

---

**Evaluación de Agentes Químicos -  
Medición de la Exposición a Sílice  
Cristalina Respirable**

**ESTE DOCUMENTO ES DE DOMINIO PÚBLICO Y PUEDE SER COPIADO E IMPRESO LIBREMENTE**

## **AVISO DE RESPONSABILIDAD**

La mención de alguna compañía o producto en este documento no constituye un aval de la Asociación Peruana de Higiene Ocupacional APEHO. Adicionalmente las referencias de páginas web no significan un aval de los servicios o productos ofrecidos en ellas. APEHO no se hace responsable del contenido en estas páginas web. Todas las páginas web referenciadas en este documento fueron accesibles hasta la fecha de publicación.

La información contenida en esta publicación fue desarrollada a partir de fuentes que se consideran confiables. Sin embargo, los miembros que participaron en su elaboración y revisión no se hacen responsables legalmente del contenido ni de su aplicación en situaciones específicas. El comité encargado de la elaboración y publicación de este documento no asegura que el cumplimiento de esta guía y sus recomendaciones protejan la salud y seguridad de las personas.

## **INFORMACIÓN DE CONTACTO**

Para recibir este documento o enterarte de otras informaciones o actividades desarrolladas por la Asociación Peruana de Higiene Ocupacional APEHO, contáctanos en:

Teléfono: +51 968260727

Correo: [info@apeho.org](mailto:info@apeho.org)

Web: [www.apeho.org](http://www.apeho.org)

## **REFERENCIA SUGERIDA**

APEHO (2019). "APEHO 3201:2019 Evaluación de Agentes Químicos – Medición de la Exposición a Sílice Cristalina Respirable"

Lima - Perú  
Setiembre 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los miembros del Comité Técnico de Agentes Químicos de la APEHO que brindaron su tiempo, conocimiento técnico y experiencia en la elaboración de esta guía:

Erick Febres Mostacero  
Lourdes Rincón Chahuillco  
Sulmira Valenzuela Oblitas  
Renzo Alfredo Velapatiño Salvatierra

Asimismo queremos agradecer a todos miembros de la APEHO que realizaron aportes y observaciones a la presente Guía durante la etapa de revisión final:

Joseph Francis Levi Prince Arone Marin  
Jorge Benjamín Carpio Valencia  
Edgar Jeremías Jara Domínguez  
Richard Wattson Saenz Nuñuvero  
Grace Kelly Valenzuela Tello  
Roy Villacorta Maldonado

**CONTENIDO**

PREFACIO.....	v
1. OBJETIVO.....	1
2. ALCANCE.....	1
3. REFERENCIAS.....	1
4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	2
5. INSTRUMENTACIÓN.....	3
6. MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN.....	5
BIBLIOGRAFÍA.....	9

## **PREFACIO**

La Asociación Peruana de Higiene Ocupacional APEHO, es una asociación sin fines de lucro creada el 17 de julio del 2012. La APEHO es miembro de la Asociación Internacional de Higiene Ocupacional IOHA (37 asociaciones de países miembro) y de la Asociación de Entrenamiento en Higiene Ocupacional (OHTA), ambos órganos reconocidos por las Naciones Unidas.

La APEHO tiene como propósito contribuir a lograr espacios seguros y saludables para los trabajadores, para ello tiene como objetivos el formar higienistas ocupacionales, generar guías y conocimiento en Higiene Ocupacional, y difundir la importancia de esta disciplina en el Perú. Cada uno de estos objetivos representa un Pilar Estratégico para la asociación.

Bajo el pilar estratégico de Investigación y Desarrollo, la APEHO cuenta con comités técnicos para la elaboración de guías que brinden información actualizada y de fácil entendimiento a profesionales que tengan el deseo de aprender o profundizar conocimientos en temas relacionados a Higiene Ocupacional.

# Evaluación de Agentes Químicos - Medición de la Exposición a Sílice Cristalina Respirable

## 1. OBJETIVO

Brindar una guía para medir la exposición ocupacional a concentraciones de Sílice Cristalina Respirable.

## 2. ALCANCE

Los resultados obtenidos con la aplicación de la presente guía brindan una estimación de la exposición de los trabajadores seleccionados el día de la evaluación, sin considerar las incertidumbres asociadas a la medición o variabilidad de las tareas ejecutadas por los trabajadores.

