

**DETERMINACIÓN CUALITATIVA (IDENTIFICACIÓN)
DE FIBRAS DE AMIANTO EN MATERIALES –
MÉTODO DE POLARIZACIÓN - DISPERSIÓN/
MICROSCOPIA ÓPTICA**

MTA/PI – 010/A09



**MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN**



**INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO**

Organismos participantes en el Programa Nacional de Normalización de Métodos de Toma de Muestra y Análisis:

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
 - Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - Barcelona
 - Centro Nacional de Medios de Protección - Sevilla
 - Centro Nacional de Nuevas Tecnologías - Madrid
 - Centro Nacional de Verificación de Maquinaria - Vizcaya

Coordinación:

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria - Vizcaya

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID



DETERMINACIÓN CUALITATIVA (IDENTIFICACIÓN) DE FIBRAS DE AMIANTO EN MATERIALES — MÉTODO DE POLARIZACIÓN - DISPERSIÓN / MICROSCOPIA ÓPTICA

Palabras clave: amianto, asbestos, fibra, material, variedades, crisotilo, amosita, crocidolita, tremolita, antofilita, actinolita, anfíboles, microscopía óptica, polarización, dispersión.

0. INTRODUCCIÓN

El término amianto se utiliza para designar las formas fibrosas de un grupo mineral de silicatos naturales que se han utilizado comercialmente por sus excelentes propiedades físicas y químicas (resistencia mecánica, incombustibilidad, no biodegradabilidad, baja conductividad térmica y eléctrica, resistencia al ataque químico, etc.). El amianto es un cancerígeno de primera categoría 1A (11.16) de acuerdo con la clasificación de la Unión Europea. Las fibras de amianto revisten especial riesgo cuando son dispersadas en el aire e inapreciables a simple vista, su inhalación puede causar enfermedades graves incluyendo asbestosis, cáncer de pulmón y mesotelioma de pleura y peritoneo.

El Real Decreto 396/2006 (11.13) establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a trabajos con riesgo de exposición al amianto. En su artículo 10 establece una serie de disposiciones específicas para determinadas actividades, entre las que está la obligación del empresario de adoptar todas las medidas para identificar los materiales que puedan contener amianto.

Este método permite el análisis cualitativo (identificación) de fibras de amianto en muestras de materiales y productos manufacturados que pueden encontrarse en edificios, estructuras, instalaciones, unidades (tales como barcos, vehículos, trenes, etc.), equipos y otros elementos, con el objetivo de determinar de una manera rápida y fiable si las fibras presentes en los materiales son o no de amianto para la aplicación de la normativa específica sobre protección de la seguridad y salud de los trabajadores. La Guía Técnica (11.14) que desarrolla el citado Real Decreto recomienda esta técnica de microscopía óptica de polarización-dispersión.

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este método describe el procedimiento a seguir y el equipo necesario para la determinación cualitativa de fi-

bras de amianto en materiales y productos industriales mediante microscopía óptica de polarización-dispersión (MOPD) (11.1 a 11.10).

El procedimiento descrito permite la identificación de los siguientes seis tipos o variedades de fibras de amianto:

- a) Actinolita amianto, n.º 77536-66-4 del CAS,
- b) Grunerita amianto (amosita), n.º 12172-73-5 del CAS,
- c) Antofilita amianto, n.º 77536-67-5 del CAS,
- d) Crisotilo, n.º 12001-29-5 del CAS,
- e) Crocidolita, n.º 12001-28-4 del CAS y
- f) Tremolita amianto, n.º 77536-68-6 del CAS.

ya estén solas o en mezclas en materiales, así como discriminar entre fibras de amianto y otros tipos de fibras.

Los materiales que contienen amianto (MCA) son de muy diversos tipos (con matrices y texturas muy variadas) y se pueden encontrar en edificios, estructuras, instalaciones, unidades, equipos y otros elementos (11.14). La localización de MCA en las distintas ubicaciones y la estrategia de muestreo de MCA no se incluyen en este método.

El método permite la identificación y discriminación de las tres variedades de amianto de utilización más frecuente: crisotilo, amosita y crocidolita. También se puede aplicar para determinar la presencia de las otras tres variedades infrecuentes: tremolita, actinolita y antofilita amianto, aunque en este caso la diferenciación puede presentar alguna dificultad.

Las interferencias en la identificación de fibras de amianto pueden provenir de los constituyentes, fibrosos o no fibrosos, orgánicos o inorgánicos, de los materiales que pueden conducir a falsos positivos y a falsos negativos.

Este método no es aplicable en muestras que contengan únicamente fibras muy finas por debajo de la resolución de la microscopía óptica (en torno a 0,3 µm). En el caso de fibras finas (menores de 1 µm de diámetro) de cualquiera de las variedades de amianto, aunque

sean visibles al microscopio, la identificación se asocia a la de otras fibras más gruesas o haces de fibras que normalmente están también presentes en la misma matriz. Tampoco es aplicable a materiales en los que no sea posible separar las fibras de la matriz en el caso de que ésta cause interferencias que impidan la observación de las propiedades ópticas.

La cualificación y experiencia del analista influyen significativamente en la calidad y fiabilidad de los resultados.

2. DEFINICIONES

2.1. Amianto. Variedades de amianto reguladas

Son las seis variedades de fibras de amianto reguladas por el RD 396/2006 (11.13) cuya composición química nominal, identificación CAS y análogos minerales no fibrosos se muestran en la tabla 1 (11.1).

2.2. Material que contiene amianto (MCA)

Es un material que contiene amianto que ha sido añadido deliberadamente en su composición (11.14).

2.3. Friabilidad

Es la capacidad que tiene un material de liberar las fibras que contiene (11.14).

2.3.1. Material friable: aquel que puede ser disgregado o reducido a polvo con la sola acción de la mano.

2.3.2. Material no friable: aquel que necesita herramientas mecánicas para ser desmoronado o reducido a polvo.

2.4. Índice de refracción (n)

Es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en un medio dado. Se expresa como n , y varía con la longitud de onda y la temperatura.

Tabla 1

| VARIEDADES DE AMIANTO REGULADAS | | | |
|---------------------------------|------------|--|----------------------------|
| Variedad de Amianto | Nº CAS | Composición química nominal | Mineral análogo no fibroso |
| Serpentinas | | | |
| Crisotilo | 12001-29-5 | $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ | Lizardita, Antigorita |
| Anfíboles | | | |
| Crocidolita | 12001-28-4 | $Na_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}(Si_8O_{22})(OH)_2$ | Riebekita |
| Amosita (Grunerita amianto) | 12172-73-5 | $(Fe^{2+}, Mg)_7(Si_8O_{22})(OH)_2$ | Grunerita |
| Antofilita amianto | 77536-67-5 | $(Mg, Fe^{2+})_7(Si_8O_{22})(OH)_2$ | Antofilita |
| Actinolita amianto | 77536-66-4 | $Ca_2(Fe^{2+}, Mg)_5(Si_8O_{22})(OH)_2$ | Actinolita |
| Tremolita amianto | 77536-68-6 | $Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$ | Tremolita |

2.5. Birrefringencia

Es la diferencia máxima entre los índices de refracción debido a la doble refracción.

2.6. Extinción

Es la condición en la que un cristal anisotrópico aparece oscuro cuando se observa bajo polares cruzados.

2.7. Signo de elongación

Es una descripción de las direcciones de los índices de refracción alto y bajo en una fibra.

2.8. Pleocroísmo

Es la propiedad de un medio anisotrópico por la que exhiben diferencias de brillo y/o de color en diferentes

direcciones de la propagación de la luz, o direcciones de vibración de la luz, como resultado de variaciones en la absorción espectral de la luz transmitida.

2.9. Dispersión

Es la variación del índice de refracción con la longitud de onda.

En el anexo A se incluyen otras definiciones (11. 24) así como una descripción detallada de la morfología y de las propiedades ópticas para la identificación de fibras de amianto incluyendo indicaciones prácticas para su observación.

3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La identificación de las seis variedades de fibras de amianto reguladas se fundamenta en la observación de la morfología y propiedades ópticas de las fibras mediante microscopía óptica de polarización-dispersión (MOPD).

En una primera etapa, se examina todo el material de una muestra representativa con el microscopio este-reoscópico y se realizan las operaciones necesarias para localizar, seleccionar y separar las fibras de la matriz. En función de su morfología y ciertas propiedades físicas, se pre-identifica cada tipo de fibra encontrado y se montan preparaciones suficientes y adecuadas para MOPD (un grupo de fibras libres de sustancias interfirientes e inmersas en el líquido de alta dispersión con Índice de Refracción coincidente).

En una segunda etapa, se observan las preparaciones indicadas, obtenidas en la 1ª etapa, con el microscopio de polarización-dispersión, para estudiar su morfología (asbestiforme) y sus propiedades ópticas (color y pleocroísmo, birrefringencia, extinción, signo de elongación e índices de refracción).

La identificación será positiva si las propiedades observadas en las fibras seleccionadas de la muestra se corresponden con las asociadas a la estructura cristalina de alguna de las distintas variedades de amianto.

4. REACTIVOS Y PRODUCTOS

4.1. Reactivos y disolventes adecuados para los tratamientos de los materiales en función del tipo de MCA:

4.1.1. Ácido acético. [C₂H₄O₂] N° CAS 64-19-7

NOTA:

Líquido inflamable 3; Frases (H): 226. Frases (P): 210-233-240-241-242-243-280-303+361+353-403+235-501 Corrosivo para la piel 1A; Frases (H): 314; Frases (P): 260-264-280-301+330+331-303+361+353-363-304+340-310-321-305+351+338-405-501. Reglamento (CE) 1272/2008 (11.16).

4.1.2. Ácido clorhídrico. [HCl] N° CAS 7697-37-2

NOTA:

Comburente líquido 3; Frases (H): 272; Frases (P): 210-220-221-280-370+378-501

Corrosivo para la piel 1A; Frases (H): 314; Frases (P): 260-264-280-301+330+331-303+361+353-363-304+340-310-321-305+351+338-405-501. Reglamento (CE) 1272/2008 (11.16).

4.1.3. Hidróxido sódico. [NaOH] N° CAS 1310-73-2

NOTA: Corrosivo para la piel 1A; Frases (H): 314; Frases (P): 260-264-280-301+330+331-303+361+353-363-304+340-310-321-305+351+338-405-501. Reglamento (CE) 1272/2008 (11.16).

