Subparte Z — Apéndices de la § 1926.1101 (Asbesto)

Traducción de cortesía — la edición oficial y la única con validez es la edición en inglés del 29 CFR 1926 (eCFR, versión vigente al 28 de octubre de 2026). En caso de diferencia, prevalece el texto en inglés.
Courtesy translation — the official English edition of 29 CFR 1926 (eCFR, current as of October 28, 2026) is the only authoritative version. In case of any difference, the English text prevails.

Apéndice A de la § 1926.1101
Método de Referencia de OSHA — Obligatorio

Este apéndice obligatorio especifica el procedimiento para analizar muestras de aire en busca de asbesto y especifica los procedimientos de control de calidad que deben implementar los laboratorios que realizan el análisis. Los métodos de muestreo y análisis descritos a continuación representan los elementos de los métodos de monitoreo disponibles (como el apéndice B de esta regulación, la versión más actual del método ID-160 de OSHA, o la versión más actual del Método 7400 de NIOSH). Todos los empleadores que deban realizar monitoreo del aire conforme al párrafo **(f)** del estándar deben utilizar laboratorios analíticos que usen este procedimiento, o un método equivalente, para recolectar y analizar las muestras.

Procedimiento de Muestreo y Análisis

1. El medio de muestreo para las muestras de aire deberá ser membranas de filtro de éster de celulosa mixto. Estas deberán ser designadas por el fabricante como aptas para el recuento de asbesto. Véase más abajo lo relativo al rechazo de blancos.

2. El dispositivo de recolección preferido deberá ser el casete de 25 mm de diámetro con una cubierta de extensión (cowl) abierta, eléctricamente conductora, de 50 mm. El casete de 37 mm podrá utilizarse si es necesario, pero solo si una justificación por escrito de la necesidad de usar el casete de filtro de 37 mm acompaña los resultados de la muestra en el registro de monitoreo de exposición del empleado. No reutilice ni recargue los casetes para la recolección de muestras de asbesto.

3. Se deberá seleccionar un caudal de aire entre 0.5 litros/min y 2.5 litros/min para el casete de 25 mm. Si se utiliza el casete de 37 mm, se deberá seleccionar un caudal de aire entre 1 litro/min y 2.5 litros/min.

4. Cuando sea posible, se deberá recolectar un volumen de aire suficiente para cada muestra de aire, de modo que se obtengan entre 100 y 1,300 fibras por milímetro cuadrado en el filtro de membrana. Si un filtro se oscurece en apariencia o si se observa polvo suelto en el filtro, se deberá iniciar una segunda muestra.

5. Envíe las muestras en un contenedor rígido con suficiente material de embalaje para evitar que las fibras recolectadas se desprendan. No puede utilizarse material de embalaje que tenga una alta carga electrostática en su superficie (p. ej., poliestireno expandido), porque dicho material puede causar la pérdida de fibras hacia los lados del casete.

6. Calibre cada bomba de muestreo personal antes y después de su uso, con un casete de filtro representativo instalado entre la bomba y los dispositivos de calibración.

7. Las muestras personales deberán tomarse en la «zona de respiración» del empleado (es decir, fijadas a o cerca del cuello o la solapa, cerca del rostro del trabajador).

8. Los recuentos de fibras deberán hacerse por contraste de fases positivo, utilizando un microscopio con un ocular de 8 a 10× y un objetivo de 40 a 45×, para un aumento total de aproximadamente 400×, y una apertura numérica de 0.65 a 0.75. El microscopio también deberá estar equipado con un filtro verde o azul.

9. El microscopio deberá estar equipado con una retícula ocular de Walton-Beckett calibrada para un diámetro de campo de 100 micrómetros (±2 micrómetros).

10. El límite de detección del cambio de fase del microscopio deberá ser de aproximadamente 3 grados, medido utilizando la laminilla de prueba de cambio de fase de HSE, según se describe a continuación.

a. Coloque la laminilla de prueba en la platina del microscopio y céntrela bajo el objetivo de fase.

b. Enfoque los bloques de líneas ranuradas.

Nota:

La laminilla consta de siete conjuntos de líneas ranuradas (aprox. 20 ranuras por bloque) en orden descendente de visibilidad, de los conjuntos 1 al 7, siendo el siete el menos visible. Los requisitos para el recuento de asbesto son que la óptica del microscopio debe resolver por completo las líneas ranuradas del conjunto 3, aunque puedan aparecer algo tenues, y que las líneas ranuradas de los conjuntos 6 y 7 deben ser invisibles. Los conjuntos 4 y 5 deben ser al menos parcialmente visibles, pero pueden variar ligeramente en visibilidad entre microscopios. Un microscopio que no cumpla estos requisitos tiene una resolución demasiado baja o demasiado alta para utilizarse en el recuento de asbesto.

c. Si la imagen se deteriora, limpie y ajuste la óptica del microscopio. Si el problema persiste, consulte al fabricante del microscopio.

11. Cada conjunto de muestras tomadas incluirá un 10% de blancos de campo o un mínimo de 2 blancos de campo. Estos blancos deben provenir del mismo lote que los filtros utilizados para la recolección de muestras. Los resultados de los blancos de campo deberán promediarse y restarse de los resultados analíticos antes de informar. Un conjunto consiste en cualquier muestra o grupo de muestras para el cual deba hacerse una evaluación para este estándar. Se deberá rechazar cualquier muestra representada por un blanco de campo que tenga un recuento de fibras superior al límite de detección del método utilizado.

12. Las muestras deberán montarse por el método de acetona/triacetina o por un método con un índice de refracción equivalente y una claridad similar.

13. Observe las siguientes reglas de recuento.

a. Cuente solo las fibras de longitud igual o mayor que 5 micrómetros. Mida la longitud de las fibras curvadas a lo largo de la curva.

b. En ausencia de otra información, cuente como asbesto todas las partículas que tengan una relación longitud-anchura (relación de aspecto) de 3:1 o mayor.

c. Las fibras que se encuentren por completo dentro del límite del campo de la retícula de Walton-Beckett recibirán un recuento de 1. Las fibras que crucen el límite una vez, con un extremo dentro del círculo, recibirán el recuento de un medio (½). No cuente ninguna fibra que cruce el límite de la retícula más de una vez. Rechace y no cuente ninguna otra fibra, aunque pueda ser visible fuera del área de la retícula.

d. Cuente los haces de fibras como una sola fibra, a menos que las fibras individuales puedan identificarse observando ambos extremos de una fibra individual.

e. Cuente suficientes campos de la retícula para obtener 100 fibras. Cuente un mínimo de 20 campos; deje de contar a los 100 campos, independientemente del recuento de fibras.

14. Los recuentos ciegos se realizarán a una tasa del 10 por ciento.

Procedimientos de Control de Calidad

1. Programa intralaboratorio. Cada laboratorio y/o cada empresa con más de un microscopista encargado del recuento de laminillas deberá establecer un programa de aseguramiento de la calidad diseñado estadísticamente, que incluya recuentos ciegos y comparaciones entre microscopistas, para monitorear la variabilidad del recuento de cada microscopista y entre microscopistas. En una empresa con más de un laboratorio, el programa deberá incluir a todos los laboratorios y deberá también evaluar la variabilidad de laboratorio a laboratorio.

2a. Programa interlaboratorio. Cada laboratorio que analice muestras de asbesto para la determinación del cumplimiento deberá implementar un programa interlaboratorio de aseguramiento de la calidad que, como mínimo, incluya la participación de al menos otros dos laboratorios independientes. Cada laboratorio deberá participar en pruebas de ronda (round robin) al menos una vez cada 6 meses con, al menos, todos los demás laboratorios de su grupo interlaboratorio de aseguramiento de la calidad. Cada laboratorio deberá presentar laminillas típicas de su propia carga de trabajo para su uso en este programa. La ronda deberá diseñarse y sus resultados analizarse utilizando la metodología estadística apropiada.

b. Todos los laboratorios también deberían participar en un esquema nacional de pruebas de muestras, como el Programa de Pruebas Analíticas de Competencia (Proficiency Analytical Testing Program, PAT), o el Registro de Asbesto (Asbestos Registry) patrocinado por la Asociación Americana de Higiene Industrial (American Industrial Hygiene Association, AIHA).

3. Todas las personas que realicen análisis de asbesto deben haber tomado el curso de NIOSH para el muestreo y la evaluación del polvo de asbesto en el aire, o un curso equivalente.

4. Cuando el uso de microscopios diferentes contribuya a diferencias entre contadores y laboratorios, el efecto del microscopio diferente deberá evaluarse y el microscopio deberá reemplazarse, según sea necesario.

5. Los resultados actuales de estos programas de aseguramiento de la calidad deberán colocarse en un lugar visible de cada laboratorio para mantener informados a los microscopistas.

Apéndice B de la § 1926.1101
Muestreo y Análisis (No obligatorio)

Matriz: Aire |

Límites de Exposición Permisibles de OSHA: |

Promedio ponderado en el tiempo	0.1 fibra/cc
Nivel de excursión (30 minutos)	1.0 fibra/cc
Procedimiento de Recolección:	

Se hace pasar un volumen conocido de aire a través de un casete de 25 mm de diámetro que contiene un filtro de éster de celulosa mixto. El casete debe estar equipado con una cubierta de extensión eléctricamente conductora de 50 mm. El tiempo y el caudal de muestreo se eligen para obtener una densidad de fibras de entre 100 y 1,300 fibras/mm² en el filtro.

Caudal de Muestreo Recomendado	0.5 a 5.0 litros/minuto (L/min)
Volúmenes de Aire Recomendados:	
Mínimo	25 L
Máximo	2,400 L

Procedimiento Analítico:

Se transparenta una porción del filtro de la muestra y se prepara para el recuento de fibras de asbesto mediante Microscopía de Contraste de Fases (Phase Contrast Microscopy, PCM) a 400X.

Los fabricantes y productos comerciales mencionados en este método se utilizan solo con fines descriptivos y no constituyen aval por parte del USDOL-OSHA. Pueden sustituirse por productos similares de otras fuentes.

1. Introducción

Este método describe la recolección de fibras de asbesto en el aire utilizando bombas de muestreo calibradas con filtros de éster de celulosa mixto (MCE) y el análisis mediante microscopía de contraste de fases (PCM). Algunos términos utilizados son propios de este método y se definen a continuación: Asbesto: Término para los minerales

fibrosos de origen natural. El asbesto incluye el crisotilo, la crocidolita, la amosita (asbesto de cumingtonita-grunerita), el asbesto de tremolita, el asbesto de actinolita, el asbesto de antofilita, y cualquiera de estos minerales que haya sido tratado químicamente y/o alterado. La formulación química precisa de cada especie variará según el lugar del que fue extraída. Las composiciones nominales son las siguientes:

Crisotilo	Mg3 Si2 O5 (OH)4
Crocidolita	Na2 Fe3 2 + Fe2 3 + Si8 O22 (OH)2
Amosita	(Mg,Fe)7 Si8 O22 (OH)2
Tremolita-actinolita	Ca2 (Mg,Fe)5 Si8 O22 (OH)2
Antofilita	(Mg,Fe)7 Si8 O22 (OH)2

Fibra de Asbesto: Una fibra de asbesto que cumple los criterios especificados a continuación para una fibra.

Relación de Aspecto: La relación entre la longitud de una fibra y su diámetro (p. ej., relaciones de aspecto de 3:1, 5:1).

Fragmentos de Escisión: Partículas minerales formadas por la conminución de minerales, en especial las que se caracterizan por lados paralelos y una relación de aspecto moderada (normalmente menor que 20:1).

Límite de Detección: El número de fibras necesario para tener una certeza del 95% de que el resultado es mayor que cero.

Recuento Diferencial: Término aplicado a la práctica de excluir del recuento de fibras ciertos tipos de fibras porque no parecen ser de asbesto.

Fibra: Una partícula de 5 µm o más de longitud, con una relación longitud-anchura de 3 a 1 o mayor.

Campo: El área dentro del círculo de la retícula que se superpone a la imagen del microscopio.

Conjunto: Las muestras que se toman, se presentan al laboratorio, se analizan y para las cuales se generan informes de resultados provisionales o finales.

Tremolita, Antofilita y Actinolita: La forma no asbestiforme de estos minerales que cumple la definición de una fibra. Incluye cualquiera de estos minerales que haya sido tratado químicamente y/o alterado.

Retícula de Walton-Beckett: Una retícula ocular diseñada específicamente para el recuento de fibras de asbesto. Consiste en un círculo con un diámetro proyectado de 100 ±2 µm (área de aproximadamente 0.00785 mm^2) con una retícula de cruz (crosshair) que tiene marcas de graduación a intervalos de 3 µm en una dirección y de 5 µm en la dirección ortogonal. Hay marcas alrededor de la periferia del círculo para mostrar los tamaños y formas adecuados de las fibras. Este diseño se reproduce en la Figura 1. El disco se coloca en uno de los oculares del microscopio, de modo que el diseño se superpone al campo de visión.

1.1. Historia

Los primeros estudios para determinar las exposiciones al asbesto se realizaron utilizando recuentos de polvo total con impinger, expresando los recuentos como millones de partículas por pie cúbico. El Consejo Británico de Investigación del Asbesto (British Asbestos Research Council) recomendó el recuento con filtro de membrana en 1969. En julio de 1969, la Oficina de Seguridad y Salud Ocupacional (Bureau of Occupational Safety and Health) publicó en los Estados Unidos un método de filtro de membrana para contar fibras de asbesto. Este método fue perfeccionado por NIOSH y publicado como P & CAM 239. El 29 de mayo de 1971, OSHA especificó el muestreo con filtro de membrana y el recuento por contraste de fases para la evaluación de las exposiciones al asbesto en los lugares de trabajo de los Estados Unidos. El uso de esta técnica fue requerido nuevamente por OSHA en 1986. La microscopía de contraste de fases ha seguido siendo el método preferido para la medición de la exposición ocupacional al asbesto.

1.2. Principio

Se hace pasar aire a través de un filtro MCE para capturar las fibras de asbesto en el aire. Se retira una porción en forma de cuña del filtro, se coloca en un portaobjetos de vidrio del microscopio y se hace transparente. Un área medida (campo) se examina mediante PCM. Todas las fibras que cumplen los criterios definidos para el asbesto se cuentan y se consideran una medida de la concentración de asbesto en el aire.

1.3. Ventajas y Desventajas

La PCM tiene cuatro ventajas principales sobre otros métodos:

(1) La técnica es específica para las fibras. El contraste de fases es una técnica de recuento de fibras que excluye del análisis las partículas no fibrosas.

(2) La técnica es económica y no requiere conocimientos especializados para realizar el análisis de recuentos totales de fibras.

(3) El análisis es rápido y puede realizarse en el sitio, para una determinación rápida de las concentraciones de fibras de asbesto en el aire.

(4) La técnica tiene continuidad con los estudios epidemiológicos históricos, de modo que las estimaciones de la enfermedad esperada pueden inferirse de determinaciones a largo plazo de las exposiciones al asbesto.

La principal desventaja de la PCM es que no identifica positivamente las fibras de asbesto. Otras fibras que no son de asbesto pueden incluirse en el recuento, a menos que se realice un recuento diferencial. Esto requiere mucha experiencia para diferenciar adecuadamente las fibras de asbesto de las que no lo son. La identificación positiva del asbesto debe realizarse mediante técnicas de microscopía de luz polarizada o de microscopía electrónica. Otra desventaja de la PCM es que las fibras visibles más pequeñas tienen aproximadamente 0.2 µm de diámetro, mientras que las fibras de asbesto más finas pueden ser tan pequeñas como 0.02 µm de diámetro. Para algunas exposiciones, puede haber presentes sustancialmente más fibras de las que realmente se cuentan.

1.4. Exposición en el Lugar de Trabajo

El asbesto es utilizado por la industria de la construcción en productos tales como tejas (shingles), baldosas para pisos, asbesto cemento, fieltros para techos, aislamiento y productos acústicos. Los usos fuera de la construcción incluyen frenos, revestimientos de embrague (clutch facings), papel, pinturas, plásticos y tejidos. Una de las exposiciones más significativas en el lugar de trabajo es el retiro y la encapsulación de asbesto en escuelas, edificios públicos y viviendas. Muchos trabajadores tienen el potencial de estar expuestos al asbesto durante estas operaciones.

Aproximadamente el 95% del asbesto en uso comercial en los Estados Unidos es crisotilo. La crocidolita y la amosita componen la mayor parte del resto. Es probable que la antofilita y la tremolita o actinolita se encuentren como contaminantes en diversos productos industriales.

1.5. Propiedades Físicas

La fibra de asbesto posee una alta resistencia a la tracción a lo largo de su eje, es químicamente inerte, no combustible y resistente al calor. Tiene una alta resistencia eléctrica y buenas propiedades de absorción del sonido. Puede tejerse en cables, tejidos u otros textiles, y también afieltrarse en papeles, fieltros o esteras de asbesto.

2. Rango y Límite de Detección

2.1. El rango ideal de recuento en el filtro es de 100 a 1,300 fibras/mm². Con una retícula de Walton-Beckett, este rango equivale a 0.8 a 10 fibras/campo. Utilizando las estadísticas de recuento de NIOSH, un recuento de 0.8 fibras/campo daría un coeficiente de variación (CV) aproximado de 0.13.

2.2. El límite de detección para este método es de 4.0 fibras por 100 campos o 5.5 fibras/mm². Esto se determinó utilizando una ecuación para estimar el CV máximo posible a una concentración específica (confianza del 95%) y un Límite de Control Inferior de cero. El valor del CV se utilizó luego para determinar una concentración correspondiente a partir de las relaciones históricas de CV contra fibras. Como ejemplo:

Donde:

Este valor se comparó con las curvas de CV contra recuento. El recuento al cual CV = 0.61 para las estadísticas de recuento de Leidel-Busch o para una curva CV del Centro Técnico de OSHA en Salt Lake (OSHA-SLTC) (véase el apéndice A para más información) fue de 4.4 fibras o 3.9 fibras por 100 campos, respectivamente. Aunque los datos del OSHA-SLTC apoyan un límite de detección inferior de 4 fibras por 100 campos, ambos conjuntos de datos apoyan el valor de 4.5 fibras por 100 campos.