Las actividades o niveles de exposición ocupacional a medir con esta guía incluyen aquellas situaciones donde exista el potencial de exposición ocupacional a Sílice Cristalina Respirable. La siguiente lista solo presenta ejemplos de algunas de estas situaciones (OSHA, 2019): Arenado industrial; corte de ladrillo o concreto; perforación de paredes de concreto; molienda de mortero; manufactura de ladrillos, moldes de piedra natural o artificial, bloques de concreto, productos cerámicos; corte, perforación o trituración de roca.

Las actividades o niveles de exposición ocupacional a medir no incluyen situaciones de respuestas a emergencias o el ingreso a ambientes donde puedan existir condiciones inmediatamente peligrosas para la vida o la salud.

## 3. REFERENCIAS

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias acompañadas con fechas, solo aplican las ediciones señaladas. Para referencias sin fecha, aplican las últimas ediciones del documento referenciado (incluyendo sus modificatorias).

British Standard (2019). *“BS-EN 689:2019+AC Workplace exposure – Measurement of exposure by inhalation to chemical agents – Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values”*

ISO (2016). *“ISO 20581 Workplace Air – General requirements for the performance of procedures for the measurement of chemical agents”*

NIOSH (2003). *“Manual of Analytical Methods 4th edition – Silica, Crystalline, by XRD (filter redeposition) 7500”*

OSHA (2014). *OSHA Technical Manual-Section II - Chapter 1 - Personal Sampling for Air Contaminants*

## 4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

### 4.1.

#### **Laboratorio de Calibración**

Un laboratorio de calibración nacional debe como mínimo estar acreditado por el INACAL y además debe poder asegurar la trazabilidad de los instrumentos patrón usados en la calibración, estos instrumentos patrón deben tener certificados de entidades análogas a INACAL a nivel internacional.

### 4.2.

#### **Laboratorio de Ensayo**

Es aquel laboratorio a nivel nacional que se encuentra acreditado por el INACAL para realizar específicamente el método de ensayo NIOSH 7500 "Silica, Crystalline by XRD". Que un laboratorio esté acreditado por el INACAL en otros ensayos, solo garantiza que su sistema de gestión cumple con los requisitos de la ISO/IEC 17025, pero no garantiza los requisitos técnicos para realizar el ensayo. Cuando no exista laboratorios de ensayo nacionales, las muestras coleccionadas se deben enviar a laboratorios en el extranjero acreditados en el ensayo NIOSH 7500 de acuerdo a la ISO/IEC 17025.

### 4.3.

#### **Medio Blanco**

Es un medio muestreador a través del cual no circula el aire succionado por la bomba de muestreo personal (OSHA, 2014). Los Medios Blancos son usados por el laboratorio de ensayo para descartar posibles contaminaciones ocurridas antes de empezar la medición o durante la manipulación, envío o almacenamiento de los medios muestreadores.

### 4.4.

#### **Medio Muestreador**

Es un casete porta-filtro de dos o tres cuerpos, que contiene un filtro de PVC y una lámina de soporte, a través de los cuales circula el aire succionado por la bomba de muestreo personal cuando se está realizando la medición de la exposición (OSHA, 2014). Los Medios Muestreadores son usados para captar partículas suspendidas en la zona de respiración del trabajador, para luego ser enviados a un laboratorio de ensayo para determinar la naturaleza de las partículas coleccionadas, masa y concentraciones.

### 4.5.

#### **Sílice Cristalina Respirable**

La Sílice Cristalina es un mineral que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre (OSHA, 2019). La forma más común de Sílice Cristalina es el Cuarzo, pero también puede encontrarse en las formas de Cristobalita y Tridimita. Las tres formas pueden volverse partículas de tamaño respirable (partículas 100 veces más pequeñas que un grano de arena) cuando se fragmentan, cortan, taladran o muelen materiales que contienen Sílice Cristalina.

### 4.6.

#### **Zona de Respiración**

Es el espacio alrededor de la cara del trabajador del que éste toma el aire que respira (MINSAL, 2005), la Figura 01 muestra una representación gráfica de esta región. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0,3 m de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe.



