuladas por la Organización Internacional del Trabajo a través del International Chemical Control Toolkit<sup>4</sup>, hasta desarrollos que incluyen modelamiento matemático de exposiciones incluidas en el Advanced REACH Tool (ART)<sup>5</sup>, hacen parte de las opciones con las que cuenta hoy la salud ocupacional para obtener una primera aproximación al riesgo potencial por exposición a contaminantes químicos en ambientes de trabajo, incluido los aerosoles.

Aun cuando se pueden encontrar desde modelos muy simples hasta de relativa complejidad, la estructura metodológica común incluye de forma general los siguientes aspectos:

- 1) La Propiedad Peligrosa del Agente: una primera aproximación al riesgo potencial incluye la determinación de la propiedad intrínseca del agente de causar un daño en la salud, en este sentido las metodologías ofrecen distintas alternativas para la mencionada clasificación, las frases H (Hazard) definidas en el sistema globalmente armonizado, las frases R (Risk) formuladas por directivas de la Unión Europea, los valores límites permisibles, los pictogramas asociados al agente, son algunos de los recursos para establecer el grado o nivel de peligrosidad del agente.
- 2) El potencial de volatilidad o pulvirulencia: dependiendo del estado físico del agente químico, sus propiedades fisicoquímicas y su relación con la condición de trabajo, es posible establecer cuál es el potencial de pasar a la atmosfera respiratoria y que tiene un líquido de formar vapor y un sólido de formar un

---

<sup>1</sup> Cavalle Oler, Maria. NTP 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología Simplificada. CNCT INSHT España 2007

<sup>2</sup> Brooke, M. Annals of Occupational Hygiene Vol. 42. Vol. 6. Pp. 377 –390. (1998), IPCS-ITG. 2004 & GOHNET. 2005

<sup>3</sup> <http://www.hse.gov.uk/coshh/essentials/index.htm>

<sup>4</sup> [http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl\\_banding/toolkit/icct/](http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/)

<sup>5</sup> <https://www.advancedreachtool.com/>

aerosol, en este último caso la granulometría, presentación y tipo de proceso asociado orientan el potencial de pulvirulencia del agente.

- 3) La cantidad relativa: resulta razonable considerar que la proporción en mezcla de un agente con respecto a otros debe tener un peso diferenciado para establecer el riesgo potencial, en este sentido las metodologías simplificadas dependiendo de la cantidad utilizada sobre un referente temporal (horas, días, meses, año) permiten clasificar al agente de forma ponderada en su asociación a la circunstancia de exposición.
- 4) Las Protecciones Colectivas: corresponde a todas aquellas medidas independientes a la protección individual que se han tomado para disminuir la probabilidad de ingreso vía aérea del agente químico en el trabajador, en la medida en que existan mayores capas de protección (como barreras, controles de ingeniería, administrativos etc.) es posible disminuir el riesgo potencial del agente.

La combinación de estas variables que corresponde a la clase, estado, cantidad y protecciones colectivas, permiten entonces obtener no solo una jerarquización de riesgos por el efecto inhalatorio del agente, sino una herramienta útil para la implementación de controles antes de que se produzcan exposiciones excesivas o simplemente justificar una medición cuantitativa para determinar objetivamente la concentración de este en el lugar de trabajo.

### **6.3.2. Evaluación cuantitativa**

El principal objetivo de la evaluación cuantitativa es estimar la concentración en el aire que puede ser inhalada por los trabajadores. La determinación puede aplicarse a la totalidad de las partículas o aquellas que tiene un tamaño o forma particular, todo ello para conocer si existe un riesgo para la salud de las personas que se encuentran expuestas, a partir del juicio de la confrontación medida con niveles de exposición ocupacional o limite permisible ( LEO ).

Los resultados de las evaluaciones cuantitativas dependen del tiempo y lugar donde son tomadas las muestras y el tipo de instrumento utilizado.

Con relación al lugar es importante tener en cuenta que el resultado de una evaluación de tipo estacionaria cercana a una fuente es muy diferente a la concentración que es respirada por el trabajador. Como regla general para los aerosoles la concentración puede reducirse considerablemente a pocos metros de la fuente y resultar muy elevada a escasos centímetros de ésta<sup>6</sup>.

### **6.4. Tipo de estudios de evaluación cuantitativa**

Generalmente se distinguen cuatro tipos de estudios de evaluación cuantitativa, a saber:

---

<sup>6</sup> The Industrial Environment: It's Evaluation & Control, DHHS (NIOSH) Publication Number 74-177  
<http://www.cdc.gov/niosh/docs/74-177/>

- Estudio inicial para establecer si existe la necesidad de controlar el riesgo de exposición o para el establecimiento de una línea base.
- Estudios de seguimiento de las exposiciones para confirmar que el control sigue siendo o no satisfactorio.
- Estudios de tipo epidemiológico, para establecer relaciones dosis – respuesta o exposición-efecto
- Otros estudios con fines de investigación

Las evaluaciones cuantitativas se llevan a cabo recolectando muestras en aire, y el posterior análisis de éstas en laboratorios especializados. En todos los casos, es importante que la calidad de las mediciones sea lo suficientemente aceptable como para soportar las decisiones que se basan en ellas.

La situación ideal será mantener siempre registros precisos y exactos de evaluación de la exposición, ya que pueden ser necesarios en el futuro para establecer cuáles eran las exposiciones en un momento determinado en el pasado

Los resultados de las evaluaciones son útiles para tomar decisiones a gran escala, como la necesidad de instalar un nuevo sistema de ventilación, o algo más pequeño, como la reubicación de los sistemas de ventilación local existentes o en la orientación de programas de formación y entrenamiento de los trabajadores en una práctica de trabajo diferente.

## **6.5. Límites de exposición ocupacional (LEO)**

Los límites de exposición ocupacional (LEO), conocidos también como umbrales límite permisibles (TLVs), son un elemento clave en la gestión del riesgo y a menudo se incorporan en las normas legales. Aunque la exposición a agentes nocivos evidentes conocidos debe controlarse independientemente de las regulaciones existentes, el establecimiento de un límite de control, a menudo llama la atención sobre el grado de riesgo de una partícula sólida.