3. Desempeño del Método — Precisión y Exactitud

La precisión depende del número total de fibras contadas y de la uniformidad de la distribución de las fibras en el filtro. Una regla general es contar al menos 20 y no más de 100 campos. El recuento se interrumpe cuando se cuentan 100 fibras, siempre que ya se hayan contado 20 campos. Contar más de 100 fibras resulta en solo una pequeña ganancia en precisión. A medida que el recuento total cae por debajo de 10 fibras, se observa una pérdida acelerada de precisión.

En este momento, no se conoce ningún método para determinar la exactitud absoluta del análisis de asbesto. Los resultados de las muestras preparadas a través del Programa de Pruebas Analíticas de Competencia (PAT) y analizadas por el OSHA-SLTC no mostraron un sesgo significativo en comparación con los valores de referencia del PAT. Las muestras del PAT se analizaron de 1987 a 1989 (N = 36) y el rango de concentración fue de 120 a 1,300 fibras/mm².

4. Interferencias

Las sustancias fibrosas, si están presentes, pueden interferir con el análisis de asbesto.

Algunas fibras comunes son:

El uso de la microscopía electrónica o de pruebas ópticas tales como la luz polarizada y la tinción por dispersión puede utilizarse para diferenciar estos materiales del asbesto cuando sea necesario.

5. Muestreo

5.1. Equipo

5.1.1. Conjunto de muestreo (El conjunto se muestra en la Figura 3). Portafiltro conductor consistente en un casete de 3 piezas, de 25 mm de diámetro, con una cubierta de extensión eléctricamente conductora de 50 mm de longitud. Almohadilla de respaldo, de 25 mm, de celulosa. Filtro de membrana, de éster de celulosa mixto (MCE), de 25 mm, liso, blanco, tamaño de poro de 0.4 a 1.2 µm.

Notas:

(a) NO REUTILICE LOS CASETES.

(b) Se requieren casetes totalmente conductores para reducir la pérdida de fibras hacia los lados del casete por atracción electrostática.

(c) Adquiera filtros que hayan sido seleccionados por el fabricante para el recuento de asbesto, o analice filtros representativos para determinar el fondo de fibras antes de su uso. Deseche el lote de filtros si se encuentran más de 4 fibras/100 campos.

(d) Para disminuir la posibilidad de contaminación, el sistema de muestreo (filtro-almohadilla de respaldo-casete) para asbesto normalmente viene preensamblado por el fabricante.

(e) Otros casetes, como el de boca de campana (Bell-mouth), pueden utilizarse dentro de los límites de su validación.

5.1.2. Bandas de gel para sellar los casetes.

5.1.3. Bomba de muestreo.

Cada bomba debe ser una unidad autónoma, alimentada por batería, lo suficientemente pequeña para colocarse en el empleado monitoreado y no interferir con el trabajo que se realiza. La bomba debe ser capaz de muestrear al caudal de recolección durante el tiempo de muestreo requerido.

5.1.4. Tubo flexible, de 6 mm de diámetro interior.

5.1.5. Calibración de la bomba.

Cronómetro y tubo de burbuja/bureta o medidor electrónico.

5.2. Procedimiento de Muestreo

5.2.1. Selle con una banda de gel o cinta el punto donde se unen la base y la cubierta de cada casete.

5.2.2. Cargue las bombas por completo antes de comenzar.

5.2.3. Conecte cada bomba a un casete de calibración con un tramo de longitud apropiada de tubo de plástico de 6 mm de diámetro interior. No utilice conectores luer: el tipo de casete especificado arriba tiene adaptadores incorporados.

5.2.4. Seleccione un caudal apropiado para la situación que se monitorea. El caudal de muestreo debe estar entre 0.5 y 5.0 L/min para el muestreo personal y normalmente se fija entre 1 y 2 L/min. Elija siempre un caudal que no produzca filtros sobrecargados.

5.2.5. Calibre cada bomba de muestreo antes y después del muestreo con un casete de calibración en línea (Nota: Este casete de calibración debe ser del mismo lote de casetes utilizados para el muestreo). Utilice un estándar primario (p. ej., una bureta de burbuja) para calibrar cada bomba. Si es posible, calibre en el sitio de muestreo.

Nota:

Si no es posible calibrar en el sitio de muestreo, las influencias ambientales pueden afectar el caudal. El grado depende del tipo de bomba utilizada. Consulte con el fabricante de la bomba para determinar la dependencia de las influencias ambientales. Si la bomba se ve afectada por los cambios de temperatura y presión, corrija el caudal utilizando la fórmula que se muestra en la sección «Correcciones del Caudal de la Bomba de Muestreo» al final de este apéndice.

5.2.6. Conecte cada bomba a la base de cada casete de muestreo con tubo flexible. Retire la tapa del extremo de cada casete y tome cada muestra de aire con la cara abierta. Asegúrese de que cada casete de muestreo se mantenga con el lado abierto hacia abajo en la zona de respiración del empleado durante el muestreo. La distancia desde la nariz/boca del empleado hasta el casete debe ser de aproximadamente 10 cm. Fije el casete en el cuello o la solapa del empleado utilizando pinzas de resorte u otros dispositivos similares.

5.2.7. El volumen mínimo de aire sugerido cuando se muestrea para determinar el cumplimiento del TWA es de 25 L. Para las evaluaciones del Límite de Excursión (tiempo de muestreo de 30 min), se recomienda un volumen mínimo de aire de 48 L.

5.2.8. El problema más significativo al muestrear asbesto es sobrecargar el filtro con polvo que no es de asbesto. Los volúmenes máximos de muestra de aire sugeridos para ambientes específicos son:

Ambiente	Vol. de aire (L)
Operaciones de retiro de asbesto (polvo visible)	100.
Operaciones de retiro de asbesto (poco polvo)	240.
Ambientes de oficina	400 a 2,400.

PRECAUCIÓN: No sobrecargue el filtro con polvo. Los niveles altos de partículas de polvo no fibrosas pueden ocultar las fibras en el filtro y reducir el recuento o hacer imposible el recuento. Si más de aproximadamente el 25 a 30% del área del campo está oscurecida con polvo, el resultado puede tener un sesgo bajo. Pueden ser necesarios volúmenes de aire menores cuando hay polvo excesivo que no es de asbesto en el aire.

Durante el muestreo, observe el filtro con una linterna pequeña. Si hay una capa visible de polvo en el filtro, detenga el muestreo, retire y selle el casete, y reemplácelo con un conjunto de muestreo nuevo. La carga total de polvo no debe exceder 1 mg.

5.2.9. Las muestras en blanco se utilizan para determinar si ha ocurrido alguna contaminación durante la manipulación de las muestras. Prepare dos blancos para las primeras 1 a 20 muestras. Para conjuntos que contengan más de 20 muestras, prepare blancos equivalentes al 10% de las muestras. Manipule las muestras en blanco de la misma manera que las muestras de aire, con una excepción: No haga pasar aire a través de las muestras en blanco. Abra el casete del blanco en el lugar donde los casetes de muestra se montan en el empleado. Manténgalo abierto durante aproximadamente 30 segundos. Cierre y selle el casete apropiadamente. Almacene los blancos para su envío junto con los casetes de muestra.

5.2.10. Inmediatamente después del muestreo, cierre y selle cada casete con la base y los tapones de plástico. No toque ni perfore la membrana del filtro, ya que esto invalidará el análisis.

5.2.11 Coloque y asegure un sello de muestra alrededor de cada casete de muestra, de tal manera que se garantice que la tapa del extremo y los tapones de la base no puedan retirarse sin destruir el sello. Pegue con cinta los extremos del sello entre sí, ya que el sello no es lo suficientemente largo para envolverse de extremo a extremo. Envuelva también con cinta el casete en cada unión para mantener seguro el sello.

5.3.1. Envíe las muestras al laboratorio con la documentación solicitando el análisis de asbesto. Anote en la documentación cualquier interferencia fibrosa conocida presente durante el muestreo. Anote también la**(s)** operación(es) del lugar de trabajo muestreadas.

5.3.2. Asegure y manipule las muestras de manera que no se agiten durante el envío ni se expongan a la electricidad estática. No envíe las muestras en cacahuates de poliestireno expandido, vermiculita, papel triturado ni excélsior. Pegue con cinta los casetes de muestra a láminas de burbujas y colóquelos en un contenedor que amortigüe las muestras de tal manera que no se agiten.

5.3.3. Para evitar la posibilidad de contaminación de las muestras, envíe siempre las muestras a granel (bulk) en contenedores de correo separados.

6. Análisis

6.1. Precauciones de Seguridad

6.1.1. La acetona es extremadamente inflamable y deben tomarse precauciones para no encenderla. Evite utilizar contenedores grandes o grandes cantidades de acetona. Transfiera el solvente en una campana de laboratorio ventilada. No utilice acetona cerca de ninguna llama abierta. Para la generación de vapor de acetona, utilice una fuente de calor sin chispas.

6.1.2. Cualquier derrame de asbesto debe limpiarse inmediatamente para evitar la dispersión de fibras. Debe ejercerse prudencia para evitar la contaminación de las instalaciones del laboratorio o la exposición del personal al asbesto. Los derrames de asbesto deben limpiarse con métodos húmedos y/o con una aspiradora con filtro de partículas de aire de alta eficiencia (High Efficiency Particulate-Air, HEPA).

PRECAUCIÓN: No utilice una aspiradora sin filtro HEPA: dispersará las fibras finas de asbesto en el aire.

6.2. Equipo

6.2.1. Microscopio de contraste de fases con cabezal binocular o trinocular.

6.2.2. Oculares de campo amplio o huygenianos de 10X (NOTA: El ocular que contiene la retícula debe ser un ocular de enfoque. Utilice un objetivo de fase de 40X con una apertura numérica de 0.65 a 0.75).

6.2.3. Iluminación de Köhler (si es posible) con filtro verde o azul.

6.2.4. Retícula de Walton-Beckett, tipo G-22, con diámetro proyectado de 100 ±2 µm.

6.2.5. Platina mecánica. Una platina mecánica giratoria es conveniente para su uso con luz polarizada.

6.2.6. Telescopio de fase.

6.2.7. Micrómetro de platina con subdivisiones de 0.01 mm.

6.2.8. Laminilla de prueba de cambio de fase, marca II (Disponible en PTR Optics Ltd., y también en McCrone).

6.2.9. Portaobjetos de vidrio prelimpiados, de 25 mm × 75 mm. Un extremo puede ser esmerilado para mayor comodidad al escribir los números de muestra, etc., o pueden utilizarse etiquetas adhesivas.

6.2.10. Cubreobjetos n.º 1 ½.

6.2.11. Bisturí (n.º 10, hoja curva).

6.2.12. Pinzas de punta fina.

6.2.13. Bloque de aluminio para transparentar el filtro (véase el apéndice D y la Figura 4).

6.2.14. Pipeta automática ajustable, de 100 a 500 µL.

6.2.15. Micropipeta, de 5 µL.

6.3. Reactivos

6.3.1. Acetona (grado HPLC).

6.3.2. Triacetina (triacetato de glicerol).

6.3.3. Laca o esmalte de uñas.

6.4. Preparación de Estándares

No se ha desarrollado una manera de preparar muestras estándar de asbesto de concentración conocida. Es posible preparar muestras réplica de concentración casi igual. Esto se ha realizado a través del programa PAT. Estas muestras de asbesto son distribuidas por la AIHA a los laboratorios participantes.

Dado que solo se requiere aproximadamente una cuarta parte de una membrana de muestra de 25 mm para un recuento de asbesto, cualquier muestra del PAT puede servir como «estándar» para el recuento de réplicas.

6.5. Montaje de la Muestra

Nota:

Véanse las Precauciones de Seguridad en la Sección 6.1. antes de proceder. El objetivo es producir muestras con un fondo liso (no granuloso) en un medio con un índice de refracción de aproximadamente 1.46. La técnica que sigue colapsa el filtro para facilitar el enfoque y produce montajes permanentes que son útiles para el control de calidad y la comparación interlaboratorio.

Se requiere un bloque de aluminio o un dispositivo similar para la preparación de la muestra.

6.5.1. Caliente el bloque de aluminio a aproximadamente 70 °C. El bloque caliente no debe utilizarse sobre ninguna superficie que pueda dañarse por el calor o por la exposición a la acetona.

6.5.2. Asegúrese de que los portaobjetos y cubreobjetos de vidrio estén libres de polvo y fibras.

6.5.3. Retire el tapón superior para evitar que se forme vacío cuando se abra el casete. Limpie el exterior del casete si es necesario. Corte el sello y/o la cinta del casete con una cuchilla. Separe con mucho cuidado la base de la cubierta de extensión, dejando el filtro y la almohadilla de respaldo en la base.

6.5.4. Con un movimiento de balanceo, corte una cuña triangular del filtro utilizando el bisturí. Esta cuña debe ser de un sexto a un cuarto del filtro. Sujete la cuña del filtro con las pinzas por el perímetro del filtro que estaba prensado entre las piezas del casete. NO TOQUE el filtro con el dedo. Coloque el filtro en el portaobjetos de vidrio con el lado de la muestra hacia arriba. La electricidad estática normalmente mantendrá el filtro en el portaobjetos

hasta que se transparente.

6.5.5. Coloque la punta de la micropipeta que contiene aproximadamente 200 µL de acetona en el bloque de aluminio. Inserte el portaobjetos de vidrio en la ranura receptora del bloque de aluminio. Inyecte la acetona en el bloque con una presión lenta y constante sobre el émbolo, manteniendo la pipeta firmemente en su sitio. Espere de 3 a 5 segundos para que el filtro se transparente, luego retire la pipeta y el portaobjetos del bloque de aluminio.

6.5.6. Inmediatamente (menos de 30 segundos) coloque de 2.5 a 3.5 µL de triacetina en el filtro (NOTA: Esperar más de 30 segundos resultará en un aumento del índice de refracción y una disminución del contraste entre las fibras y la preparación. Esto también puede llevar a la separación del cubreobjetos del portaobjetos).

6.5.7. Baje un cubreobjetos suavemente sobre el filtro, en un ángulo ligero, para reducir la posibilidad de formar burbujas de aire. Si han transcurrido más de 30 segundos entre la exposición a la acetona y la aplicación de la triacetina, pegue los bordes del cubreobjetos al portaobjetos con laca o esmalte de uñas.

6.5.8. Si el transparentado es lento, caliente el portaobjetos durante 15 min en una placa caliente con una temperatura superficial de aproximadamente 50 °C para acelerar el transparentado. Puede utilizarse la parte superior del bloque caliente si el portaobjetos no se calienta demasiado tiempo.

6.5.9. El recuento puede proceder inmediatamente después de que se completen el transparentado y el montaje.

6.6. Análisis de la Muestra

Alinee el microscopio por completo de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Luego, alinee el microscopio utilizando la siguiente rutina general de alineación al comienzo de cada sesión de recuento y con mayor frecuencia si es necesario.

6.6.1. Alineación

(1) **Limpie todas las superficies ópticas.** Incluso una pequeña cantidad de suciedad puede degradar significativamente la imagen.

(2) Enfoque el objetivo de manera aproximada en una muestra.

(3) Cierre el diafragma de campo de modo que sea visible en el campo de visión. Enfoque la imagen del diafragma con el enfoque del condensador. Centre la imagen del diafragma en el campo de visión.

(4) Instale el telescopio de fase y enfoque los anillos de fase. Centre los anillos de manera crítica. La desalineación de los anillos produce astigmatismo, que degradará la imagen.

(5) Coloque la laminilla de prueba de cambio de fase en la platina del microscopio y enfoque las líneas. El analista debe ver el conjunto de líneas 3 y debería ver al menos partes de los conjuntos 4 y 5 pero no ver el conjunto de líneas 6 ni el 6. Una combinación de microscopio/microscopista que no pase esta prueba no puede utilizarse.

6.6.2. Recuento de Fibras

(1) Coloque el portaobjetos de la muestra preparada en la platina mecánica del microscopio. Posicione el centro de la cuña bajo la lente del objetivo y enfoque la muestra.

(2) Comience el recuento desde un extremo de la cuña y avance a lo largo de una línea radial hasta el otro extremo (cuente en cualquier dirección, desde el perímetro hasta la punta de la cuña). Seleccione los campos al azar, sin mirar por los oculares, avanzando ligeramente el portaobjetos en una dirección con el control de la platina mecánica.

(3) Explore continuamente un rango de planos focales (generalmente los 10 a 15 µm superiores de la superficie del filtro) con el control de enfoque fino durante el recuento de cada campo. Dedique al menos de 5 a 15 segundos por campo.

(4) La mayoría de las muestras contendrán fibras de asbesto con diámetros de fibra menores que 1 µm. Busque cuidadosamente imágenes de fibras tenues. Las fibras de diámetro pequeño serán muy difíciles de ver. Sin embargo, representan una contribución importante al recuento total.

(5) Cuente solo las fibras de longitud igual o mayor que 5 µm. Mida la longitud de las fibras curvadas a lo largo de la curva.

(6) Cuente las fibras que tengan una relación longitud-anchura de 3:1 o mayor.

(7) Cuente todas las fibras en al menos 20 campos. Continúe contando hasta que se cuenten 100 fibras o se hayan examinado 100 campos, lo que ocurra primero. Cuente todas las fibras en el campo final.

(8) Las fibras que se encuentren por completo dentro del límite del campo de la retícula de Walton-Beckett recibirán un recuento de 1. Las fibras que crucen el límite una vez, con un extremo dentro del círculo, recibirán un recuento de ½. No cuente ninguna fibra que cruce el límite de la retícula más de una vez. Rechace y no cuente ninguna otra fibra, aunque pueda ser visible fuera del área de la retícula. Si una fibra toca el círculo, se considera que cruza la línea.

(9) Cuente los haces de fibras como una fibra, a menos que las fibras individuales puedan identificarse claramente y cada fibra individual no esté claramente conectada con otra fibra contada. Véase la Figura 1 para las convenciones de recuento.

(10) Registre el número de fibras en cada campo de manera consistente, de modo que pueda evaluarse la no uniformidad del filtro.

(11) Compruebe regularmente la alineación de los anillos de fase.