4.1.4. Disolventes orgánicos (acetona, etanol, tolueno, éter, tetrahidrofurano (THF), etc.

4.2. Materiales de referencia certificados de fibras de las seis variedades de amianto reguladas

NOTA:

Cancerígeno 1A; Frases (H): 350; Frases (P): 201-202-281-308+313-405-501. Reglamento (CE) 1272/2008.

Toxicidad específica para determinados órganos (exposición repetida) 1; Frases (H): 350; Frases (P): 260-264-270-314-501. Reglamento (CE) 1272/2008 (11.16).

NOTA: Es recomendable que el laboratorio disponga de otros tipos de fibras distintas al amianto, que se presenten comúnmente en los materiales analizados, incluyendo fibras orgánicas naturales y sintéticas, fibras minerales naturales y artificiales.

También se recomienda disponer de colecciones de materiales con fibras de amianto de los distintos tipos de materiales utilizados comercialmente, así como la elaboración por el laboratorio de colecciones propias de preparaciones permanentes con las seis variedades de fibras de amianto y otras fibras para microscopía óptica.

4.3. Líquidos de alta dispersión con índice de refracción establecido y coincidente con el de las seis variedades de amianto (como mínimo: 1,550; 1,605; 1,640; 1,670 y 1,700).

NOTA: Se recomienda disponer de medios de montaje (como, por ejemplo, termoplásticos de calidad óptica adecuada) para preparaciones de microscopía permanentes con características de dispersión e índices de refracción adecuados (1,550, 1,680 y 1,605).

4.4. Agua o líquido humectante

4.5. Fijador de fibras y polvo (sellantes, encapsulantes)

5. APARATOS Y MATERIAL

5.1. Recipientes herméticos para las muestras que no permitan la liberación de fibras o polvo durante su manipulación y transporte. Se recomienda doble envase, preferentemente transparente.

5.2. Recipientes o bolsas para residuos con amianto (conforme a normativa específica)

5.3. Herramientas adecuadas para la manipulación de los materiales y separación de las fibras como alicates, destornillador, cuchillas, tijeras, martillo, cincel, cúter o cuchilla, escalpelo, agujas de disección, pinzas, etc.

5.4. Toallitas húmedas desechables

5.5. Cinta adhesiva aislante térmica ancha.

5.6. Lámina impermeabilizante para evitar contaminaciones.

5.7. Aspirador con filtro tipo HEPA para eliminación de presencia potencial de fibras.

5.8. Equipos de protección individual (EPI). Por ejemplo: mascarilla autofiltrante desechable FFP3, ropa (mono completo con capucha y cubre-calzado) y guantes de protección. Si fuera necesario, gafas de protección.

5.9. Muffa (>500 °C) y crisoles resistentes a la temperatura de trabajo.

5.10. Estufa de secado (opcional)

5.11. Ultrasonidos (opcional)

5.12. Mortero manual

5.13. Microscopio estereoscópico con un rango aproximado 6x a 40x aumentos, con la iluminación adecuada.

5.14. Cabina de seguridad para partículas equipada con filtro para partículas de alta eficacia (HEPA) y filtro de carbón activo, con presión negativa (se recomienda velocidad mínima 0,5m/s). Su capacidad y diseño deben ser adecuados para realizar en su interior, las operaciones descritas para la observación inicial.

5.15. Portaobjetos y cubreobjetos

5.16. Placas tipo “petri” (o contenedores similares) de vidrio de diferentes tamaños para contener y manipular los materiales mientras se observan en el microscopio estereoscópico.

5.17. Placa calefactora (60-70 °C), en caso de utilizar termoplásticos con n determinado, para calentarlos.

5.18. Microscopio de polarización-dispersión con la configuración óptica adecuada para observar las propiedades ópticas requeridas, dotado de los siguientes elementos:

5.18.1. Iluminación Koehler.

5.18.2. Condensador adecuado, centrable y enfocable con iris o diafragma regulable, con apertura numérica mayor que los objetivos.

5.18.3. Ranura y compensador de primer orden con retardo de 530 nm aproximadamente (extraíble).

5.18.4. Platina giratoria 360 grados, graduada.

5.18.5. Polarizador y analizador (extraíble) situados a 90 grados.

5.18.6. Lente de Bertrand o telescopio centrador.

5.18.7. Objetivos centrables de 10x y mayores aumentos (se recomienda 40). En particular objetivos con capacidad para producir colores de dispersión intensos. Se recomienda uno de los siguientes:

5.18.7.1. Objetivo de dispersión (“dispersion staining”) x10 con tope central en el plano focal usado en combinación con el iris del condensador ajustado; o bien,

5.18.7.2. Objetivo de dispersión - contraste de fases positivo usado en combinación con un condensador con anillo de fases centrable de 10x o más aumentos (x40).

5.18.8. Oculares de 10x aumentos o mayor (uno de ellos enfocable y con retícula que defina las direcciones de vibración del polarizador y analizador).

6. TOMA DE MUESTRA

NOTA 1:

La toma de muestra supone una perturbación de los materiales y se pueden emitir fibras de amianto (cancerígeno 1A) al ambiente que pueden afectar a la salud de los expertos que toman las muestras y terceras personas, así como dejar contaminados los lugares. El riesgo de inhalación de fibras de amianto es mayor en los materiales friables. Se adoptarán todas las medidas preventivas y de protección necesarias para evitar o, si esto no fuera posible, minimizar el riesgo de exposición a fibras de amianto conforme a la normativa (11.13 y 11.14).

NOTA 2:

Todo el material que se vaya a utilizar en la toma de muestras deberá estar libre de fibras de amianto. Es conveniente asegurarse de que se dispondrá en el lugar del muestreo de todo el material necesario y también de otros elementos que pudieran ser necesarios como: medios para acceder de forma segura a los lugares de muestreo, escaleras, iluminación portátil, etc.

La toma de muestras puede responder a diferentes objetivos, desde la identificación de amianto en un material concreto, hasta la identificación y localización de todos los materiales con amianto en un edificio, local, instalación o elemento. En cada caso se necesitará una estrategia de muestreo y un procedimiento particulares (ambos previos a cualquier trabajo en campo) para el ob-

jetivo previsto y la situación concreta. Por otra parte, ambos dependerán del tipo de material, su homogeneidad, accesibilidad, estado de conservación y otras variables.

Por esto, y dada la diversidad de materiales, situaciones y circunstancias en las que se pueden encontrar, en este apartado se dan únicamente indicaciones generales para la toma de muestras para que, una vez determinados y conocidos los materiales de interés y el resultado de la evaluación preliminar de riesgos, se elabore el procedimiento particular que detalle las operaciones a realizar y las medidas preventivas a adoptar acordes al nivel de riesgo.

La toma de muestras (trabajo con MCA) constará de 3 etapas: (1) Preparación de la zona de muestreo, (2) Intervención sobre los materiales para obtener las muestras y (3) Aseguramiento / sellado del punto de muestreo, descontaminación y eliminación de residuos de la zona de muestreo.

Es fundamental que las muestras representen fielmente tanto la ubicación como el tipo de material del que se tomó. Después de evaluar la extensión del material y cualquier variación o reparaciones en el mismo, se tomará la muestra causando el mínimo deterioro a los materiales sospechosos de contener amianto empleando los tratamientos menos agresivos, de forma que se eviten la liberación de fibras al aire (por ejemplo humectando los materiales, etc.) y las exposiciones a fibras de amianto innecesarias.

Salvo que sea imprescindible, no realizarán muestreos destructivos que alteren la funcionalidad de la estructura que contiene el material.

En caso necesario se realizarán humectando y/o con un sistema de aspiración adecuado dotado de filtros de alta eficacia para partículas (HEPA).

Es importante no muestrear innecesariamente; puede no ser necesario en el caso de que se tome la decisión de gestionar un material como si fuese un MCA.

Dependiendo del objetivo del muestreo se valorará la conveniencia de tomar muestras replicadas, para prever la posibilidad de otros análisis independientes simultáneamente o en el futuro.

Se tomará sólo una pequeña cantidad del material suficiente para el análisis (del orden de gramos en peso o centímetros en longitud). Se adoptarán las precauciones necesarias para impedir la contaminación cruzada entre muestras y se utilizarán recipientes individuales para cada muestra. En el caso de que el material presente capas o zonas no homogéneas, en la medida de lo posible, se tomarán muestras independientes de cada una.

Cada muestra de material se introducirá inmediatamente después de la toma de muestra en un primer envase resistente y hermético adecuado. Debido a que el exterior de este primer envase puede haberse contaminado en la toma de muestra, se introducirá a su vez en un segundo envase hermético adecuado. Cada muestra, en

doble envase, se identificará inequívocamente y dispondrá de etiquetas reglamentarias que indiquen que contienen amianto.

En caso necesario, se preferirán herramientas de corte o fragmentación manual, evitando herramientas de fricción o abrasión que sólo se utilizarán si no es posible de otro modo y serán de baja velocidad de giro.

Finalmente la zona de muestreo quedará perfectamente limpia y libre de cualquier indicio de residuos provenientes del muestreo (véase 1ª nota del capítulo 7). Se realizarán las acciones necesarias para asegurarse de que la zona muestreada no libere fibras al ambiente después del muestreo. Por ejemplo sellando/encapsulando de modo efectivo y duradero los puntos de muestreo.

En el anexo C se incluyen algunas recomendaciones sobre la toma de muestras de MCA típicos.

7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

El procedimiento de análisis (identificación) por esta técnica consta de dos etapas principales:

1ª Etapa: observación inicial con el microscopio esteoscópico y pre-identificación.

2ª Etapa: observación al microscopio de polarización-dispersión (MOPD) e identificación.

Cada una de estas dos etapas incluye varias operaciones, que conducirán a la identificación de las fibras de amianto mediante el estudio de su morfología y propiedades ópticas, y que variarán en función de los distintos tipos de MCA comerciales (matriz, textura, homogeneidad, tipo y dimensiones de las fibras, friabilidad, etc).

Se resumen en la *tabla 4* (véase apartado 7.2) las propiedades utilizadas para la identificación de fibras de amianto mediante MOPD y se describen detalladamente en el *anexo A* incluyendo indicaciones prácticas para su observación.

Este análisis, por sus características, no es fácil de describir como un proceso paso a paso, no obstante se propone a continuación un procedimiento analítico detallado que la experiencia ha demostrado que permite la obtención de resultados concluyentes y fiables para la gran mayoría de MCA. Este procedimiento se resume esquemáticamente en la *Figura 1* y se describe con detalle en los apartados siguientes (7.1 y 7.2).