Figura 01 Zona de Respiración  
Fuente APEHO

## 5. INSTRUMENTACIÓN

- 5.1. Para la medición de la exposición a sílice cristalina se debe utilizar una bomba de muestreo personal y sus accesorios, un ciclón, medios muestreadores, medios blancos, un calibrador de flujo y adaptadores para la verificación de calibración en campo según el tipo de ciclón utilizado.
- 5.2. La bomba de muestreo personal y sus accesorios (NIOSH, 2003) deben cumplir las siguientes características:
  - a. Bomba de caudal constante, que compense automáticamente restricciones de flujo asegurando que el caudal se mantenga constante (ISO, 2016).
  - b. La bomba debe funcionar a un caudal específico según tipo de ciclón utilizado:
    - 1.7 L/min  $\pm$ 5% para un ciclón de nylon.
    - 2.5 L/min  $\pm$ 5% para un ciclón de aluminio.
    - 2.2 L/min  $\pm$ 5% para un ciclón Higgins – Dewell (HD).
  - c. Tubo flexible de material conductivo, para unir la bomba de muestreo personal con los medios muestreadores.
  - d. Soporte para sujetar ciclón y medios muestreadores.
  - e. Capacidad para trabajar correctamente a las temperaturas y presiones del lugar donde se realice la medición.
  - f. Verificación de calibración en campo, antes y después de la medición según el punto 6.3. de la presente guía.
  - g. Calibración periódica en un laboratorio de calibración o en el mismo fabricante del instrumento. Para definir los intervalos de medición se pueden utilizar métodos validados por organismos internacionales de metrología (ILAC, 2007), pero en caso no se especifique ninguno se debe realizar una calibración con un instrumento patrón al menos una vez al año (OSHA, 2014).
- 5.3. El ciclón debe cumplir con las siguientes características:
  - a. Cumplir con los requisitos para ser considerados como medios de muestreo de fracción respirable provistos por la ISO 7708:1995 o la EN-481.
  - b. Se debe utilizar un ciclón de Nylon de 10mm o Aluminio o Higgin-Dewell (NIOSH, 2003), con sus respectivos depósitos para partículas en exceso. la Figura 02 muestra representaciones de cada uno de ellos.



- c. Antes de cada uso el ciclón y su depósito de partículas deben ser limpiados e inspeccionados para detectar rajaduras o desgastes en sus partes, señales que indican la necesidad de su cambio.

