

VERSIÓN 2.0

PROTOCOLO PARA LA TOMA DE MUESTRA DE SILICE LIBRE EN SU FRACCION RESPIRABLE Y DE POLVO NO ESPECIFICADO TOTAL Y FRACCION RESPIRABLE

NOVIEMBRE, 2012

EDITOR RESPONSABLE:

Christian Albornoz Villagra.
Instituto de Salud Pública

REVISOR:

Juan Alcaíno Lara.
Instituto de Salud Pública

Para citar el presente documento:

Instituto de Salud Pública de Chile, Protocolo Para la Toma de Muestra de Sílice Libre Cristalizada en su Fracción Respirable y de Polvo no Especificado Total y Fracción Respirable. 2012, Versión 2.0.

Para consultas o comentarios se solicita ingresar a la página del Instituto de Salud Pública de Chile, www.ispch.cl, a la sección OIRS. Link directo: <http://www.ispch.cl/oirs/index.htm>

PROTOCOLO PARA LA TOMA DE MUESTRA DE SILICE LIBRE EN SU FRACCION RESPIRABLE Y DE POLVO NO ESPECIFICADO TOTAL Y FRACCION RESPIRABLE

TABLA DE CONTENIDO

1.- Antecedentes	4
2.- Objetivo	4
3.- Campo de Aplicación	4
4.- Terminología	5
5.- Marco Legal	5
6.- Materiales, Insumos y Equipos	5
7.- Procedimiento de Muestreo	5
7.1.- Para Sílice Libre cristalizada y Polvo No Especificado, Ambos en Fracción Respirable	5
7.1.1.- Calibración Inicial del Tren de Muestreo	5
7.1.2.- Muestreo	6
7.1.3.- Transporte	7
7.1.4.- Calibración Final del Tren de Muestreo	7
7.1.5.- Volumen de Muestreo	7
7.2.- Para Polvo No Especificado Total	8
7.2.1.- Calibración Inicial del Tren de Muestreo	8
7.2.2.- Muestreo	8
7.2.3.- Transporte	9
7.2.4.- Calibración Final del Tren de Muestreo	9
7.2.5.- Volumen de Muestreo	9
8.- Criterios y Estrategias de Muestreo	9
9.- Bibliografía	10
10.- Agradecimientos	10

1.- ANTECEDENTES

La metodología presentada en este protocolo para la toma de muestra de sílice libre cristalizada en fracción respirable y de polvo no especificado total y en fracción respirable se encuentra desarrollada de acuerdo a metodologías normalizadas internacionalmente para efectuar muestreos en ambientes laborales.

El Decreto Supremo N° 594, de 1999, del Ministerio de Salud, que aprueba el Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, establece en su artículo 66° los límites permisibles ponderado (LPP) para las siguientes sustancias:

CAS	Sustancia	Límite Permissible Ponderado (1) (2) (mg/m ³)	Observaciones
14808-60-7	Cuarzo, Sílice Cristalina	0,08 (3)	A.1 (4)
14464-46-1	Cristobalita, Sílice Cristalina	0,04 (3)	A.1 (4)
15468-32-3	Trimidita, Sílice Cristalina	0,04 (3)	A.1 (4)
-----	Polvos no Especificados (Fracción Respirable)	2,4 (3)	(5)
-----	Polvos no Especificados (Total)	8	(5)

OBSERVACIONES:

- (1) El Límite Permissible Ponderado puede ser superado momentáneamente, pero en ningún caso superar cinco veces el valor del límite.
- (2) Límite para una jornada de 8 horas diarias y hasta 1000 metros sobre el nivel del mar.
- (3) Fracción Respirable.
- (4) Las sustancias calificadas como A.1 son comprobadamente cancerígenas para el ser humano, por lo cual se deberá extremar las medidas de protección y de higiene personal frente a ella.
- (5) Polvo total exento de asbesto y con menos de 1% de sílice cristalizada libre.

2.- OBJETIVO

Establecer una metodología estandarizada para la toma de muestra de sílice libre cristalizada en fracción respirable y de polvo no especificado total y en fracción respirable, que permita conocer las concentraciones ambientales y personales presentes en los lugares de trabajo donde están presentes estas sustancias.