(12) Cuando un aglomerado (masa de material) cubra más del 25% del campo de visión, rechace el campo y seleccione otro. No lo incluya en el número de campos contados.

(13) Realice un «recuento ciego» de 1 de cada 10 cuñas de filtro (portaobjetos). Vuelva a etiquetar los portaobjetos utilizando a una persona distinta del contador original.

6.7. Identificación de Fibras

Como se mencionó anteriormente en la Sección 1.3., la PCM no proporciona una confirmación positiva de las fibras de asbesto. Deben utilizarse técnicas alternativas de recuento diferencial si se desea la discriminación. El recuento diferencial puede incluir la discriminación primaria basada en la morfología, el análisis de las fibras con luz polarizada, o la modificación de los datos de la PCM mediante microscopía electrónica de barrido o de transmisión.

Se requiere mucha experiencia para realizar el recuento diferencial de manera rutinaria y correcta. Se desaconseja, a menos que sea legalmente necesario. En ese caso, solo si una fibra obviamente no es de asbesto debe excluirse del recuento. Puede encontrarse una discusión adicional de esta técnica en la referencia 8.10.

Si existe duda sobre si una fibra es o no de asbesto, siga la regla:

«EN CASO DE DUDA, CUENTE.»

6.8. Recomendaciones Analíticas — Sistema de Control de Calidad

6.8.1. Todas las personas que realicen análisis de asbesto deben haber tomado el curso de NIOSH para el muestreo y la evaluación del asbesto en el aire, o un curso equivalente.

6.8.2. Cada laboratorio dedicado al recuento de asbesto deberá establecer un arreglo de intercambio de portaobjetos con al menos otros dos laboratorios, con el fin de comparar el desempeño y eliminar la endogamia del error. El intercambio de portaobjetos se realiza al menos semestralmente. Los resultados de la ronda deberán colocarse donde todos los analistas puedan ver los resultados de cada analista.

6.8.3. Cada laboratorio dedicado al recuento de asbesto deberá participar en el Programa de Pruebas Analíticas de Competencia, el Registro de Analistas de Asbesto o su equivalente.

6.8.4. Cada analista deberá seleccionar y contar portaobjetos preparados de un «banco de portaobjetos». Estos son recuentos de aseguramiento de la calidad. El banco de portaobjetos deberá prepararse utilizando muestras uniformemente distribuidas tomadas de la carga de trabajo. Las densidades de fibras deben cubrir todo el rango analizado rutinariamente por el laboratorio. Estos portaobjetos son contados a ciegas por todos los contadores para establecer una desviación estándar original. Esta distribución histórica se compara con los recuentos de aseguramiento de la calidad. Un contador debe tener el 95% de todas las muestras de control de calidad contadas dentro de tres desviaciones estándar de la media histórica. Este recuento se integra luego en una nueva media histórica y una desviación estándar para el portaobjetos.

Los análisis realizados por los contadores para establecer el banco de portaobjetos pueden utilizarse para un programa provisional de control de calidad si los datos se tratan de manera estadísticamente adecuada.

7. Cálculos

7.1. Calcule la concentración estimada de fibras de asbesto en el aire en la muestra del filtro utilizando la siguiente fórmula:

donde:

Nota:

El área de recolección de un filtro rara vez es igual a 385 mm². Es apropiado que los laboratorios monitoreen rutinariamente el diámetro exacto utilizando un micrómetro interior. El área de recolección se calcula de acuerdo con la fórmula:

Área = $\pi(d/2)^2$

7.2. Cálculo Abreviado

Dado que un analista dado siempre tiene la misma distancia interpupilar, el número de campos por filtro para un analista en particular permanecerá constante para un tamaño de filtro dado. El tamaño del campo para ese analista es constante (es decir, el analista utiliza un microscopio asignado y no está cambiando la retícula).

Por ejemplo, si el área expuesta del filtro es siempre 385 mm² y el tamaño del campo es siempre 0.00785 mm², el número de campos por filtro será siempre 49,000. Además, es necesario convertir los litros de aire a cc. Estas tres constantes pueden combinarse entonces de modo que ECA/(1,000 × MFA) = 49. La ecuación anterior se simplifica a:

7.3. Cálculos de Recuento de Verificación

Como se mencionó en el paso 13 de la Sección 6.6.2., se realiza un «recuento ciego» del 10% de los portaobjetos. En todos los casos, se observarán diferencias entre el primer y el segundo recuento de la misma cuña de filtro. La mayoría de estas diferencias se deberán solo al azar, es decir, a la variabilidad aleatoria (precisión) del método de recuento. Los criterios estadísticos de recuento de verificación permiten decidir si las diferencias observadas pueden explicarse solo por el azar o si probablemente se deben a diferencias sistemáticas entre analistas, microscopios u otros factores de sesgo.

El siguiente criterio de recuento de verificación es para un par de recuentos que estiman la CA en fibras/cc. El criterio se da al nivel de error tipo I. Es decir, existe un riesgo máximo del 5% de que rechacemos un par de recuentos por la razón de que uno podría estar sesgado, cuando la gran diferencia observada se debe en realidad al azar.

Rechace un par de recuentos si:

Donde:

Si un par de recuentos es rechazado por este criterio, vuelva a contar el resto de los filtros del conjunto presentado. Aplique la prueba y rechace cualquier otro par que no la pase. El rechazo deberá incluir un memorando al higienista

industrial indicando que la muestra no pasó una prueba estadística de homogeneidad y que la verdadera concentración en el aire puede ser significativamente diferente del valor informado.

7.4. Informe de Resultados

Informe los resultados al higienista industrial como fibras/cc. Utilice dos cifras significativas. Si se realizan múltiples análisis en una muestra, deberá informarse un promedio de los resultados, a menos que cualquiera de los resultados pueda rechazarse por causa justificada.

8. Referencias

8.1. Dreesen, W.C., et al., U.S. Public Health Service: A Study of Asbestosis in the Asbestos Textile Industry (Public Health Bulletin No. 241), U.S. Treasury Dept., Washington, DC, 1938.

8.2. Asbestos Research Council: The Measurement of Airborne Asbestos Dust by the Membrane Filter Method (Technical Note), Asbestos Research Council, Rockdale, Lancashire, Great Britain, 1969.

8.3. Bayer, S.G., Zumwalde, R.D., Brown, T.A., Equipment and Procedure for Mounting Millipore Filters and Counting Asbestos Fibers by Phase Contrast Microscopy, Bureau of Occupational Health, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH, 1969.

8.4. NIOSH Manual of Analytical Methods, 2nd ed., Vol. 1 (DHEW/NIOSH Pub. No. 77-157-A). National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH, 1977. pp. 239-1—239-21.

8.5. Asbestos, Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1001. 1971.

8.6. Occupational Exposure to Asbestos, Tremolite, Anthophyllite, and Actinolite. Final Rule, Federal Register 51:119 (20 June 1986). pp. 22612-22790.

8.7. Asbestos, Tremolite, Anthophyllite, and Actinolite, Code of Federal Regulations 1910.1001. 1988. pp. 711-752.

8.8. Criteria for a Recommended Standard—Occupational Exposure to Asbestos (DHEW/NIOSH Pub. No. HSM 72-10267), National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, Cincinnati, OH, 1972. pp. III-1—III-24.

8.9. Leidel, N.A., Bayer, S.G., Zumwalde, R.D., Busch, K.A., USPHS/NIOSH Membrane Filter Method for Evaluating Airborne Asbestos Fibers (DHEW/NIOSH Pub. No. 79-127). National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH, 1979.

8.10. Dixon, W.C., Applications of Optical Microscopy in Analysis of Asbestos and Quartz, Analytical Techniques in Occupational Health Chemistry, editado por D.D. Dollberg y A.W. Verstuyft. Wash. DC: American Chemical Society, (ACS Symposium Series 120) 1980. pp. 13-41.

Control de Calidad

Las regulaciones de asbesto de OSHA requieren que cada laboratorio establezca un programa de control de calidad. Lo siguiente se presenta como un ejemplo de cómo el OSHA-SLTC construyó su curva CV interna como parte del cumplimiento de este requisito. Los datos provienen de 395 muestras recolectadas durante inspecciones de cumplimiento de OSHA y analizadas desde octubre de 1980 hasta abril de 1986.

Cada muestra fue contada por 2 a 5 contadores diferentes, independientemente unos de otros. Para cada muestra se calculó la desviación estándar y el estadístico CV. Estos datos se graficaron luego en un gráfico de CV contra fibras/mm². Se realizó una regresión de mínimos cuadrados utilizando la siguiente ecuación:

donde:

La aplicación de los mínimos cuadrados dio:

Con estos valores, la ecuación se convierte en:

Correcciones del Caudal de la Bomba de Muestreo

Esta corrección se utiliza si se observa una diferencia mayor del 5% en la temperatura ambiente y/o la presión entre los sitios de calibración y de muestreo, y la bomba no compensa las diferencias.

Donde:

Retícula de Walton-Beckett

Al ordenar la Retícula para el recuento de asbesto, especifique el diámetro exacto del disco necesario para ajustarse al ocular del microscopio y el diámetro (mm) del área circular de recuento. Las instrucciones para medir las dimensiones necesarias son las siguientes:

(1) Inserte cualquier retícula disponible en el ocular de enfoque y enfoque de modo que las líneas de la retícula sean nítidas y claras.

(2) Alinee el microscopio.

(3) Coloque un micrómetro de platina en la platina del microscopio y enfoque el microscopio en las líneas graduadas.

(4) Mida la longitud de la cuadrícula aumentada, PL (µm), utilizando el micrómetro de platina.

(5) Retire la retícula del microscopio y mida su longitud real de cuadrícula, AL (mm). Esto puede lograrse utilizando una platina mecánica provista de vernier, o una lupa de joyero con una escala de lectura directa.

(6) **Sea D = 100 µm.** Calcule el diámetro del círculo, dc (mm), para la retícula de Walton-Beckett y especifique el diámetro al hacer una compra:

Ejemplo:

Si PL = 108 µm, AL = 2.93 mm y D = 100 µm, entonces,

(7) Cada combinación de ocular-objetivo-retícula en el microscopio debe calibrarse. Si cualquiera de los tres se cambia (por ajuste de zoom, desmontaje, reemplazo, etc.), la combinación debe recalibrarse. La calibración puede cambiar si se cambia la distancia interpupilar.

Mida el diámetro del campo, D (rango aceptable: 100 ±2 µm) con un micrómetro de platina al recibir la retícula del fabricante. Determine el área del campo (mm²).

La Retícula está disponible en: Graticules Ltd., Morley Road, Tonbridge TN9 IRN, Kent, England (Telephone 011-44-732-359061). También disponible en PTR Optics Ltd., 145 Newton Street, Waltham, MA 02154 [telephone (617) 891-6000] o McCrone Accessories and Components, 2506 S. Michigan Ave., Chicago, IL 60616 [phone (312)-842-7100]. La retícula se fabrica a medida para cada microscopio.

N.º de estructura	Recuento	Explicación
1 a 6	1	Fibras individuales, todas contenidas dentro del Círculo.
7	½	La fibra cruza el círculo una vez.
8	0	Fibra demasiado corta.
9	2	Dos fibras que se cruzan.
10	0	Fibra fuera de la retícula.
11	0	La fibra cruza la retícula dos veces.
12	½	Aunque está dividida, la fibra cruza solo una vez.

Apéndice E de la § 1926.1101
Clasificación de Radiografías de Tórax — Obligatorio

(a) Las radiografías de tórax deberán clasificarse de acuerdo con las Directrices para el uso de la Clasificación Internacional de Radiografías de Neumoconiosis de la OIT (Organización Internacional del Trabajo) (edición revisada de 2011) (incorporada por referencia, véase la § 1926.6), y registrarse en un formulario de clasificación que siga el formato del formulario CDC/NIOSH **(M)** 2.8. Como mínimo, deberá incluirse el contenido dentro de las líneas en negrita de este formulario (elementos 1 a 4). Este formulario no debe presentarse a NIOSH.

(b) Todas las radiografías deberán ser clasificadas únicamente por un Lector B (B-Reader), un radiólogo elegible/certificado por la junta (board), o un médico experimentado con experiencia reconocida en neumoconiosis.

(c) Siempre que clasifique una película de radiografía de tórax, el médico deberá tener disponible de inmediato, para referencia, un juego completo de las radiografías de formato estándar de la OIT proporcionadas para su uso con las Directrices para el uso de la Clasificación Internacional de Radiografías de Neumoconiosis de la OIT (edición revisada de 2011).

(d) Siempre que clasifique radiografías de tórax adquiridas digitalmente, el médico deberá tener disponible de inmediato, para referencia, un juego completo de las imágenes radiográficas digitales de tórax estándar de la OIT proporcionadas para su uso con las Directrices para el Uso de la Clasificación Internacional de Radiografías de Neumoconiosis de la OIT (edición revisada de 2011). La clasificación de las radiografías de tórax adquiridas digitalmente deberá basarse en la visualización de imágenes mostradas como copias electrónicas y no deberá basarse en la visualización de transparencias impresas en copia dura de las imágenes.

Apéndice F de la § 1926.1101

Prácticas de Trabajo y Controles de Ingeniería para Operaciones de Asbesto Clase I (No obligatorio)

Este es un apéndice no obligatorio a los estándares de asbesto para la construcción y para los astilleros. Describe los criterios y procedimientos para construir y utilizar recintos de presión negativa (negative pressure enclosures) para el Trabajo con Asbesto Clase I, cuando los recintos de presión negativa (NPE) se utilizan como un método de control admisible para cumplir con el párrafo **(g)(5)(i)** de esta sección. Intervienen muchos detalles pequeños y variables en la construcción de un recinto de presión negativa. OSHA y la mayoría de los participantes en la reglamentación estuvieron de acuerdo en que solo los criterios principales, más orientados al desempeño, deberían hacerse obligatorios. Estos criterios se establecen en el párrafo **(g)** de esta sección. Además, este apéndice incluye estas especificaciones y procedimientos obligatorios en sus directrices, a fin de hacer este apéndice coherente y útil. La naturaleza obligatoria de los criterios que aparecen en el texto reglamentario no cambia por el hecho de estar incluidos en este apéndice «no obligatorio». De manera similar, los criterios y procedimientos adicionales incluidos como directrices en el apéndice no se vuelven obligatorios por el hecho de que también se incluyan criterios obligatorios en estas directrices integrales.

Además, ninguno de los criterios, tanto obligatorios como recomendados, tiene la intención de especificar o implicar la necesidad de utilizar métodos o equipos patentados o con licencia. Las especificaciones recomendadas incluidas en este anexo no deben desalentar el uso de alternativas creativas que puedan demostrarse que logran de manera confiable los objetivos de los recintos de presión negativa.

Los requisitos incluidos en este apéndice cubren disposiciones generales que deben seguirse en todos los trabajos con asbesto, disposiciones que deben seguirse en todos los trabajos con asbesto Clase I, y disposiciones que rigen la construcción y las pruebas de los recintos de presión negativa. La primera categoría incluye el requisito de utilizar métodos húmedos, aspiradoras HEPA y el embolsado inmediato de los residuos; el trabajo Clase I debe cumplir con las siguientes disposiciones:

• supervisión por una persona competente

• uso de barreras críticas sobre todas las aberturas del área de trabajo

• aislamiento de los sistemas HVAC

• uso de lonas protectoras impermeables y cobertura de todos los objetos dentro de las áreas reguladas

Además, los requisitos más específicos para los NPE incluyen:

• mantenimiento de −0.02 pulgadas de calibre de agua dentro del recinto

• mediciones manométricas

• movimiento de aire alejándose de los empleados que realizan el trabajo de retiro

• pruebas de humo o equivalente para la detección de fugas y la dirección del aire

• desactivación de los circuitos eléctricos, si no están provistos de interruptores de circuito por falla a tierra.

Planificación del Proyecto

El estándar requiere que se realice una evaluación de la exposición antes de comenzar el trabajo con asbesto [§ 1926.1101 **(f)(1)**]. La información necesaria para esa evaluación incluye datos relativos a trabajos similares anteriores, aplicados a las variables específicas del trabajo actual. La información necesaria para realizar la evaluación será útil en la planificación del proyecto y en el cumplimiento de cualquier requisito de informe bajo este estándar, cuando se estén haciendo cambios significativos en un sistema de control enumerado en el estándar, [véanse también los de la USEPA (40 CFR 61, subparte M). Así, aunque el estándar no requiere explícitamente la preparación de un plan escrito de retiro de asbesto, los componentes usuales de dicho plan, es decir, una descripción del recinto, el equipo y los procedimientos que se utilizarán durante todo el proyecto, deben determinarse antes de que pueda construirse el recinto. La siguiente información debe incluirse en la planificación del sistema:

Materiales y Equipo Necesarios para el Retiro de Asbesto

Aunque los proyectos individuales de retiro de asbesto varían en cuanto al equipo requerido para lograr el retiro de los materiales, algunos equipos y materiales son comunes a la mayoría de las operaciones de retiro de asbesto.

La lámina de plástico utilizada para proteger superficies horizontales, sellar aberturas de HVAC o sellar aberturas verticales y techos debe tener un espesor mínimo de 6 milésimas de pulgada (6 mils). La cinta u otro adhesivo utilizado para fijar la lámina de plástico debe tener suficiente fuerza adhesiva para soportar el peso del material más todas las tensiones encontradas durante toda la duración del proyecto, sin desprenderse de la superficie.

Otros equipos y materiales que deben estar disponibles al comienzo de cada proyecto son:

Preparación del Área de Trabajo

Desactivación de los Sistemas HVAC: La energía de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado que dan servicio al área restringida debe desactivarse y bloquearse. Todos los ductos, rejillas, puertos de acceso, ventanas y ventilaciones deben sellarse con dos capas de plástico para evitar el arrastre de aire contaminado.

Operación de los Sistemas HVAC en el Área Restringida: Si los componentes de un sistema HVAC ubicado en el área restringida están conectados a un sistema que dará servicio a otra zona durante el proyecto, la porción del ducto en el área restringida debe sellarse y presurizarse. Las precauciones necesarias incluyen calafatear las uniones de los ductos, cubrir todas las grietas y aberturas con dos capas de lámina y presurizar el ducto durante toda la duración del proyecto restringiendo el flujo de aire de retorno. La energía del ventilador que suministra la presión positiva debe bloquearse en la posición de «encendido» para evitar la pérdida de presión.

Sellado de Elevadores: Si un hueco de elevador está ubicado en el área restringida, debe apagarse o aislarse sellándolo con dos capas de lámina de plástico. La lámina debe proporcionar suficiente holgura para acomodar los cambios de presión en el hueco sin romper el sello hermético.

Retiro de Objetos Móviles: Todos los objetos móviles deben limpiarse y retirarse del área de trabajo antes de construir un recinto, a menos que mover los objetos cree un peligro. Se asumirá que los objetos móviles están

contaminados y deben limpiarse con agua modificada (amended water) y una aspiradora HEPA y luego retirarse del área, o envolverse y luego desecharse como residuo peligroso.

Limpieza y Sellado de Superficies: Después de limpiar con agua y una aspiradora HEPA, las superficies de los objetos fijos deben cubrirse con dos capas de lámina de plástico. La lámina debe asegurarse con cinta para ductos o un método equivalente, para proporcionar un sello hermético alrededor del objeto.

Embolsado de Residuos: Además del requisito de embolsado inmediato de los residuos para su disposición, se recomienda además que el material de desecho se embolse doblemente y se selle en bolsas de plástico diseñadas para la disposición de asbesto. Las bolsas deben almacenarse en un área de almacenamiento de residuos que pueda ser controlada por los trabajadores que realizan el retiro. Los filtros retirados de las unidades de manejo de aire y la basura retirada del área deben embolsarse y manejarse como residuo peligroso.

Construcción del Recinto

El recinto debe construirse de manera que proporcione un sello hermético alrededor de los ductos y aberturas hacia los sistemas de ventilación existentes, y alrededor de las penetraciones para conduits eléctricos, cables telefónicos, líneas de agua, tuberías de drenaje, etc. Los recintos deben ser herméticos al aire y al agua, excepto por aquellas aberturas diseñadas para proporcionar entrada y/o control del flujo de aire.

Tamaño: Un recinto debe ser del volumen mínimo que abarque todas las superficies de trabajo y que, a la vez, permita el movimiento sin obstáculos del trabajador o trabajadores, proporcione un flujo de aire sin restricciones más allá del trabajador o trabajadores, y asegure que las superficies para caminar puedan mantenerse libres de riesgos de tropiezo.

Forma: El recinto puede tener cualquier forma que optimice el flujo del aire de ventilación más allá del trabajador o trabajadores.

Integridad Estructural: Las paredes, techos y pisos deben estar soportados de tal manera que porciones del recinto no se caigan durante el uso normal.

Aberturas: No es necesario que la estructura sea hermética; las aberturas pueden diseñarse para dirigir el flujo de aire. Tales aberturas deben ubicarse a una distancia de las operaciones activas de retiro. Deben diseñarse para atraer aire hacia el interior del recinto en todas las circunstancias previstas. En caso de que se pierda la presión negativa, deben estar provistas de filtros HEPA para atrapar el polvo o de puertas trampa automáticas que impidan que el polvo escape del recinto. Las aberturas para las salidas deben controlarse mediante una esclusa de aire o un vestíbulo.

Soportes de Barreras: Los marcos deben construirse para soportar todos los tramos sin apoyo de la lámina.

Lámina: Las paredes, barreras, techos y pisos deben revestirse con dos capas de lámina de plástico con un espesor de al menos 6 milésimas de pulgada (6 mil).

Costuras: Las costuras en el material de la lámina deben minimizarse para reducir las posibilidades de rasgaduras y desgarros accidentales en el adhesivo o en las conexiones. Todas las costuras de la lámina deben traslaparse, estar escalonadas y no ubicarse en las esquinas ni en las uniones de pared a piso. Áreas Dentro de un Recinto: Cada recinto consta de un área de trabajo, un área de descontaminación y un área de almacenamiento de residuos. El área de trabajo donde ocurren las operaciones de retiro de asbesto debe estar separada tanto del área de almacenamiento de residuos como del área de control de contaminación por cortinas físicas, puertas y/o patrones de flujo de aire que fuercen cualquier contaminación en el aire de vuelta al área de trabajo.

Véase el párrafo **(j)** de esta sección para los requisitos de las instalaciones de higiene.

Durante la salida del área de trabajo, cada trabajador debe pasar al cuarto de equipo, limpiar las herramientas y el equipo, y retirar la contaminación gruesa de la ropa mediante limpieza húmeda y aspiración HEPA. Antes de entrar al área de duchas, se retiran las cubiertas de los pies, las cubiertas de la cabeza, las cubiertas de las manos y los

overoles, y se colocan en bolsas impermeables para su disposición o limpieza. Las conexiones de las líneas de aire de los respiradores de línea de aire con desconexiones HEPA y los cables de alimentación de los respiradores purificadores de aire motorizados (PAPR) se desconectarán justo antes de entrar al cuarto de duchas.

Establecimiento de la Presión Negativa Dentro del Recinto

Presión Negativa: El aire debe ser atraído hacia el interior del recinto en todas las condiciones previstas y expulsado a través de un filtro HEPA durante las 24 horas del día, durante toda la duración del proyecto.

Pruebas de Flujo de Aire: Los patrones de flujo de aire se comprobarán antes de que comiencen las operaciones de retiro, al menos una vez por turno de operación y en cualquier momento en que exista una duda respecto a la integridad del recinto. La prueba principal del flujo de aire consiste en rastrear las corrientes de aire con tubos de humo u otros métodos visuales. Las comprobaciones de flujo se hacen en cada abertura y en cada puerta para demostrar que el aire está siendo atraído hacia el interior del recinto, y en la posición de cada trabajador para mostrar que el aire está siendo alejado de la zona de respiración.

Monitoreo de la Presión Dentro del Recinto: Después de que se hayan comprobado los patrones iniciales de flujo de aire, la presión estática debe monitorearse dentro del recinto. El monitoreo puede hacerse utilizando manómetros, medidores de presión o combinaciones de estos dispositivos. Se recomienda que se conecten a alarmas y registradores gráficos de banda en puntos identificados por el ingeniero de diseño.

Acciones Correctivas: Si los manómetros o los medidores de presión demuestran una reducción del diferencial de presión por debajo del nivel requerido, el trabajo debe cesar y debe investigarse la razón del cambio y hacerse los cambios apropiados. Los patrones de flujo de aire deben volver a probarse antes de que el trabajo comience de nuevo.

Diferencial de Presión: Los parámetros de diseño para los diferenciales de presión estática entre el interior y el exterior de los recintos típicamente oscilan entre 0.02 y 0.10 pulgadas de calibre de agua, dependiendo de las condiciones. Todas las zonas dentro del recinto deben tener menos presión que la presión ambiente fuera del recinto (diferencial de –0.02 pulgadas de calibre de agua). Las especificaciones de diseño para el diferencial varían según el tamaño, la configuración y la forma del recinto, así como las condiciones de presión de aire ambiente y mecánica alrededor del recinto.

Patrones de Flujo de Aire: El flujo de aire más allá de cada trabajador deberá mejorarse posicionando las entradas y los puertos de escape para retirar el aire contaminado de la zona de respiración del trabajador, posicionando las aspiradoras HEPA para extraer aire de la zona de respiración del trabajador, forzando aire relativamente no contaminado más allá del trabajador hacia un puerto de escape, o utilizando una combinación de métodos para reducir la exposición del trabajador.

Escape de la Unidad de Manejo de Aire: La columna de escape de las unidades de manejo de aire debe ubicarse lejos del personal adyacente y de las entradas de los sistemas HVAC.

Volumen de Flujo de Aire: El volumen de flujo de aire (metros cúbicos por minuto) expulsado (retirado) del lugar de trabajo debe exceder la cantidad de aire de reposición suministrado al recinto. El caudal de aire expulsado del recinto debe diseñarse para mantener una presión negativa en el recinto y un movimiento de aire más allá de cada trabajador. El volumen de flujo de aire retirado del recinto debe reemplazar el volumen del contenedor cada 5 a 15 minutos. El volumen de flujo de aire deberá ser relativamente alto para recintos grandes, recintos con formas incómodas, recintos con múltiples aberturas y operaciones que empleen varios trabajadores en el recinto.

Velocidad del Flujo de Aire: En cada abertura, la velocidad del flujo de aire debe «arrastrar» visiblemente el aire hacia el interior del recinto. La velocidad del flujo de aire dentro del recinto debe ser adecuada para retirar la contaminación en el aire de la zona de respiración de cada trabajador, sin perturbar el material que contiene asbesto en las superficies.

Esclusas de Aire: Las esclusas de aire son mecanismos en puertas y cortinas que controlan los patrones de flujo de aire en las puertas. Si ocurre flujo de aire, los patrones a través de las puertas deben ser tales que el aire fluya hacia el interior del recinto. A veces se utilizan vestíbulos, puertas dobles o cortinas dobles para evitar el movimiento de aire a través de las puertas. Para utilizar un vestíbulo, un trabajador entra a una cámara abriendo la puerta o cortina y luego cerrando la entrada antes de abrir la puerta o cortina de salida.

Las esclusas de aire deben ubicarse entre el cuarto de equipo y el cuarto de duchas, entre el cuarto de duchas y el cuarto limpio, y entre el área de almacenamiento de residuos y el exterior del recinto. El flujo de aire entre cuartos adyacentes debe comprobarse utilizando tubos de humo u otras pruebas visuales, para asegurar que los patrones de flujo atraigan el aire hacia el área de trabajo sin producir remolinos.

Monitoreo de las Concentraciones en el Aire

Además de las muestras de la zona de respiración tomadas según lo descrito en el párrafo **(f)** de esta sección, deben tomarse muestras de aire para demostrar la integridad del recinto, la limpieza del cuarto limpio y del área de duchas, y la efectividad del filtro HEPA. Si se muestra que el cuarto limpio está contaminado, el cuarto debe reubicarse en un área no contaminada.

Las muestras tomadas cerca del escape de los sistemas portátiles de ventilación deben hacerse con cuidado.

Prácticas Generales de Trabajo

Evitar la dispersión del polvo es el medio principal de controlar la propagación del asbesto dentro del recinto. Siempre que sea práctico, el punto de retiro debe aislarse, encerrarse, cubrirse o protegerse de los trabajadores en el área. Los materiales de desecho que contienen asbesto deben embolsarse durante el retiro o inmediatamente después; el material debe permanecer saturado hasta que el contenedor de residuos esté sellado.

El material de desecho con puntas o esquinas afiladas debe colocarse en contenedores duros y herméticos, en lugar de bolsas.

Siempre que sea posible, los componentes grandes deben sellarse en lámina de plástico y retirarse intactos.

Las bolsas o contenedores de residuos se llevarán al área de retención de residuos, se lavarán y se envolverán en una bolsa con las etiquetas apropiadas.

Limpieza del Área de Trabajo

Las superficies dentro del área de trabajo deben mantenerse libres de polvo y escombros visibles en la medida de lo factible. Siempre que aparezca polvo visible en las superficies, las superficies dentro del recinto deben limpiarse frotando con una esponja, cepillo o paño húmedo, y luego aspirarse con una aspiradora HEPA.

Todas las superficies dentro del recinto deben limpiarse antes de que se desactive el sistema de ventilación de escape y se desarme el recinto. Un encapsulante aprobado puede rociarse en las áreas después de que se haya retirado el polvo visible.

Apéndice H de la § 1926.1101

Información Técnica de la Sustancia para el Asbesto (No obligatorio)

I. Identificación de la sustancia

A. Sustancia: «Asbesto» es el nombre de una clase de minerales de silicato de magnesio que se presentan en forma fibrosa. Los minerales que se incluyen en este grupo son el crisotilo, la crocidolita, la amosita, el asbesto de antofilita, el asbesto de tremolita y el asbesto de actinolita.

B. El asbesto se usa y se usaba en la fabricación de ropa resistente al calor, forros de frenos y embragues de automóviles, y una variedad de materiales de construcción, incluidos baldosas para pisos, fieltros para techos, losetas para cielo raso, tubería y lámina de asbesto-cemento, y paneles de yeso resistentes al fuego. El asbesto

también está presente en materiales de aislamiento de tuberías y calderas y en materiales aplicados por rociado ubicados en vigas, en espacios reducidos bajo el piso (crawlspaces) y entre paredes.

C. El potencial de que un producto que contiene asbesto libere fibras respirables depende en gran medida de su grado de friabilidad. Friable significa que el material puede desmenuzarse con la presión de la mano y, por lo tanto, es probable que emita fibras. Los materiales fibrosos y esponjosos aplicados por rociado que se usan para protección contra incendios, aislamiento o insonorización se consideran friables, y liberan fácilmente fibras al aire si se les perturba. Materiales como las baldosas de piso de vinilo-asbesto o el fieltro para techos se consideran no friables si están intactos y, por lo general, no emiten fibras al aire a menos que se sometan a lijado, aserrado y otras operaciones agresivas. La tubería o lámina de asbesto-cemento puede emitir fibras al aire si los materiales se cortan o se asierran, o si se rompen.

D. Exposición permisible: La exposición a las fibras de asbesto en el aire no debe exceder 0.1 fibras por centímetro cúbico de aire (0.1 f/cc) promediadas durante la jornada laboral de 8 horas, ni 1 fibra por centímetro cúbico de aire (1.0 f/cc) promediada durante un período de trabajo de 30 minutos.

II. Datos sobre peligros para la salud

A. El asbesto puede causar enfermedades respiratorias incapacitantes y varios tipos de cáncer si las fibras se inhalan. La inhalación o la ingestión de fibras procedentes de la ropa o la piel contaminadas también puede provocar estas enfermedades. Los síntomas de estas enfermedades generalmente no aparecen hasta 20 o más años después de la exposición inicial.

B. Se ha demostrado que la exposición al asbesto causa cáncer de pulmón, mesotelioma y cáncer de estómago y de colon. El mesotelioma es un cáncer raro de la membrana delgada que reviste el tórax y el abdomen. Los síntomas del mesotelioma incluyen dificultad para respirar, dolor en las paredes del tórax y/o dolor abdominal.

III. Respiradores y ropa de protección

A. Respiradores: Usted está obligado a usar un respirador cuando realice tareas que resulten en una exposición al asbesto que exceda el límite permisible de exposición (PEL) de 0.1 f/cc y cuando realice ciertas operaciones designadas. Los respiradores purificadores de aire equipados con un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) pueden usarse donde las concentraciones de fibras de asbesto en el aire no excedan 1.0 f/cc; en caso contrario, deben usarse respiradores más protectores, como los respiradores de pieza facial completa, con suministro de aire y presión positiva. No se permite usar respiradores desechables ni mascarillas contra polvo para el trabajo con asbesto. Para una protección eficaz, los respiradores deben ajustarse ceñidamente a su cara y a su cabeza. Su empleador está obligado a realizarle una prueba de ajuste cuando se le asigne un respirador por primera vez y cada 6 meses a partir de entonces. Los respiradores no deben aflojarse ni retirarse en situaciones de trabajo en las que se requiera su uso.

B. Ropa de protección: Usted está obligado a usar ropa de protección en áreas de trabajo donde las concentraciones de fibras de asbesto excedan el límite permisible de exposición (PEL) de 0.1 f/cc.

IV. Procedimientos de eliminación y limpieza

A. Los desechos que se generan en los procesos en los que el asbesto está presente incluyen:

1. Envases de embarque de asbesto vacíos.

2. Desechos de proceso, como recortes, sobrantes o materiales de rechazo.

3. Desechos de limpieza doméstica (housekeeping) procedentes del barrido en húmedo o de la aspiración con HEPA.

4. Material de asbesto de protección contra incendios o de aislamiento que se retira de los edificios.

5. Productos de construcción que contienen asbesto, retirados durante la renovación o la demolición de edificios.

6. Ropa de protección desechable contaminada.

B. Las bolsas de embarque vacías pueden aplanarse bajo campanas de extracción y empacarse en contenedores herméticos para su eliminación. Los tambores de embarque vacíos son difíciles de limpiar y deben sellarse.

C. Las bolsas de aspiradora o los filtros de papel desechables no deben limpiarse, sino rociarse con una fina niebla de agua y colocarse en un contenedor de desechos rotulado.

D. Los desechos de proceso y los desechos de limpieza doméstica deben humedecerse con agua o con una mezcla de agua y surfactante antes de empacarse en contenedores desechables.

E. El material que contiene asbesto que se retire de los edificios debe eliminarse en bolsas de plástico herméticas a las fugas de 6 milésimas de pulgada (6-mil), en contenedores de cartón con revestimiento de plástico o en contenedores de metal con revestimiento de plástico. Estos desechos, que se retiran mientras están húmedos, deben sellarse en los contenedores antes de que se sequen, para minimizar la liberación de fibras de asbesto durante la manipulación.

V. Acceso a la información

A. Cada año, su empleador está obligado a informarle sobre la información contenida en esta norma y en los apéndices sobre el asbesto. Además, su empleador debe instruirle en las prácticas de trabajo adecuadas para manipular materiales que contienen asbesto y en el uso correcto del equipo de protección.

B. Su empleador está obligado a determinar si usted está siendo expuesto al asbesto. Su empleador debe tratar la exposición al aislamiento de sistemas térmicos y al material de acabado superficial aplicado por rociado y aplicado con llana como exposición al asbesto, a menos que los resultados de los análisis de laboratorio muestren que el material no contiene asbesto. Usted o su representante tiene derecho a observar las mediciones de los empleados y a registrar los resultados obtenidos. Su empleador está obligado a informarle de su exposición y, si usted está expuesto por encima del límite permisible de exposición, está obligado a informarle de las acciones que se están tomando para reducir su exposición a un nivel dentro del límite permisible.

C. Su empleador está obligado a conservar registros de sus exposiciones y de sus exámenes médicos. Estos registros de exposición deben conservarse durante al menos treinta **(30)** años. Los registros médicos deben conservarse durante el período de su empleo más treinta **(30)** años.

D. Su empleador está obligado a entregar sus registros de exposición y sus registros médicos a su médico o a su representante designado, previa solicitud escrita de usted.