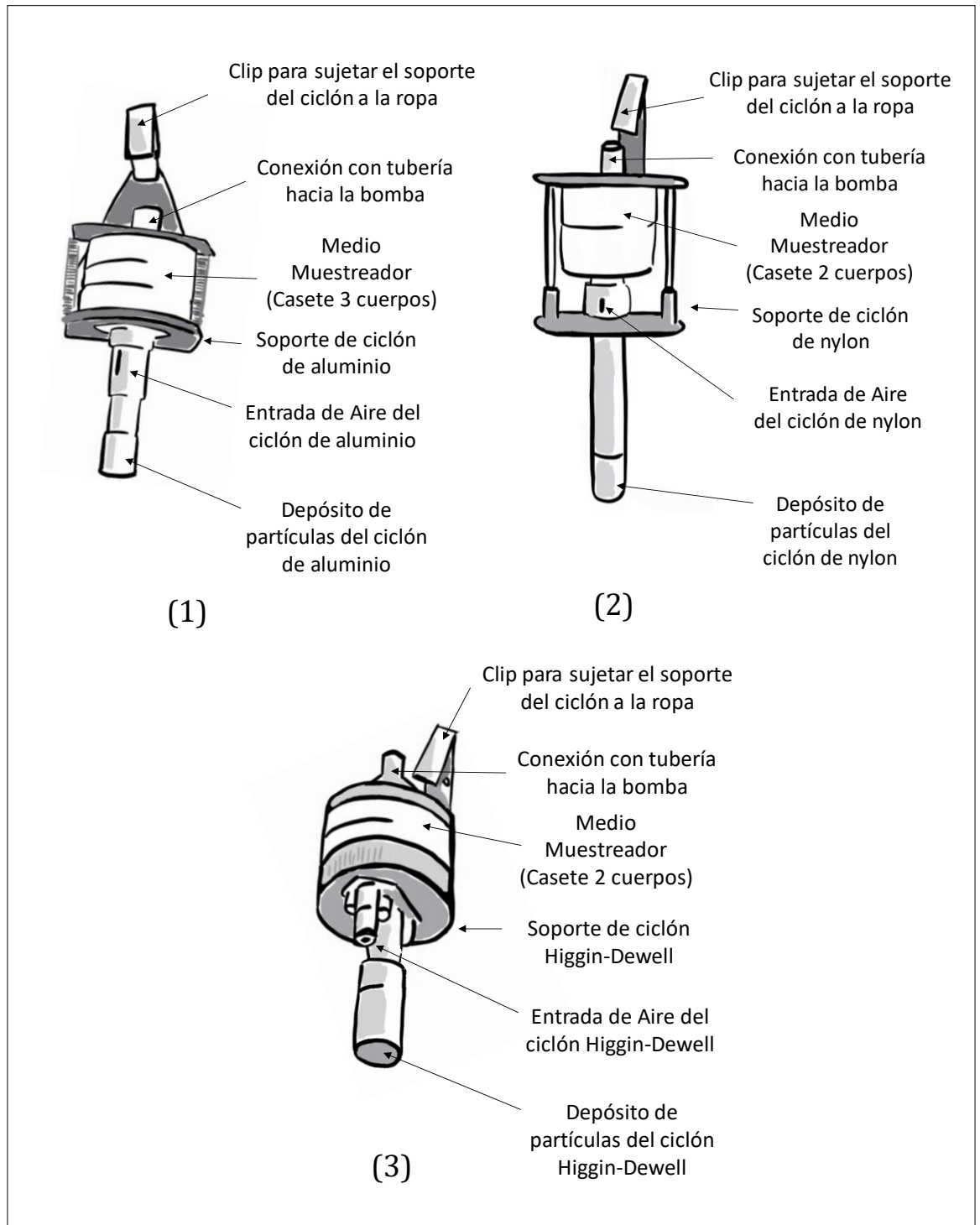


Figura 02 Representación de ciclones de aluminio (1), nylon (2) y Higgin-Dewell (3)  
Fuente APEHO

- 5.4. Los medios muestreadores y los medios blancos deben cumplir con las siguientes características:
- Casete Porta-Filtro de 37mm de diámetro, de material conductivo preferentemente, de dos cuerpos (ciclón de nylon o Higgin-Dewell) o de tres cuerpos (ciclón de aluminio), con tapones en cada abertura (NIOSH, 2003).
  - Dentro del Casete Porta-filtro debe haber un Filtro de PVC de 37mm de diámetro con porosidad de  $5\mu\text{m}$ , y una lámina de soporte. La Figura 03 muestra una representación de un medio de muestreo conformado por un casete porta-filtro de dos cuerpos.
  - Los Casetes Porta-Filtro, conteniendo el filtro y la lámina de soporte, deben ser provistos por un laboratorio de ensayo, encontrarse sellados, con tapones en el ingreso y salida de aire del casete y con una cinta o banda de celulosa alrededor de la unión de los cuerpos, para impedir cualquier tipo de filtración.