3.- CAMPO DE APLICACIÓN

Este protocolo comprende la forma de evaluar todas aquellas operaciones y actividades en las que los trabajadores estén expuestos o sean susceptibles de estar expuestos a Sílice Libre en su Fracción Respirable y de Polvo no Especificado Total y Fracción Respirable, especialmente en las siguientes situaciones:

- a) Verificación de cumplimiento del límite permisible ponderado para sílice libre cristalizada en fracción respirable.
- b) Verificación de cumplimiento del límite permisible ponderado para polvo no especificado total y fracción respirable.
- c) Estudios epidemiológicos de exposición y programas de vigilancia ambiental.
- d) Verificación de eficacia y eficiencia de medidas de control.

4.- TERMINOLOGÍA.

- 4.1.- Cabezal de Muestreo:** dispositivo en el que queda retenidas las partículas durante un muestreo.
- 4.2.- Ciclón:** dispositivo utilizado para separar las partículas de tamaño respirable. Cabe destacar que en el mercado existe una gran variedad de ciclones, diseñados para diferentes caudales, los cuales deben cumplir con criterios acordados internacionalmente para captar la fracción respirable (Norma UNE-EN 481:1995 e ISO 7708: 1995; UNE-EN ISO 13138-2012).
- 4.3.- Diámetro Aerodinámico:** se define como el diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria ($\rho= 1 \text{ gr/cm}^3$).
- 4.4.- Filtro PVC:** filtro de cloruro de polivinilo de diámetro de poro 5 micrómetros.
- 4.5.- Grit Pot:** accesorio del ciclón ubicado en la parte inferior de éste, en el que se depositan las partículas que no son de tamaño respirable.
- 4.6.- Tren de Muestreo:** compuesto por una bomba de muestreo portátil, portafiltro montado en ciclón y mangueras de conexión.
- 4.7.- Vortex:** punto de ingreso del aire con partículas a un ciclón.

5.- MARCO LEGAL

- 5.1.- Decreto Supremo N° 594, de 1999: Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, Ministerio de Salud.
- 5.3.- Protocolo de Vigilancia del Ambiente y de la Salud de los Trabajadores con Exposición a Sílice, de 2015, Ministerio de Salud.

6.- MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.

- a) Filtro de PVC 37 mm de diámetro, 5 μm de tamaño de poro, montado en un cassette o portafiltros de 2 ó 3 partes, de acuerdo al ciclón utilizado.
- b) Bomba de muestreo portátil.
- c) Ciclón estandarizado para partículas de tamaño respirable (Norma EN 481:1995; ISO 7708: 1995; UNE-EN ISO 13138-2012).
- d) Mangueras de conexión y pinzas de sujeción.
- e) Calibrador de flujos.
- f) Etiquetas de rotulado y plumón.
- g) Jarra para calibración de tren de muestreo con ciclones.

7.- PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.

7.1. Para Sílice Libre Cristalizada y Polvo No Especificado, ambos en Fracción Respirable.

7.1.1. Calibración Inicial del Tren de Muestreo

- a) Armar el tren de muestreo conformado por a), b), c) y d) del punto 6. Tener presente que el cassette deberá estar montado sobre el ciclón para lo cual es necesario retirar los tapones del cabezal de muestreo. Previo a armar el tren de muestreo, asegurarse que el ciclón se encuentre completamente limpio y seco, para ello el ciclón se debe desmontar retirando luego el "grit pot" y verificar que esté limpio para prevenir el arrastre de partículas de tamaño mayor al respirable. Si el ciclón presenta muescas o esté rasgado en su estructura debe desecharse. Luego volver a montar el grit pot en su lugar.
- b) Previo a la calibración, verificar si el tren de muestreo presenta fugas, para lo cual se deben tomar medidas dirigidas a este objetivo, tales como: comprobar y ajustar la alineación de soporte del filtro y el ciclón en el cabezal de muestreo, verificar la hermeticidad de las uniones y mangueras de conexión.

- c) Verificar que el calibrador este apto para su uso observando a lo menos: buen estado de la estructura y componentes, ausencia de fracturas o daños visibles y constatar que el certificado de calibración del equipo se encuentre vigente.
- d) Unir el calibrador de flujo al tren de muestreo.
- e) Encender la bomba de muestreo portátil.
- f) De acuerdo al ciclón que se utilizará, ajustar el caudal requerido en la bomba de muestreo portátil y dejar que esta se estabilice, por aproximadamente 5 minutos.
- g) Calibrar cada uno de los trenes de muestreo que se van a utilizar, tomando la cantidad de lecturas parciales que exija el tipo de calibrador de flujo. Para esta calibración se utilizará según el tipo de ciclón, ya sea una jarra diseñada especialmente para estos efectos o un dispositivo específico. El "Caudal Inicial" será el promedio de estas lecturas, aceptando un rango de dispersión respecto del caudal de referencia de \pm un 4 %. Si no se logra un caudal en este rango se deberá enviar la bomba de muestreo a mantenimiento y utilizar otra.