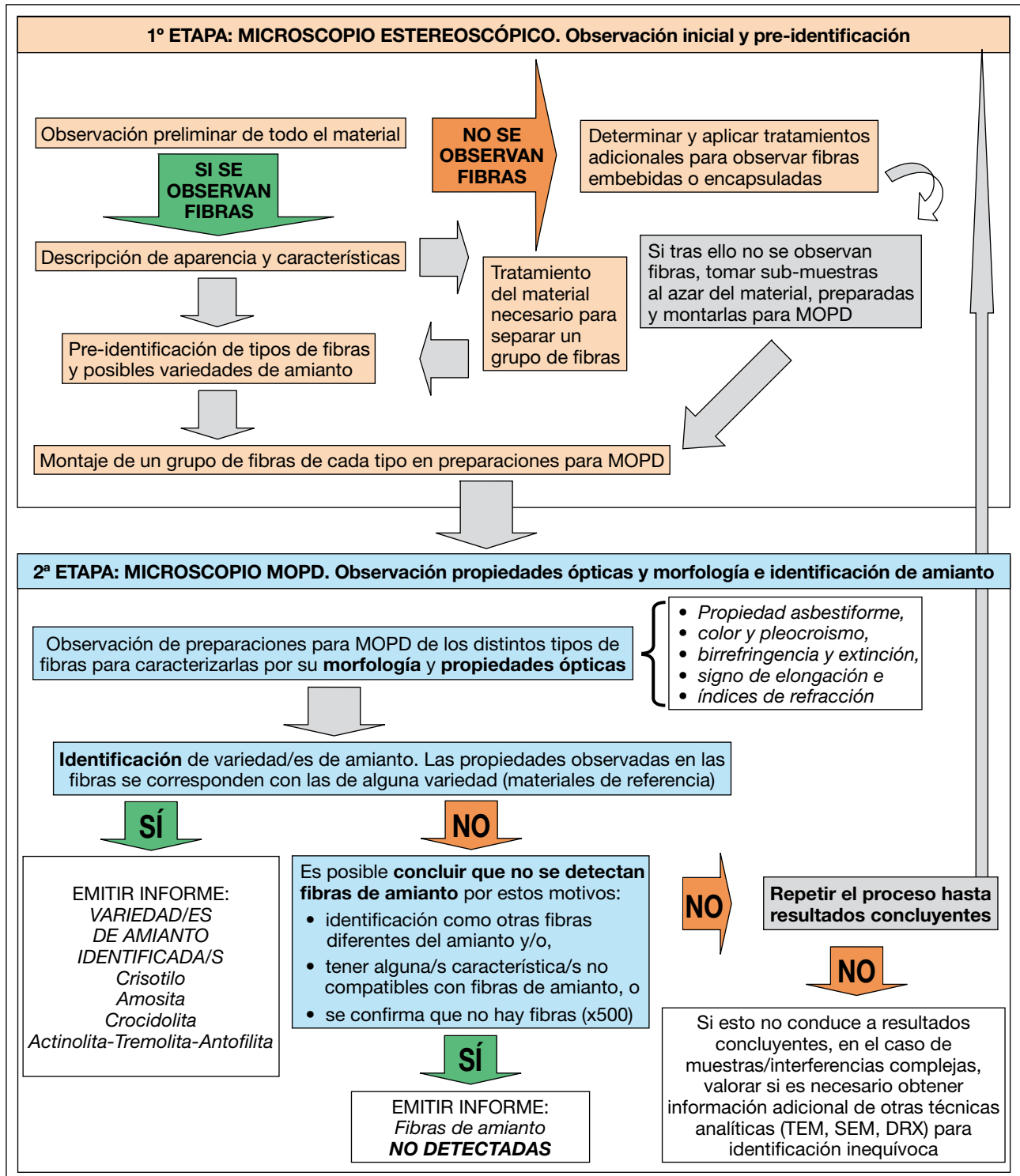
En función de las características de cada muestra el analista determinará la necesidad de repetir o alterar el orden de algunas de estas operaciones o el proceso completo hasta alcanzar resultados concluyentes. Es posible utilizar otras secuencias de operaciones a criterio del analista siempre que permitan alcanzar los objetivos señalados para cada una de las dos etapas.

Las interferencias en la identificación de fibras de amianto por este método pueden provenir de una gran variedad de constituyentes de la matriz en la que se encuen-

tran las fibras, así como de las condiciones (altas temperaturas, medios ácidos) a las que hayan estado sometidas las fibras de la muestra. (Véase apartado 7.3 y anexo B).

Figura 1

Procedimiento para identificación de fibras de amianto en materiales por microscopía óptica de polarización-dispersión (MOPD). Método del INSHT MTA/PI-010/A09



NOTA: Los residuos con fibras de amianto se identificarán y depositarán en contenedor adecuado para su recogida por un gestor autorizado, conforme a la normativa aplicable (11.15). Por ejemplo, restos de MCA, polvo retenido en filtros HEPA, elementos contaminados con fibras de amianto como guantes, mascarillas autofiltrantes, toallitas humedecidas utilizadas en la toma de muestra o en la limpieza del material utilizado, etc.

7.1. Observación inicial con el microscopio estereoscópico y pre-identificación (1ª etapa)

El objetivo de esta 1ª etapa es localizar, seleccionar, separar de su matriz, pre-identificar y montar un grupo de fibras (de cada tipo de material fibroso presente en la muestra) en preparaciones suficientes y adecuadas para su posterior observación con MOPD.

Para ello, se examina minuciosamente todo el material de la muestra con el microscopio estereoscópico (a pocos aumentos, 6-40x) en busca de material fibroso, se caracteriza y se realizan las operaciones necesarias para seleccionar y separar las fibras de los materiales de la matriz, y eliminar posibles interferencias que puedan dificultar la posterior observación de las propiedades ópticas.

Cada tipo de fibras encontrado se pre-identifica en función de su apariencia y comportamiento en la mani-

pulación. En la Tabla 2 se describen las propiedades físicas utilizables para la pre-identificación y que permiten seleccionar el líquido de alta dispersión con el Índice de Refracción (*n*) adecuado para obtener las preparaciones para MOPD.

NOTA: Esta primera etapa implica la manipulación de materiales con fibras de amianto (MCA) que puede liberar fibras de amianto (cancerígeno de 1ª categoría) al ambiente, afectar a la salud del analista y dejar contaminados los lugares. El riesgo de inhalación de fibras de amianto es mayor en materiales friables. Se adoptarán todas las medidas preventivas y de protección necesarias para evitar o, si esto no fuera posible, minimizar el riesgo de exposición a fibras de amianto conforme a la normativa (11.13 y 11.14).

7.1.1. Observación inicial con el microscopio estereoscópico

7.1.1.1. Se extrae el material de su envase, en el interior de una cabina de seguridad adecuada de forma que no se produzca liberación de fibras o polvo al ambiente, y se coloca en una placa tipo Petri sobre la platina del microscopio estereoscópico para su observación.

7.1.1.2. Se examina todo el material a simple vista y con el microscopio estereoscópico para determinar el tipo y

Tabla 2

| PROPIEDADES FÍSICAS Y APARIENCIA DE LAS FIBRAS DE AMIANTO | | | | | | |
|---|---|--|--|--|--|--|
| VARIEDAD DE AMIANTO | CRISOTILO | AMOSITA | CROCIDOLITA | TREMOLITA | ACTINOLITA | ANTOFILITA |
| COLOR | Incoloro/blanco | Incoloro/blanco a gris - marrón | Azul oscuro | Incoloro/blanco a gris - marrón | Gris verdoso | Incoloro/blanco a gris - marrón |
| TEXTURA | Fibras suaves y sedosas | Fibras suaves o ásperas. Haces de fibras paralelas fácilmente visibles | Fibras suaves o ásperas. Haces de fibras paralelas | Fibras suaves o ásperas. Haces de fibras paralelas fácilmente visibles | Fibras suaves o ásperas. Haces de fibras paralelas | Fibras suaves o ásperas. Haces de fibras paralelas fácilmente visibles |
| ASPECTO | Fibras flexibles que se unen formando haces muy finos | Fibras rectilíneas fáciles de manipular | Fibras rectilíneas fáciles de manipular | Fibras rectilíneas fáciles de manipular | Fibras rectilíneas fáciles de manipular | Fibras rectilíneas fáciles de manipular |
| LUSTRE | Sedoso | Vítreo | Metálico | Vítreo | Vítreo | Vítreo |
| RESISTENCIA (tracción) | Elevada | Elevada | Elevada | Débil | Débil | Media |
| TENACIDAD | Flexible | Flexible | Flexible | Flexible | Flexible | Flexible |
| ELASTICIDAD | No es elástico | Elástico | Elástico | Elástico | Elástico | Elástico |

homogeneidad del material, así como para establecer la presencia o ausencia de fibras visibles.

7.1.1.3. Las muestras de materiales no friables pueden requerir ser fragmentadas (con las herramientas adecuadas) para observar posteriormente los nuevos bordes de fractura generados y localizar posibles fibras que se hayan liberado o sobresalen del material.

7.1.1.4. Se localizan y separan de la matriz los distintos tipos de fibras que contiene. Se describen, para cada tipo de fibra encontrado, la apariencia y propiedades físicas útiles para la pre-identificación (tabla 2).

NOTA: Para muestras no homogéneas se realizará el proceso con cada capa o parte del material.

7.1.2. Tratamiento del material para separar las fibras.

7.1.2.1. Se toman sub-muestras (un grupo de fibras) de cada tipo de material fibroso detectado en la observación al microscopio estereoscópico y se realizan las operaciones necesarias, pero que causen la menor perturbación, para separar las fibras de la matriz y eliminar posibles interferencias, en particular partículas finas, que pueden dificultar la posterior observación de las propiedades ópticas. Se obtendrá un conjunto de fibras lo más secas y limpias posible.

Si no se observasen fibras, se obtendrá un polvo suficientemente fino, si es necesario mediante molienda del material, que pueda montarse para microscopía.

7.1.2.2. El tratamiento depende de la variedad de matrices que acompañan a las fibras. Se dan a continuación algunas indicaciones útiles.

7.1.2.2.1. Cuando las fibras están débilmente ligadas al material se extrae directamente el material fibroso del material con ayuda de unas pinzas y/o agujas de disección. Para eliminar las partículas finas adheridas a las fibras en algunos casos se puede realizar por arrastre mecánico. Si esto no fuera suficiente, se lavan las fibras con agua y/o detergente y se secan (se puede acelerar el secado lavando las fibras con acetona, etanol u otros disolventes volátiles).