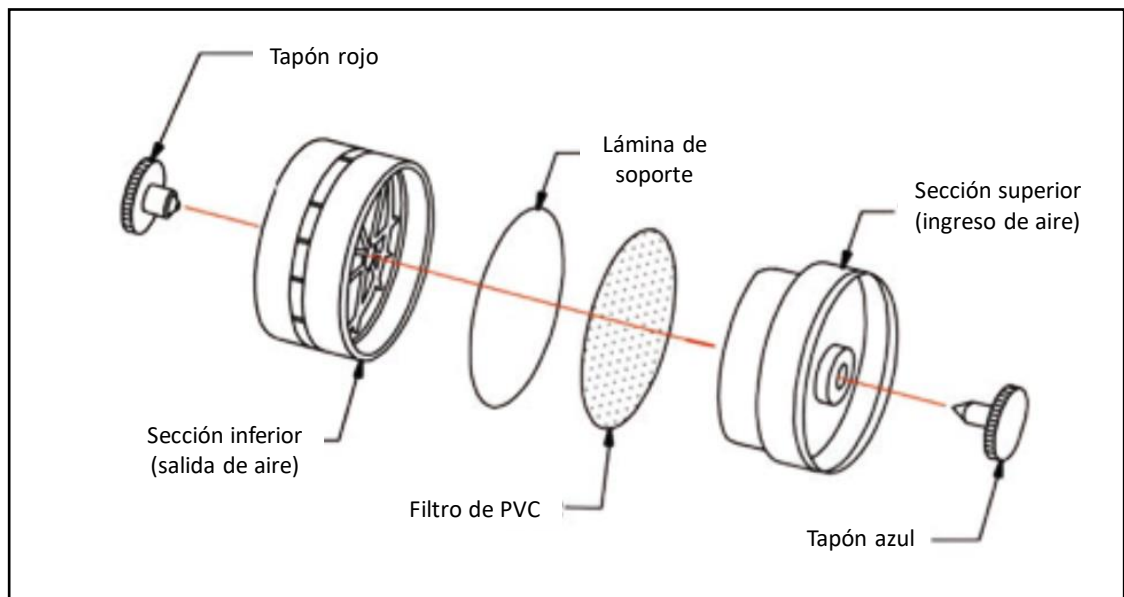


Figura 03 Medio de muestreo conformado por casete porta-filtro de dos piezas.  
Fuente (CASELLA, 2016)

- 5.5. El calibrador de flujo debe cumplir con las siguientes características (OSHA, 2014) y configuraciones mínimas:
- Medidor de Flujo de Masa o de Burbuja o de Pistón Seco.
  - Rango de medición de caudales de 0.5 a 5 L/min.
  - Calibración periódica en un laboratorio de calibración o en el mismo fabricante del instrumento. Para definir los intervalos de medición se pueden utilizar métodos validados por organismos internacionales de metrología (ILAC, 2007), pero en caso no se especifique ninguno se debe realizar una calibración con un instrumento patrón al menos una vez al año (OSHA, 2014).

## 6. MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN

- 6.1. Se debe registrar la siguiente información sobre la medición de la exposición (BSI, 2019):
- Identificación del trabajador que participa en la medición
  - Descripción del lugar de trabajo
  - Actividades que realiza
  - Duración de la jornada
  - Posibles fuentes de generación de partículas de Sílice

- f. Medidas de control presentes: Ingeniería, Administrativo, Equipos de Protección Respiratoria.
  - g. Interferencias de otra actividades cercanas al puesto de trabajo
  - h. Ocurrencia de actividades inusuales, incidentes, etc.
  - i. Información de la medición como identificación de los medios de muestreo, instrumentos, caudales usados, hora de inicio y fin de la medición, flujo de pre calibración y flujo de post calibración, volumen medido por cada medio muestreador.
- 6.2. Se debe informar a los trabajadores seleccionados los siguientes puntos (BSI, 2019):
- a. Importancia de su participación en la evaluación de la exposición a Sílice Cristalina.
  - b. Importancia que realice sus actividades habituales.
  - c. No retirarse la bomba de muestreo ni los muestreadores a menos que sea absolutamente necesario.
  - d. Acompañamiento que tendrá periódicamente para verificación de actividades que realiza y estado de la bomba de muestreo.
  - e. El lugar y hora donde se le retirará la bomba de muestreo.
- 6.3. Se debe verificar en campo que las bombas de muestreo estén trabajando con el caudal requerido (OSHA, 2014), esta verificación de calibración en campo debe seguir los siguientes criterios:
- a. La verificación del caudal debe realizarse utilizando como referencia el caudal requerido según el tipo de ciclón que se utiliza en la medición, esta verificación se realiza antes de empezar la medición y al finalizarla.
  - b. Dependiendo del modelo de ciclón utilizado en la medición es necesario utilizar accesorios o adaptadores especiales. Los ciclones Higgin Dewell no requieren de otros adaptadores, dependiendo de la marca de los ciclones de aluminio o de nylon, se hace necesario emplear adaptadores o jarras de calibración de 1 litro. Sin embargo en la actualidad ya existen métodos y equipos de calibración que hacen innecesario el uso de las jarras (OSHA, 2014). Se debe consultar con el fabricante cuáles son los métodos y accesorios necesarios para realizar la verificación de calibración en campo.
  - c. La verificación de caudal se realiza cuando la batería interna de la bomba tenga suficiente carga para funcionar durante el tiempo de medición requerido, la bomba no debe encontrarse conectada a una toma de corriente eléctrica.
  - d. Antes de iniciar la medición se realiza una verificación de la calibración, esto se realiza en un ambiente limpio cercano a la zona donde se encuentra el trabajador, teniendo en cuenta que las condiciones de temperatura y presión (altitud) sean similares. Si esto no es posible se debe consultar el manual del instrumento para ver las correcciones de flujo que sean necesarias.
  - e. La verificación debe realizarse cuando la bomba esté conectada a un medio muestreador, el cual solo se utiliza para verificar la calibración la bomba, este medio muestreador debe identificarse y no debe participar en la medición de la exposición.
  - f. En caso se tenga que utiliza más de un medio muestreador en una misma medición, no es necesario realizar verificaciones de calibración entre cada cambio.
  - g. Al finalizar la medición se debe realizar una verificación de calibración, esto se realiza con el medio muestreador identificado inicialmente para verificar la calibración. Si el flujo de la bomba es diferente al requerido (ver punto 5.2.b), la medición es inválida.
  - h. Algunas bombas de muestreo personal tienen incorporado un rotámetro que indica el caudal aproximado de la bomba, este indicador no es suficiente para determinar que la bomba se encuentra trabajando con el flujo requerido, por lo que siempre es necesario realizar la verificación con un calibrador de flujo antes y al finalizar la medición.