NOTA: El Cabezal de Muestreo utilizado en la Calibración Inicial y Calibración Final, es de uso exclusivo de esta actividad.

- h) Registrar en ficha diseñada para la calibración y/o muestreo, la identificación de la bomba, de la muestra y del ciclón. Además, cada una de las calibraciones parciales o el promedio de calibración, según sea el tipo de calibrador.

7.1.2. Muestreo

- a) Identificar cada cabezal de muestreo con alguna codificación.
- b) Retirar ambos tapones del cabezal de muestreo y montarlo en su respectivo ciclón. Armar el tren de muestreo, conectando la bomba y el cabezal de muestreo a través de una manguera de conexión. Debe tenerse presente que algunos ciclones requieren, para montar en ellos el portafiltros, retirar la sección por donde ingresa el aire, por lo cual se deberá tener el cuidado de identificar con el mismo código ambas seccio-

nes del portafiltros, con el propósito de evitar errores en la gravimetría del filtro.

- c) Preparar una muestra testigo o blanco, por cada muestra o lote de muestras la(s) que deberá(n) ser manipulada(s) de la misma manera que las muestras reales pero sin hacer pasar aire por ellas (retirar ambos tapones del portafiltro testigo o blanco, montarlo sobre un ciclón). Una vez manipulado este testigo o blanco se colocaran los tapones respectivos y se almacenaran en un contenedor exclusivo para el transporte de muestras.
- d) En la instalación del tren de muestreo en trabajadores, el cabezal de muestreo se deberá ubicar en posición vertical a nivel de la zona respiratoria, con el vortex orientado hacia el frente. Cuando se trate de muestras ambientales en áreas o lugares de trabajo, el cabezal de muestreo se deberá ubicar a la misma altura y posición, nivel zona respiratoria, cuidando que el vortex se oriente al espacio de trabajo y no quede obstruido. En caso de muestreos especiales, como estudios de caracterización de focos de emisión, evaluación de eficacia de sistemas de extracción u otros, la posición del cabezal de muestreo la decidirá el especialista de acuerdo al objetivo del muestreo.
- e) Una vez instalado el tren de muestreo, revisar que no existan obstrucciones o desconexiones que puedan provocar un error en la toma de muestras. En caso de muestreo de tipo personal instruir al trabajador a evaluar.
- f) Encender bomba de muestreo portátil.
- g) Anotar en la ficha utilizada para la calibración y toma de muestra, hora de inicio de muestreo, fecha y las observaciones más relevantes en la toma de muestra.
- h) El tiempo de muestreo para comprobación del cumplimiento del límite permisible ponderado, será como mínimo el 70% de la jornada de trabajo.
- i) Mantener un control directo del muestreo por el Profesional de Terreno. Control que a lo menos debe considerar: observación permanente

de la correcta posición y funcionamiento de todos los componentes del tren de muestreo; verificar que el filtro no se encuentre colmatado, en cuyo caso se deberá concluir el muestreo o efectuar un cambio del cabezal de muestreo para continuar con la evaluación; verificar que la bomba de muestreo se encuentre funcionando. Si esta cuenta con pantalla LED revisar el tiempo de muestreo y que el caudal de la bomba se mantenga en el nivel de calibración.

- j) Al finalizar el muestreo (ambiental o personal) se deberá detener la bomba de muestreo portátil y registrar la hora de término en la ficha de muestreo.

7.1.3. Transporte

- a) Los portafiltros deberán retirarse del ciclón en el lugar donde los trenes de muestreo fueron montados o en un lugar predeterminado. Por lo tanto, el transporte de los trenes de muestreo desde el sitio de la evaluación al lugar de desmontaje de estos, deberá realizarse siempre con el ciclón en posición vertical.
- b) Los portafiltros se deberán llevar en un contenedor de uso exclusivo para estos efectos, que permita mantenerlos fijos impidiendo el contacto físico entre ellos. El transporte deberá realizarse de manera que las superficies del filtro siempre permanezcan paralelas a la horizontal.

7.1.4. Calibración Final del Tren de Muestreo

- a) Realizar la calibración final de acuerdo a lo establecido en la letra g) del punto 7.1.1 y registrarla en la ficha utilizada para la calibración y toma de muestra.
- b) Si no se logra el caudal dentro del rango permitido, se desechará la muestra.
- c) Verificar si la diferencia entre ambos caudales (caudal inicial y caudal final) se encuentra dentro del 5%. De ser así calcular el caudal de muestreo de acuerdo a la letra c) siguiente o

de lo contrario desechar la muestra, enviar la bomba de muestreo portátil a mantención y volver a tomar la muestra.