7.1.2.2.2. En materiales en los que las fibras están fuertemente ligadas al material (material no friable) se estudia la parte superficial o exterior para observar la posible presencia de fibras. En muchos casos, es necesario fraccionar los materiales e inspeccionar los nuevos bordes originados para observar si hay fibras, anteriormente no visibles. Si las fibras son fácilmente extraíbles, se extraen directamente. En caso de no observarse fibras en los extremos de la muestra fraccionada, se procederá a disgregar o moler la muestra con herramientas o procedimientos mecánicos adecuados.

7.1.2.2.3. En las muestras que contengan agua (por ejemplo por haberse humectado en la toma de muestras), debe secarse el material fibroso antes de montar las fibras, ya que, si no es así, es posible que no se observen adecuadamente los colores de dispersión.

Para la mayor parte de los materiales, las operaciones descritas anteriormente son suficientes. En el caso de que no fuese suficiente, es necesario realizar tratamientos más específicos como los siguientes:

- *Tratamiento térmico.* Algunas matrices orgánicas pueden eliminarse mediante calentamiento del material en un horno cerrado tipo mufla (por ejemplo, 400 °C durante 1 o 2 horas). Es importante tener en cuenta que altas temperaturas pueden modificar algunas propiedades ópticas de las fibras de amianto.

- *Tratamiento con disolventes* (acetona, etanol, tetrahidrofurano, etc). Puede ser útil para eliminar los aglomerantes orgánicos empleados en plásticos, betún, resinas, cauchos, etc. La aplicación de ultrasonidos puede ayudar a la disolución y/o dispersión de la muestra.

- *Molienda del material.* Puede ser útil una molienda manual o bien en un molino de bolas o de fibras a bajas velocidades y durante tiempos limitados para alterar las fibras lo menos posible.

- *Tratamiento con ácidos.* En el caso de muestras con interferencias debidas a carbonatos, puede ser útil el tratamiento con una disolución de HCl 0,1M (se observa la liberación de burbujas que cesa al completarse la reacción con el carbonato).

7.1.3. Pre-identificación de la/s variedad/es de amianto para cada tipo de fibra.

Se observa cada tipo de material fibroso presente en la muestra con el microscopio estereoscópico y, en función de las características y comportamiento observados, se realiza una pre-identificación de la variedad de amianto presente.

Se estudia detalladamente la morfología y comportamiento de las fibras en busca de las características indicadoras de las distintas variedades de fibras de amianto. En particular la propiedad asbestiforme (dividirse longitudinalmente en fibrillas) y la forma de los extremos. En la tabla 2 se muestran el conjunto de propiedades físicas y apariencia, bajo el microscopio estereoscópico, utilizables como indicadores para la pre-identificación.

7.1.4. Montaje de preparaciones para MOPD

7.1.4.1. Se selecciona el medio o líquido de alta dispersión adecuado a cada tipo de fibra pre-identificada. El valor de su índice de refracción debe coincidir con el de la fibra que se va a montar para MOPD. En la tabla 3 se indican los valores recomendados de los Índices de Refracción de los medios o líquidos de dispersión en función de la variedad de amianto pre-identificada:

7.1.4.2. Se monta cada tipo de fibra detectado en el líquido (o medio) seleccionado. Para ello se seleccionan unas fibras (secas y lo más limpias posible), se depositan en un portaobjetos (en el que previamente se han colocado

Tabla 3

| VARIEDAD DE AMIANTO | CRISOTILO | AMOSITA | CROCIDOLITA | ANTOFILITA | TREMOLITA | ACTINOLITA |
|---|-----------|-------------------|-------------------|------------|-----------|-------------------|
| Índice de refracción (n) del líquido de alta dispersión | 1,550 | 1,670 (1,680)* | 1,700 (1,680)* | 1,605 | 1,605 | 1,640 (1,605)* |

* n del medio de alta dispersión

unas gotas del medio o líquido de dispersión adecuado), asegurándose de que se impregnan bien, y se coloca un cubreobjetos sobre las fibras.

En caso de duda sobre la variedad o tipo de fibras se recomienda montar en un medio de índice de refracción de 1,550. Cuando no se detecten fibras, se montarán y observarán por MOPD al menos dos preparaciones de sub-muestras tomadas al azar.

En el caso de fibras muy finas (como, por ejemplo, en losetas de amianto-vinilo) puede ser necesaria la observación con mayor número de aumentos (se recomienda como mínimo x400 aumentos) y se recomienda utilizar la técnica de contraste de fases.

7.2. Observación al microscopio de polarización -dispersión (MOPD) e identificación (2° etapa)

El objetivo de esta etapa es la identificación de las fibras de amianto presentes en la muestra basada en la morfología (asbestiforme) y las propiedades ópticas (color y pleocroísmo, birrefringencia, características de extinción, signo de elongación e índices de refracción) (Tabla 4). Para ello se observan las preparaciones para MOPD resultantes de la etapa anterior, con el microscopio de polarización-dispersión estudiando las propiedades cristalográficas para determinar si se corresponden o no con las asociadas a la estructura cristalina (11.4 y 11.9) de alguna de las seis variedades reguladas (materiales de referencia certificados) (11.11).

En el anexo A se incluye una descripción detallada de cada una de estas propiedades para la identificación de fibras de amianto incluyendo indicaciones prácticas para su observación.

7.2.1. Observación de propiedades ópticas para la identificación.

A continuación se describen una serie de pasos e indicaciones orientativas para la observación de estas propiedades. Se repetirán todas las operaciones para cada tipo de fibra presente en la muestra.

7.2.1.1. Se realizan los ajustes y alineaciones del microscopio adecuados de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se prestará especial atención a los relacionados con la iluminación Khöeler y a la obtención de colores de dispersión intensos.

7.2.1.2. Se sitúa la preparación para MOPD, con las fibras montadas en el medio de dispersión con Índice de Refracción (n) seleccionado, en el soporte de la platina y se enfoca para observar las fibras presentes en la preparación.

7.2.1.3. Se localizan las fibras más adecuadas de cada tipo para la observación recorriendo la preparación mediante el movimiento de la platina (ejes X e Y). Seleccionaremos las fibras y zonas en las que se pueda observar bien su morfología y que presenten menos interferencias para observar sus propiedades ópticas.

7.2.1.4. A continuación se propone una secuencia ordenada lógica de modos de observación (del A al D) para la observación de las distintas propiedades de las fibras de amianto (Véase tabla 5). En la práctica pueden utilizarse otras secuencias que permitan estudiar las propiedades ópticas indicadas bajo las condiciones adecuadas.

En primer lugar se observa la morfología, utilizando cualquiera de los modos descritos a continuación. Esto puede realizarse de forma simultánea a la fase de localización.

MODO A.

Luz polarizada plana (con el analizador y el compensador de primer orden retirados; el fondo aparece claro).

A continuación se observa el color de las fibras (casi transparentes en modo A si el índice de dispersión coincide con el de las fibras; azul indicará crocidolita) y el posible pleocroísmo (cambio de color girando la platina; indicará crocidolita o actinolita).

MODO B.

Polares cruzados (insertamos el analizador; el fondo aparece oscuro).

En segundo lugar se observan la birrefringencia y las características de extinción. En este paso se pueden descartar las fibras isotrópicas que serán difícilmente visibles en todos los ángulos de rotación al girar la platina (por ejemplo, fibras minerales artificiales como fibra de vidrio, lana mineral, etc.).

MODO C.

Polares cruzados y compensador insertados (se continúa con los polares cruzados e insertamos el compensador, el fondo aparecerá de color rosa).

Tabla 4

| PROPIEDADES ÓPTICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AMIANTO POR MOPD (11.1) | | | | | | | |
|---|------------------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Variedad de fibras de amianto | | CRISOTILO | AMOSITA | CROCIDOLITA | TREMOLITA | ACTINOLITA | ANTOFILITA |
| PLEOCROÍSMO | Paralelo a fibra | no | no | AZUL | no | VERDE | no |
| | Perpendicular | no | no | GRIS | no | GRIS | no |
| BIRREFRINGENCIA | | baja | moderada | Baja/anómala | moderada | moderada | moderada |
| EXTINCIÓN | | Completa (ondulosa con fibras curvadas); paralela | Completa; paralela | Completa; paralela | Completa; paralela o ángulo pequeño | Completa; paralela o ángulo pequeño | Completa; paralela |
| SIGNO DE ELONGACIÓN | | Normalmente positivo (o longitudinalmente lento) | Positivo (o longitudinalmente lento) | Normalmente negativo (o longitudinalmente rápido) | Positivo (o longitudinalmente lento) | Positivo (o longitudinalmente lento) | Positivo (o longitudinalmente lento) |
| COLORES DE DISPERSIÓN | Paralelo a fibra | púrpura | amarillo | azul | amarillo | amarillo-marrón | amarillo-naranja |
| | Perpendicular | azul | rojo-púrpura | azul | azul | azul-púrpura | azul-rojo |
| Rangos del índice de refracción de las fibras de amianto | n_{α} | 1,537-1,554 | 1,670-1,675 | 1,680-1,692 | 1,599-1,620 | 1,619-1,658 | 1,596-1,654 |
| | n_{γ} | 1,545-1,557 | 1,683-1,694 | 1,683-1,700 | 1,622-1,641 | 1,641-1,677 | 1,625-1,667 |

Tabla 5

| PROPIEDAD OBSERVADA | MODO DE OBSERVACIÓN | |
|-----------------------------|---|-------------|
| MORFOLOGÍA | Todos | A, B, C y D |
| COLOR Y PLEOCROÍSMO | Luz polarizada plana (sólo polarizador); también bajo polares parcialmente cruzados | A |
| BIRREFRINGENCIA Y EXTINCIÓN | Polares cruzados | B |
| SIGNO DE ELONGACIÓN | Polares cruzados con compensador (a 45°, retardo de 530nm) insertado | C |
| COLORES DE DISPERSIÓN | Dispersión. (Sólo polarizador, con objetivo adecuado) | D |

En tercer lugar se observa el signo de elongación manteniendo los polares cruzados e introduciendo el compensador de primer orden. Un signo de elongación negativo nos indicará la posible presencia de crocidolita.

MODO D.

Técnica de dispersión que se obtiene con luz polarizada plana (retiramos el analizador y el compensador de primer orden) e insertando un objetivo adecuado según se describe con más detalle en el anexo A, (según sea necesario se cierra el iris del condensador o bien se inserta el anillo de fases en el condensador; el fondo aparecerá oscuro). Es esencial un ajuste preciso de acuerdo con las instrucciones del fabricante para obtener colores intensos.