- 6.4. El empleo de medios blancos (OSHA, 2014) debe cumplir con los siguientes criterios:
- De un mismo lote de medios muestreadores entregados por un laboratorio de ensayo, se debe seleccionar e identificar aquellos que serán utilizados como medios blancos.
  - Una de las tapas de un medio blanco debe ser abierta en el área donde se va a realizar la medición de la exposición, el medio blanco debe ser colocado en un lugar limpio cercano al trabajador antes de empezar la medición, y permanecerá abierto brevemente hasta que se le haya colocado al trabajador la bomba de muestreo, el ciclón y el medio muestreador, luego de esto el medio blanco debe ser cerrado. Este medio blanco debe ser etiquetado, sellado y ser enviado al laboratorio especializado en el mismo empaque que los medios muestreadores.
  - Un segundo medio blanco debe permanecer cerrado, ser etiquetado y ser enviado al laboratorio especializado en el mismo empaque que los medios muestreadores.
  - Se puede utilizar 02 medios blancos por cada 20 medios muestreadores, siempre y cuando provengan de un mismo lote, y también cuando uno o más de los trabajadores que participan en la medición comparten una misma área de trabajo.
  - No utilizar medios blancos hace que la medición sea inválida.
- 6.5. Se debe colocar el medio muestreador y la entrada de aire del ciclón en la zona de respiración del trabajador (OSHA, 2014), la entrada de aire del ciclón debe colocarse de tal manera que no sea obstruida por el trabajador o sus prendas de vestir. Los instrumentos no deben interferir con las actividades del trabajador ni tampoco representar un peligro, la Figura 04 representa una manera de colocar la bomba, ciclón y medio de muestreos al trabajador. Cuando los trabajadores utilicen equipos de protección respiratoria (incluyendo capuchas con suministro de aire) se debe colocar el medio muestreador y la entrada del aire del ciclón fuera del respirador.