Apéndice I de la § 1926.1101
Lineamientos de Vigilancia Médica para el Asbesto (No obligatorio)

I. Vía de entrada

Inhalación, ingestión.

II. Toxicología

La evidencia clínica de los efectos adversos asociados con la exposición al asbesto está presente en forma de varios estudios epidemiológicos bien conducidos de trabajadores expuestos ocupacionalmente, contactos familiares de trabajadores y personas que viven cerca de minas de asbesto. Estos estudios han mostrado una asociación definida entre la exposición al asbesto y una mayor incidencia de cáncer de pulmón, mesotelioma pleural y peritoneal, cáncer gastrointestinal y asbestosis. Esta última es una enfermedad pulmonar fibrótica incapacitante que es causada únicamente por la exposición al asbesto. La exposición al asbesto también se ha asociado con una mayor incidencia de cánceres de esófago, de riñón, de laringe, de faringe y de cavidad bucal. Como ocurre con otras enfermedades ocupacionales crónicas conocidas, la enfermedad asociada con el asbesto aparece generalmente unos 20 años después de la primera exposición: no se conocen efectos agudos asociados

con la exposición al asbesto.

Los estudios epidemiológicos indican que el riesgo de cáncer de pulmón entre los trabajadores expuestos que fuman cigarrillos aumenta mucho en comparación con el riesgo de cáncer de pulmón entre los fumadores no expuestos o los no fumadores expuestos. Estos estudios sugieren que la cesación del tabaquismo reducirá el riesgo de cáncer de pulmón de una persona expuesta al asbesto, pero no lo reducirá al mismo nivel de riesgo que existe para un trabajador expuesto que nunca ha fumado.

III. Signos y síntomas de la enfermedad relacionada con la exposición

Los signos y los síntomas del cáncer de pulmón o del cáncer gastrointestinal inducidos por la exposición al asbesto no son únicos, excepto que una radiografía de tórax de un paciente expuesto con cáncer de pulmón puede mostrar placas pleurales, calcificación pleural o fibrosis pleural, y puede mostrar también asbestosis (es decir, pequeñas opacidades parenquimatosas irregulares). Los síntomas característicos del mesotelioma incluyen dificultad para respirar, dolor en el tórax o dolor abdominal. El mesotelioma tiene un período de latencia promedio mucho más largo en comparación con el cáncer de pulmón (40 años frente a 15-20 años), y por lo tanto es más probable que el mesotelioma se encuentre entre trabajadores que estuvieron expuestos por primera vez al asbesto a una edad temprana. El mesotelioma es una enfermedad mortal.

La asbestosis es una fibrosis pulmonar causada por la acumulación de fibras de asbesto en los pulmones. Los síntomas incluyen dificultad para respirar, tos, fatiga y sensaciones vagas de malestar. Cuando la fibrosis empeora, la dificultad para respirar ocurre incluso en reposo. El diagnóstico de la asbestosis se basa más comúnmente en un historial de exposición al asbesto, la presencia de anomalías radiológicas características, crepitantes al final de la inspiración (estertores) y otras características clínicas de la enfermedad pulmonar fibrosante. En las radiografías de tórax pueden observarse placas y engrosamiento pleurales. La asbestosis es a menudo una enfermedad progresiva incluso en ausencia de exposición continua, aunque esto parece ser una característica sumamente individualizada. En casos graves, la muerte puede ser causada por insuficiencia respiratoria o cardíaca.

IV. Consideraciones de vigilancia y prevención

Como se señaló anteriormente, la exposición al asbesto se ha vinculado con un mayor riesgo de cáncer de pulmón, mesotelioma, cáncer gastrointestinal y asbestosis entre los trabajadores expuestos ocupacionalmente. En la actualidad no existen pruebas de detección adecuadas para determinar el potencial de un empleado de desarrollar enfermedades crónicas graves, como un cáncer, a partir de la exposición al asbesto. Sin embargo, algunas pruebas, en particular las radiografías de tórax y las pruebas de función pulmonar, pueden indicar que un empleado ha estado sobreexpuesto al asbesto, lo que aumenta su riesgo de desarrollar enfermedades crónicas relacionadas con la exposición. Es importante que el médico se familiarice con las condiciones de operación en las que es probable que ocurra la exposición ocupacional al asbesto. Esto es particularmente importante al evaluar los historiales médicos y laborales y al realizar los exámenes físicos. Cuando se ha identificado que un empleado en activo ha estado sobreexpuesto al asbesto, las medidas tomadas por el empleador para eliminar o mitigar la exposición posterior también deberían reducir el riesgo de consecuencias graves a largo plazo.

El empleador está obligado a instituir un programa de vigilancia médica para todos los empleados que estén o vayan a estar expuestos al asbesto en el límite permisible de exposición (0.1 fibra por centímetro cúbico de aire) o por encima de él. Todos los exámenes y procedimientos deben ser realizados por un médico con licencia, o bajo su supervisión, en un momento y lugar razonables, y sin costo alguno para el empleado.

Aunque se concede amplia libertad al médico para prescribir pruebas específicas que se incluyan en el programa de vigilancia médica, OSHA exige la inclusión de los siguientes elementos en el examen de rutina:

(i) Historiales médicos y laborales, con especial énfasis en los síntomas del sistema respiratorio, del sistema cardiovascular y del tracto digestivo.

(ii) La cumplimentación del cuestionario de enfermedades respiratorias contenido en el apéndice D.

(iii) Un examen físico que incluya una radiografía de tórax y una prueba de función pulmonar que incluya la medición de la capacidad vital forzada (FVC) del empleado y del volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV1).

(iv) Cualquier prueba de laboratorio u otra prueba que el médico examinador considere necesaria según la buena práctica médica.

El empleador está obligado a poner las pruebas prescritas a disposición de los empleados cubiertos por lo menos una vez al año; con mayor frecuencia de la especificada, si lo recomienda el médico examinador; y al término del empleo.

El empleador está obligado a proporcionar al médico la siguiente información: una copia de esta norma y de los apéndices; una descripción de las funciones del empleado en lo que se relacionan con la exposición al asbesto; el nivel de exposición al asbesto representativo del empleado; una descripción de cualquier equipo de protección personal y respiratoria utilizado; e información de exámenes médicos anteriores del empleado afectado que no esté disponible para el médico por otra vía. Poner esta información a disposición del médico ayudará en la evaluación de la salud del empleado en relación con las funciones asignadas y con su aptitud para usar equipo de protección personal, si se requiere.

El empleador está obligado a obtener una opinión escrita del médico examinador que contenga los resultados del examen médico; la opinión del médico sobre si el empleado tiene alguna condición médica detectada que lo colocaría en un riesgo mayor de sufrir una enfermedad relacionada con la exposición; cualquier limitación recomendada sobre el empleado o sobre el uso de equipo de protección personal; y una declaración de que el médico ha informado al empleado sobre los resultados del examen médico y sobre cualquier condición médica relacionada con la exposición al asbesto que requiera mayor explicación o tratamiento. Esta opinión escrita no debe revelar hallazgos ni diagnósticos específicos no relacionados con la exposición al asbesto, y debe proporcionarse una copia de la opinión al empleado afectado.

Apéndice J de la § 1926.1101

Información del Programa de Cesación del Tabaquismo para el Asbesto (No obligatorio)

Las siguientes organizaciones proporcionan información sobre la cesación del tabaquismo.

1. El Instituto Nacional del Cáncer (National Cancer Institute) opera un Servicio de Información sobre el Cáncer (CIS) de llamada gratuita, con personal capacitado para ayudarle. Llame al 1-800-4-CANCER * para comunicarse con la oficina del CIS que atiende su área, o escriba a: Office of Cancer Communications, National Cancer Institute, National Institutes of Health, Building 31 Room 10A24, Bethesda, Maryland 20892.

La Sociedad Americana contra el Cáncer (American Cancer Society, ACS) es una organización voluntaria compuesta por 58 divisiones y 3,100 unidades locales. A través de «The Great American Smokeout» en noviembre, la Cruzada Anual contra el Cáncer (Cancer Crusade) en abril y numerosos materiales educativos, la ACS ayuda a las personas a conocer los peligros del tabaquismo para la salud y a convertirse en ex fumadores exitosos.

La Asociación Americana del Corazón (American Heart Association, AHA) es una organización voluntaria con 130,000 miembros (médicos, científicos y legos) en 55 grupos estatales y regionales. La AHA produce una variedad de publicaciones y materiales audiovisuales sobre los efectos del tabaquismo en el corazón. La AHA también ha desarrollado una guía para incorporar un componente de control de peso en los programas de cesación del tabaquismo.

La Asociación Americana del Pulmón (American Lung Association, ALA), una organización voluntaria de 7,500 miembros (médicos, enfermeras y legos), lleva a cabo numerosos programas de información pública sobre los efectos del tabaquismo en la salud. La ALA tiene 59 unidades estatales y 85 unidades locales. La organización apoya activamente la legislación y las campañas de información a favor de los derechos de los no fumadores y

proporciona ayuda a los fumadores que desean dejar de fumar, por ejemplo, a través de «Freedom From Smoking», un programa de autoayuda para la cesación del tabaquismo.

La Oficina sobre Tabaquismo y Salud (Office on Smoking and Health, OSH) es la agencia principal del Departamento de Salud y Servicios Humanos en el control del tabaquismo. La OSH ha patrocinado la distribución de publicaciones sobre temas relacionados con el tabaquismo, como folletos gratuitos sobre la recaída después de haber dejado de fumar inicialmente, cómo ayudar a un amigo o familiar a dejar de fumar, los peligros del tabaquismo para la salud y los efectos del tabaquismo de los padres en los adolescentes.

* En Hawái, en Oahu llame al 524-1234 (llame por cobrar desde las islas vecinas).

Hay personal que habla español disponible durante el horario diurno para quienes llamen desde las siguientes áreas: California, Florida, Georgia, Illinois, Nueva Jersey (código de área 201), Nueva York y Texas. Consulte su directorio telefónico local para encontrar los listados de las secciones locales.

Apéndice K de la § 1926.1101
Microscopía de Luz Polarizada del Asbesto (No obligatorio)

Los fabricantes y los productos comerciales mencionados en este método son solo para uso descriptivo y no constituyen respaldo alguno por parte del USDOL-OSHA. Pueden sustituirse por productos similares de otras fuentes.

1. Introducción

Este método describe la recolección y el análisis de materiales a granel con asbesto mediante técnicas de microscopía óptica, incluidas la iluminación fase-polar y la microscopía de dispersión con diafragma central. A continuación se definen algunos términos propios del análisis de asbesto:

Anfíbol: Una familia de minerales cuyos cristales están formados por unidades largas y delgadas que tienen dos cintas delgadas de silicato de cadena doble con una cinta de brucita en medio. La forma de cada unidad es similar a una «viga en I». Los minerales importantes en el análisis de asbesto incluyen la cummingtonita-grunerita, la crocidolita, la tremolita-actinolita y la antofilita.

Asbesto: Un término para los minerales fibrosos de origen natural. El asbesto incluye el crisotilo, el asbesto de cummingtonita-grunerita (amosita), el asbesto de antofilita, el asbesto de tremolita, la crocidolita, el asbesto de actinolita y cualquiera de estos minerales que haya sido tratado o alterado químicamente. La formulación química precisa de cada especie varía según el lugar del que fue extraído. Las composiciones nominales se enumeran a continuación:

Crisotilo	Mg3 Si2 O5 (OH)4
Crocidolita (asbesto de riebeckita)	Na2 Fe3 2 + Fe2 3 + Si8 O22 (OH)2
Asbesto de cummingtonita-grunerita (amosita)	(Mg,Fe)7 Si8 O22 (OH)2
Asbesto de tremolita-actinolita	Ca2 (Mg,Fe)5 Si8 O22 (OH)2
Asbesto de antofilita	(Mg,Fe)7 Si8 O22 (OH)2

Fibra de asbesto: Una fibra de asbesto que cumple los criterios de fibra. (Véase la sección 3.5 de este apéndice)

Relación de aspecto: La relación entre la longitud de una fibra y su diámetro, definida generalmente como «longitud : anchura», p. ej., 3:1.

Brucita: Un mineral laminar con la composición Mg(OH)2.

Tinción por dispersión con diafragma central (microscopio): Es una técnica de microscopio de campo oscuro que forma la imagen de las partículas utilizando solo la luz refractada por la partícula, excluyendo la luz que atraviesa la partícula sin refractarse. Esto se logra generalmente con un objetivo McCrone o con otra disposición que coloca un diafragma circular, con una abertura aparente igual a la abertura del objetivo, en el plano focal posterior del

microscopio.

Fragmentos de exfoliación: Partículas minerales formadas por la conminución de minerales, especialmente las que se caracterizan por lados relativamente paralelos y una relación de aspecto moderada.

Conteo diferencial: El término que se aplica a la práctica de excluir ciertos tipos de fibras de un conteo de asbesto por contraste de fase porque no son asbesto.

Fibra: Una partícula de longitud mayor o igual a 5 µm con una relación longitud-anchura mayor o igual a 3:1. Esto puede incluir fragmentos de exfoliación. (Véase la sección 3.5 de este apéndice).

Contraste de fase: Contraste que se obtiene en el microscopio haciendo que la luz dispersada por partículas pequeñas interfiera destructivamente con la luz no dispersada, con lo que se mejora la visibilidad de partículas muy pequeñas y de partículas con un contraste intrínseco muy bajo.

Microscopio de contraste de fase: Un microscopio configurado con un par de máscaras de fase para crear contraste de fase. La técnica que lo utiliza se llama microscopía de contraste de fase (PCM).

Análisis fase-polar: Es el uso de luz polarizada en un microscopio de contraste de fase. Se usa para ver las fibras del mismo tamaño que son visibles en el análisis de filtros de aire. Aunque son visibles las fibras más finas de 1 µm, el análisis de estas se infiere del análisis de los haces más grandes que suelen estar presentes.

Microscopio fase-polar: El microscopio fase-polar es un microscopio de contraste de fase que tiene colocados un analizador, un polarizador, una lámina de rojo de primer orden y un condensador de fase giratorio, de modo que la imagen de luz polarizada se ve realzada por el contraste de fase.

Encapsulante sellador: Es un producto que puede aplicarse, preferiblemente por rociado, sobre una superficie de asbesto y que sellará la superficie de modo que no puedan liberarse fibras.

Serpentina: Una familia de minerales que consiste en minerales con la composición general Mg3(Si2 O5(OH)4, que tienen el magnesio en una capa de brucita sobre una capa de silicato. Los minerales importantes en el análisis de asbesto incluidos en esta familia son el crisotilo, la lizardita y la antigorita.

1.1. Historia

La microscopía óptica se ha usado durante más de 100 años para la determinación de especies minerales. Este análisis se lleva a cabo utilizando microscopios polarizantes especializados, así como microscopios de campo claro. La identificación de minerales es un proceso continuo, en el que se describen muchos minerales nuevos cada año. El primer uso registrado del asbesto fue en Finlandia, alrededor del año 2500 a. C., donde el material se usó en el bahareque de barro de las cabañas de madera en las que vivía la gente, así como de refuerzo para la cerámica. Los efectos adversos del mineral sobre la salud se observaron hace casi 2000 años, cuando Plinio el Joven escribió sobre la mala salud de los esclavos en las minas de asbesto. Aunque se sabe que es perjudicial desde hace siglos, las primeras referencias modernas a su toxicidad provinieron de la Inspección de Trabajo británica, cuando prohibió el polvo de asbesto en el lugar de trabajo en 1898. Los casos de asbestosis se describieron en la literatura después del cambio de siglo. El cáncer se sospechó por primera vez a mediados de la década de 1930 y en 1965 se estableció un vínculo causal con el mesotelioma. Debido a la preocupación pública por la seguridad de los trabajadores y del público en relación con el uso de este material, se aplicaron varios tipos diferentes de análisis a la determinación del contenido de asbesto. La microscopía óptica requiere mucha experiencia y destreza. Se intentó aplicar métodos menos subjetivos al análisis. La difracción de rayos X fue parcialmente exitosa en la determinación de los tipos de minerales, pero fue incapaz de separar las porciones fibrosas de las porciones no fibrosas. Además, el límite mínimo de detección del análisis de asbesto por difracción de rayos X (XRD) es de aproximadamente 1%. El análisis térmico diferencial (DTA) no fue más exitoso. Estos métodos proporcionan información corroborativa útil cuando la presencia de asbesto ha sido demostrada por microscopía; sin embargo, ninguno de ellos puede determinar la diferencia entre minerales fibrosos y no fibrosos cuando ambos hábitos están presentes. Lo mismo ocurre con la absorción por infrarrojos (IR).

Cuando se aplicó la microscopía electrónica al análisis de asbesto, se descubrieron cientos de fibras presentes, demasiado pequeñas para ser visibles en cualquier microscopio óptico. Hay dos tipos diferentes de microscopio electrónico que se usan para el análisis de asbesto: el microscopio electrónico de barrido (SEM) y el microscopio electrónico de transmisión (TEM). La microscopía electrónica de barrido es útil para identificar minerales. El SEM puede proporcionar dos de las tres piezas de información requeridas para identificar fibras por microscopía electrónica: la morfología y la química. La tercera es la estructura, según la determina la difracción de electrones de área selecta (SAED), que se realiza en el TEM. Aunque la resolución del SEM es suficiente para que puedan verse fibras muy finas, la exactitud del análisis químico que puede realizarse en las fibras varía con el diámetro de la fibra en fibras de menos de 0.2 µm de diámetro. El TEM es una herramienta poderosa para identificar fibras demasiado pequeñas para ser resueltas por la microscopía óptica y debe usarse junto con este método cuando sea necesario. El TEM puede proporcionar las tres piezas de información requeridas para la identificación de fibras. La mayoría de las fibras de más de 1 µm de grosor pueden definirse adecuadamente en el microscopio óptico. El microscopio óptico sigue siendo el mejor instrumento para la determinación del tipo de mineral. Esto se debe a que los minerales en investigación fueron descritos analíticamente por primera vez con el microscopio óptico. Es económico y proporciona identificación positiva de la mayoría de las muestras analizadas. Además, cuando las técnicas ópticas son inadecuadas, hay amplia indicación de que deben usarse técnicas alternativas para la identificación completa de la muestra.

1.2. Principio

Los minerales consisten en átomos que pueden estar dispuestos en orden aleatorio o en una disposición regular. Los materiales amorfos tienen los átomos en orden aleatorio, mientras que los materiales cristalinos tienen orden de largo alcance. Muchos materiales son transparentes a la luz, al menos en partículas pequeñas o en secciones delgadas. Las propiedades de estos materiales pueden investigarse mediante el efecto que el material tiene sobre la luz que lo atraviesa. Los seis minerales de asbesto son todos cristalinos, con propiedades particulares que han sido identificadas y catalogadas. Estos seis minerales son anisótropos. Tienen una disposición regular de átomos, pero la disposición no es la misma en todas las direcciones. Cada dirección principal del cristal presenta una regularidad diferente. Los fotones de luz que viajan en cada una de estas direcciones principales encontrarán vecindarios eléctricos diferentes, lo que afectará la trayectoria y el tiempo de viaje. Las técnicas descritas en este método utilizan el hecho de que la luz que viaja a través de fibras o cristales en direcciones diferentes se comportará de manera diferente, aunque predecible. El comportamiento de la luz al viajar a través de un cristal puede medirse y compararse con valores conocidos o determinados para identificar la especie mineral. Generalmente, la microscopía de luz polarizada (PLM) se realiza con objetivos libres de tensión en una plataforma de microscopio de campo claro. Esto limitaría la resolución del microscopio a aproximadamente 0.4 µm. Como OSHA exige el conteo y la identificación de las fibras visibles en contraste de fase, se usa la plataforma de contraste de fase para visualizar las fibras, con los elementos polarizantes añadidos a la trayectoria de la luz. Los métodos de luz polarizada no pueden identificar fibras de menos de aproximadamente 1 µm de diámetro, aunque sean visibles. Las fibras más finas se identifican generalmente por inferencia a partir de la presencia de haces de fibras más grandes e identificables. Cuando hay fibras presentes pero no identificables por microscopía óptica, use el SEM o el TEM para determinar la identidad de la fibra.

1.3. Ventajas y desventajas

Las ventajas de la microscopía óptica son:

(a) La identificación básica de los materiales se realizó por primera vez mediante microscopía óptica y análisis macroscópico. Esto proporciona una gran base de información publicada contra la cual contrastar el análisis y la técnica analítica.

(b) El análisis es específico de las fibras. Los minerales presentes pueden existir en variedades asbestiforme, fibrosa, prismática o masiva, todas al mismo tiempo. Por lo tanto, los métodos de análisis a granel, como la difracción de rayos X, el análisis por IR, el DTA, etc., son inapropiados cuando no se sabe si el material es fibroso.

(c) El análisis es rápido, requiere poco tiempo de preparación y puede realizarse en el sitio si se dispone de un microscopio equipado adecuadamente.

Las desventajas son:

(a) Incluso usando iluminación fase-polar, es posible que no se vean todas las fibras presentes. Esto es un problema en concentraciones de asbesto muy bajas, en las que pueden no estar presentes aglomeraciones ni haces grandes de fibras que permitan la identificación por inferencia.

(b) El método requiere un alto grado de sofisticación por parte del microscopista. Un analista es solo tan útil como su catálogo mental de imágenes. Por lo tanto, la exactitud de un microscopista se ve realzada por la experiencia. La formación mineralógica del analista es muy importante. Es la base sobre la que se toman las decisiones subjetivas.

(c) El método usa solo una cantidad diminuta de material para el análisis. Esto puede dar lugar a sesgo de muestreo y a resultados falsos (altos o bajos). Esto es especialmente cierto si la muestra es gravemente inhomogénea.

(d) Las fibras pueden estar ligadas dentro de una matriz y no distinguirse como fibras, por lo que no puede hacerse la identificación.

1.4. Desempeño del método

1.4.1. Este método puede usarse para la determinación del contenido de asbesto desde 0 hasta 100% de asbesto. El límite de detección no se ha determinado adecuadamente, aunque para muestras seleccionadas el límite es muy bajo, dependiendo del número de partículas examinadas. Para muestras en su mayoría homogéneas y finamente divididas, sin interferencias fibrosas difíciles, el límite de detección está por debajo de 1%. Para muestras inhomogéneas (la mayoría de las muestras), el límite de detección permanece indefinido. El NIST ha realizado pruebas de aptitud (proficiency testing) de laboratorios a escala nacional. Aunque cada ronda se reporta estadísticamente con un promedio, límites de control, etc., los resultados indican una dificultad para establecer la precisión, especialmente en el rango de concentración bajo. Se sospecha que existe un sesgo significativo en el rango bajo, especialmente cerca de 1%. La EPA trató de remediar esto exigiendo un esquema obligatorio de conteo por puntos para muestras de menos de 10%. El procedimiento de conteo por puntos es tedioso y puede introducir sesgos significativos propios. No se ha incorporado a este método.

1.4.2. La precisión y la exactitud de las pruebas de cuantificación realizadas en este método se desconocen. Las concentraciones son más fáciles de determinar en productos comerciales en los que el asbesto se añadió deliberadamente, porque la cantidad suele ser de más de unos pocos por ciento. Los resultados de un analista pueden «calibrarse» contra las cantidades conocidas añadidas por el fabricante. En las muestras geológicas, el grado de homogeneidad afecta la precisión.

1.4.3. El desempeño del método depende del analista. El analista debe escoger con cuidado, y no necesariamente al azar, las porciones destinadas al análisis, para asegurarse de que la detección del asbesto ocurra cuando este esté presente. Por esta razón, el analista debe tener formación adecuada en la preparación de muestras y experiencia en la localización e identificación del asbesto en las muestras. Esto suele lograrse mediante una capacitación sustancial en el puesto de trabajo, así como una educación formal en mineralogía y microscopía.

1.5. Interferencias

Cualquier material que sea largo, delgado y lo suficientemente pequeño para ser visto bajo el microscopio puede considerarse una interferencia para el asbesto. Hay literalmente cientos de interferencias en los lugares de trabajo. Las técnicas descritas en este método son normalmente suficientes para eliminar las interferencias. El éxito de un analista en eliminar las interferencias depende de una formación adecuada.

Los minerales de asbesto pertenecen a dos familias de minerales: las serpentinas y los anfíboles. En la familia de la serpentina, el único mineral fibroso común es el crisotilo. Ocasionalmente, el mineral antigorita se presenta en un hábito de fibrilla con una morfología similar a la de los anfíboles. Los minerales de anfíbol consisten en una

veintena de minerales diferentes, de los cuales solo cinco están regulados por norma federal: la amosita, la crocidolita, el asbesto de antofilita, el asbesto de tremolita y el asbesto de actinolita. Estos son los únicos minerales de anfíbol que han sido explotados comercialmente por sus propiedades fibrosas; sin embargo, el resto puede presentarse, y de hecho se presenta, ocasionalmente en hábito asbestiforme.

Además de las interferencias de minerales relacionados, otros minerales comunes en los materiales de construcción pueden presentar un problema para algunos microscopistas: el yeso, la anhidrita, la brucita, las fibras de cuarzo, las fibras o cintas de talco, la wollastonita, la perlita, la atapulgita, etc. Otros materiales fibrosos comúnmente presentes en los lugares de trabajo son: la fibra de vidrio, la lana mineral, la lana cerámica, las fibras cerámicas refractarias, el kevlar, el nomex, las fibras sintéticas, las fibras de grafito o de carbono, las fibras de celulosa (de papel o de madera), las fibras metálicas, etc.

El material de matriz de inclusión puede ser a veces una interferencia negativa. Es posible que el analista no pueda extraer fácilmente las fibras de la matriz para usar el método. Donde sea posible, retire la matriz antes del análisis, tomando nota cuidadosa de la pérdida de peso. Algunos materiales de matriz comunes son: el vinilo, el caucho, el alquitrán, la pintura, la fibra vegetal, el cemento y el epoxi. Una interferencia negativa adicional es que las propias fibras de asbesto pueden ser demasiado pequeñas para ser vistas en la microscopía de contraste de fase (PCM) o de muy baja calidad fibrosa, con apariencia de fibras vegetales. La capacidad del analista para tratar con estos materiales aumenta con la experiencia.

1.6. Usos y exposición ocupacional

El asbesto es ubicuo en el medio ambiente. Más de 40% de la superficie terrestre de los Estados Unidos está compuesta por minerales que pueden contener asbesto. Afortunadamente, la formación real de grandes cantidades de asbesto es relativamente rara. No obstante, hay lugares en los que la exposición ambiental puede ser grave, como en las Colinas de Serpentina (Serpentine Hills) de California.

Hay miles de usos del asbesto en la industria y en el hogar. Los trabajadores de remoción de asbesto (abatement) son el segmento más actual de la población con exposición ocupacional a grandes cantidades de asbesto. Si el material no se altera, no hay exposición. La exposición ocurre cuando el material que contiene asbesto es desgastado por abrasión o alterado de otro modo durante operaciones de mantenimiento o alguna otra actividad. Aproximadamente 95% del asbesto instalado en los Estados Unidos es crisotilo.

La amosita y la crocidolita componen casi toda la diferencia. La tremolita y la antofilita componen un porcentaje muy pequeño. La tremolita se encuentra en cantidades extremadamente pequeñas en ciertos depósitos de crisotilo. La exposición a la actinolita es probablemente mayor por fuentes ambientales, pero se ha identificado en materiales aislantes aplicados por rociado que contienen vermiculita y que pudieron haber sido certificados como libres de asbesto.

1.7. Propiedades físicas y químicas

Las composiciones químicas nominales de los minerales de asbesto se dieron en la Sección 1. Comparadas con los fragmentos de exfoliación de los mismos minerales, las fibras asbestiformes poseen una alta resistencia a la tracción a lo largo del eje de la fibra. Son químicamente inertes, incombustibles y resistentes al calor. Excepto el crisotilo, son insolubles en ácido clorhídrico (HCl). El crisotilo es ligeramente soluble en HCl. El asbesto tiene alta resistencia eléctrica y buenas características de absorción del sonido. Puede tejerse en cables, telas u otros textiles, o afieltrarse en papeles, fieltros y esteras.

1.8. Toxicología (Esta sección es solo con fines informativos y no debe tomarse como política de OSHA)

Los posibles resultados fisiológicos de la exposición respiratoria al asbesto son el mesotelioma de la pleura o del peritoneo, la fibrosis intersticial, la asbestosis, la neumoconiosis o el cáncer respiratorio. Las posibles consecuencias de la exposición al asbesto se detallan en el Documento de Criterios del NIOSH o en las Normas sobre Asbesto de OSHA, 29 CFR 1910.1001, 29 CFR 1926.1101 y 29 CFR 1915.1001.

2. Procedimiento de muestreo

2.1. Equipo para el muestreo

(a) Dispositivo de muestreo de tubo o de sacabocados

(b) Cuchillo

(c) Vial de centelleo de 20 mL o vial similar

(d) Encapsulante sellador

2.2. Precauciones de seguridad

El asbesto es un carcinógeno conocido. Tenga cuidado al tomar las muestras. Mientras se encuentre en una atmósfera que contenga asbesto, debe usarse un respirador debidamente seleccionado y con prueba de ajuste realizada. Tome las muestras de manera que se produzca la menor cantidad de polvo. Siga estas pautas generales:

(a) No produzca polvo innecesario.

(b) Tome solo una cantidad pequeña (1 a 2 g).

(c) Cierre herméticamente el contenedor de la muestra.

(d) Use encapsulante para sellar el punto donde se tomó la muestra, si es necesario.

2.3. Procedimiento de muestreo

Las muestras de cualquier material sospechoso deben tomarse de un lugar discreto. Donde el material haya de permanecer, selle la herida de muestreo con un encapsulante para eliminar el potencial de exposición desde el sitio de la muestra. La microscopía requiere solo unos pocos miligramos de material. La cantidad que llena un vial de centelleo de 20 mL es más que adecuada. Asegúrese de recolectar muestras de todas las capas y fases del material. Si es posible, haga muestras separadas de cada fase diferente del material. Esto ayudará a determinar el peligro real. NO USE SOBRES NI BOLSAS DE PLÁSTICO O DE PAPEL DE NINGÚN TIPO PARA RECOLECTAR MUESTRAS. El uso de bolsas de plástico presenta un peligro de contaminación para el personal de laboratorio y para otras muestras. Cuando estos contenedores se abren, un efecto de fuelle expulsa las fibras del contenedor sobre todo, incluida la persona que abre el contenedor.

Si se dispone de un muestreador tipo sacabocados, empuje el tubo a través de todo el material, de modo que se muestreen todas las capas del material. Algunos muestreadores están destinados a ser desechables. Estos deben taparse y enviarse al laboratorio. Si se usa un sacabocados no desechable, vacíe el contenido en un vial de centelleo y envíelo al laboratorio. Limpie el sacabocados de forma vigorosa y completa entre muestras.

2.4 Envío

Las muestras empacadas en viales de vidrio no deben tocarse entre sí, o podrían romperse durante el envío.

(a) Selle las muestras con un sello de muestra sobre el extremo, como protección contra alteraciones y para identificar la muestra.

(b) Empaque las muestras a granel en paquetes separados de las muestras de aire. Pueden contaminarse mutuamente e invalidarán los resultados de las muestras de aire.

(c) Incluya con las muestras la documentación de identificación, pero no en contacto con el asbesto sospechoso.

(d) Para mantener la responsabilidad y el control (accountability) de las muestras, envíelas por correo certificado, por mensajería exprés nocturna, o llévelas personalmente al laboratorio.

3. Análisis

El análisis de las muestras de asbesto puede dividirse en dos partes principales: la preparación de la muestra y la microscopía. Debido a los diferentes usos del asbesto con los que puede encontrarse el analista, cada muestra puede necesitar pasos de preparación diferentes. Las opciones se describen a continuación. Hay varias pruebas diferentes que se realizan para identificar las especies de asbesto y determinar el porcentaje. Se explicarán a continuación.

3.1. Seguridad

(a) **No cree polvo innecesario.** Manipule las muestras en campanas equipadas con filtro HEPA. Si las muestras se reciben en bolsas, sobres u otro contenedor inapropiado, ábralas solo en una campana que tenga una velocidad frontal igual o mayor a 100 fpm. Transfiera una cantidad pequeña a un vial de centelleo y manipule únicamente la cantidad menor.

(b) Abra las muestras en una campana, nunca en el área abierta del laboratorio.

(c) Los aceites de índice de refracción pueden ser tóxicos. Tenga cuidado de que este material no entre en contacto con la piel. Si esto sucede, lávese de inmediato con agua y jabón.

(d) Las muestras que han sido calentadas en el horno de mufla o en el horno de secado pueden estar calientes. Manipúlelas con pinzas hasta que se enfríen lo suficiente para manipularlas.

(e) Algunos de los solventes utilizados, como el THF (tetrahidrofurano), son tóxicos y solo deben manipularse en una campana de extracción de gases apropiada y de acuerdo con las instrucciones dadas en la Hoja de Datos de Seguridad (SDS).

3.2. Equipo

(a) Microscopio de contraste de fase con objetivos de 10x, 16x y 40x, oculares de campo amplio de 10x, retícula G-22 de Walton-Beckett, disco de Whipple, polarizador, analizador y lámina de rojo de primer orden o lámina de yeso, iluminador de 100 watts, condensador de posición giratoria con anillos de fase sobredimensionados, objetivo de dispersión con diafragma central, iluminación de Köhler y platina mecánica giratoria.

(b) Microscopio estereoscópico con iluminación de luz reflejada, iluminación de luz transmitida, polarizador, analizador y lámina de rojo de primer orden o lámina de yeso, y platina giratoria.

(c) Campana de presión negativa para el microscopio estereoscópico

(d) Horno de mufla con capacidad de 600 °C

(e) Horno de secado con capacidad de 50-150 °C

(f) Bandejas de aluminio para especímenes

(g) Pinzas para manipular las muestras en el horno

(h) Aceites de índice de refracción de alta dispersión (especiales para la tinción por dispersión).

(i) Un juego de aceites de índice de refracción desde aproximadamente n = 1.350 hasta n = 2.000, en incrementos de n = 0.005. (Estándar para el análisis de línea de Becke).

(j) Portaobjetos de vidrio con extremos pintados o esmerilados, de 1 × 3 pulgadas y 1 mm de grosor, prelimpiados.

(k) Cubreobjetos de 22 × 22 mm, #1 1/2

(l) Clips o agujas de disección

(m) Amoladora manual

(n) Bisturí con hojas #10 y #11

(o) HCl 0.1 molar

(p) Solución descalcificante (Baxter Scientific Products)

Ácido etilendiaminotetraacético, tetrasódico	0.7 g/l
Tartrato de sodio y potasio	8.0 mg/litro
Ácido clorhídrico	99.2 g/litro
Tartrato de sodio	0.14 g/litro

(q) Tetrahidrofurano (THF)

(r) Placa calefactora con capacidad de 60 °C

(s) Balanza

(t) Hoja de segueta

(u) Mortero y pilón de rubí

3.3. Preparación previa de la muestra

La preparación de la muestra comienza con la preparación previa, que puede incluir la reducción química de la matriz, el calentamiento de la muestra hasta la sequedad o el calentamiento en el horno de mufla. El resultado final es una muestra que ha sido reducida a un polvo lo suficientemente fino como para caber bajo el cubreobjetos. Analice por separado las diferentes fases de las muestras; p. ej., la baldosa y el mástico de la baldosa deben analizarse por separado, ya que el mástico puede contener asbesto mientras que la baldosa puede no contenerlo.

(a) Muestras húmedas

Las muestras con un alto contenido de agua no darán los colores de dispersión adecuados y deben secarse antes del montaje de la muestra. Retire la tapa del vial de centelleo, coloque el frasco en el horno de secado y caliéntelo a 100 °C hasta la sequedad (generalmente unas 2 h). Las muestras que no se envíen al laboratorio en vidrio deben retirarse y colocarse en viales de vidrio o en bandejas de pesaje de aluminio antes de colocarlas en el horno de secado.

(b) Muestras con interferencia orgánica — Horno de mufla

Estas pueden incluir muestras con alquitrán como matriz, baldosa de vinilo con asbesto, o cualquier otro material orgánico que pueda reducirse por calentamiento. Retire la muestra del vial y pésela en una balanza para determinar el peso de la porción enviada. Coloque la muestra en un horno de mufla a 500 °C durante 1 a 2 h, o hasta que se haya eliminado todo el material orgánico evidente. Recupérela, déjela enfriar y pésela de nuevo para determinar la pérdida de peso por ignición. Esto es necesario para determinar el contenido de asbesto de la muestra enviada, porque el analista estará observando una muestra reducida.

Nota:

Calentar por encima de 600 °C hará que la muestra experimente un cambio estructural que, dado el tiempo suficiente, convertirá el crisotilo en forsterita. Calentar incluso a temperaturas más bajas durante 1 a 2 h puede tener un efecto medible sobre las propiedades ópticas de los minerales. Si el analista no está seguro de lo que debe esperar, debe calentarse una muestra de asbesto estándar a la misma temperatura y durante el mismo tiempo, de modo que pueda examinarse para la interpretación correcta.

(c) Muestras con interferencia orgánica — THF

La baldosa de vinilo con asbesto es el material más común tratado con este solvente, aunque las sustancias que contienen alquitrán a veces ceden a este tratamiento. Seleccione una porción del material y luego tritúrela si es posible. Pese la muestra y colóquela en un tubo de ensayo. Añada suficiente THF para disolver la matriz orgánica. Esto suele ser unos 4 a 5 mL. Recuerde que el THF es altamente inflamable. Filtre el material restante a través de una membrana de plata tarada, séquelo y péselo para determinar cuánto queda tras la extracción con solvente. Procese además la muestra para eliminar el carbonato, o móntela directamente.

(d) Muestras con interferencia de carbonatos

El material de carbonato se encuentra a menudo sobre las fibras y a veces debe eliminarse para poder realizar la microscopía de dispersión. Pese una porción del material y colóquela en un tubo de ensayo. Añada al tubo una cantidad suficiente de HCl 0.1 M o de solución descalcificante para que reaccione todo el carbonato, según lo evidencie la formación de gas; es decir, cuando cesen las burbujas de gas, añada un poco más de solución. Si no se forma más gas, la reacción está completa. Filtre el material a través de una membrana de plata tarada, séquelo y péselo para determinar el peso perdido.

3.4. Preparación de la muestra

Las muestras deben prepararse de modo que pueda hacerse una determinación exacta del tipo y la cantidad de asbesto presentes. Los siguientes pasos se llevan a cabo en la campana de bajo flujo (una campana de bajo flujo tiene un flujo menor de 50 fpm):

(1) Si la muestra tiene terrones grandes, es dura o no puede colocarse bajo un cubreobjetos, debe reducirse el tamaño de grano. Coloque una cantidad pequeña entre dos portaobjetos y muela el material entre ellos, o muela una cantidad pequeña en un mortero y pilón limpios. La elección de si usar un mortero de alúmina, de rubí o de diamante depende de la dureza del material. El daño por impacto puede alterar el mineral de asbesto si ocurre un choque mecánico excesivo. (Los molinos congeladores pueden destruir por completo la cristalinidad observable del asbesto y no deben usarse). En algunas muestras, una porción del material puede rasparse con un bisturí, desprenderse por molienda con una amoladora manual o con una hoja de segueta.

Las herramientas de preparación deben ser desechables o limpiarse a fondo. Use un restregado vigoroso para soltar las fibras durante el lavado. Enjuague los implementos con cantidades copiosas de agua y séquelos al aire en un ambiente libre de polvo.

(2) Si la muestra es polvo o ha sido reducida como en el punto **(1)** anterior, está lista para el montaje. Coloque un portaobjetos de vidrio sobre un trozo de papel óptico y escriba la identificación en el extremo pintado o esmerilado. Coloque dos gotas de medio de índice de refracción n = 1.550 sobre el portaobjetos. (El medio n = 1.550 se elige porque es el índice de coincidencia del crisotilo. Sumerja el extremo de un clip limpio o de una aguja de disección en la gotita de medio de refracción sobre el portaobjetos para humedecerlo. Luego sumerja la sonda en la muestra de polvo. Transfiera al portaobjetos lo que se adhiera a la sonda. El material en el extremo de la sonda debe tener un diámetro de unos 3 mm para un buen montaje. Si el material es muy fino, puede ser apropiado usar menos muestra. Para muestras que no son polvo, como las esteras de fibra, deben usarse pinzas para transferir una cantidad pequeña de material al portaobjetos. Mezcle el material en el medio sobre el portaobjetos, extendiéndolo y haciendo la preparación lo más uniforme posible. Coloque un cubreobjetos sobre la preparación bajándolo suavemente sobre el portaobjetos y dejándolo caer a modo de «trampilla» sobre la preparación para expulsar las burbujas. Presione suavemente el cubreobjetos para nivelar la distribución de las partículas sobre el portaobjetos. Si no hay suficiente aceite de montaje en el portaobjetos, pueden colocarse una o dos gotas cerca del borde del cubreobjetos sobre el portaobjetos. La acción capilar atraerá la cantidad de líquido necesaria hacia la preparación. Retire el exceso de aceite con la punta de un paño de laboratorio.

Trate al menos dos áreas diferentes de cada fase de esta manera. Escoja áreas representativas de la muestra. Puede ser útil seleccionar áreas o fibras particulares para el análisis. Esto es útil para identificar el asbesto en muestras gravemente inhomogéneas.

Cuando se determine que pueden estar presentes anfíboles, repita el proceso anterior usando los aceites de alta dispersión adecuados, hasta que se haga una identificación o hasta que se hayan descartado los seis minerales de asbesto. Note que la determinación del porcentaje debe hacerse en el medio de índice 1.550, porque los anfíboles tienden a desaparecer en sus medios de coincidencia.

3.5. Procedimiento analítico

Nota:

Este método presupone algunos conocimientos de mineralogía y petrografía óptica.

El análisis consta de tres partes: la determinación de si hay asbesto presente, de qué tipo está presente y la determinación de qué cantidad está presente. El flujo general del análisis es:

(1) Examen macroscópico.

(2) Examen bajo luz polarizada en el microscopio estereoscópico.

(3) Examen por iluminación fase-polar en el microscopio de fase compuesto.

(4) Determinación de las especies por tinción por dispersión. También puede usarse el análisis de línea de Becke; sin embargo, este suele ser más engorroso para la determinación del asbesto.

(5) Las muestras difíciles pueden necesitar ser analizadas por SEM o TEM, o que los resultados de esas técnicas se combinen con la microscopía óptica para una identificación definitiva.

La identificación de una partícula como asbesto requiere que sea asbestiforme. La descripción de las partículas debe seguir la sugerencia de Campbell. (Figura 1)

Para fines de la reglamentación, el mineral debe ser uno de los seis minerales cubiertos y debe estar en el hábito de crecimiento del asbesto. Las muestras grandes de especímenes de asbesto tienen generalmente el aspecto macroscópico de la madera. Las fibras se separan de él con facilidad. Las fibras de asbesto son muy largas en comparación con su anchura. Las fibras tienen una resistencia a la tracción muy alta, como lo demuestra el hecho de que se doblan sin romperse. Las fibras de asbesto existen en haces que se separan fácilmente, muestran una fina estructura longitudinal y pueden estar desflecadas en los extremos, mostrando una morfología de «haz de palitos». En el microscopio, algunas de estas propiedades pueden no ser observables. Los anfíboles no siempre muestran estriaciones a lo largo de su longitud, aun cuando son de asbesto. Tampoco mostrarán siempre desflecamiento. Por lo general no muestran una naturaleza curva, excepto en fibras muy largas. El asbesto y los minerales asbestiformes se caracterizan generalmente en grupos por relaciones de aspecto extremadamente altas (mayores de 100:1). Si bien el análisis de la relación de aspecto es útil para caracterizar poblaciones de fibras, no puede usarse para identificar fibras individuales de relación de aspecto de intermedia a corta. A menudo es necesaria la observación de muchas fibras para determinar si una muestra consiste en «fragmentos de exfoliación» o en fibras de asbesto.

La mayoría de los fragmentos de exfoliación de los minerales de asbesto se distinguen fácilmente de las verdaderas fibras de asbesto. Esto se debe a que los verdaderos fragmentos de exfoliación suelen tener diámetros mayores de 1 µm. La estructura interna de las partículas mayores que esto suele mostrar que carecen de estructura fibrilar interna. Además, los fragmentos de exfoliación de los anfíboles monoclínicos muestran extinción inclinada bajo polares cruzados sin compensador. Las fibras de asbesto suelen mostrar extinción a cero grados o una extinción ambigua, si acaso muestran alguna. Morfológicamente, los fragmentos de exfoliación más grandes son evidentes por sus extremos romos o escalonados, que muestran hábito prismático. Además, tienden a ser aciculares más que filiformes.

Donde las partículas tienen menos de 1 µm de diámetro y una relación de aspecto mayor o igual a 3:1, se recomienda que la muestra se analice por SEM o TEM si existe alguna duda sobre si las fibras son fragmentos de exfoliación o partículas asbestiformes.

Debe tenerse cuidado al analizar por microscopía electrónica, porque las interferencias son diferentes de las de la microscopía óptica y pueden ser estructuralmente muy similares al asbesto. La interferencia clásica es entre la antofilita y el biopiribolo o fibra intermedia. Use para la microscopía electrónica las mismas claves morfológicas que se usan para la microscopía óptica, p. ej., división en fibrillas, estriación longitudinal interna, desflecamiento, curvatura, etc.

(1) Examen macroscópico:

Examine la muestra, preferiblemente en el vial de vidrio. Determine la presencia de cualquier componente fibroso evidente. Estime un porcentaje con base en la experiencia previa y en la observación actual. Determine si es necesaria alguna preparación previa. Determine el número de fases presentes. Este paso puede llevarse a cabo o complementarse con la observación de 6 a 40 × bajo un microscopio estereoscópico.

(2) Después de realizar cualquier preparación previa necesaria, prepare portaobjetos de cada fase como se describe arriba. Pueden hacerse dos preparaciones de la misma fase en el mismo medio de índice, lado a lado en el mismo vidrio, por conveniencia. Examine con el microscopio estereoscópico polarizante. Estime el porcentaje de asbesto con base en la cantidad de fibra birrefringente presente.

(3) Examine los portaobjetos en los microscopios fase-polares a aumentos de 160 y de 400 ×. Note la morfología de las fibras. Las fibras largas, delgadas y muy rectas, con escasa curvatura, son indicativas de fibras de la familia de los anfíboles. Las fibras curvas y onduladas son generalmente indicativas de crisotilo. Estime el porcentaje de asbesto en el microscopio fase-polar en condiciones de polares cruzados y lámina de yeso. Las fibras de menos de 1.0 µm de grosor deben identificarse por inferencia de la presencia de fibras más grandes e identificables y de la morfología. Si no son visibles fibras más grandes, debe realizarse microscopía electrónica. En este punto, solo puede hacerse una identificación tentativa. La identificación completa debe hacerse con microscopía de dispersión. Los detalles de las pruebas se incluyen en los apéndices.

(4) Una vez que se ha determinado que hay fibras presentes, estas deben identificarse. Ajuste el microscopio al modo de dispersión y observe las fibras. El microscopio tiene una platina giratoria, un elemento polarizante y un sistema para generar microscopía de dispersión en campo oscuro (véase la Sección 4.6 de este apéndice). Alinee una fibra con su longitud paralela al polarizador y note el color de las líneas de Becke. Gire la platina para llevar la longitud de la fibra a posición perpendicular al polarizador y note el color. Repita este proceso con cada fibra o haz de fibras examinado. Los colores deben ser consistentes con los colores generados por los materiales de referencia de asbesto estándar para que haya una identificación positiva. En n = 1.550, los anfíboles mostrarán generalmente un color amarillo a amarillo pajizo, indicativo de que los índices de refracción de la fibra son mayores que los del líquido. Si se observan fibras largas y delgadas y los colores son amarillos, prepare más portaobjetos como se indica arriba, en los líquidos de coincidencia sugeridos que se enumeran a continuación:

Tipo de asbesto	Índice de refracción
Crisotilo	n = 1.550.
Amosita	n = 1.670 o 1.680.
Crocidolita	n = 1.690.
Antofilita	n = 1.605 y 1.620.
Tremolita	n = 1.605 y 1.620.
Actinolita	n = 1.620.

Donde se sugiere más de un líquido, se prefiere el primero; sin embargo, en algunos casos este líquido no dará un buen color de dispersión. Tenga cuidado de evitar las interferencias en el otro líquido; p. ej., la wollastonita en n = 1.620 dará los mismos colores que la tremolita. En n = 1.605, la wollastonita aparecerá amarilla en todas las direcciones. La wollastonita puede determinarse bajo polares cruzados, ya que cambiará de azul a amarillo a medida que se la gira a lo largo de su eje de fibra golpeando ligeramente el cubreobjetos. Los minerales de asbesto no cambiarán de esta manera.

La determinación del ángulo de extinción puede ayudar, cuando esté presente, en la diferenciación de la antofilita frente a la tremolita. Las verdaderas fibras de asbesto suelen tener una extinción de 0° o una extinción ambigua, mientras que los fragmentos de exfoliación tienen una extinción más definida.

Continúe el análisis hasta que ambas preparaciones hayan sido examinadas y todas las especies de asbesto presentes hayan sido identificadas. Si no hay fibras presentes, o si hay menos de 0.1% presente, termine el análisis

con el número mínimo de portaobjetos **(2)**.

(5) Algunas fibras tienen un recubrimiento que hace que la microscopía de dispersión sea muy difícil o imposible. En esos casos puede realizarse el análisis de línea de Becke o la microscopía electrónica. Determine el porcentaje por microscopía óptica. El análisis por TEM tiende a sobrestimar el porcentaje real presente.

(6) La determinación del porcentaje es una estimación del área ocluida, atemperada por la observación macroscópica. La información de la observación macroscópica se usa para asegurar que la microscopía de alto aumento no sobrestime ni subestime en gran medida la cantidad de fibra presente. Esta parte del análisis requiere mucha experiencia. Aún no se han desarrollado modelos satisfactorios para el análisis del contenido de asbesto, aunque algunos modelos basados en la determinación metalúrgica del tamaño de grano han hallado cierta utilidad. La estimación se maneja con mayor facilidad en situaciones en las que los tamaños de grano visibles a unos 160 × son aproximadamente iguales y la muestra es relativamente homogénea.

Observe toda el área bajo el cubreobjetos para hacer la determinación del porcentaje. Observe los campos mientras mueve la platina, prestando atención a las acumulaciones de material. Estas no suelen ser las mejores áreas para realizar la microscopía de dispersión, debido a la interferencia de otros materiales. Sin embargo, son las áreas que con mayor probabilidad representan el porcentaje exacto en la muestra. Las cantidades pequeñas de asbesto requieren un barrido más lento y un análisis más frecuente de campos individuales.

Reporte el área ocluida por el asbesto como la concentración. Por lo general, esta estimación no toma en consideración la diferencia de densidad de las diferentes especies presentes en la muestra. Para la mayoría de las muestras esto es adecuado. Para aplicar la estimación microvisual con ese fin deben llevarse a cabo estudios de simulación con materiales similares, y ello queda fuera del alcance de este procedimiento.

(7) Donde se hayan realizado concentraciones sucesivas por medios químicos o físicos, la cantidad que se reporta es el porcentaje del material en el estado «tal como fue enviado» u original. El porcentaje determinado por microscopía se multiplica por las fracciones restantes después de los pasos de preparación previa para dar el porcentaje en la muestra original. Por ejemplo:

El resultado que se reporta es:

(8) Reporte el porcentaje y el tipo de asbesto presentes. En las muestras en las que se identificó asbesto, pero este es menor de 1.0%, reporte «Asbesto presente, menos de 1.0%». Debe haberse observado al menos dos fibras o haces de fibras en las dos preparaciones para que se reporte como presente. En las muestras en las que no se observó asbesto, repórtese como «Ninguno detectado».

Información auxiliar

Debido a la naturaleza subjetiva del análisis de asbesto, es necesario discutir ciertos conceptos y procedimientos con mayor profundidad. Esta información ayudará al analista a comprender por qué algunos de los procedimientos se llevan a cabo de la manera en que se hacen.

4.1. Luz

La luz es energía electromagnética. Viaja desde su fuente en paquetes llamados cuantos. Es instructivo considerar la luz como una onda plana. La luz tiene una dirección de viaje. Perpendiculares a esta, y mutuamente perpendiculares entre sí, hay dos componentes vectoriales. Uno es el vector magnético y el otro es el vector eléctrico. Solo nos ocuparemos del vector eléctrico. En esta descripción, la interacción del vector y el mineral describirá todos los fenómenos observables. Desde una fuente de luz, tal como un iluminador de microscopio, la luz viaja en todas direcciones diferentes desde el filamento.

En cualquier dirección dada que se aleje del filamento, el vector eléctrico es perpendicular a la dirección de viaje de un rayo de luz. Aunque es perpendicular, su orientación es aleatoria alrededor del eje de viaje. Si los vectores eléctricos de todos los rayos de luz se alinearan haciendo pasar la luz a través de un filtro que solo dejara pasar los rayos de luz cuyos vectores eléctricos estuvieran orientados en una dirección, la luz estaría entonces

POLARIZADA.

La luz polarizada interactúa con la materia en la dirección del vector eléctrico. Esta es la dirección de polarización. Usando esta propiedad es posible usar luz polarizada para sondear diferentes materiales e identificarlos por cómo interactúan con la luz.

La velocidad de la luz en el vacío es una constante de aproximadamente 2.99 × 10^8 m/s. Cuando la luz viaja en materiales diferentes, tales como el aire, el agua, los minerales o el aceite, no viaja a esta velocidad. Viaja más lentamente. Esta lentitud es función tanto del material a través del cual viaja la luz como de la longitud de onda o frecuencia de la luz. En general, cuanto más denso es el material, más lentamente viaja la luz. Además, en general, cuanto mayor es la frecuencia, más lentamente viaja la luz. La relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en un material se llama índice de refracción **(n)**. Generalmente se mide a 589 nm (la línea D del sodio). Si la luz blanca (luz que contiene todas las longitudes de onda visibles) viaja a través de un material, los rayos de longitudes de onda más largas viajarán más rápido que los de longitudes de onda más cortas; esta separación se llama dispersión. La dispersión se usa como identificador de los materiales, según se describe en la Sección 4.6.

4.2. Propiedades de los materiales

Los materiales son amorfos o cristalinos. La diferencia entre estas dos descripciones depende de las posiciones de los átomos en ellos. Los átomos de los materiales amorfos están dispuestos aleatoriamente, sin orden de largo alcance. Un ejemplo de material amorfo es el vidrio. Los átomos de los materiales cristalinos, en cambio, están en disposiciones regulares y tienen orden de largo alcance. La mayoría de los átomos puede encontrarse en ubicaciones altamente predecibles. Ejemplos de material cristalino son la sal, el oro y los minerales de asbesto.

Queda fuera del alcance de este método describir los diferentes tipos de materiales cristalinos que pueden encontrarse, o la descripción completa de las clases en las que pueden encuadrarse. Sin embargo, a continuación se proporciona algo de cristalografía general para dar fundamento a los procedimientos descritos.

Con la excepción de la antofilita, todos los minerales de asbesto pertenecen al tipo cristalino monoclínico. La celda unitaria es la unidad repetitiva básica del cristal y, en los cristales monoclínicos, puede describirse como que tiene tres lados desiguales, dos ángulos de 90° y un ángulo no igual a 90°. El grupo ortorrómbico, del cual la antofilita es miembro, tiene tres lados desiguales y tres ángulos de 90°. Los lados desiguales son consecuencia de la complejidad de encajar los diferentes átomos en la celda unitaria. Aunque los átomos están en una disposición regular, esa disposición no es simétrica en todas las direcciones. Hay orden de largo alcance en las tres direcciones principales del cristal. Sin embargo, el orden es diferente en cada una de las tres direcciones. Esto tiene el efecto de que el índice de refracción es diferente en cada una de las tres direcciones. Usando luz polarizada, podemos investigar el índice de refracción en cada una de las direcciones e identificar el mineral o material en investigación. Los índices α, β y γ se usan para identificar, respectivamente, el índice de refracción más bajo, el intermedio y el más alto. La dirección x, asociada con α, se llama eje rápido. A la inversa, la dirección z está asociada con γ y es la dirección lenta. La crocidolita tiene α a lo largo de la longitud de la fibra, lo que la hace «rápida en longitud» (length-fast). El resto de los minerales de asbesto tiene el eje γ a lo largo de la longitud de la fibra. Se les llama «lentos en longitud» (length-slow). Esta orientación con respecto a la longitud de la fibra se usa como ayuda para la identificación del asbesto.

4.3. Técnica de luz polarizada

La microscopía de luz polarizada, según se describe en esta sección, usa el microscopio fase-polar descrito en la Sección 3.2. Un microscopio de contraste de fase está equipado con dos elementos polarizantes, uno debajo y otro encima de la muestra. Los polarizadores tienen sus direcciones de polarización en ángulo recto entre sí. Dependiendo de las pruebas realizadas, puede haber un compensador entre estos dos elementos polarizantes. Un compensador es una pieza de mineral con propiedades conocidas que «compensa» alguna deficiencia del tren óptico. La luz que emerge de un elemento polarizante tiene su vector eléctrico apuntando en la dirección de polarización del elemento. Posteriormente, la luz no se transmitirá a través de un segundo elemento colocado en

ángulo recto con respecto al primer elemento. A menos que la luz se altere al pasar de un elemento al otro, no hay transmisión de luz.

4.4. Ángulo de extinción

Se dice que los cristales que tienen diferente regularidad cristalina en dos o tres direcciones principales son anisótropos. Tienen un índice de refracción diferente en cada una de las direcciones principales. Cuando un cristal de este tipo se inserta entre los polares cruzados, el campo visual ya no es oscuro, sino que muestra el cristal en color. El color depende de las propiedades del cristal. La luz actúa como si viajara a través del cristal a lo largo de los ejes ópticos. Si un eje óptico del cristal estuviera alineado a lo largo de una de las direcciones de polarización (ya sea el polarizador o el analizador), la luz parecería viajar solo en esa dirección y se extinguiría o se oscurecería. La diferencia en grados entre la dirección de la fibra y el ángulo en el que esta se extingue se llama ángulo de extinción. Cuando este ángulo puede medirse, es útil para identificar el mineral. El procedimiento para medir el ángulo de extinción consiste en identificar primero la dirección de polarización en el microscopio. Puede usarse un portaobjetos comercial de alineación para establecer las direcciones de polarización, o bien antofilita u otro mineral adecuado. Este mineral tiene un ángulo de extinción de cero grados y se oscurecerá hasta la extinción a medida que se alinee con las direcciones de polarización. Cuando una fibra de antofilita haya llegado a la extinción, alinee la retícula o gratícula del ocular con la fibra, de modo que haya una referencia visual sobre la dirección de polarización en el campo visual. Fije el ocular con cinta adhesiva o asegúrelo de otro modo en esta posición, para que no se desplace.

Después de identificar la dirección de polarización en el campo visual, mueva la partícula de interés al centro del campo visual y alinéela con la dirección de polarización. En el caso de las fibras, alinee la fibra a lo largo de esta dirección. Note la lectura angular de la platina giratoria. Observando la partícula, gire la platina hasta que la fibra se oscurezca o «se extinga». Note de nuevo la lectura de la platina. La diferencia entre la primera lectura y la segunda es un ángulo de extinción.

El ángulo medido puede variar a medida que cambie la orientación de la fibra alrededor de su eje largo. Las tablas de datos mineralógicos generalmente reportan el ángulo de extinción máximo. Los minerales formadores de asbesto, cuando exhiben un ángulo de extinción, suelen mostrar un ángulo de extinción cercano al máximo reportado, o el que corresponda dependiendo de la química de sustitución.

4.5. Polares cruzados con compensador

Cuando los ejes ópticos de un cristal no están alineados a lo largo de una de las direcciones de polarización (ya sea el polarizador o el analizador), parte de la luz viaja a lo largo de un eje y parte viaja a lo largo del otro eje visible. Esto es característico de los materiales birrefringentes.

El color depende de la diferencia entre los dos índices de refracción visibles y del grosor del cristal. La diferencia máxima disponible es la diferencia entre los ejes α y γ. Esta diferencia máxima generalmente se tabula como la birrefringencia del cristal.

Para esta prueba, alinee la fibra a 45° con respecto a las direcciones de polarización, a fin de maximizar la contribución a cada uno de los ejes ópticos. Los colores que se ven se llaman colores de retardo. Surgen de la recombinación de la luz que ha viajado por las dos direcciones separadas del cristal. Uno de los rayos va retardado con respecto al otro, ya que la luz en esa dirección viaja más lentamente. Al recombinarse, algunos de los colores que componen la luz blanca se realzan por interferencia constructiva y otros se suprimen por interferencia destructiva. El resultado es un color que depende de la diferencia entre los índices y del grosor del cristal. Los colores, grosores y retardos adecuados se muestran en una carta de Michel-Lévy. Los tres elementos —retardo, grosor y birrefringencia— están relacionados por la siguiente relación:

El examen de la ecuación en los minerales de asbesto revela que los colores visibles de casi todos los minerales de asbesto y tamaños de fibra comunes son tonos de gris y de negro. El ojo es relativamente deficiente para discriminar los diferentes tonos de gris. Es muy bueno para discriminar colores diferentes. Para compensar el bajo

retardo, se añade un compensador al tren de luz entre los elementos de polarización. El compensador que se usa para esta prueba es una lámina de yeso de grosor y birrefringencia conocidos. Un compensador de este tipo, cuando se orienta a 45° con respecto a la dirección del polarizador, proporciona un retardo de 530 nm del color de longitud de onda de 530 nm. Esto realza el color rojo y le da al fondo un color característico de rojo a rojo-magenta. Si este compensador de «onda completa» está colocado cuando la preparación de asbesto se inserta en el tren de luz, los colores que se ven en las fibras son bastante diferentes. El yeso, al igual que el asbesto, tiene un eje rápido y un eje lento. Cuando una fibra se alinea con su eje rápido en la misma dirección que el eje rápido de la lámina de yeso, el rayo que vibra en la dirección lenta es retardado tanto por el asbesto como por el yeso. Esto da como resultado un retardo mayor del que habría para cualquiera de los dos minerales. El color que se ve es un azul de segundo orden. Cuando la fibra se gira 90° usando la platina giratoria, la dirección lenta de la fibra queda alineada con la dirección rápida del yeso y la dirección rápida de la fibra queda alineada con la dirección lenta del yeso. Así, un rayo vibra más rápido en la dirección rápida del yeso y más lento en la dirección lenta de la fibra; el otro rayo vibrará más lento en la dirección lenta del yeso y más rápido en la dirección rápida de la fibra. En este caso, el efecto es sustractivo y el color que se ve es un amarillo de primer orden. Siempre que el grosor de la fibra no se sume apreciablemente al color, se verán los mismos colores básicos en todos los tipos de asbesto, excepto en la crocidolita. En la crocidolita, los colores serán más débiles, pueden estar en las direcciones opuestas y se verán alterados por el color azul de absorción, natural en la crocidolita. Cientos de otros materiales darán los mismos colores que el asbesto y, por lo tanto, esta prueba no es definitiva para el asbesto. La prueba es útil para discriminar frente a la fibra de vidrio o frente a otras fibras amorfas, como algunas fibras sintéticas. Ciertas fibras sintéticas mostrarán colores de retardo diferentes de los del asbesto; sin embargo, hay algunas formas de polietileno y de aramida que mostrarán una morfología y unos colores de retardo similares a los de los minerales de asbesto. Esta prueba debe complementarse con una prueba de identificación positiva cuando haya presentes fibras birrefringentes que no puedan excluirse por la morfología. Esta prueba es relativamente ineficaz para usarse en fibras de menos de 1 µm de diámetro. Para una confirmación positiva debe usarse el TEM o el SEM si no son visibles haces o fibras más grandes.

4.6. Tinción por dispersión

La microscopía de dispersión, o tinción por dispersión, es el método de elección para la identificación del asbesto en materiales a granel. Algunos laboratorios usan el análisis de línea de Becke, que produce los mismos resultados que la tinción por dispersión para el asbesto y puede usarse en lugar de la tinción por dispersión. La tinción por dispersión se realiza en la misma plataforma que el análisis fase-polar, con el analizador y el compensador retirados. Queda un elemento polarizante para definir la dirección de la luz, de modo que los diferentes índices de refracción de las fibras puedan determinarse por separado. La microscopía de dispersión es una técnica de campo oscuro cuando se usa para el asbesto. Las partículas se representan mediante luz dispersada. La luz que no se dispersa se bloquea para que no llegue al ojo, ya sea mediante la máscara de imagen de campo posterior de un objetivo McCrone o mediante una máscara de imagen de campo posterior en el condensador de fase. El método más conveniente es usar el condensador de fase giratorio para colocar en su sitio un anillo de fase sobredimensionado. El tamaño ideal de este anillo es aquel en el que el disco central es apenas mayor que la abertura de entrada del objetivo, vista en el plano focal posterior. Cuanto más grande sea el disco, menos luz dispersada llegará al ojo. Esto tendrá el efecto de disminuir la intensidad del color de dispersión y desplazará el color real que se ve. Los colores que se ven varían incluso en microscopios del mismo fabricante. Esto se debe a las diferentes bandas de exclusión de longitud de onda de los distintos tamaños de máscara. La máscara puede estar en el condensador o en el plano focal posterior del objetivo. Es imperativo que el analista determine, experimentando con estándares de asbesto, cuáles deben ser los colores apropiados para cada tipo de asbesto. Los colores también dependen de la temperatura de la preparación y de la química exacta del asbesto. Por lo tanto, deben permitirse algunas diferencias ligeras con respecto a los estándares. Esto no es un problema grave para los usos comerciales del asbesto. Esta técnica se usa para la identificación de los índices de refracción de las fibras por reconocimiento del color. No hay una lectura numérica directa del índice de refracción. La correlación del color

con el índice de refracción real es posible mediante la consulta de tablas de conversión publicadas. Esto no es necesario para el análisis del asbesto. El reconocimiento de los colores apropiados, junto con la morfología adecuada, se considera suficiente para identificar los minerales comerciales de asbesto. Pueden requerirse otras técnicas, como el SEM, el TEM y la XRD, para proporcionar información adicional a fin de identificar otros tipos de asbesto.

Haga una preparación en el aceite de alta dispersión de coincidencia que se sospeche, p. ej., n = 1.550 para el crisotilo. Realice las pruebas preliminares para determinar si las fibras son birrefringentes o no. Tome nota del carácter morfológico. Las fibras onduladas son indicativas de crisotilo, mientras que las fibras largas, rectas, delgadas y desflecadas son indicativas de asbesto de anfíbol. Esto puede ayudar en la selección del aceite de coincidencia apropiado. El microscopio se configura y la dirección de polarización se anota como en la Sección 4.4. Alinee una fibra con la dirección de polarización. Note el color. Este es el color paralelo al polarizador. Luego gire la fibra rotando la platina 90°, de modo que la dirección de polarización quede a través de la fibra. Esta es la posición perpendicular. Note de nuevo el color. Ambos colores deben ser consistentes con los minerales de asbesto estándar en la dirección correcta para que haya una identificación positiva de asbesto. Si solo uno de los colores es correcto y el otro no lo es, la identificación no es positiva. Si los colores en ambas direcciones son blanco azulado, el analista ha elegido un aceite de índice de coincidencia mayor que el aceite de coincidencia correcto; p. ej., el analista ha usado n = 1.620 donde está presente el crisotilo. Debe usarse el siguiente aceite más bajo (Sección 3.5) para preparar otro espécimen. Si el color en ambas direcciones es blanco amarillo a blanco amarillo pajizo, esto indica que el índice del aceite es menor que el índice de la fibra; p. ej., la preparación está en n = 1.550 mientras está presente la antofilita. Seleccione el siguiente aceite más alto (Sección 3.5) y prepare otro portaobjetos. Continúe de esta manera hasta que se haya hecho una identificación positiva de todas las especies de asbesto presentes o hasta que todas las especies de asbesto posibles hayan sido descartadas por resultados negativos en esta prueba. Ciertas fibras vegetales pueden tener colores de dispersión similares a los del asbesto. Tenga cuidado de notar y evaluar la morfología de las fibras o de eliminar las fibras vegetales en la preparación previa. El material de recubrimiento sobre las fibras, como el carbonato o el vinilo, puede destruir el color de dispersión. Generalmente habrá algún afloramiento de fibra que mostrará los colores suficientes para la identificación. Cuando este no sea el caso, trate la muestra como se describe en la Sección 3.3 y luego realice la tinción por dispersión. Algunas muestras cederán ante el análisis de línea de Becke si están recubiertas, o puede usarse la microscopía electrónica para la identificación.

5. Referencias

5.1. Crane, D.T., Asbestos in Air, OSHA method ID160, Revised November 1992.

5.2. Ford, W.E., Dana's Textbook of Mineralogy; Fourth Ed.; John Wiley and Son, New York, 1950, p. vii.

5.3. Selikoff, I.J., Lee, D.H.K., Asbestos and Disease, Academic Press, New York, 1978, pp. 3,20.

5.4. Women Inspectors of Factories. Annual Report for 1898, H.M. Statistical Office, London, p. 170 (1898).

5.5. Selikoff,.I.J., Lee, D.H.K., Asbestos and Disease, Academic Press, New York, 1978, pp. 26,30.

5.6. Campbell, W.J., et al, Selected Silicate Minerals and Their Asbestiform Varieties, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Information Circular 8751, 1977.

5.7. Asbestos, Code of Federal Regulations, 29 CFR 1910.1001 and 29 CFR 1926.58.

5.8. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants; Asbestos NESHAP Revision, Federal Register, Vol. 55, No. 224, 20 November 1990, p. 48410.

5.9. Ross, M. The Asbestos Minerals: Definitions, Description, Modes of Formation, Physical and Chemical Properties and Health Risk to the Mining Community, Nation Bureau of Standards Special Publication, Washington, DC, 1977.

5.10. Lilis, R., Fibrous Zeolites and Endemic Mesothelioma in Cappadocia, Turkey, J. Occ Medicine, 1981, 23,**(8)**,548-550.

5.11. Occupational Exposure to Asbestos—1972, U.S. Department of Health Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, HSM-72-10267.

5.12. Campbell,W.J., et al, Relationship of Mineral Habit to Size Characteristics for Tremolite Fragments and Fibers, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Information Circular 8367, 1979.

5.13. Mefford, D., DCM Laboratory, Denver, private communication, July 1987.

5.14. Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., Rock Forming Minerals, Longman, Thetford, UK, 1974.

5.15. Kerr, P.F., Optical Mineralogy; Third Ed. McGraw-Hill, New York, 1959.

5.16. Veblen, D.R. (Ed.), Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles—Mineralogy, Reviews in Mineralogy, Vol 9A, Michigan, 1982, pp 1-102.

5.17. Dixon, W.C., Applications of Optical Microscopy in the Analysis of Asbestos and Quartz, ACS Symposium Series, No. 120, Analytical Techniques in Occupational Health Chemistry, 1979.

5.18. Polarized Light Microscopy, McCrone Research Institute, Chicago, 1976.

5.19. Asbestos Identification, McCrone Research Institute, G & G printers, Chicago, 1987.

5.20. McCrone, W.C., Calculation of Refractive Indices from Dispersion Staining Data, The Microscope, No 37, Chicago, 1989.

5.21. Levadie, B. (Ed.), Asbestos and Other Health Related Silicates, ASTM Technical Publication 834, ASTM, Philadelphia 1982.

5.22. Steel, E. and Wylie, A., Riordan, P.H. (Ed.), Mineralogical Characteristics of Asbestos, Geology of Asbestos Deposits, pp. 93-101, SME-AIME, 1981.

5.23. Zussman, J., The Mineralogy of Asbestos, Asbestos: Properties, Applications and Hazards, pp. 45-67 Wiley, 1979.