Finalmente se estudian los índices de refracción mediante la observación de los colores de dispersión en ambas direcciones (paralela y perpendicular) en la interfase entre las fibras y el medio (líquido de alta dispersión o equivalente) en el que están inmersas.

Los colores de dispersión observados dependen del ajuste del microscopio para obtener la dispersión. Por tanto, cada analista debería determinar experimentalmente con materiales de referencia de las seis variedades los colores correspondientes a cada variedad de amianto. Además, los colores de dispersión observados dependen también de la temperatura de la preparación y de la composición química exacta del amianto. Por esto deben admitirse pequeñas desviaciones de los colores observados respecto a los materiales de referencia.

7.2.2. Identificación de variedades de fibras de amianto.

7.2.2.1. Se determina, para cada uno de los distintos tipos de fibras encontrados en la muestra, si las fibras son anisotrópicas (todas las variedades de amianto lo son) o no. Esto nos permite distinguir, en la mayoría de los casos, el amianto de los materiales isótropos.

7.2.2.2. A continuación se comprueba si la morfología y propiedades ópticas observadas son compatibles con las descritas para las fibras de amianto de materiales de referencia (*Véanse tabla 4 y anexos A y B*). Se prestará especial atención a la morfología y a los colores de dispersión. Para una identificación positiva ambos colores de dispersión observados (dirección paralela y perpendicular) deben ser coincidentes con los descritos para alguna de las seis variedades de amianto reguladas

7.2.2.3. Se concluirá que no se detectan fibras de amianto bien porque se han observado fibras e identificado como otras diferentes al amianto o incompatibles con sus propiedades; o bien porque se puede concluir que no se observan fibras en la muestra.

7.2.2.4. En caso de duda u observaciones no concluyentes, se volverá a examinar minuciosamente el material en el microscopio estereoscópico y seleccionar nuevas sub-muestras. Se valorará si es necesario un tratamiento diferente al realizado inicialmente de la muestra. Se

montan las preparaciones adicionales que se estimen necesarias y se repite el proceso.

7.2.2.5. En algunos casos de muestras complejas, cuando repetido el proceso los resultados no fueran suficientemente concluyentes, el analista decidirá sobre la conveniencia de confirmar los resultados utilizando otras técnicas analíticas (por ejemplo: microscopía electrónica, espectroscopia infrarroja, difracción de RX, etc.) (11.4 y 11.7).

7.3. Interferencias y dificultades en el análisis

Las interferencias en la identificación de fibras de amianto por este método pueden provenir de los constituyentes, fibrosos o no fibrosos, orgánicos o inorgánicos, de los materiales de la muestra que pueden conducir a falsos positivos y a falsos negativos.

Las más comunes son las derivadas de la propia matriz, como cemento, resina epoxy, vinilo, caucho, alquitrán o pinturas en las que las fibras están fuertemente retenidas y dificultan su visualización e identificación.

Algunas fibras naturales, artificiales o sintéticas con morfología y/o propiedades ópticas similares a las fibras de amianto, que pudiesen estar presentes en la muestra, pueden conducir a *falsos positivos*. En ese caso, deben distinguirse por MOPD esas otras fibras de las de amianto. Para ello, es útil comparar las propiedades ópticas realizando observaciones de preparaciones para MOPD de materiales de referencia de esas otras fibras (en el Apartado 1 del anexo C se describen algunas de ellas).

Recubrimientos de las fibras de amianto, partículas finas u otros materiales adheridos, así como alteraciones en su superficie por ataques químicos o altas temperaturas, pueden interferir en la observación o alterar las propiedades ópticas y conducir a *falsos negativos*.

Es conveniente siempre resaltar que las características ópticas solas no son suficientes para distinguir entre la tremolita y la actinolita de ciertas fuentes, o entre la tremolita y la antofilita (que tienen los valores de birrefringencia n similares). En el caso de que estas distinciones fuesen críticas, puede ser necesario utilizar otras técnicas analíticas tales como la microscopía electrónica o la difracción de RX.

En el *Anexo B* se describen de manera no exhaustiva las interferencias y dificultades más habituales que surgen en la identificación de las fibras de amianto en MCA típicos, junto a orientaciones para su eliminación.

8. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

El informe analítico incluirá para cada muestra el resultado del análisis, indicando la variedad o variedades de fibras de amianto identificadas, conforme a las siguiente directrices:

8.1. Identificación negativa

Se considerará esta circunstancia cuando se pueda concluir que no se observan fibras en la muestra tras los tratamientos oportunos o, en el caso de que se observen, sean identificadas como diferentes del amianto o incompatibles con sus propiedades. En este caso en el resultado del análisis se indicará: “no detectado”.

8.2. Identificación positiva

8.2.1. En el caso de las variedades denominadas “frecuentes” la identificación positiva se indicará como: Variedad/es detectada/s: “cristolita” y/o “crocidolita” y/o “amosita”.

8.2.2. En el caso de las variedades denominadas “infrecuentes”, cuya discriminación puede ofrecer ciertas dificultades con este procedimiento, en el resultado se indicará: Variedad/es detectada/s: “tremolita-actinolita-antofilita amianto” Cuando sí sea posible la identificación individual de alguna de estas variedades, se hará constar esta circunstancia, por ejemplo: “actinolita amianto”.

8.3. Identificación no concluyente:

Hace referencia al caso en el cual no haya sido posible llegar a ninguna de las anteriores conclusiones. Se efectuarán las observaciones o justificaciones que se estimen necesarias.

9. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

9.1. Control de Calidad Interno

El laboratorio debería disponer de un programa de control de calidad interno que permita garantizar que la calidad de los resultados analíticos se mantiene en el tiempo conforme a criterios predefinidos. Su objetivo es minimizar los errores en el análisis de materiales con amianto que incluyen falsos positivos, falsos negativos e identificación incorrecta de variedades de amianto. (11.12)

Es esencial disponer y utilizar regularmente materiales de referencia (11.11) con las seis variedades de fibras de amianto reguladas a diferentes niveles de concentración en el material y con diferentes matrices similares a las de los materiales de las muestras a analizar. Es recomendable la repetición de análisis de muestras conservadas y/o repetición con otros métodos.

Es esencial disponer e implantar procedimientos internos detallados y documentados para todas las etapas necesarias para el análisis de las muestras (toma de muestras, recepción de muestras, requisitos y criterios de aceptación, tratamientos, identificación de variedades, control de calidad, calibración, ajustes de microscopios, informe de resultados, formación y cualificación, etc.) que incluyan las actuaciones para detectar y corregir posibles desviaciones.

Todas las observaciones realizadas, en particular las propiedades ópticas y tratamientos realizados, deben quedar registradas de manera permanente durante el tiempo nece-

sario recogiéndose por escrito o en soporte informático (en particular se recomienda la microfotografía de las observaciones que permitieron la identificación de cada muestra).

Es esencial un adecuado mantenimiento y calibración de los microscopios. Se recomienda una verificación anual y una limpieza exhaustiva por parte de un técnico especializado. Se debería garantizar su correcto alineado mediante verificaciones y ajustes periódicos. En particular para MOPD verificaciones de:

- iluminación Koehler,
- alineación del polarizador a 90° respecto al analizador,
- correcta orientación del compensador,
- centrado de objetivos y del condensador,
- obtención de colores de dispersión intensos (centrado del anillo de fases, en el caso de que lo requiera el objetivo de dispersión utilizado),
- límite de visibilidad, etc.

El laboratorio debería disponer de:

- Materiales de Referencia Certificados (MRC) para las seis variedades de amianto reguladas
- Materiales de Referencia de fibras distintas al amianto que se presenten comúnmente en los materiales analizados.
- Colecciones de materiales con fibras de amianto.
- Preparaciones permanentes para MOPD de referencia con cada una de las seis variedades de fibras de amianto y otras fibras para microscopía óptica.

9.2. Control de Calidad Externo

Para garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados es aconsejable la participación en programas de evaluación externa de calidad (programas interlaboratorios o de intercomparación).

9.3. Influencia del analista

La intervención del analista es un factor clave para la fiabilidad de los resultados. Ésta aumenta con la formación y la experiencia, que en particular son útiles en la eliminación de interferencias.

9.4. Almacenamiento y conservación de muestras analizadas

El laboratorio debería conservar, durante el tiempo necesario para el cumplimiento de posibles prescripciones legales, todas las muestras analizadas.

Por otro lado, se recomienda conservar preparaciones permanentes, por ejemplo con termoplásticos, de las muestras analizadas para microscopía óptica. Estas preparaciones son estables durante años y posibilitan la observación de las propiedades ópticas de las fibras incluidos los colores de dispersión, con posterioridad al análisis. Pueden ser útiles para el sistema de control de calidad interno.

10. PARÁMETROS DE CALIDAD

La concentración a partir de la cual pueden ser detectadas e identificadas fibras de amianto en un material dependen, entre otros factores, del tipo de muestra (tipo de MCA, componentes de la matriz, textura, friabilidad, interferencias, tipo y dimensiones de las fibras, etc.), de la preparación de la muestra (homogeneidad, tamaño de grano, tratamientos físicos, químicos y/o térmicos, etc.) así como de la cualificación y experiencia del analista.

A modo de orientación, para la gran mayoría de muestras homogéneas de MCA típicos y sin interferencias fibrosas importantes, el valor mínimo detectable de fibras de amianto en la práctica, aplicando cuidadosamente este método de análisis por personal cualificado, se estima que está por debajo del 1 % (11.1, 11.4, 11.5, 11.6 y 11.8).

En estas mismas condiciones, a partir de los datos obtenidos durante el desarrollo experimental de este método, fueron detectados con un nivel de fiabilidad aceptable concentraciones del orden del 0,1% (crocidolita) y 0,5% (amosita y crisotilo).