Cálculo de la diferencia del 5%:

$$\Delta Q = \frac{(Q_{Mayor} - Q_{Menor})}{Q_{Menor}} \times 100$$

- d) Cálculo del Caudal de Muestreo:

$$Q_M = \frac{(Q_i + Q_f)}{2}$$

Donde:

Q_M : Caudal de Muestreo.

Q_i : Caudal Inicial.

Q_f : Caudal Final.

- e) Determinación del Volumen de Muestreo:

$$V_M = Q_M \cdot t_M$$

Donde:

V_M : Volumen Muestreado.

Q_M : Caudal de Muestreo.

t_M : Tiempo de Muestreo.

- f) Enviar la(s) muestra(s) tomada(s) y la muestra Testigo, indicando el volumen de muestreo, al Laboratorio para su análisis.

7.1.5. Volumen de Muestreo

El volumen de muestreo tiene directa relación con el caudal específico de muestreo y el tiempo de muestreo. Cuando existan altas concentraciones en el ambiente, el volumen total de muestreo se podrá alcanzar tomando más de una muestra, para evitar la colmatación de los filtros. En esta última situación, para cada una de las muestras, deberá tenerse presente el volumen mínimo de muestreo y el límite inferior de cuantificación, dependiendo de la técnica analítica. Contactarse con el laboratorio que analizará las muestras para obtener esta información.

7.2. Para Polvo No Especificado Total

7.2.1. Calibración Inicial del Tren de Muestreo.

- a) Armar el tren de muestreo compuesto por a), b), d) del punto 6.
- b) Previo a la calibración, verificar si el tren de muestreo presenta fugas, para lo cual se deben tomar medidas dirigidas a este objetivo, tales como: comprobar y ajustar la unión entre el portafiltro y la manguera de conexión y la de esta con la bomba de muestreo
- c) Verificar que el calibrador este apto para su uso observando a lo menos: buen estado de la estructura y componentes, ausencia de fracturas o daños visibles y constatar que el certificado de calibración del equipo se encuentre vigente.
- d) Unir el calibrador de flujo al tren de muestreo.
- e) Encender la bomba de muestreo portátil.
- f) Ajustar la bomba de muestreo portátil a un caudal de entre 1,5 l/min y 2.0 l/min y dejar que se estabilice.
- g) Calibrar cada uno de los trenes de muestreo que se van a utilizar, tomando la cantidad de lecturas parciales que exija el tipo de calibrador de flujo. Para esta calibración se utilizara según el tipo de ciclón, ya sea una jarra diseñada especialmente para estos efectos o un dispositivo específico. El "Caudal Inicial" será el promedio de estas lecturas, aceptando un rango de dispersión respecto del caudal de referencia de \pm un 4%. Si no se logra un caudal en este rango se deberá enviar la bomba de muestreo a mantenimiento y utilizar otra.

NOTA: El Cabezal de Muestreo utilizado en la Calibración Inicial y Calibración Final, es de uso exclusivo de esta actividad.

- h) Registrar en ficha diseñada para la calibración y/o muestreo, la identificación de la bomba, de la muestra y del ciclón. Además, cada una de las calibraciones parciales o el promedio calibración, según sea el tipo de calibrador.

7.2.2. Muestreo

- a) Identificar cada cabezal de muestreo con alguna codificación.
- b) Armar tren de muestreo (retirar ambos tapones del cabezal de muestreo y conectarlo con la bomba a través de la manguera de conexión).
- c) Preparar una muestra testigo o blanco, la que deberá ser manipulada de la misma manera que las muestras reales pero sin hacer pasar aire por ellas (se retiran los tapones y se conecta a la bomba de muestreo portátil). Una vez manipulado este testigo o blanco se colocaran los tapones respectivos y se almacenaran en un contenedor exclusivo para el transporte de muestras.
- d) En la instalación del tren de muestreo en trabajadores, el cabezal de muestreo se deberá ubicar en posición vertical a nivel de la zona respiratoria. Cuando se trate de muestras ambientales en áreas o lugares de trabajo, el cabezal de muestre se deberá ubicar a la misma altura y posición, nivel zona respiratoria, En caso de muestreos especiales, como estudios de caracterización de focos de emisión, evaluación de eficacia de sistemas de extracción u otros, la posición del cabezal de muestreo la decidirá el especialista de acuerdo al objetivo del muestreo.
- e) Una vez instalado el tren de muestreo, revisar que no existan obstrucciones o desconexiones que puedan provocar un error en la toma de muestras. En caso de muestreo de tipo personal instruir al trabajador a evaluar.
- f) Encender bomba de muestreo portátil.
- g) Anotar en la ficha utilizada para la calibración y toma de muestra, hora de inicio de muestreo, fecha y las observaciones más relevantes en la toma de muestra.
- h) El tiempo de muestreo para comprobación del cumplimiento del límite permisible ponderado, será como mínimo el 70% de la jornada de trabajo.
- i) Mantener un control directo del muestreo por el Profesional de Terreno. Control que a lo me-

nos debe considerar: observación permanente de la correcta posición y funcionamiento de todos los componentes del tren de muestreo; verificar que el filtro no se encuentre colmatado, en cuyo caso se deberá concluir el muestreo o efectuar un cambio del cabezal de muestreo para continuar con la evaluación; verificar que la bomba de muestreo se encuentre funcionando. Si esta cuenta con pantalla LED revisar el tiempo de muestreo y que el caudal de la bomba se mantenga en el nivel de calibración.

- j) Al finalizar el muestreo (ambiental o personal) se deberá detener la bomba de muestreo portátil y registrar la hora de término en la ficha de muestreo.

7.2.3. Transporte

Los portafiltros se deberán retirar y llevar en un contenedor de uso exclusivo para estos efectos, que permita mantenerlos fijos impidiendo el contacto físico entre ellos. El transporte deberá realizarse de manera que las superficies del filtro siempre permanezcan paralelas a la horizontal.

7.2.4. Calibración Final del Tren de Muestreo

- a) Realizar la calibración final de acuerdo a lo establecido en la letra g) del punto 7.1.1 y registrarla en la ficha utilizada para la calibración y toma de muestra.
- b) Verificar si la diferencia entre ambos caudales (caudal inicial y caudal final) se encuentra dentro del 5% de acuerdo a lo estipulado en letra b) del punto 7.1.4.
- c) Enviar la(s) muestra(s) tomada(s) y la muestra Testigo, indicando el volumen de muestreo, al Laboratorio para su análisis.

7.2.5. Volumen de Muestreo

El volumen de muestreo tiene directa relación con el caudal específico de muestreo y el tiempo de muestreo. Cuando existan altas concentraciones en

el ambiente, el volumen total de muestreo se podrá alcanzar tomando más de una muestra, para evitar la colmatación de los filtros. En esta última situación, para cada una de las muestras, deberá tenerse presente el volumen mínimo de muestreo y el límite inferior de cuantificación, dependiendo de la técnica analítica. Contactarse con el laboratorio que analizará las muestras para obtener esta información.

8.- CRITERIOS Y ESTRATEGIAS DE MUESTREO.

En caso que el muestreo tenga como finalidad verificar el cumplimiento del límite permisible ponderado, este deberá ser de tipo personal y cubrir como mínimo el 70% de la jornada de trabajo. Para la comprobación del cumplimiento del exceso máximo permitido (Artículo N° 60 D.S. 594 de 1999, del Ministerio de Salud), el muestreo deberá efectuarse en el menor tiempo posible considerando el caudal de muestreo, límite de detección de la técnica analítica y el momento de mayor exposición.

9.- BIBLIOGRAFÍA

- 9.1. Ministerio de Salud; "Decreto Supremo N° 594, de 1999: Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo".
- 9.2. Instituto de Salud Pública, "Manual Básico Sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional", 2012.
- 9.3. Martí A., Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (III): Muestreadores de la fracción torácica, respirable y multifracción. INSHT. Nota Técnica de Prevención. NTP 765-
- 9.4. National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH), Método Analítico NMAM 7602.
- 9.5. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual, NIOSH, U.S. Department of Health, Education and Welfare. 1977.
- 9.6. Vincent, J. Aerosol Science for Industrial Hygienists, Pergamon 1995, pp 91.
- 9.7. Threshold Limit Values & Biological Exposure Indices, ACGIH 2012.
- 9.7. Protocolo de Vigilancia del Ambiente y de la Salud de los Trabajadores con Exposición a Sílice (Resolución N°268 del 03 de junio de 2015 del Ministerio de Salud).

10.- AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la participación y contribución de:

- Víctor Córdova P., Asociación Chilena de Seguridad.
- Pedro Quintanilla B., Instituto de Salud Pública de Chile.
- Cristian Fuentes T., Instituto de Salud Pública de Chile.