Los límites de exposición ocupacional de los aerosoles suelen expresarse en unidades de miligramos del aerosol por metros cúbicos de aire ( $\text{mg}/\text{mts}^3$ ) así:

Concentración promedio ponderada en el tiempo (TWA), que es la concentración promedio durante un turno completo, normalmente de 8 horas

Concentración de techo, que corresponde a la concentración instantánea que no debe sobrepasarse en ningún momento.

Límite de exposición a corto plazo (STEL), es la concentración promedio en un tiempo determinado, por ejemplo, 15 minutos.

Para aerosoles cuyos efectos dependerán de la exposición media a largo plazo, como las neumoconiosis, los LEO se dan como concentraciones medias ponderadas en el tiempo, mientras que para aquellos que son de acción rápida, como irritación de vías respiratoria, los LEO se dan como límites a corto plazo o techo. Estos valores se basan en relaciones dosis-respuesta, o evaluaciones de exposición-efecto.



Hay que tener en cuenta que los LEO, incluso aquellos establecidos sobre bases científicas sólidas, no son necesariamente adecuados en todas las situaciones. Las exposiciones por debajo de los límites de exposición profesional no significan que todos los trabajadores estén protegidos, por razones que podrían incluir exposiciones concomitantes con otras sustancias y en situaciones de sensibilidades individuales. Cualquiera que sea el caso, los límites de exposición profesional no se deben utilizar como "líneas finas entre seguro y peligroso"; El juicio profesional debe ejercerse en todo momento, por lo que representa el grado de incertidumbre que existe no sólo en el establecimiento de estos límites, sino también en la evaluación de las exposiciones que se producen realmente en el lugar de trabajo (ACGIH TLV & BEIs 2013).

Los LEO proporcionan a los profesionales de salud ocupacional una herramienta útil para la evaluación de riesgos para la salud y decidir si una determinada situación de exposición es aceptable o no y si los controles existentes son adecuados. La exposición por encima de estos límites requiere una acción correctiva inmediata, a través de la mejora de los controles o la ejecución de otros nuevos.

Algunas autoridades y empresas han establecido niveles de acción a la mitad del valor LEO en la que debe comenzar la acción preventiva.

Las regulaciones nacionales o locales y las normas referentes a la exposición a los aerosoles deben ser tenidas en cuenta. En ausencia de valores aceptables por la ley, en algunos países, como Colombia, se utilizan los valores publicados anualmente por ACGIH.

Se debe tener en cuenta que los enfoques simplistas de sólo tener en cuenta la medición de concentraciones y comparar los resultados con los valores en una tabla pueden inducir a error, ya que muchos factores influyen en las consecuencias de la exposición a un determinado agente peligroso. La interpretación de los resultados de la evaluación de la exposición tiene que ser hecha por profesionales con formación adecuada, máxime cuando todavía no se dispone de límites de exposición ocupacional para todas las sustancias utilizadas en la actualidad.

## **6.6. Estrategia de evaluación cuantitativa**

Una adecuada estrategia de evaluación se debe diseñar de tal forma que los datos obtenidos sean representativos de la exposición de los trabajadores, garantizando así una evaluación de la exposición confiable.

Los factores a tener en cuenta deben incluir : Fecha de la evaluación, condiciones de producción, materia química involucrada, turno de trabajo, tarea realizada, medidas de control, condiciones atmosféricas, distancia del trabajador a la fuente y errores de muestreo y análisis de las muestras.

Algunos aspectos clásicos a la hora de diseñar una estrategia de muestreo son:

Donde evaluar, cuantas muestras tomar, cual es el método de muestreo y análisis requerido, cuales son los coeficientes de variación de los métodos de toma de muestra

y análisis. Literatura especializada en estos temas puede consultarse en los siguientes sitios correspondientes a organización como NIOSH<sup>7</sup> y OSHA<sup>8</sup>.

Para la evaluación de la exposición por inhalación, es necesario caracterizar el aire a que los trabajadores se exponen por esta vía, por lo tanto, las muestras deben ser recogidas en la "zona de respiración", que se define como una zona hemisférica con un radio de aproximadamente 30 cm alrededor de la cabeza.

Algunas consideraciones de diseño muestral debe incluir la exposición del "peor caso" o el muestreo de un número representativo de trabajadores que indiquen todas las categorías o denominaciones de cargo laboral.

La Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA) dispone de un modelo de gestión basado en grupos de exposición similar (GES) para documentar la exposición de los trabajadores y soportar la toma de decisiones con criterio estadístico.

Los GES son definidos como grupos de trabajadores que poseen un perfil similar de exposición al agente bajo estudio debido a la similitud y frecuencia con que ejecutan la actividad, los materiales y los procesos con los cuales trabajan y la manera similar como llevan a cabo la actividad.

La figura 6.2 muestra el diagrama para la gestión de las exposiciones, según AIHA.

---

<sup>7</sup> <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/>

<sup>8</sup> <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/>

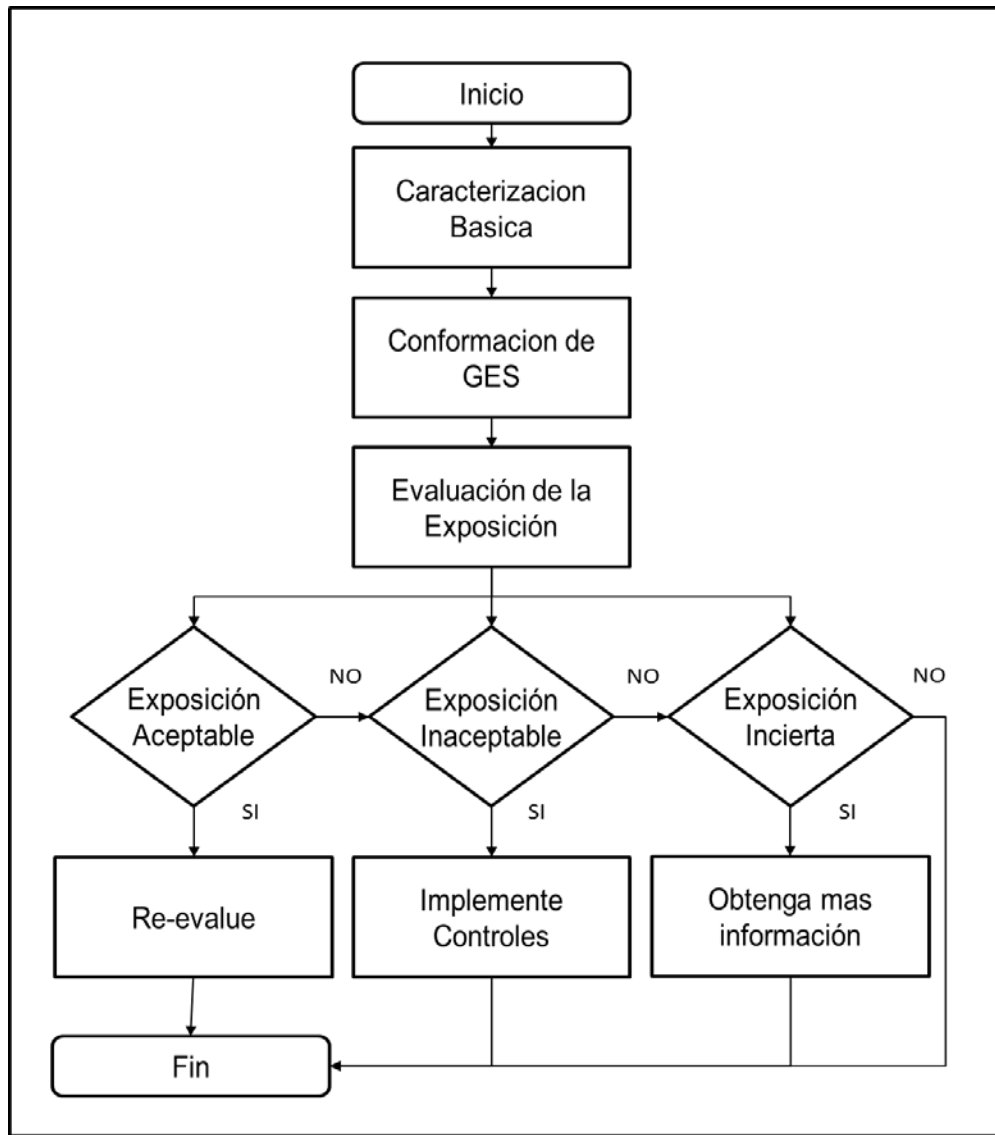


Figura 6.2. Esquema general para evaluar y gestionar las exposiciones. Tomado del libro 'La estrategia para la evaluación de la exposición ocupacional'. AIHA. 2010.

### 6.7. Evaluación selectiva por tamaño de partículas

Las exposiciones a aerosoles pueden abarcar una amplia gama de tamaños de partículas con efectos sobre la salud que dependen de la región de deposición en el pulmón. Por esta razón, se llevan a cabo muestreo de polvo selectivo. La ACGIH y la ISO/CEN han llegado a un acuerdo en cuanto a criterios de muestreo de tamaño selectivo de partículas y definido tres fracciones para la medición relacionada con la salud, a saber : Inhalable, torácico y respirable, de la siguiente manera:

Fracción inhalable para aquellos materiales que son peligrosos cuando se depositan en cualquier lugar del tracto respiratorio.

Fracción torácica para aquellos materiales que son peligrosos cuando se depositan en cualquier lugar dentro de las vías respiratorias del pulmón, incluyendo la región de intercambio gaseoso, y

Fracción respirable para aquellos materiales que son peligrosos cuando se depositan en cualquier lugar de la región de intercambio gaseoso.

Existe un acuerdo internacional que los LEO de aerosoles normalmente se deben especificar como una de las fracciones anteriores. Los límites de exposición para aerosoles se suelen expresar en términos de las fracciones inhalables o respirables. Las fracciones, según lo recomendado por la ACGIH e ISO/CEN se dan en las Tabla siguiente, tomado del apéndice C de la publicación de los TLV&BEIs 2013:

<b>Diámetro aerodinámico, micras</b>	<b>Inhalable (%)</b>	<b>Torácica ( % )</b>	<b>Respirable ( % )</b>
0	100	100	100
1	97		97
2	94	94	91
3			74
4		89	50
5	87		30
6		80.5	17
7			9
8		67	5
9			
10	77	50	1
12		35	
14		23	
16		15	
18		9.5	
20	65	6	
25		2	
30	58		
40	54.5		
50	52.5		
100	50.0		

Tabla 6.1: Porcentaje de deposición de aerosoles según tamaño aerodinámico en las fracciones Inhalable, torácica y respirable.

### 6.7.1 Equipos de medición ambiental

Para la evaluación de la exposición, la mejor práctica es utilizar muestreadores personales, que son unidades de muestreo portátiles que se coloca a los trabajadores

El procedimiento consiste en conectar un filtro de membrana al orificio de succión de una bomba de diafragma a través de una manguera de plástico flexible. La bomba debe ser calibrada antes y después de cada ciclo de muestreo a un caudal previamente establecido por el método de muestreo y análisis. La figura 6.4. ilustra el tren de muestreo personal utilizando este tipo de equipos y el calibrador electrónico para el ajuste del caudal requerido.

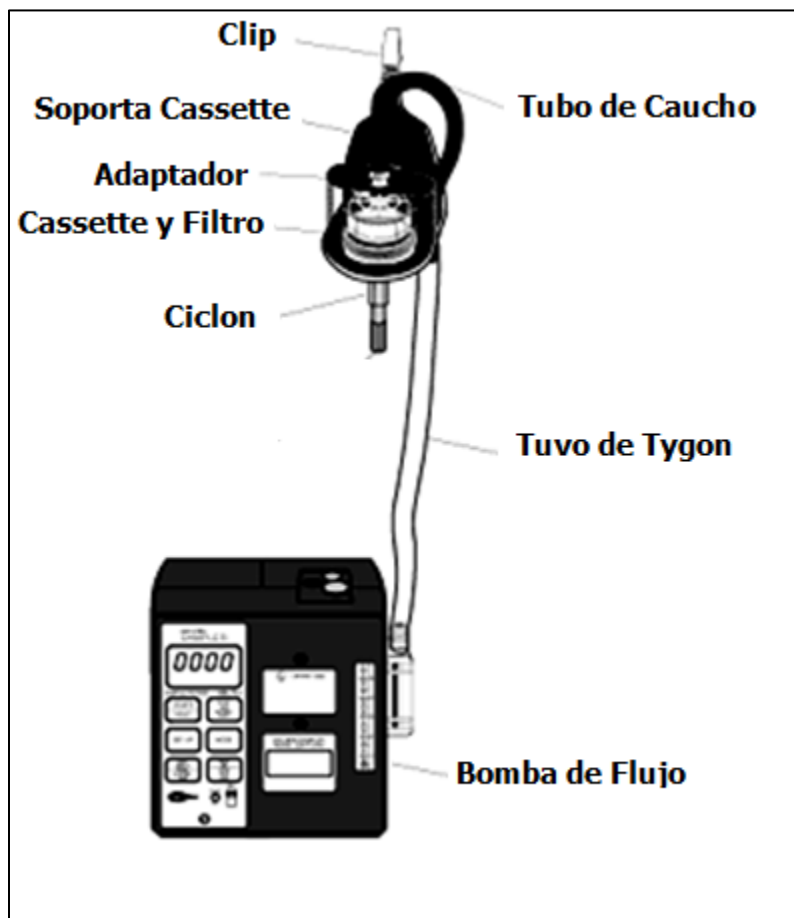


Figura 6.3. Bomba de diafragma, ciclón de aluminio y disposición de filtros de PVC insertos en cassetes de poliestireno Adaptado Araque G.A. (SKC 224-PCXR8 Universal Sampler and filter assembly with SKC Aluminum Cyclone Cat. No. 225 -01-01 and SKC Filter Cassette Holder Cat. No. 225-1

<http://www.skcgulfcoast.com/kbase/ShowKbase.asp?Article=1166> )

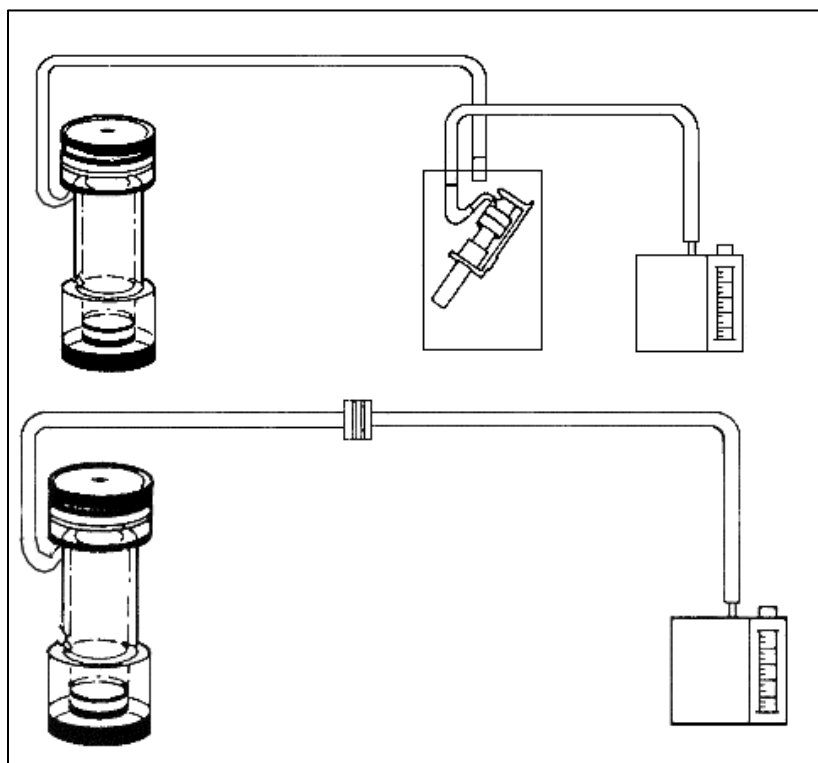


Figura 6.4. Diagrama de tren de muestreo y calibración con y sin selector de partículas. OSHA Technical Manual-Section II: Chapter 1

[https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_ii/otm\\_ii\\_1.html](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_ii/otm_ii_1.html)

Los aerosoles normalmente se muestrean como polvo inhalable y polvo respirable. En el primer caso la toma de muestra se realiza exponiendo el filtro de membrana directamente a la atmosfera mientras en el muestreo de polvo respirable es necesario el uso de un ciclón (fabricado en nylon o aluminio) que permite separar las partículas que son iguales o inferiores a 10 micras que corresponde al rango de tamaños con alguna posibilidad de depositarse en la región de intercambio gaseoso (alveolos pulmonares) los equipos se ilustran en la figura 6.3.

### 6.7.2. Filtros

Una gran variedad de filtros están disponibles comercialmente, por ejemplo: membrana de plata, nucleoporo, éster de celulosa, fibra de vidrio, cloruro de polivinilo o de teflón ( PTFE ) y su elección es generalmente determinada por el método analítico a ser utilizado.

Si el filtro es sometido a pesaje (análisis gravimétrico), se requiere asegurarse de que no se vea afectado de manera significativa por los cambios en la humedad relativa. Filtros de cloruro de polivinilo (PVC) o de teflón (PTFE) son los más utilizados para

reducir la ganancia o pérdida de la humedad en masa. En muchos casos las muestras recogidas en los filtros deben ser analizadas en un laboratorio acreditado utilizando técnicas especiales, de las cuales las más aplicadas son microscopía de contraste de fase en caso de fibras minerales y sintéticas, difracción de rayos x y espectrometría infrarroja para formas de sílice cristalina, espectrometría de emisión y absorción atómica para metales.

### **6.8. Instrumentos de lectura directa**

Los instrumentos de lectura directa miden la concentración instantánea en un período de tiempo amplio o en pocos minutos o segundos y muestran el resultado en un dial. La mayoría de los muestreadores de polvo de lectura directa modernas funcionan anteponiendo el aire polvoriento en una cámara cerrada midiendo la intensidad de la luz dispersada por el polvo. Muchos de estos instrumentos pueden ser lo suficientemente pequeños para ser llevado por el trabajador, por ejemplo, unidos a un cinturón. Los resultados dados por estos equipos indican valores aproximados, por lo cual deben utilizarse para la detección rápida de los ambientes o para identificar las fuentes de polvo en las estudios previos o para detectar fugas de los conductos de ventilación o recintos.

Los muestreos estacionarios sobre los cuales operan estos equipos no son útiles para medir la exposición personal, sin embargo, una muestra tomada en un lugar determinado puede mostrar la contribución a la exposición de un trabajador que pasa parte del turno allí.

### **6.9 Estrategias de control técnico y administrativo**

---

El control de los riesgos por exposición a aerosoles en los ambientes de trabajo y el control de la exposición de los trabajadores son conceptos supremamente importantes a la hora de definir medidas de prevención de las alteraciones en la salud de los empleados.

Tradicionalmente el paradigma del control de los riesgos ha sido clasificado en tres categorías, así: Controles técnicos o de ingeniería, controles administrativos y controles a través de los equipos de protección personal.

Los controles de ingeniería incluyen medidas en la fuente y en el medio de transmisión como la sustitución de materiales peligrosos, modificaciones en la fuente de generación y en los procesos de trabajo, automatización, separación, cerramientos y ventilación general o local exhaustiva.

Los controles administrativos y de protección personal se agrupan en medidas dirigidas al receptor o individuo como : Mantener los lugares de trabajo limpios, implementación de programas de protección personal, prácticas de trabajo , control de acceso a áreas

restringidas, formación, reducción de personal en sitios contaminados, reducción del tiempo de exposición, higiene personal, información, instrucción, entrenamiento

Hay que tener en cuenta que una sola medida de control podría resultar ineficaz e insuficiente al intentar reducir el riesgo hasta valores seguros con lo cual se ha comprobado que si se aplican más de una opción de forma simultánea se pueden obtener resultados satisfactorios.

Ciertas medidas de control, de otra parte, pueden desencadenar cambios que a veces crean otros problemas en diferentes puntos en el lugar de trabajo o en el proceso. Por ejemplo, interrumpir la actividad de rutina, afectar la comodidad de los operadores o influenciar en el rendimiento y en la calidad de la producción. Del mismo modo, podría resultar ineficiente instalar un sistema de ventilación costoso si se pasan por alto otros aspectos de control, por ejemplo, el almacenamiento seguro de los agentes químicos, la prohibición de comer, beber o fumar en el lugar de trabajo, la falta de instalaciones para el aseo y lavado de ropa contaminada, etc.

Desafortunadamente la práctica enseña que las intervenciones de control de los riesgos a menudo se concentra cuando ya los procesos y condiciones operacionales están funcionando, encontrándose que la acción correctiva no solo es técnicamente más difícil sino también más costosa., teniendo en cuenta que los equipos deben detenerse mientras se llevan a cabo los ajustes a lugar. Por ello la forma ideal es anticiparse al control de estos riesgos durante la planificación y diseño de los procesos y lugares de trabajo.

A continuación se describen, de forma general, algunos de los métodos de control en la fuente, que pueden tenerse en cuenta en el caso de los aerosoles:

**Eliminación:** La eliminación supone cambios en los procesos o en las tecnologías de producción. Ejemplos de eliminación son la desaparición del uso de plomo como pigmento, la introducción de las soldaduras de plata sin cadmio, y la prohibición del asbesto.

La eliminación puede ser regulada por legislaciones nacionales o internacionales. Muchos productos han sido prohibidos, ya sea totalmente o para determinados usos. Es útil para mantenerse informado sobre las sustancias y productos que han sido prohibidos, retirados, o rigurosamente restringidos en diferentes países; las Naciones Unidas ha publicado una lista de este tipo que abarca productos farmacéuticos, productos químicos agrícolas, productos químicos industriales y productos de consumo (UN, Lista consolidada de productos..., Dpto. de asuntos económicos, publicación # S.03.IV.9. Nueva York 2006)

**Sustitución:** Significa cambios de un ingrediente químico o un proceso de alto riesgo por otro de menor o bajo riesgo para la salud. Si la eliminación no es posible, la sustitución de materiales menos peligrosos es la mejor manera de reducir los riesgos. Unos buenos ejemplos se han centrado en la necesidad de sustituir el asbesto en



muchos de sus aplicaciones o usos por otros productos fibrosos menos peligrosos, el uso de esmaltes sin plomo en la industria cerámica por pigmentos a base de óxido de zinc, el uso de granalla de acero o carburo de silicio en vez de arena (cuarzo) para la limpieza abrasiva (sand blasting).

**Modificación de los procesos** : Este grupo de medidas incluye cambios en la manera de llevar a cabo ciertos procesos o en los equipos utilizados con el objetivo de lograr la reducción apreciable en la generación de contaminantes (por ejemplo, mediante la reducción de velocidad de proceso), la eliminación o disminución de la formación de subproductos indeseables, y la eliminación o minimización de contacto físico entre los trabajadores y agentes peligrosos (por ejemplo, el uso de ayudas mecánicas tales como pinzas, mecanización, etc.) utilización de molienda en húmedo en lugar de la molienda en seco, o la adaptación de las tapas para recipientes que contienen materiales sólidos polvorientos o para contenedores de residuos

Al igual que en el caso de sustitución de materiales, el desarrollo de nuevos procesos, operaciones o equipo no debe introducir nuevos riesgos y debe ser técnicamente factible y aceptable. Un proceso que produce menos polvo, pero es sensiblemente más ruidoso puede no ser una solución aceptable, ya que puede ser preferible controlar el polvo por otras medidas

**Métodos húmedos:** Las formas más comunes de modificación de procesos son el uso de materiales y métodos húmedos, tales como mojar los productos polvorientos, perforación húmeda, pulverización de agua en los puntos de generación de polvo, limpieza en húmedo de pisos y superficies de trabajo. Los métodos húmedos son por lo tanto más eficiente cuando se introduce el agua en el punto de generación de polvo de manera que las partículas se humedezca antes de tener la oportunidad de dispersarse en el aire ambiente. Durante el corte de roca así como en los procesos de perforación ello es posible mediante la alimentación de agua a través de la broca de la herramienta y en la zona de corte. Esta técnica se ha utilizado ampliamente para reducir la exposición al polvo en minas y canteras.

**Mantenimiento de equipos:** Cuando los equipos son adecuadamente mantenidos se reduce la contaminación, por ejemplo las emisiones fugitivas se puede controlar a través de la corrección de fugas de sistemas cerrados, válvulas, bombas y puntos de toma de muestras.

**Ventilación:** La ventilación es el arte de mover el aire. Puede ser de forma natural o mecánica, general o localizada. La ventilación general se utiliza para aumentar la dilución de compuestos volátiles en un espacio cerrado y en consecuencia reducir su concentración en el aire pero no es aconsejable para el control de aerosoles. Para este tipo de agentes químicos lo ideal es la ventilación local exhaustiva (VLE) ya que permite "capturar" el contaminante en el lugar (fuente) donde se origina y conducirlo, a través de conductos a sitios de depuración como los filtros de aire, ciclones, etc, para que el aire limpio y filtrado sea dispuesto nuevamente en el ambiente exterior. La ventilación mecánica ha sido por años, la alternativa mayormente estudiada por

expertos y aplicada en las industrias para reducir las exposiciones de los trabajadores a los contaminantes en forma de aerosoles, ante la dificultad frecuente de aplicar medidas más drásticas como la eliminación y la sustitución de los productos.

ACGIH publica periódicamente un texto sobre Ventilación Industrial que ofrece elementos técnicos para el diseño y construcción de sistemas de ventilación para la gran mayoría de las operaciones utilizadas en el mundo que se ha identificado causan contaminación por aerosoles, gases y vapores. NIOSH<sup>9</sup> y OSHA<sup>10</sup> disponen de sitios especializados en el control de los riesgos de enfermedad profesional, incluido la opción de ventilación, como los siguientes:

La organización internacional del trabajo (OIT) ha publicado una serie de hojas técnicas para el manejo seguro de la sílice cristalina elaborado por el centro de regulación para Riesgos en la Salud del Reino Unido (COSHH Essentials, por sus siglas en inglés) en un grupo de 8 industrias donde este agente puede encontrarse presente.

Estas guías de información dirigida a expertos en salud ocupacional, empleadores y trabajadores fue traducida al español por NIOSH<sup>11</sup> e incluye aspectos como:

- Propuesta de control recomendada (ventilación general, controles de ingeniería, procesos de contención o consulta con expertos).
- Recomendaciones sobre los equipos.
- Procedimientos propios de la tarea que pueden usarse para reducir la exposición.
- Mantenimiento, evaluación y pruebas.
- Equipo de protección personal (incluido el equipo respiratorio) usado comúnmente para reducir la exposición.
- Vigilancia de la salud.
- Limpieza.
- Capacitación y supervisión.
- Enlaces útiles.

Canteras	Fundiciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">QY0</a> - Consejos para los gerentes</li> <li>• <a href="#">QY1</a> - Perforación de roca</li> <li>• <a href="#">QY2</a> - Excavación y acarreo</li> <li>• <a href="#">QY3</a> - Chancado o triturado</li> <li>• <a href="#">QY4</a> - Secado y enfriamiento</li> <li>• <a href="#">QY5</a> - Tamizado o hameado en seco</li> <li>• <a href="#">QY6</a> - Pulverizado o esmerilado en seco</li> <li>• <a href="#">QY7</a> - Llenado de sacos grandes (Maxi sacos): 500-1500 kg</li> <li>• <a href="#">QY8</a> - Harina de sílice: llenado y transferencia de sacos pequeños 15-50 kg</li> <li>• <a href="#">QY9</a> - Polvo mineral: llenado y transferencia de sacos pequeños (15-50 kg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">FD0</a> - Consejos para los gerentes</li> <li>• <a href="#">FD4</a> - Plantas de arena</li> <li>• <a href="#">FD5</a> - Fabricación del alma y moldeo del cuerpo (a pequeña escala)</li> <li>• <a href="#">FD6</a> - Separación de molde y arena por golpeo, sacudido, etc.</li> <li>• <a href="#">FD7</a> - Desbastado o rebabado de piezas fundidas pequeñas</li> <li>• <a href="#">FD8</a> - Desbastado o rebabado de piezas fundidas grandes</li> <li>• <a href="#">FD9</a> - Granallado abrasivo de piezas fundidas pequeñas en una cabina</li> <li>• <a href="#">FD10</a> - Ranurado por arco de aire</li> <li>• <a href="#">FD13</a> - Limpieza de recolectores de polvo</li> <li>• <a href="#">FD14</a> - Revestimiento de hornos</li> </ul>

<sup>9</sup> [http://www.cdc.gov/niosh/pubs/hc\\_date\\_desc\\_nopubnumbers.html](http://www.cdc.gov/niosh/pubs/hc_date_desc_nopubnumbers.html)

<sup>10</sup> <https://www.osha.gov/SLTC/etools/safetyhealth/comp3.html> | <https://www.osha.gov/SLTC/ventilation/>

<sup>11</sup> [www.ilo.org/legacy/spanish/protection/safework/coshh\\_essentials\\_silica/](http://www.ilo.org/legacy/spanish/protection/safework/coshh_essentials_silica/)

<ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>QY10</u> - Limpieza del polvo de sílice</li> <li>● <u>QY11</u> - Cabinas de control y de vehículos</li> </ul> <p><b>Cerámicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>CR0</u> - Consejos para los gerentes</li> <li>● <u>CR1</u> - Preparación de vidriado y de color</li> <li>● <u>CR2</u> - Vaciado</li> <li>● <u>CR3</u> - Debastado o rebabado</li> <li>● <u>CR4</u> - Carga y descarga del horno</li> <li>● <u>CR5</u> - Rociado de esmalte y colores para vidriados</li> </ul> <p><b>Construcción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>CN0</u> - Consejos para los gerentes</li> <li>● <u>CN1</u> - Desbastado de concreto</li> <li>● <u>CN2</u> - Ranurado con herramientas manuales mecánicas</li> <li>● <u>CN3</u> - Perforación y taladrado con herramientas manuales rotatorias</li> <li>● <u>CN4</u> - Triturado y tamizado de material de demolición</li> <li>● <u>CN5</u> - Limpieza y remoción de escombros</li> <li>● <u>CN6</u> - Corte de pavimento y de piedra de cordón con herramientas rotatorias</li> <li>● <u>CN7</u> - Granallado abrasivo</li> <li>● <u>CN8</u> - Excavación de túneles y galerías</li> <li>● <u>CN9</u> - Fracturadores neumáticos en áreas con ventilación pobre (p ej. en interiores)</li> <li>● <u>CN10</u> - Corte de compuestos con contenido de sílice</li> <li>● <u>CN11</u> - Cabinas de control y de vehículos</li> </ul> <p><b>Fabricación de ladrillos y azulejos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>BK0</u> - Consejos para los gerentes</li> <li>● <u>BK1</u> - Molienda de arcilla</li> <li>● <u>BK2</u> - Manipulación y tamizado de arena</li> <li>● <u>BK3</u> - Revestimiento de ladrillos crudos con arena</li> <li>● <u>BK4</u> - Traslado de ladrillos crudos y cocidos</li> <li>● <u>BK5</u> - Remoción de los ladrillos del horno y segregado en lotes en forma manual</li> <li>● <u>BK6</u> - Prensado de baldosas</li> <li>● <u>BK7</u> - Cabinas de vehículos con ventilación</li> </ul>	<p><b>Manufactura</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>MN0</u> - Consejos para los gerentes</li> <li>● <u>MN1</u> - Fabricación de productos con contenido de harina de sílice</li> <li>● <u>MN2</u> - Fabricación de productos con contenido de polvo mineral</li> <li>● <u>MN3</u> - Mezclado en seco de polvos con contenido de sílice</li> <li>● <u>MN4</u> - Operaciones de empaqueo a pequeña escala: productos secos con contenido de sílice</li> </ul> <p><b>Trabajos de corte de piedra</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>ST0</u> - Consejos para los gerentes</li> <li>● <u>ST1</u> - Aserrado primario y secundario</li> <li>● <u>ST2</u> - Herramientas rotatorias: calado y pulido</li> <li>● <u>ST3</u> - Herramienta manual rotatoria: corte y pulido</li> <li>● <u>ST4</u> - Cincelado manual y neumático</li> </ul> <p><b>Trabajos en piedra pizarra</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>SL0</u> - Consejos para los gerentes</li> <li>● <u>SL1</u> - Aserrado primario</li> <li>● <u>SL2</u> - Aserrado automatizado de piedra pizarra</li> <li>● <u>SL3</u> - Aserrado de piedra pizarra en tamaños y formas especiales</li> <li>● <u>SL4</u> - Quebrado manual de piedra pizarra</li> <li>● <u>SL5</u> - Labrado de piedra pizarra</li> </ul>
---	--

Tabla 6.2. Hojas técnicas para el uso seguro de sílice.

## 6.10 Protección Personal

Si bien en salud ocupacional se considera que el uso de los elementos de protección deben ser tenidos en cuenta solo como último recurso al cual debe acudir para reducir las exposiciones y las consecuentes enfermedades profesionales después de intentar, sin éxito, otras medidas como la prevención técnico o administrativa, vale destacar que en la mayoría de las empresas esta alternativa constituye, en la práctica, la primera línea de defensa contra los riesgos al menos mientras se contemplan acciones de intervención colectivas.

Para la protección de la piel y en un sentido general los elementos incluyen vestidos, batas, guantes y botas. La ropa de protección puede ser de materiales naturales (algodón, lana), sintéticos (nylon) o polímeros, como caucho, plástico, PVC, polietileno). Las hojas de datos de seguridad (MSDS) de los productos manipulados especifican el tipo de prendas de protección personal que debe utilizarse para cada caso, indicando los materiales de fabricación recomendados que han sido sometidos a ensayos de permeación, degradación y penetración, entre otras. ( <http://www.cdc.gov/niosh/ncpc/> )

Para la protección de la piel los elementos se clasifican en protección de las manos con el uso de guantes y la protección del cuerpo con ropa de trabajo resistente a los materiales en uso.

Los guantes pueden ser seleccionados para prevenir o reducir un amplio número de efectos en la salud como dermatitis por el contacto directo con aerosoles o por abrasión mecánica y efectos sistémicos por químicos absorbidos dérmicamente.

La ropa de trabajo al igual que los guantes protegen también contra los aerosoles transportados a través del aire incluyendo elementos radiactivos, asbestos, plomo o pesticidas. La tabla de valores límites permisibles de ACGIH identifica, con la denominación "skin " los compuestos químicos que pueden tener efectos en la salud a través de su ingreso al organismo a través de la piel.

### **6.11 Protección Respiratoria**

La protección respiratoria es el elemento personal más importante para evitar que las partículas nocivas puedan causar daños en cualquier parte del aparato respiratorio, por el hecho de ser inhaladas. Para el caso de los aerosoles, los elementos de protección respiratoria ( EPR ) son clasificados como aquellos que suministran aire y los que purifican el aire por remoción de las partículas. Estos dos tipos de EPP s también son conocidos como independientes y dependientes del medio ambiente, respectivamente.

Los EPP independientes del medio ambiente se utilizan en condiciones donde el oxígeno es deficiente o el trabajador está expuesto a niveles de concentración muy por encima del umbral límite permisible en áreas cerradas o valores inmediatamente peligrosos para la vida y la salud ( IDLH, por sus siglas en ingles ) . El aire respirable se suministra al usuario desde una fuente independiente a través de una línea de aire, o el usuario transporta el oxígeno en un tanque. Estos respiradores son relativamente costosos y deben ser revisados e inspeccionados por personal calificado.

Los EPR purificadores del aire están diseñados para atrapar las partículas de todo tamaño como la generada por los polvos y humos y consisten esencialmente de un filtro mecánico con o sin una pieza facial. El aerosol a ser retenido puede ser un polvo molesto ( biológicamente inertes ), polvos minerales y orgánicos causantes de neumoconiosis como el polvo con sílice, polvo de carbón, polvos y humos metálicos o material radiactivo.

Existen diferentes tipos de piezas faciales usados en los respiradores purificadores de aire, conocidos como mascararas de cara completa que cubre la boca, nariz y ojos y los media mascara que cubren la nariz y la boca.

La mayoría de los EPP purificadores de aire funcionan bajo presión negativa , es decir dependen de la potencia de los pulmones para extraer el aire a través del elemento filtrante. Se dispone también de sistemas motorizados o de presión positiva.

Uno de los tipos de elementos purificadores más utilizados para aerosoles son las populares “mascarillas para polvos” que no requieren de mantenimiento ( desechables ) que consiste en una pieza simple elaborada en un material filtrante que puede disponer o no de una válvula de extracción.

NIOSH a través del registro federal 42 CFR 84 elaboró en 1995 una serie de normas para la evaluación y certificación de respiradores con filtros para aerosoles purificadores de aire no motorizados identificados con las letras N: no resistente a los aceites. R: resistente a los aceites (con restricciones). P: a prueba de aceites. A su vez estableció que cada una de las series podrá tener una eficiencia de filtrado de 95%, 99% y 99.97%. De esta manera clasifica los respiradores como : N95, N99, N100, R95, R99, R100 y P95, P99, P100.

Solo los EPR certificados por NIOSH bajo esta regulación cumplen con las criterios de seguridad y calidad requeridos para la protección de la salud relacionada con la exposición a aerosoles.

### 6.11.1. Factor de Protección

El factor de protección es una medida de la reducción de la concentración que se puede esperar que suministre un EPR cuando es utilizado por el trabajador. Se define como la relación entre la concentración fuera del respirador a la concentración dentro del respirador.

Los factores de protección asignados para los tipos de EPR más usados (según OSHA) son los siguientes :

Tipo	Presión Positiva	Flujo Continuo	Presión Negativa	
			Suministro de aire	Presión a Demanda Autocontenido
Pieza filtrante, sin mascara	10			
Media Mascara	10	50	50	
Mascara completa	50	1000	1000	10000

Para que un EPR sea aceptado en una condición específica el factor de protección debe resultar mayor o igual a la relación entre la concentración medida y el valor límite de exposición permitida ( $\geq$  Concentración medida / LEO )

### **6.11.2. Pruebas de Ajuste**

Las pruebas de ajuste son procedimientos aplicados a los EPR purificadores de aire, con y sin pieza facial que se utilizan a tener en cuenta al momento de la selección de estos elementos y asegurar que estos se adaptan correctamente a la superficie anatómica de los usuarios y cumplan con el propósito de brindar una adecuada protección frente a los niveles de concentración que pretende controlar.

Las pruebas de ajuste son obligatorias en los programas de protección personal respiratoria y deben llevarse a cabo una vez al año. Existen dos pruebas de ajuste recomendada por las normas : la prueba de ajuste cualitativa y la prueba de ajuste cuantitativa.

La prueba de ajuste cualitativa tiene en cuenta la respuesta sensorial del usuario para detectar el agente de prueba ( acetato de isoamilo, sacarina, cloruro de estaño ) cuando se somete a un reconocimiento previo y posterior de este en un espacio cerrado, sin y con el EPR a ensayar. Una respuesta positiva de reconocimiento del agente indicara que el ajuste no es aceptable. Este método tiene la ventaja de ser rápido y sencillo.

La prueba de ajuste cuantitativa utiliza un instrumento para medir simultáneamente el número de partículas en el interior de la máscara y en el ambiente, determinando con ello un factor de ajuste. Esta prueba permite definir el tamaño correcto del EPR para cada usuario y verificar el entrenamiento en su uso correcto. Es una prueba cuantitativa y se destaca por su objetividad. El trabajador se coloca su máscara y realiza para cada chequeo las siguientes rutinas :

- a)** Respirar normalmente.
- b)** Respirar profundamente.
- c)** Mover la cabeza de un lado a otro.
- d)** Mover la cabeza hacia arriba y hacia abajo.
- e)** Hablar o leer en voz alta algún texto.
- f)** Tocarse los dedos del pie.
- g)** Respirar normalmente de nuevo.

### **6.11.3 Tiempo de uso de los EPR**

Los EPR purificadores de aire para aerosoles pueden cargarse durante su uso aumentando la resistencia al flujo de aire y disminuir su capacidad de filtración lo cual requiere que el filtro sea remplazado cada determinada número de horas.

NIOSH desarrollo una forma matemática para el cálculo del tiempo mínimo de vida de los respiradores clasificados en las categorías N,P y R en ambientes con polvo exentos de aceite del registro 42 CFR 84 teniendo en cuenta estudios experimentales de la cantidad másica de partículas depositadas en el filtro, a partir del cual comienza a evidenciarse saturación.

La fórmula es la siguiente :

$$\text{Mínimo tiempo de vida del filtro (minutos)} \geq \frac{200 \text{ mg} \times 10^3 \text{ Litros/m}^3}{C \text{ mg/m}^3 \times \text{VRM Litros /minutos}}$$

Dónde :

200 mgs es la masa de aerosol depositada en el filtro ( experimental ); C , es la concentración del aerosol a la cual se encuentra expuesto un trabajador durante un periodo de tiempo dado y VRM , es el volumen por minutos respirado por un trabajador cuyos valores se encuentran típicamente categorizados en salud ocupacional, según cargas de trabajo, así :

Liviano : 15 litros por minutos; Moderado : 25 litros por minutos y Pesado : 35 litros por minutos.

Así , por ejemplo si un trabajador que realiza una carga de trabajo moderado ( 25 lpm ) se encuentra expuesto a una concentración de 10 mgs/m<sup>3</sup> a un aerosol determinado el tiempo mínimo de uso seria de 13 horas, de acuerdo con el siguiente calculo :

$$\text{Tiempo mínimo (minutos)} \geq \frac{200 \text{ mg} \times 10^3 \text{ Litros/m}^3}{10 \text{ mg/m}^3 \times 25 \text{ Litros /minutos}} \geq 800 \text{ minutos (13.3 horas)}$$