11. BIBLIOGRAFÍA

- 11.1.** HSG 248. Asbestos: The analyst's guide for sampling, analysis and clearance procedures. HSE Books 2005. ISBN 0-7176-2875-2.
- 11.2.** MDHS77 method. Asbestos in bulk materials: Sampling and identification by polarized light microscopy (PLM) Books 2001 ISBN 0 7176 0677 5 (sustituido por Appendix 2 de HSG 248).
- 11.3.** Health & Safety Laboratory. Identification of asbestos in bulk materials by polarized light microscopy (PLM). HSE and NIOH, Copenhagen, Denmark. 1996.
- 11.4.** EPA/600/R-93/116. Test Method. Method for the determination of asbestos in bulk building material. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development Washington DC. 1993.
- 11.5.** NIOSH method 9002. Asbestos (bulk) by PLM. Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. 1994.
- 11.6.** OSHA method ID-191. Polarized light microscopy of asbestos. Occupational Safety and Health Administration. U.S. Department of Labour. 1992.
- 11.7.** JIS A 1481: 2008. Determination of asbestos in building material products. Japan Association for Working Environment (2008).
- 11.8.** Fibre aspects, Committee on fibre measurement newsletter, Issue Nr 12 autumn 2005, HSE.
- 11.9.** McCrone, Walter C. The Asbestos Particle Atlas, Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1980.
- 11.10.** Asbestos Identification. Walter C. McCrone, McCrone Research Institute, 1987, pp. 199.
- 11.11.** Bulk asbestos reference minerals for optical microscope identification: preparation, evaluation and validation CRR159 HSE Books 1997 ISBN 0 7176 1479 4.
- 11.12.** Application of ISO/IEC 17025 for asbestos sampling and testing LAB 30 United Kingdom Accreditation Service 2002.
- 11.13.** REAL DECRETO 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- 11.14.** Guía Técnica para la evaluación y prevención de la exposición a amianto durante el trabajo (Guía técnica del REAL DECRETO 396/2006). INSHT 2008.
- 11.15.** Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. BOE nº 96.
- 11.16.** Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de Sustancias y Mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/200.
- 11.17.** A practical guide on best practice to minimise asbestos-risks in work that involves (or may involve) asbestos: for the employer, the workers and the labour inspector. A guide issued by the Señor Labour Inspectors Committee (SLIC). EUROPEAN COMMISSION. Guide on Best Practice, 20th March 2006.
- 11.18.** NTP 796: Amianto: planes de trabajo para operaciones de retirada o mantenimiento. INSHT.
- 11.19.** NTP 708: Diagnóstico de amianto en edificios (II): Norma NF X46-020 (AFNOR). INSHT.
- 11.20.** Norme NF X46-020 Diagnostic amiante. Repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante dans les immeubles bâtis. AFNOR 2002.
- 11.21.** MDHS 100 Surveying, sampling and assessment of asbestos-containing materials HSE Books, 2001. ISBN 0 7176 2076 X.
- 11.22.** MTA/MA-051/A04 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: "Determinación de fibras de amianto y otras fibras en aire. Método del filtro de membrana/microscopía óptica de contraste de fases", elaborado según el método de la Organización Mundial de la Salud en 1997.
- 11.23.** CR-01/2005 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: "Criterios y recomendaciones para la medida fiable de las concentraciones de fibras de amianto en aire. Bombas de muestreo personal para agentes químicos".
- 11.24.** Bradbury S. et al. RMS Dictionary of light microscopy: Microscopy handbook 15 Oxford Science Publishers, 1989 ISBN 0 19 856421 X.

ANEXO A

Descripción de propiedades para la identificación de fibras de amianto mediante MOPD

La identificación de amianto mediante microscopía de polarización-dispersión (MOPD) (11.1 a 11.10) se basa en el estudio de la morfología (asbestiforme) y propiedades ópticas (color y pleocroísmo, birrefringencia, extinción, signo de elongación e índices de refracción) de las fibras presentes en un material, y la comparación con las propiedades cristalográficas de los materiales de referencia de las seis variedades reguladas de fibras de amianto (crisotilo, amosita, crocidolita, tremolita, actinolita y antofilita). Se describen a continuación las propiedades utilizadas para la identificación de fibras de amianto mediante MOPD incluyendo indicaciones prácticas para su observación.

A.1 Morfología

La morfología “asbestiforme” de las fibras de amianto se reconoce generalmente al microscopio por las siguientes características:

A1.1 Relación longitud/diámetro en el rango de 20/1 a 100/1 o mayor para fibras de longitud > 5 µm.

A1.2 Capacidad de dividirse longitudinalmente en fibrillas muy finas.

A1.3 Además, la observación de alguna de estas características:

- haces de fibras paralelas compuestas de fibrillas de menos diámetro
- extremos de los *haces* deshilachados o abiertos
- fibras en forma de finas agujas,
- conjunto de fibras enmarañadas y/o
- fibras curvadas

NOTA: asbestiforme es un tipo específico de fibrosidad mineral en el que las fibras y fibrillas tienen una elevada resistencia a la tracción y elasticidad.

A.2 Color y pleocroísmo

A.2.1 El color bajo luz polarizada plana de las fibras de crocidolita es azul. Las fibras otras cuatro variedades reguladas de amianto presentan poco color de contraste (normalmente incoloras) excepto si han estado expuestas al calor.

A.2.2 Las fibras de las variedades crocidolita y la actinolita presentan color que cambia al girar la platina con luz polarizada (pleocroísmo). La crocidolita presenta color azul oscuro cuando las fibras se orientan paralelas al polarizador, que cambia a color azul-gris cuando se gira la platina hasta orientar la fibra perpendicularmente. La actinolita presenta frecuentemente color verde (orientación paralela) que cambia a verde pálido, gris o amarillo (orientación perpendicular).

NOTA: una manera alternativa de observar el pleocroísmo es orientando la fibra a 45° bajo polares cruzados y rotando el analizador (o el polarizador) un pequeño ángulo en ambos sentidos para ver si hay cambio de color.

A.3 Birrefringencia

La birrefringencia, expresión cualitativa de la máxima diferencia entre los índices de refracción de un cristal, se determina observando una partícula anisotrópica a través de polares cruzados de manera que su aspecto cambia normalmente a medida que se gira la platina: si se orienta con sus planos de vibración a 45° de la dirección de vibración del polarizador, se observan los colores de interferencia sobre un fondo oscuro.

Bajo polares cruzados (modo B) las partículas (fibras) cristalinas aparecerán oscuras (desaparece o se extingue) cuatro veces en cada vuelta de la platina con intervalos de 90°, mientras que en la posición intermedia a 45° debe aparecer blanco o coloreado. Los materiales isotrópicos tienen birrefringencia cero y por tanto no exhiben colores de interferencia.

De forma simplificada podemos decir que esto es debido a que el rayo luminoso se escinde en dos rayos (llamados rápido y lento) que atraviesan el cristal con diferente velocidad, por lo que el cristal tiene distinto n para ambos rayos. Las direcciones de vibración son mutuamente perpendiculares y dependen de la estructura del cristal.

Los colores de interferencia observados dependen del grosor y de la birrefringencia. El crisotilo y la crocidolita muestran baja birrefringencia y para el resto de anfíboles es moderada.

A.4 Extinción

La extinción sucede cuando la dirección de vibración del cristal es paralela a la del polarizador (direcciones de extinción). Diremos que una fibra presenta extinción paralela (o recta) cuando las direcciones de vibración son paralelas y perpendiculares a su longitud. Si no lo son, diremos que son inclinadas u oblicuas. El ángulo de extinción sería el formado entre el eje longitudinal de la fibra y la dirección de extinción más próxima.

Las fibras de amianto (y otras fibras) presentan extinción completa paralela o con un pequeño ángulo, cuando se observan bajo polares cruzados (modo B) orientadas paralelas a las direcciones del polarizador o del analizador (cuatro posiciones de extinción a 90°). Las fibras de crisotilo, amosita, crocidolita y antofilita muestran extinción paralela. Tremolita y actinolita pueden exhibir extinción paralela o bien inclinada.

La determinación del ángulo de extinción puede ser útil en algunos casos.

A.5 Signo de elongación

El signo de elongación describe la relación entre la forma de la fibra y las propiedades ópticas. Diremos que éste es positivo (elongación positiva o longitudinalmente lento) si la fibra tiene la dirección lenta paralela o casi paralela a su longitud. Si es la dirección rápida la que es paralela o casi paralela a su longitud, diremos que tiene elongación negativa.

Podemos determinar el signo de elongación de la fibra observando los colores de interferencia bajo los polares cruzados e introduciendo el compensador de primer orden a 45° (Modo C).

Para un compensador con la dirección lenta en la dirección NE-SO (noroeste-suroeste) los colores de las fibras de amianto (que bajo polares cruzados eran grises o blancos de primer orden) serían los siguientes:

A.5.1 Signo positivo: color azul-verde con la fibra orientada en dirección NE-SO y amarillo-naranja en dirección NO-SE (crisotilo, amosita, antofilita, actinolita y tremolita).

A.5.2 Signo negativo: color amarillo-naranja con la fibra orientada en dirección NE-SO y azul-verde en dirección NO-SE (crocidolita)

La crocidolita es la única de las seis variedades de fibras de amianto que generalmente presenta elongación negativa. Sin embargo este signo negativo puede cambiar a positivo si la crocidolita ha sido sometida a temperaturas en torno a 300 °C o superiores.

A.6 Índices de Refracción (Colores de dispersión)

Los Índices de Refracción (n) de las fibras de amianto pueden estudiarse montando fibras limpias separadas del material en un líquido (o medio) con índice de refracción conocido y orientándolas paralela o perpendicularmente a la dirección de vibración del polarizador. De esta manera se determina si el n de la fibra es mayor, menor o igual al del medio en el que se han montado las fibras para su observación.

Se pueden realizar tres tipos de observaciones: el relieve (esto es: el contraste visible entre la partícula y el medio de montaje, que aumenta al aumentar la diferencia entre los n de ambos), la denominada "línea de Becke" y los colores de dispersión. La observación de estos últimos es suficiente si se han montado las fibras en un medio con el n coincidente con las fibras, y se utiliza un objetivo de dispersión con tope central, o bien uno para dispersión con contraste de fases, de manera que se produzcan colores de dispersión intensos. Con muestras que sean atípicas o planteen dificultades se pueden realizar las otras dos observaciones citadas para seleccionar el medio de montaje con n coincidente.

A.6.1 Observación de los colores de dispersión

La microscopía de dispersión para la identificación de amianto es una técnica que se usa para identificar los índices de refracción para fibras por reconocimiento del color (no es necesario un valor numérico de los índices de refracción; no obstante es posible la correlación de colores con índices de refracción mediante tablas de conversión publicadas). Los colores de dispersión observados dependen de la temperatura y de la composición química exacta del amianto.

Se utiliza el término dispersión para describir la variación del n con la longitud de onda de la luz. Las diferencias en dispersión entre partículas y líquidos significan que, aunque coincidan los Índices de Refracción de ambos a una determinada longitud de onda, éstos pueden ser muy diferentes a otras. Esto produce como efecto colores en las fibras cuando se observan con luz blanca inmersas en el líquido de dispersión con n coincidente. Este efecto se observa con mayor facilidad con un fondo oscuro.