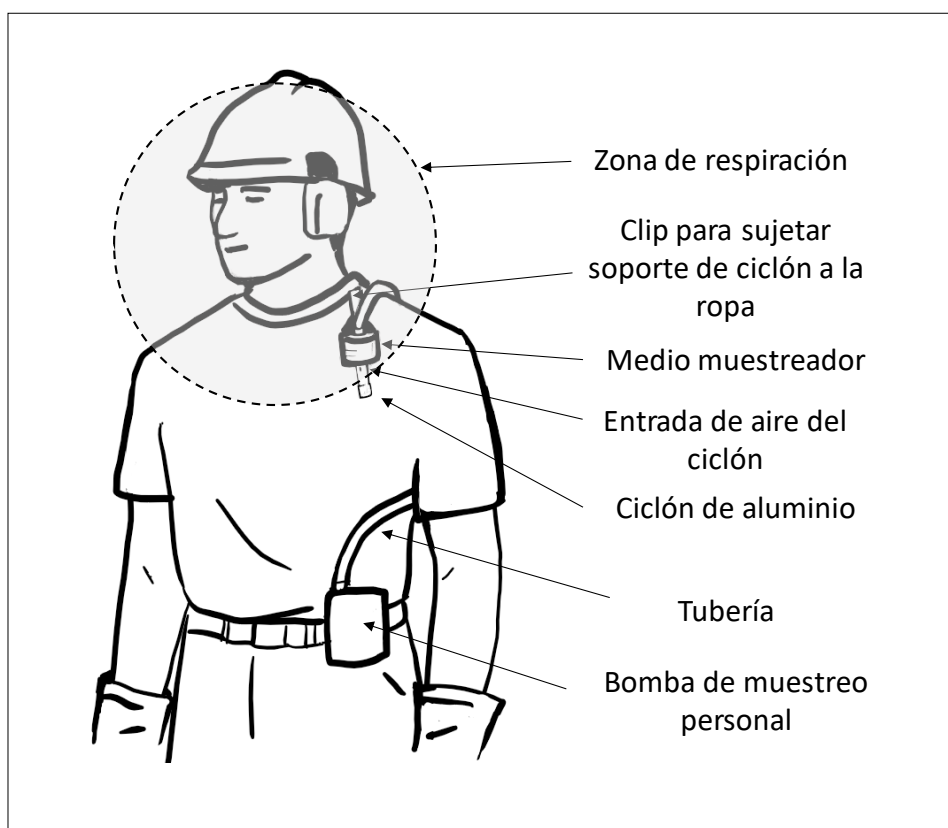


Figura 04 Colocación de equipos de medición a trabajador  
Fuente APEHO

- 6.6. Por cada medio muestreador utilizado en campo debe circular un volumen mínimo de aire de 400 L y hasta un máximo de 1000 L (NIOSH, 2003). Si luego de la medición el análisis de laboratorio determina que un filtro presenta una concentración mayor a 2 mg/m<sup>3</sup>, la medición es considerada inválida.
- 6.7. Al retirar medios de muestreo ya sea para cumplir con los volúmenes máximos o porque el periodo de medición requerido ha concluido, se debe sellar los medios muestreadores con sus tapas y colocarles una etiqueta encima. Los medios muestreadores y los medios blancos deben ser enviados a un laboratorio de ensayo para su posterior análisis.
- 6.8. Cuando se haya tenido que usar más de un medio muestreador para medir la exposición de un trabajador, Se debe calcular la concentración promedio ponderada en el tiempo muestreado según la Ecuación (1).

$$\text{Concentración Promedio Ponderada} = \frac{c_1 \cdot t_1 + c_2 \cdot t_2 + \dots + c_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (1)$$

Donde:

$c_1, c_2$	Concentración en mg/m <sup>3</sup> en el tiempo 1 y 2
$t_1, t_2$	Duración en horas del tiempo 1 y 2
$c_n$	Concentración en el tiempo "n" en mg/m <sup>3</sup>
$t_n$	Duración en horas del tiempo "n"

## BIBLIOGRAFÍA

- BSI. (2019). BS-EN 689:2019+AC Workplace Exposure - Measurement of Exposure by Inhalation to Chemical Agents - Strategy for Testing Compliance with Occupational Exposure Limit Values. United Kingdom.
- CASELLA. (2016). Air Sampling Hand Book. Estados Unidos.
- ILAC. (2007). Lineamientos para la determinación de intervalos de calibración de los instrumentos de medición. Australia.
- ISO. (2016). *ISO 20581 Workplace Air - General Requirements for the Performance of Procedures for the Measurement of Chemical Agents*. Suiza.
- MINSA. (2005). Decreto Supremo N° 015-20005-SA "Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo". Perú.
- NIOSH. (2003). *Manual of Analytical Methods 4th edition - Silica, Crystalline, by XRD (Filter Redeposition) 7500*. Retrieved from National Institute of Occupational Safety and Health: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7500.pdf>
- OSHA. (2014). *OSHA Technical Manual - Section II - Chapter 1 - Personal Sampling for Air Contaminants*. Retrieved from Occupational Safety and Health Administration: [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)
- OSHA. (2019). *Silica, Crystalline*. Retrieved from Occupational Safety and Health Administration: <https://www.osha.gov/dsg/topics/silicacrystalline/index.html>