Para esta valoración de los índices de refracción mediante la observación de los colores de dispersión intensos, éstos se pueden obtener utilizando uno los dos accesorios siguientes, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

A.6.1.A Utilizando un objetivo de dispersión con un tope central en el plano focal y un haz de luz axial producido cerrando parcialmente el iris del condensador.

A.6.1.B Utilizando un objetivo de contraste de fase positivo para dispersión con el correspondiente anillo de fase centrable en el condensador. Produce una imagen coloreada sobre fondo oscuro.

En ambos casos es esencial un ajuste preciso de acuerdo con las instrucciones del fabricante para obtener colores intensos.

Para una identificación positiva ambos colores de dispersión observados (dirección paralela y perpendicular) deben ser coincidentes con los descritos para alguna de las seis variedades de amianto reguladas.

Algunas fibras vegetales pueden presentar colores de dispersión similares al amianto. Se debe observar cuidadosamente la morfología y/o eliminar este tipo de fibras en el tratamiento de la muestra.

Por otro lado los recubrimientos en las fibras, como los de tipo carbonato o vinílico, pueden impedir observar los colores de dispersión. Usualmente es posible observarlos en una pequeña zona no cubierta y esto es suficiente. Si no es así, hay que tratar la muestra según lo descrito en 7.1.2.

Los colores observados en la interfase partícula-líquido nos indican lo diferentes que son los índices de refracción de la partícula respecto a los del líquido de inmersión elegido para montar las fibras. (Tabla A.1).

Si los colores observados en ambas direcciones son blanco-azulados, se ha seleccionado un líquido de dispersión de n mayor del correcto para las fibras. Se debe seleccionar un líquido con n inferior para montar otra preparación.

Si los colores observados en ambas direcciones son de blanco-pajizos a blanco-amarillentos, esto indica que se ha seleccionado un líquido de dispersión de n menor que el de las fibras. Se debe seleccionar un líquido con n superior.

Tabla A. 1

| OBSERVACIÓN DE COLORES DE DISPERSIÓN | |
|---|--|
| Situación del Índice de Refracción de la fibra respecto al líquido de alta dispersión | Colores observados con objetivo de dispersión-tope central |
| RI fibra \gg n líquido | Blanco |
| RI fibra $>$ n líquido | Rojo-púrpura/naranja/amarillo |
| RI fibra = n líquido | Púrpura |
| RI fibra $<$ n líquido | Azul/azul-verdoso |
| RI fibra \ll n líquido | Blanco |

Nota 1: la dispersión también puede ser estudiada por sus efectos en la figura de interferencia.

Nota 2: para la identificación de amianto el análisis de la línea de Becke, que permite deducir si el índice de refracción del medio de dispersión utilizado es mayor o menor que el de la fibra, puede usarse para obtener los mismos resultados (o mejores en caso de muestras con fibras recubiertas) que la microscopía de dispersión.

ANEXO B

Principales interferencias y dificultades más habituales en la identificación de las fibras de amianto en materiales por MOPD

Las interferencias y dificultades en la identificación de fibras de amianto por este método pueden provenir de los constituyentes, fibrosos o no fibrosos, orgánicos o inorgánicos, de los materiales de la muestra. Existen cientos de posibles interferentes que pueden estar presentes en los lugares de trabajo.

Dada la cantidad y variedad de posibles interferentes, así como de tratamientos del material para su eliminación, se han incluido en este anexo los interferentes más habituales que podemos encontrar en materiales con amianto (MCA) típicos, así como algunos materiales sustitutivos de aquéllos. Se tendrá en cuenta que, en casos concretos, pueden encontrarse interferencias y dificultades distintas a lo recogido en este anexo no exhaustivo y pueden ser necesarios otros procedimientos.

Algunos componentes de la matriz, como cemento, resina epoxy, vinilo, caucho, alquitrán, adhesivos o pinturas en las que las fibras están fuertemente retenidas, dificultan su visualización e identificación.

Algunas fibras naturales, artificiales o sintéticas con propiedades ópticas similares a las de las fibras de amianto que estén presentes en la muestra pueden conducir a falsos positivos.

Recubrimientos de las fibras de amianto, partículas finas u otros materiales adheridos, así como alteraciones en su superficie por ataques químicos o altas temperaturas, pueden interferir en la observación o alterar las propiedades ópticas y conducir a falsos negativos.

Algunos componentes orgánicos de la matriz son solubles en los líquidos utilizados para el montaje de preparaciones para su observación en MOPD, por lo que, si no se separan de las fibras antes pueden afectar al estudio de los índices de refracción. La presencia de agua en las fibras puede dificultar la observación de los colores de dispersión.

En el caso de muestras complejas, con interferencias, en las que los resultados no fuesen concluyentes (por ejemplo, por no ser posible la observación de todas las propiedades ópticas de las fibras) el analista determinará si fuese necesaria información adicional por otras técnicas o métodos de análisis como la difracción de rayos X, la microscopía electrónica o la espectrofotometría de infrarrojos para su identificación inequívoca.

A continuación se describen las principales interferencias y las dificultades más habituales que surgen en la identificación de las fibras de amianto en materiales por MOPD junto a orientaciones para su eliminación.

B.1. Fibras con morfología y propiedades ópticas similares al amianto

En ocasiones se pueden encontrar fibras, de las usadas normalmente como sustitutivas del amianto, con características morfológicas y ópticas similares a las de las fibras de amianto. Fibras que pueden asemejarse al crisotilo son principalmente fibras de polietileno, fibras de cuero, fibras de aramida, fibras orgánicas naturales, fibras de talco, etc. Las fibras minerales brucita, wollastonita y tierra de diatomeas se parecen a los anfíboles.

En este punto se resumen algunas características que permiten su distinción mediante MOPD.

Las fibras de polietileno presentan, en el líquido de contraste con $n=1,550$, una dispersión de color típico del crisotilo aunque en un examen óptico detallado se pueden observar las diferencias de color. Además, el polietileno mantiene la variación de color en un intervalo mayor de n_r que el crisotilo. La característica diferencial entre ambas fibras es su comportamiento frente a una llama, es decir, las fibras de polietileno se queman mientras que el crisotilo no arde.

Las fibras o virutas de cuero tienen similares colores de dispersión e índices de refracción que el crisotilo pero, a unos 100 aumentos, se llega a observar la uniformidad de las fibrillas de cuero mientras que las de crisotilo son pequeñas y mucho menos uniformes. Por otra parte, mediante manipulación de la muestra en un microscopio estereoscópico, a bajos aumentos, es posible también su diferenciación física. Además, estas fibras se pueden eliminar completamente calcinando la muestra a 400 °C.

Las fibras de aramida (Kevlar) pueden tener una morfología parecida al crisotilo pero se las reconoce por su extrema birrefringencia (intervalo de refracción amplio entre 1,64 y 2,4) y colores de interferencia blancos. Además, el relieve de las fibras de aramida en $n=1,640$ es muy variable al girar una preparación en la platina del microscopio. Presentan signo de elongación negativo. Pueden ser claramente identificadas porque bajo luz ultravioleta exhiben fluorescencia moderada (debida a los anillos aromáticos en su estructura) en la región visible.

Las fibras orgánicas naturales como el papel (celulósicas), pelos de animales y las telas de araña (que podemos encontrar por ejemplo en muestras de materiales con polvo sedimentado) tienen índices de refracción similares al crisotilo y presentan colores de interferencia similares entre polares cruzados. No obstante, se pueden distinguir por su morfología y se pueden eliminar por incineración o exponiendo las fibras a la llama. Las telas de araña presentan extinción paralela, signo de elongación negativo y baja birrefringencia.

Las fibras de talco se presentan en forma de cintas finas pero se pueden reconocer por sus características morfológicas y sus curvaturas deformadas. Estas fibras tienen un índice de refracción más elevado que el del crisotilo. En $n=1,550$ se observan colores de dispersión amarillo pálido.

Antigorita y lizarcita (polimorfos de crisotilo) producen colores de dispersión similares a los del crisotilo, pero no son fibrosos.

La brucita fibrosa se compone normalmente de fibras rectas de color variable entre blanco y marrón claro, y puede confundirse con un anfíbol, pero no tiene la resistencia a la tracción que tiene el amianto. La brucita es frágil y se disuelve en ácido. Se distingue del amianto por sus índices de difracción (1,560-1,590 paralelo a la fibra y 1,580-1,600 perpendicular). En $n=1,605$ se observan colores de dispersión azul pálido, en $n=1,550$ se observan amarillo-amarillo pálido. Presenta signo de elongación positivo que se vuelve negativo cuando se calienta.

La wollastonita fibrosa presenta una morfología acidular, es muy frágil, tiene un aspecto blanco y es soluble en ácidos. Sus índices de refracción (1,628-1,650 casi paralelo a la fibra y los otros 2 en los rangos 1,626-1,640 y 1,631-1,653) coinciden con los de la tremolita, actinolita y antofilita, pero su intervalo de refracción es menos elevado y frecuentemente presentan siempre un ángulo de extinción. El examen con los polares cruzados y la lente de compensación aparece en forma de listón y tiene una orientación preferente (muchas fibras de signo negativo; otras orientaciones parecen como positivo).

La tierra de diatomeas puede presentar fragmentos acidulares. Se puede distinguir fácilmente de las fibras de amianto porque son isotrópicos y por sus colores de dispersión (índice de refracción bajo de 1,42). Además, se pueden reconocer sus características morfológicas particulares con un microscopio a 500x.

B.2. Amianto sometido a altas temperaturas

Las distintas variedades de amianto sufren cambios cuando son sometidas a altas temperaturas. La alteración de las fibras de amianto con el calor depende tanto de la temperatura como del tiempo de exposición.

Una exposición prolongada podría producir la degradación completa de las fibras existentes (por ejemplo, en los revestimientos de los hornos). En ocasiones, sin embargo, se llegan a detectar fibras no alteradas al encontrarse en lugares periféricos al foco de calor o en zonas más internas del material donde ha podido estar más resguardado del calor.

Por todo ello, el analista debe tenerlo en cuenta tanto en el muestreo como en la preparación (tratamientos) de la muestra para análisis microscópico. Un examen detallado del material por otras técnicas como la difracción de rayos X o la microscopía electrónica, puede ayudar a explicar la alteración sufrida por las fibras debida al calor o a distinguir entre ellas.

Las fibras de amosita y crocidolita, sometidas a temperaturas comprendidas entre 300 °C y 500 °C, incluso en cortas exposiciones, pueden mostrar cambios de color e incrementos del índice de refracción (n) y de la birrefringencia (esto es, la diferencia numérica entre el menor y el mayor valor de n).

En el caso de la crocidolita, los cambios con el calor son de color y desaparición del pleocroísmo (esto es, cambio de color: al orientarse la fibra con la luz polarizada, desaparece quedando un color gris que reaparece como marrón anaranjado cuando se continúa calentando). En el caso de la amosita se observa en todo momento el cambio de color de amarillo a marrón oscuro. Por tanto, las fibras de amosita y crocidolita degradadas a temperaturas superiores a unos 500 °C son indistinguibles por microscopía óptica. En estos casos, la microscopía electrónica y/o la difracción de rayos X ayudan a distinguir entre ambos anfíboles.

Exposiciones cortas de fibras de crisotilo a temperaturas entre 300-500 °C pueden producir cambios de color e incrementos en el índice de refracción (n) y de la birrefringencia. Las fibras de crisotilo se transforman en un material no fibroso, forsterita Mg_2SiO_4 , a partir de 580 °C. Este nuevo material se vuelve quebradizo, pierde las propiedades de flexibilidad del crisotilo y presenta un diagrama de difracción de rayos X característico. Las fibras de crisotilo que no se han degradado completamente pueden llegar a tener un color marrón claro y presentar un n mayor del esperado.

B.3. Crisotilo sometido a medios ácidos

La exposición de fibras de crisotilo a medios ácidos acuosos podría conducir a una reducción de sus índices de refracción, como consecuencia de la lixiviación de iones magnesio de la estructura del cristal. Este proceso puede también reducir la birrefringencia y finalmente las fibras serían isotrópicas. En ciertas condiciones, este fenómeno podría observarse en las fibras de crisotilo de superficies de cubiertas de fibrocemento después de largos periodos de exposición a la lluvia.

B.4. Diferenciación entre las 3 variedades de amianto muy poco frecuentes

Es conveniente tener en cuenta que las características ópticas solas no son suficientes para distinguir entre las variedades fibrosas tremolita y la actinolita de ciertas fuentes (miembros de una solución sólida mineral), o entre la tremolita y la antofilita amianto (con valores de birrefringencia y n similares). En el caso de que estas distinciones fuesen críticas, puede ser necesario utilizar otros métodos de análisis (por ejemplo, microscopía electrónica, difracción de RX o espectrografía infrarroja).

Por otro lado, pueden estar presentes los minerales análogos no fibrosos, en particular fragmentos alargados, cuya diferenciación de las tres variedades poco frecuentes de fibras de amianto (que incluyen la palabra amianto para diferenciarlas de las no fibrosas) puede plantear dificultades en algunos casos.

La mayoría de los minerales de la familia de los anfíboles suelen cristalizar en forma de prismas o de agujas con una gran facilidad a quebrarse longitudinalmente. El polvo que se puede desprender de estos minerales tiende a contener un cierto número de fragmentos o cristales alargados con características dimensionales de fibra respirable. Por tanto, en ciertas circunstancias, puede ser necesario determinar si se trata de fragmentos minerales o de fibras de amianto.

B.5. Otros sustitutos de las fibras de amianto

Algunas otras fibras, como, por ejemplo, lana mineral, fibra de vidrio, fibra cerámica refractaria, fibras de carbono, fibras metálicas, fibras de poliéster, fibras celulósicas, etc., se han utilizado frecuentemente como sustitutas de las fibras de amianto.

ANEXO C

Recomendaciones para la toma de muestras en función del tipo de material a muestrear

El amianto ha tenido numerosas aplicaciones industriales y por ello es posible encontrar una gran diversidad de MCA: aislamientos, placas o planchas, fibrocemento, textil, cables o cuerdas, productos de fricción, plásticos y vinilos, masillas y otros materiales para sellado, cubiertas de fieltro y betún, trenzas y bridas, etc. También se pueden encontrar residuos de amianto en suelos y otras superficies como consecuencia de intervenciones inadecuadas sobre los MCA instalados.

Se incluyen a continuación algunas recomendaciones sobre la toma de muestras de MCA típicos (11.1).

C.1 Revestimientos proyectados

Como los recubrimientos suelen ser homogéneos, una muestra de la superficie que perturbe lo menos posible el material será suficiente.

Si el recubrimiento está totalmente encapsulado, se puede inyectar la zona de muestreo con líquido, y obtener una muestra cortando una pequeña porción con una cuchilla o navaja afilada. Las zonas dañadas de revestimientos proyectados encapsulados son más fácilmente accesibles, pero se evitarán si se observan indicios de reparaciones previas.

Si el revestimiento proyectado no está cubierto, pueden ser necesarias humectación y aspiración a vacío para reducir las emisiones de polvo.

C.2 Aislamientos térmicos/de tuberías (calorifugados)

Lo mejor es humectar previamente la zona de muestreo; se recomiendan técnicas de inyección. Se tomarán precauciones para no dispersar restos de los MCA, como aspiración a vacío, o bien una bolsa de plástico, debajo de la zona, y también una lámina de plástico en el suelo. Las muestras se toman con un muestreador especial que penetra totalmente hasta el otro extremo del aislamiento de la tubería. Se realizarán las operaciones necesarias para que el orificio resultante del muestreo quede seguro y no se desprendan fibras.

C.3 Láminas o tableros/baldosas o tejas aislantes

En materiales como placas de techo o paneles de pared es más fácil tomar muestras de zonas dañadas, por lo que se buscarán cuidadosamente. Si no, se tomará cuidadosamente una pequeña parte, de una esquina o borde, cortando con una herramienta de corte adecuada (cúter o cuchilla bien afilada) una esquina o extremo, humectando previamente la zona de muestreo.

C.4 Fibrocementos

Normalmente es muy duro y conviene localizar una zona dañada de donde será más fácil tomar una pequeña porción de al menos 5 cm² con ayuda de unos alicates o tenazas o bien un destornillador en una esquina o extremo.

C.5 Juntas, cuerda o cordón, sellado o precinto, papel, fieltro y textiles

Se humectará el material y se cortará una porción representativa con una cuchilla afilada.

C.6 Suelos y coberturas de pared

Se cortará una muestra con una cuchilla afilada de cada tipo o color. El desprendimiento de fibras será previsiblemente bajo, excepto si se trata de un revestimiento o material de apoyo.

C.7 Recubrimientos con textura

Se obtendrán muestras levantando pequeñas escamas del material con un rascador. Si está aplicado directamente sobre una superficie resistente, como el homigón, esto puede ser difícil y puede ser necesario rascar el material con un cincel para que caiga directamente en el recipiente para la muestra colocado debajo. Como la distribución del amianto puede no ser uniforme y el recubrimiento será normalmente fino, se debe muestrear una superficie de unos 20 cm².

C.8 Escombros y polvo

Se tomarán directamente en el recipiente o bolsa, por ejemplo con unas pinzas, pequeños fragmentos desprendidos por daños o provenientes de una deficiente limpieza tras la retirada de MCA.

Las muestras de polvo se puede tomar de diversas maneras, por ejemplo: frotando una bolsa de plástico dada del revés por la superficie y dándole después la vuelta, y cerrarla; amontonando la capa de polvo y metiéndola después en el recipiente; o también utilizando cintas adhesivas o papel de filtro humedecido (en este caso, tener en cuenta posibles interferencias en la observación de los colores de dispersión).

ANEXO D

Imágenes de materiales con fibras de amianto

D.1 Imágenes de materiales de referencia con fibras de amianto: estereomicroscopio

Se incluyen a continuación una serie de imágenes (microfotografías) correspondientes a observaciones de microscopía del algunas de las variedades de fibras de amianto reguladas.



(a) Fibras de CRISOTILO (CRM)



(b) Fibras de AMOSITA (CRM)



(c) Fibras de CROCIDOLITA (CRM)



(d) Fibras de TREMOLITA amianto (CRM)



(e) Fibras de ANTOFILITA amianto (CRM)

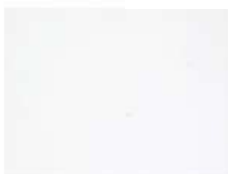


(f) Fibras de actinolita amianto (CRM)

D.2 Imágenes de materiales de referencia con fibras de amianto: MOPD

Las imágenes mostradas en este apartado han sido tomadas con un microscopio con la configuración: compensador con la dirección lenta orientada NE-SO y polarizador alineado con la dirección E-O. A continuación se indican los modos de observación conforme a lo recogido en el apartado 7.2.1.

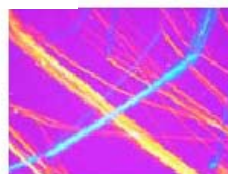
D.2.1 Fibras de crisotilo montadas en líquido de dispersión con índice de refracción 1,550 (125x)



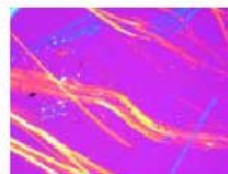
Modo A



Modo B



Modo C



Modo C

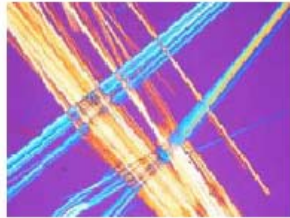


Modo D

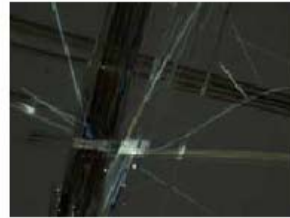
D.2.2 Fibras de amosita montadas en líquido de dispersión con índice de refracción 1,670 (125x)



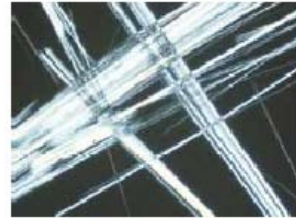
Modo A



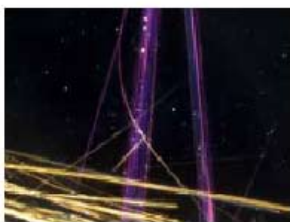
Modo C



Modo B



Modo B



Modo D



Modo D



Modo A

D.2.3 Fibras de crocidolita montadas en líquido de dispersión con índice de refracción 1,700 (125x)



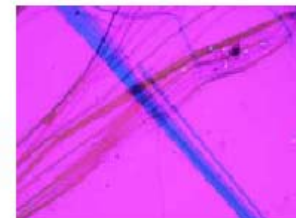
Modo D



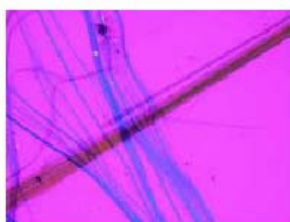
Modo A



Modo A



Modo C



Modo C



Modo B



Modo B



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO