

Medida fiable de las concentraciones de fibras de amianto en aire. Aplicación del método de toma de muestras y análisis MTA/MA-051/ A04. (**Método multifibra**)

CR-02/2005

Índice

0. INTRODUCCIÓN

1. METODOLOGÍA APLICADA A LA DETERMINACIÓN DE FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE

1. Revisión histórica
2. Armonización de los métodos de medida

2. LA DETERMINACIÓN DE FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE EN ESPAÑA

1. Laboratorios especializados en la determinación de fibras de amianto
2. Cambios normativos. Directiva 2003/18/CE

3. NUEVO MÉTODO MTA/MA-051 DEL INSHT

1. Comparación entre MTA/MA 051-A04 Y MTA/MA-010/A87. Aspectos a destacar

4. FIABILIDAD DE LOS RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE

5. REQUISITOS DERIVADOS DEL MÉTODO DE MEDIDA

1. Método de medida: fundamento y fuentes de error
2. Precisión de los recuentos de fibras
3. Cantidad de muestra necesaria para el recuento de fibras: Densidad óptima de fibras en el filtro
4. Incertidumbre del recuento de fibras
5. Intervalo de aplicación del método MTA/MA-A51. Importancia del volumen de muestreo
6. Límite de detección

6. RESUMEN Y RECOMENDACIONES PARA ASEGURAR LA FIABILIDAD DE LAS DETERMINACIONES DE AMIANTO EN AIRE

1. Recomendaciones para la toma de muestra
2. Recomendaciones para el laboratorio de análisis. Requisitos para el informe analítico

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

APÉNDICE: DISTRIBUCIÓN DE POISSON

0. INTRODUCCIÓN

La determinación de fibras de amianto en aire es necesaria para evaluar las exposiciones laborales y disponer de criterios objetivos que permitan juzgar la idoneidad de los procedimientos de trabajo y la eficacia de las medidas de prevención y control. Es evidente, por tanto, la importancia de que estas determinaciones sean fiables. Para realizar mediciones fiables, el método de medida (toma de muestra y análisis) es una herramienta clave y es necesario asegurarse de que es apropiado para el fin de la evaluación, que se aplica adecuadamente y que los resultados de las mediciones se interpretan y utilizan correctamente.

El método de medida describe con detalle el procedimiento a seguir, tanto para la toma de muestra como para el análisis. Sin embargo, es facultativo del usuario del método determinar los parámetros del muestreo apropiados a cada situación y decidir, a la vista de los resultados analíticos, si la medición realizada es adecuada y responde al objetivo previsto. El conocimiento del fundamento del método y sus bases teóricas proporcionan los criterios necesarios para tomar decisiones acertadas e interpretar correctamente los resultados.

La metodología aplicada a la determinación de fibras de amianto en aire lleva asociados algunos errores imposibles de evitar, de los cuales, los más estudiados han sido los errores derivados de la baja precisión de los recuentos de fibras en la etapa analítica. La precisión de los recuentos de fibras influye en la variabilidad de los resultados de la medición y a su vez determina otros parámetros críticos del método, como son el intervalo de aplicación y el límite de detección. Cuando el significado de estos parámetros no es bien entendido y utilizado, la validez de las muestras puede estar comprometida dando lugar a interpretaciones erróneas de los resultados analíticos. Los errores debidos a estas causas pueden pasar desapercibidos.

El INSHT ha elaborado y publicado recientemente el nuevo método [MTA/MA-051](#) para la determinación de fibras de amianto y otras fibras en aire. Este método se ajusta al método de la OMS recomendado en la [Directiva 2003/18/CE](#), que modifica la [Directiva 83/477/CEE](#) sobre la protección de los trabajadores frente al riesgo de amianto. El [MTA/MA-051](#) mejora sustancialmente el procedimiento anterior ([MTA/MA-010](#)) incluyendo novedades importantes dirigidas especialmente a la toma de muestra, tanto con el fin de adaptación a las necesidades actuales de muestreo, como de mejorar la fiabilidad de los resultados y la adecuada interpretación de los mismos.

En este documento se ofrece una revisión y actualización de la metodología aplicada a la determinación de fibras de amianto en aire, y se proporciona la información y explicaciones complementarias que permiten al técnico de prevención, usuario del nuevo [MTA/MA-051](#), mejorar el conocimiento del método y asegurar su correcta aplicación.



1. METODOLOGÍA APLICADA A LA DETERMINACIÓN DE FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE

1.1 Revisión histórica

La determinación de fibras de amianto en aire tal como se realiza actualmente se fundamenta en el método desarrollado en 1971 por el Asbestosis Research Council (ARC), organismo creado para investigar en el Reino Unido los efectos del amianto entre la población trabajadora. Dicho método se conoció como método del filtro de membrana/microscopía óptica, término que resume el fundamento del mismo. Las muestras se toman pasando un volumen conocido de aire a través de un filtro de membrana y se analizan por microscopía óptica para contar las fibras presentes. El procedimiento del ARC proporcionó los primeros resultados coherentes de las concentraciones de amianto en aire, que permitieron demostrar la asociación entre la asbestosis y la exposición a amianto y fijar el primer valor límite de exposición de 2 fibras/cm³.

1. Concepto "fibra"

Para el recuento de fibras y la distinción entre fibras y partículas, fue necesario establecer un criterio. Con este fin se definieron como fibras peligrosas y por tanto fibras "contables", aquellas que tuvieran las siguientes características dimensionales:

- longitud superior a 5 μm ,
- diámetro inferior a 3 μm y
- relación de dimensiones longitud/diámetro superior a 3.

La longitud mínima de las fibras se estimó en función de las fibras encontradas en autopsias pulmonares y del tamaño de los macrófagos alveolares. Se consideró que las fibras pequeñas, menores de 5 μm , serían eliminadas por fagocitosis. El diámetro o anchura máxima a considerar en las fibras peligrosas se basó en criterios de respirabilidad, deducidos del estudio de los mecanismos de transporte y penetración de las fibras en el sistema respiratorio y su comportamiento aerodinámico. Se demostró teórica y experimentalmente que el diámetro aerodinámico de las fibras dependía casi exclusivamente de su longitud y solo las fibras de diámetro superior a 3 μm serían interceptadas y eliminadas por los mecanismos de defensa pulmonar. Esto llevó a acotar el diámetro máximo de las fibras respirables en 3 μm . La relación de dimensiones fue un criterio arbitrario añadido posteriormente, por la necesidad de armonización entre analistas para discriminar entre fibras y partículas en la fase del recuento.

Partiendo de esta base, distintos organismos desarrollaron sus propios procedimientos que fueron introduciendo diferencias en algunos aspectos importantes como la preparación de la muestra, las características del microscopio, la retícula de recuento, los criterios de selección y recuento de fibras, etc. Estas circunstancias, unidas al carácter subjetivo de los recuentos, dieron lugar a que los resultados de las mediciones de fibras de amianto en aire presentaran una gran variabilidad y no fueran comparables, lo que redujo en gran medida su aprovechamiento con fines epidemiológicos. Se llegaron a encontrar diferencias de hasta 100 veces en la misma evaluación dependiendo del procedimiento aplicado, del laboratorio y del analista.

Para evitar estos problemas, principalmente el factor subjetivo, se intentaron automatizar los recuentos y aplicar otras técnicas analíticas alternativas a la microscopía óptica, sin alcanzarse el objetivo deseado. Afortunadamente, el esfuerzo realizado ha llevado a una mejora continua de la fiabilidad de las determinaciones de fibras de amianto en aire. Esto ha sido posible a través de tres medios complementarios, reconocidos universalmente por su eficacia para compensar las limitaciones técnicas de la metodología:

- Utilización de un método normalizado único.

- o Personal entrenado y con experiencia.
- o Procedimientos para el aseguramiento y control de calidad.

1.2 Armonización de los métodos de medida

1. Método de Referencia Europeo

La armonización del método de medida a nivel europeo fue promovida por la [Directiva 83/477](#) en la que se recomienda el denominado "Método de Referencia Europeo". Este método, basado en el método del ARC y desarrollado por la Asbestos International Association (AIA) supuso un avance importante aunque no llevó a una armonización total coexistiendo otros métodos de medida (por ejemplo, el método NIOSH).

2. Método de la OMS

El método de la OMS es el resultado de un proyecto iniciado en 1993 en el que este organismo asumió la tarea de convocar un foro internacional de expertos con el fin de alcanzar un consenso global sobre un método único y una única versión, que fuera aplicable no solo a las fibras de amianto sino a cualquier tipo de fibra. El proyecto contó con la colaboración de los siguientes organismos: Oficina Internacional del Trabajo (OIT), Comisión Europea (CE), International Organization for Standardization (ISO), European Committee for Standardization (CEN), International Fibre Safety Group (IFSG), Health and Safety Executive (HSE) del Reino Unido, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos. En la última fase del proyecto se incorporaron otras instituciones nacionales relacionadas con la materia, entre ellas, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de España.

Se recopiló toda la información disponible sobre los métodos existentes aplicados a escala mundial, y se discutieron uno a uno todos los aspectos de la metodología hasta que se alcanzó el consenso deseado. El resultado fue el documento titulado "Determinación de la concentración de fibras suspendidas en el aire. Método basado en la microscopía óptica de contraste de fase", publicado por la OMS en 1997. Este método es aplicable a todas las fibras sean o no de amianto, por lo que el método de la OMS se conoce coloquialmente como "método multifibra".

La recomendación del método de la OMS en la [Directiva 2003/18/CE](#) proporciona el respaldo legislativo necesario para su implantación. La transcripción del método de la OMS a norma nacional se ha hecho, en el caso de España, con el [MTA/MA-051](#) del INSHT y se encuentra en proceso la norma UNE equivalente (PNE 81752).



2. LA DETERMINACIÓN DE FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE EN ESPAÑA

Los primeros métodos internos del INSHT aplicados para la determinación de fibras de amianto en aire estuvieron basados en Métodos NIOSH. En 1987, el INSHT elabora y publica el "Método de toma de muestras y análisis de fibras de amianto en aire. Método del filtro de membrana/microscopía óptica. [MTA/MA010/A87](#)" con el que se inicia el Programa Nacional de Normalización de Métodos de Toma de Muestra y Análisis (MTA) que sigue actualmente en funcionamiento. El [MTA/MA-010](#) está basado en el método de la Asbestos International Association y se ajusta a las indicaciones del Método de Referencia Europeo. Por otra parte, el INSHT desarrolló y mantiene en funcionamiento desde 1987 el Programa Interlaboratorios de Control de Calidad de Fibras de Amianto (PICC-FA) con el objetivo de conocer y controlar la variabilidad de los recuentos de fibras en los laboratorios españoles. Complementariamente el INSHT ha organizado actividades puntuales y periódicas sobre la materia, dirigidas a la formación y especialización de personal técnico en el recuento de fibras y otros aspectos preventivos en relación con el amianto.

2.1 Laboratorios especializados en la determinación de fibras de amianto

Las recomendaciones para la medición de las exposiciones laborales, dadas por la [Directiva 83/477/CEE](#) sobre protección de los trabajadores frente al riesgo de amianto, se concretaron en España en la homologación de laboratorios especializados en la determinación de fibras de amianto ([Resolución DGT 8/9/87](#)). En esta Resolución se desarrolla el Artículo 4º- Apartado 4 del [Reglamento sobre trabajos con riesgo de amianto de 1984](#), donde se dispone que la toma de muestras, determinación de concentraciones y evaluación de resultados solo podrán ser realizadas por laboratorios o servicios especializados de empresas, agrupaciones de empresas o privados, cuya idoneidad para tal fin sea reconocida por la Administración, mediante homologación concedida por la Dirección General de Trabajo, previo informe del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En el protocolo de acreditación, anexo a la mencionada Resolución, se indican los requisitos a cumplir para obtener la homologación, que se resumen en tres: la utilización del Método [MTA/MA-010](#) del INSHT, la formación específica del personal y la participación y obtención de resultados satisfactorios en el PICC-FA.

La eficacia del sistema de homologación de laboratorios desde su inicio hasta la actualidad es demostrable objetivamente y ha mejorado sustancialmente la fiabilidad de los análisis de las muestras de amianto de los laboratorios españoles. El nivel de calidad de los laboratorios homologados, cuyo Directorio puede consultarse en la página Web del INSHT (<http://www.mtas.es/insht/acreditacion>), ha sido contrastado satisfactoriamente a través del Programa Interlaboratorios de Control de Calidad de Fibras de Amianto (PICC-FA), con el nivel de calidad existente en otros laboratorios europeos.

La toma de muestras no está específicamente contemplada en el protocolo de homologación de laboratorios ([Resolución 8/09/87 Dirección General de Trabajo](#)), aunque se ha venido considerando incluida en su alcance en tanto que los propios laboratorios homologados controlaban directa o indirectamente las condiciones y la ejecución del muestreo. Sin embargo, hay que resaltar que, en el momento actual, la intervención de un laboratorio homologado solo puede asegurar la fiabilidad de los resultados de las determinaciones de fibras de amianto en aire, en lo que se refiere a la etapa analítica. Esto es debido a que la mayoría de los

laboratorios han pasado a funcionar en una gran medida como unidades independientes, que ofrecen un servicio especializado de análisis a los Servicios de Prevención, pero que no tienen prácticamente ningún control sobre el muestreo ni intervienen en la evaluación de los resultados. Esta situación crea la necesidad de disponer de otros requisitos complementarios a los aplicados a los laboratorios, para detectar las deficiencias que se puedan producir al margen de la etapa analítica, ya que su ausencia compromete la fiabilidad y la labor de aseguramiento de la calidad realizada por los laboratorios homologados.

2.2 Cambios normativos. Directiva 2003/18/CE

La nueva [Directiva 2003/18/CE](#), que modifica la [Directiva 83/477/CEE](#) sobre la protección de los trabajadores frente al riesgo de amianto, introduce dos cambios importantes que afectan a la medición de las concentraciones de fibras de amianto en aire:

- La reducción de los valores límite a 0,1 fibras/cm³ cualesquiera que sea la variedad de amianto implicada.
- La sustitución del método de referencia europeo por el método de la OMS como método recomendado para el recuento de fibras.

Estos puntos merecen las siguientes consideraciones:

1. Consideraciones sobre el nuevo límite de exposición

El nuevo límite de exposición profesional (LEP) supone una disminución importante (entre 3 y 6 veces) del nivel de concentración de fibras en el aire. Para poder comparar los resultados de las mediciones de las exposiciones laborales con este nuevo límite y realizar mediciones correctas, es necesario conocer el comportamiento del método de medida en estos niveles de concentración tan bajos.

2. Consideraciones sobre el método de medida

El método que se viene aplicando, de acuerdo con la normativa aún vigente en el momento de elaborar este documento, es el [MTA/MA-010](#) del INSHT, método del filtro de membrana/microscopía óptica, conforme al Método de Referencia Europeo recomendado por la [Directiva 83/477/CEE](#). Es de destacar que este método no está preparado para medir concentraciones bajas y que su límite de detección tiene un valor estimado de 0,1 fibras/ml, es decir, el mismo valor que el LEP propuesto. Es evidente por tanto que este método no sería adecuado para la aplicación de la nueva normativa.

3. NUEVO MÉTODO MTA/MA-051 DEL INSHT

El "Método de toma de muestra y análisis de fibras de amianto y otras fibras en aire. Método del filtro de membrana/microscopía óptica de contraste de fases. [MTA/MA-051/A04](#) (método multifibra), ha sido elaborado y publicado por el INSHT de acuerdo con el método de la OMS y responde por tanto a las recomendaciones de la [Directiva 2003/18/CE](#).

Este método contiene modificaciones y aportaciones importantes dirigidas especialmente a la toma de muestra, que han permitido ampliar su intervalo de aplicación, es decir, con el nuevo método es técnicamente posible medir concentraciones del mismo orden de magnitud e inferiores al nuevo valor LEP. Sin embargo, como es sabido por los especialistas en la materia, según disminuye la concentración a medir, disminuye también la precisión del resultado y, por tanto, se incrementa su porcentaje de error. Esto debe ser tenido muy en cuenta ya que la medición de bajas concentraciones es actualmente la más frecuente y cobra especial relevancia con el nuevo límite de exposición laboral.

3.1 Comparación entre MTA/MA 051-A04 Y MTA/MA-010/A87. Aspectos a destacar

En la elaboración del método [MTA/MA-051/A04](#) se han tenido en cuenta los modelos de exposición laboral actuales y las necesidades de medición de acuerdo con la [Directiva 2003/18/CE](#). El [MTA/MA-051/A04](#) no se diferencia del [MTA/MA-010/A87](#) en el fundamento (filtro de membrana/microscopía óptica), ni prácticamente tampoco en el procedimiento operativo. Esto implica que el nuevo método no resuelve todas las limitaciones del anterior, como por ejemplo la imposibilidad de diferenciar entre fibras de amianto y otras fibras, ni evita el carácter subjetivo de los recuentos. Por ello se mantienen las particularidades en la determinación de este contaminante, que requieren conocimientos y experiencia adecuados y conducen a la necesidad de asegurar la fiabilidad de los resultados de las mediciones.

Las diferencias entre ambos métodos se resumen agrupadas en los siguientes apartados:

1. Ampliación del intervalo del caudal de muestreo

El nuevo [MTA/MA-051](#) permite variar el caudal de muestreo en un intervalo amplio, recomendándose entre 0,5 l/min y 2,0 l/min, dejando la posibilidad de aumentarlo hasta 16 l/min. Esto aporta una ventaja importante frente al caudal único de muestreo de 1 l/min aplicable en el [MTA/MA-010](#), ya que hará posible mantener el volumen de muestreo cuando no sea posible modificar la duración de la muestra. Esto tiene gran importancia en la fiabilidad de los resultados que se mostrará más adelante. ([Véase 5.5](#)).

2. Criterio de recuento para fibras unidas a partículas

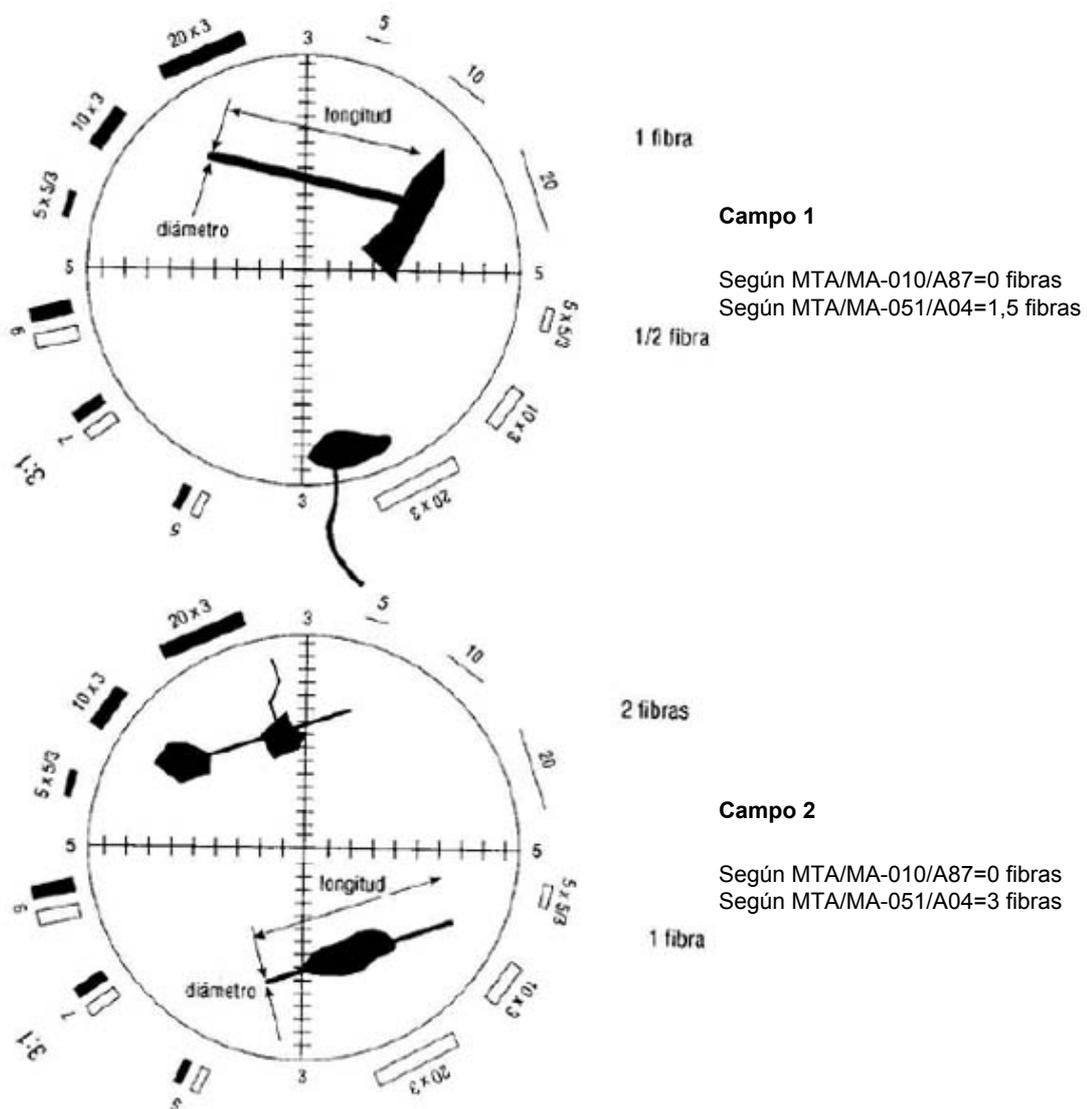
Se ha modificado el criterio de recuento de fibras unidas a partículas de la siguiente forma:

- a. Criterio según el [MTA/MA-010/A87](#): Se considera el tamaño conjunto de la fibra y la partícula. No son contables las

fibras unidas a partículas de tamaño mayor de 3 µm.

- b. Criterio nuevo según el MTA/MA-051/A04: Las fibras unidas a partículas deben considerarse a efectos de recuento como si la partícula no existiera.

Figura 1
Fibras contadas en dos hipotéticos campos de recuento



Dependiendo del tipo de muestra, los resultados se verán afectados por este cambio de criterio como se desprende de la [Figura 1](#). Por otra parte, los analistas deberán entrenarse para las nuevas mediciones y es posible que en la etapa de transición se produzcan dispersiones de resultados mayores de las actuales. Esta circunstancia será tenida en cuenta en el PICC-FA tanto para asignar el valor de referencia de las muestras de control como en la evaluación de la calidad de los laboratorios.

3. Procedimiento para muestreo en un punto fijo

Aunque el muestreo en punto fijo no es, en general, adecuado para la evaluación de la exposición de los trabajadores en la mayor parte de los contaminantes, en el caso del amianto tienen unas aplicaciones específicas y muy útiles. Este es el caso de las mediciones que se hacen con los siguientes objetivos:

- Después de la retirada de materiales de amianto en el interior de edificios, para asegurar que no existen riesgos por la presencia de amianto en el aire (índice de descontaminación).
- En el exterior de los encerramientos o zonas confinadas durante las intervenciones sobre materiales de amianto friables, para verificar que el sistema funciona adecuadamente y no existen fugas de aire contaminado que afecten a las áreas adyacentes.
- En la zona limpia del interior de las unidades de descontaminación, para confirmar la ausencia de contaminación.
- En el aire de los locales donde existan materiales con amianto, para verificar su buen mantenimiento y estado.

Estas mediciones cobran una especial relevancia en las intervenciones sobre materiales de amianto, razón por la que han sido tratadas en un anexo particular (Anexo E) del MTA/MA-051. Las concentraciones de fibras de amianto en las situaciones indicadas serán muy bajas o nulas, es decir, debe considerarse el extremo inferior del intervalo de aplicación del método y el límite de detección, los cuales se tratan con detalle en este documento.

4. Adaptación al progreso y el desarrollo de normas relacionadas con la medición de agentes químicos en aire

Estas modificaciones responden a la necesidad de actualización de la metodología como consecuencia de la adaptación al progreso y del desarrollo de normas de aplicación general para la medición de contaminantes químicos. Estas modificaciones no implican cambios de hecho, dado que prácticamente en su totalidad ya se están aplicando. En este grupo se engloban las modificaciones en el material a utilizar (por ejemplo, el evaporador de acetona), los requisitos para las bombas de muestreo o las recomendaciones sobre calibración y calidad que son consecuencia de la implantación de las correspondientes normas. Así por ejemplo, se ha suprimido el capítulo de estrategia de muestreo por una referencia a la norma UNE EN 689.

5. Parámetros de comportamiento del método

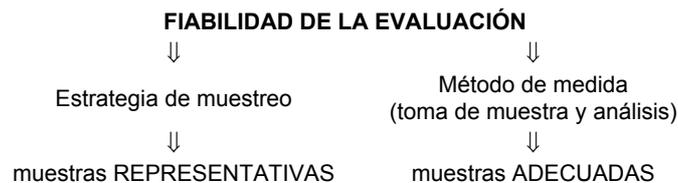
Estas modificaciones son consecuencia del avance y mejora de los conocimientos sobre el comportamiento del método de medida y especialmente del cálculo de la precisión y exactitud de los recuentos de fibras. Esto ha permitido mejorar también el establecimiento de los intervalos de aplicación y del límite de detección del método. Estos parámetros, de los que se deducen implicaciones importantes para la toma de muestra e interpretación de los resultados, se tratan con detalle en el [apartado 5](#) de este documento.

4. FIABILIDAD DE LOS RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE

La fiabilidad de los resultados de las determinaciones de fibras de amianto, y en general de cualquier otro contaminante, se sustenta en la confianza de que las muestras son adecuadas y representativas.

En primer lugar, es necesario que las muestras respondan al objetivo de la medición. Con este fin, la estrategia de muestreo determinará las condiciones y el tipo de muestreo (personal o ambiental) a realizar, su duración y el número de muestras necesario para asegurar la representatividad de la evaluación. Sin embargo, y esto es menos conocido y a menudo olvidado, es imprescindible además que las muestras sean adecuadas. Esto significa que las muestras tienen que ser conformes al método de medida, es decir, se ajustan al procedimiento de muestreo y cumplen los requisitos derivados del procedimiento analítico.

Los requisitos derivados del método de medida son los que se tratarán exclusivamente aquí, aunque ello no debe hacer olvidar que los requisitos derivados de la representatividad de las muestras son igualmente importantes, y que solo el cumplimiento de ambos asegura la fiabilidad de la evaluación.



5. REQUISITOS DERIVADOS DEL MÉTODO DE MEDIDA

Los requisitos que se derivan del método de medida están relacionados con su fundamento y fuentes de error y con la precisión de los recuentos de fibras, como se explica a continuación.

5.1 Método de medida: fundamento y fuentes de error

El método para la medida de la concentración de fibras de amianto en aire se fundamenta en el recuento del número de fibras retenidas en un filtro de membrana, por el que se ha hecho pasar un volumen determinado del aire cuya concentración se pretende medir. La toma de muestra se realiza con bombas de muestreo y el análisis (recuento), mediante microscopía óptica. El material necesario y el procedimiento a seguir paso a paso se describen con detalle en el documento del [MTA/MA-051](#).

Los errores en la aplicación del método afectan a la toma de muestra y al análisis, pueden ser sistemáticos y aleatorios, y todos contribuyen a la incertidumbre del resultado.

Entre los más importantes se señalan los siguientes:

- a. Errores en la toma de muestra
 - Volumen de muestreo inadecuado
 - Calibración errónea del caudal de la bomba
 - Variaciones del caudal de la bomba durante el muestreo
 - Medida errónea del tiempo de muestreo
- b. Errores analíticos
 - Variabilidad de los resultados de los recuentos
 - Medida errónea del área efectiva del filtro
 - Medida errónea del área de la retícula

El control de los errores de la toma de muestra es difícil de abordar en su totalidad y para ello es importante que los errores analíticos estén previamente controlados. Debido a esta causa, el estudio y mejora de la fiabilidad de los resultados de las determinaciones de fibras de amianto en aire se ha dirigido fundamentalmente al control de los errores analíticos, y se ha ido posponiendo el control de los errores de la toma de muestra. Este documento es un primer paso para abordar este objetivo.

El control de los errores analíticos, a través de procedimientos de calibración y controles de calidad internos y externos, es un requisito exigido a los laboratorios homologados para la determinación de fibras de amianto. La etapa más crítica del procedimiento analítico es el recuento de fibras, y su variabilidad condiciona los parámetros de comportamiento del método que deben ser tenidos en cuenta en la toma de muestra. La variabilidad de los resultados de los recuentos se refiere a las diferencias que se producen en los resultados de recuentos independientes, realizados en la misma muestra. La reducción de la variabilidad al máximo posible, como ya se ha indicado, es el primer paso para mejorar la fiabilidad de las determinaciones de fibras de amianto en aire. Para ello, es necesario comenzar por el estudio de la precisión de los recuentos de fibras.

5.2 Precisión de los recuentos de fibras

La precisión analítica o precisión del recuento de fibras que se realiza en el filtro donde se ha tomado la muestra depende de dos factores:

- La falta de uniformidad del depósito de las fibras en el filtro.
- Las diferencias subjetivas entre analistas (intra e interlaboratorios).

Las diferencias subjetivas entre analistas son difíciles de eliminar pero son conocidas y están controladas a través de la participación en Programas de intercomparación y del control de calidad interno. Por lo tanto, los errores del recuento que condicionan la precisión y que tienen su origen en el fundamento del método son los derivados de la falta de uniformidad del depósito de fibras en la superficie del filtro.

La superficie efectiva del filtro de 25 mm de diámetro es de aproximadamente 380 mm² y la del campo de recuento de 7,8 x 10⁻³ por lo que existen más de 45.000 campos de recuento posibles. El número de fibras en la muestra se calcula a partir del número de fibras observado en 100 campos de recuento elegidos al azar. Es evidente, por tanto, que la probabilidad de que dos recuentos independientes observen los mismos campos y den el mismo resultado es muy pequeña. La diferencia entre dos recuentos será mayor cuanto menor sea la uniformidad del depósito de las fibras en el filtro.

La uniformidad del depósito de las fibras en la superficie del filtro se describe aceptablemente mediante una distribución de Poisson. De ello se deriva que la precisión del resultado del recuento depende directamente del número de fibras contadas. En la distribución de Poisson la varianza (σ^2) coincide con la media por lo que la desviación estándar relativa (σ_r) o coeficiente de variación (CV) se incrementa cuando el número de fibras disminuye. (Véase [Apéndice A](#)).

Los coeficientes de variación reales son mayores, porque a la desviación de Poisson hay que añadir la debida al carácter subjetivo de los recuentos. En la [Tabla 1](#) se proporcionan los coeficientes de variación teóricos y experimentales (reales), de acuerdo con lo indicado en el método de la OMS

Como ya se ha señalado, el número de campos contados no influye prácticamente en la precisión, la cual depende solamente del número de fibras contadas. Con el fin de asegurar que se realiza un recuento representativo del depósito de fibras en la muestra, los criterios contenidos en el método obligan a examinar un mínimo de 20 campos y un máximo de 100, aunque en el primer caso se sobrepase y en el segundo no se alcance el resultado de 100 fibras contadas. Estos criterios responden al compromiso establecido de alcanzar la precisión óptima del recuento con un número de campos razonable. También se puede ver en la [Tabla 1](#) que aumentar el número de fibras contadas por encima de 100 fibras no conlleva una mejora significativa de la precisión.

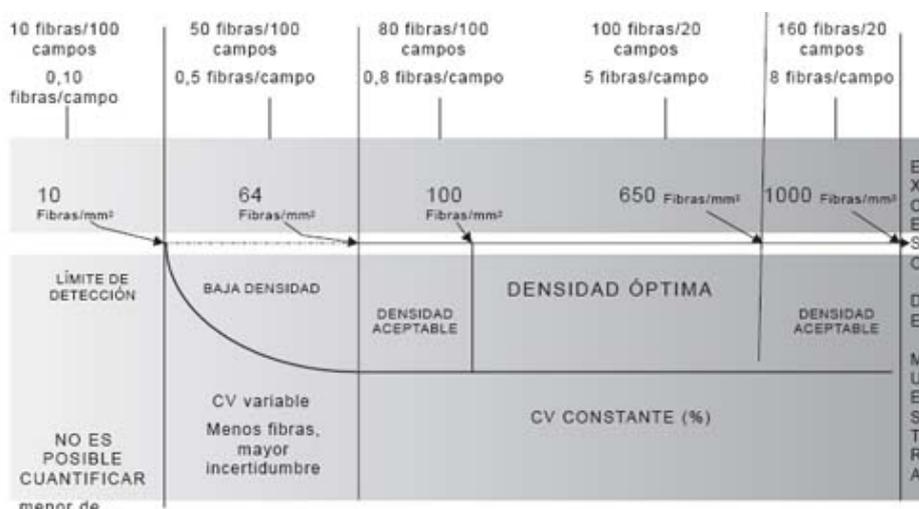
Tabla 1
Coeficientes de variación teóricos y experimentales para distinto número de fibras contadas

N nº de fibras	srP (%) CV de Poisson (teórica)	srR (%) CV real (experimental)
5	45	49
7	38	43
10	32	37
20	22	30
50	14	25
80	11	23
100	10	22
200	7	21

5.3 Cantidad de muestra necesaria para el recuento de fibras: Densidad óptima de fibras en el filtro

En la práctica se considera que a partir de 80 fibras contadas se alcanza la precisión óptima y un coeficiente de variación constante, como se indica en el método de la OMS y se recoge igualmente en el [MTA/MA-051](#). A partir de este valor, teniendo en cuenta las reglas del recuento, se puede calcular la cantidad de muestra necesaria para que el recuento de fibras se lleve a cabo en las mejores condiciones de precisión. La cantidad de muestra se expresa en términos de densidad de fibras en el filtro, resultando la densidad óptima en el intervalo 100 - 650 fibras/mm², teniendo en cuenta el número de campos de recuento posibles y su área, que es de 7,9 x 103 mm² para una retícula Walton-Becket de 100 µm de diámetro. (Véase [Figura 2](#)).

Figura 2
Densidad de fibras en el filtro y precisión del recuento



El conocimiento de la precisión del recuento conduce a un dato importante que debe ser conocido y tenido en cuenta para la toma de muestras:

Las muestras MÁS ADECUADAS para el análisis tienen una densidad de fibras en filtro entre 100 fibras/mm² y 650 fibras/mm²

El número total de fibras por muestra se emplea como dato intermedio en el cálculo de la concentración de fibras en aire, y se calcula multiplicando la densidad (fibras/ mm²) por el área útil del filtro. Para un área útil de 380 mm² resulta una cantidad de fibras entre 38.000 y 250.000 fibras aproximadamente.

5.4 Incertidumbre del recuento de fibras

La incertidumbre del recuento de fibras tiene como principal componente la varianza del recuento, de forma que desde un punto de vista práctico, se podrían despreciar los demás componentes siempre que se realicen sobre ellos las correspondientes verificaciones y controles.

La incertidumbre del recuento se puede asociar al intervalo de confianza de la media, ya que los límites de confianza indican el intervalo donde el verdadero valor se encuentra para un determinado nivel de confianza.

En la [Tabla 2](#) se indican los límites de confianza para diferentes resultados de recuento que se pueden aplicar como valores de incertidumbre. Estos valores se proporcionan en el [MTA/MA-051/A04](#) y están reproducidos del método de la OMS, donde se indica que se han calculado a partir de la desviación estándar experimental estimada para un laboratorio tipo.

Tabla 2
Límites de confianza para el resultado de un recuento

N nº de fibras	Límites de confianza del 90	
	Inferior	Superior
5	2,0	11,0
7	3,2	14,0
10	5,1	18,5
20	11,7	33,2
50	33	76
80	53	118
100	68	149
200	139	291

La incertidumbre del resultado de un recuento aumenta cuando el número de fibras disminuye

El límite inferior de recuento de fibras en un filtro tiene un valor absoluto de 10 fibras. Este valor fue establecido por consenso en el método de la OMS y está justificado por el siguiente razonamiento:

El valor máximo de fibras admitido en el recuento de un filtro blanco es de 5 fibras en 100 campos (véase [MTA/MA-051](#), apartado 8). Este valor de 5 fibras corresponde también al límite inferior de confianza de un recuento de 10 fibras (véase [Tabla 2](#)), es decir:

Los resultados del recuento de fibras en una muestra, que den valores inferiores a 10 fibras/100 campos, no son significativamente diferentes de un blanco y por tanto no deben ser usados para cuantificar la concentración de fibras en el aire

Los resultados en valor absoluto para una muestra que respondan a estas circunstancias se expresarán en el informe analítico como < 10 fibras/100 campos. A partir de este valor, se puede calcular el límite de detección correspondiente a cada muestra particular. Para ello, debe tenerse en cuenta el volumen de aire muestreado como se indica en el [MTA/MA-051](#) ([Apartado 10](#)) en la tabla que se reproduce a continuación:

Tabla 3
Valores del límite de detección para la concentración de fibras en aire en función del volumen de muestreo

Límite inferior de recuento			Volumen de aire muestreado litros	Límite de detección en aire fibras/cm ³
10 fibras/100 campos	12,7 fibras/mm ² (*)	4900 fibras en filtros (**)	10	0,50
			25	0,20
			50	0,10
			90	0,05
			120	0,04
			240	0,02
			480	0,01
			960	0,005

(*) $A_{\text{reticula}} = 0,00785 \text{ mm}^2$; (**) $A_{\text{útil}} = 385 \text{ mm}^2$

El volumen de aire en una muestra debe determinarse para asegurar que el límite de detección de la concentración de fibras en aire es adecuado para el objetivo de la medición



6. RESUMEN Y RECOMENDACIONES PARA ASEGURAR LA FIABILIDAD DE LAS DETERMINACIONES DE AMIANTO EN AIRE

El punto de partida para poder asegurar la fiabilidad de las determinaciones de fibras de amianto en aire, dejando al margen los aspectos relacionados con la estrategia de muestreo que, como ya se ha indicado, no son objeto de este documento, es conocer el método de medida recomendado, aplicarlo correctamente y disponer de procedimientos para el control de calidad tanto en la toma de muestra como en el análisis.

Por otra parte, es necesario tener siempre presente la dependencia entre la toma de muestra y el análisis que se deriva del fundamento del método. Esto significa que entre ambas actividades, aunque se realicen de forma independiente, debe existir una mutua comunicación de datos. En consecuencia, la solicitud de análisis debería incluir datos de muestreo de relevancia para el análisis, y el informe analítico debería proporcionar los datos del análisis de relevancia para la evaluación e interpretación de los resultados. La ausencia de estos datos conduciría a meros valores numéricos, cuya interpretación resultaría dudosa y de fiabilidad desconocida.

6.1 Recomendaciones para la toma de muestra

Antes de cualquier medición es necesario definir claramente el objetivo de la misma y plantearse preguntas como:

- ¿Cuál es la concentración esperable?
- ¿Qué incertidumbre es aceptable para el objetivo de la medición?
- ¿Qué límite de detección es necesario alcanzar?

Para asegurarse de que las muestras que se toman son adecuadas, es importante que el personal que realice el muestreo esté cualificado para el desempeño de funciones de nivel superior y especialización en Higiene Industrial, conozca con detalle el método, cumpla los requisitos indicados en este documento, esté entrenado por personal experimentado e implante un procedimiento para el control de calidad de la toma de muestra.

El control de calidad de la toma de muestra puede ser sencillo a la par que eficaz y será diseñado de acuerdo con las características particulares de organización del servicio en el que el técnico de higiene realice esta actividad. Se recomiendan, como parte imprescindible del mismo, las verificaciones y controles para asegurar el correcto funcionamiento de las bombas y material utilizado en el muestreo (véase documento CR-01/2005 "Bombas de muestreo personal que operan a caudal constante"), y las calibraciones necesarias para estimar la incertidumbre del volumen de muestreo.

En relación con las muestras tomadas, se recomienda incluir en el control de calidad comprobaciones rutinarias sencillas, que aseguren la detección de los errores más simples, pero también los más frecuentes, como: confusión de muestras, anotaciones equívocas, datos ausentes, filtros saturados o con depósitos no homogéneos, filtros rotos, etc. A medida que se avanza en la implantación del control, se pueden introducir otros sistemas más complejos si ello se considera útil.

El transporte de muestras al laboratorio deberá hacerse en condiciones que aseguren la integridad de las muestras por lo que debería ser también objeto de control.

6.2 Recomendaciones para el laboratorio de análisis. Requisitos para el informe analítico

Los laboratorios homologados deberán adecuar sus procedimientos internos al nuevo método [MTA/MA-051](#) y cumplir con los requisitos que se deriven de la nueva normativa de amianto. En esta adaptación se recomienda incluir criterios para la aceptación de muestras, que permitan rechazar las muestras no adecuadas o con datos insuficientes que comprometan la calidad del resultado analítico. Para cumplir los requisitos derivados del método, se recomienda que en los informes analíticos se proporcionen, además de los resultados del recuento, los datos de la precisión e incertidumbre y el límite de detección.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Legislación

- [Orden de 31.10.1984](#) (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, BOE de 7.11.1984, rect. 22.11.1984) "Reglamento de Trabajos con Riesgo de Amianto", modificada por Orden de 31.3.1986 y Orden de 26.7.93 (BOE de 22.4.1986 y de 5.8.1993).
- [Orden de 7.1.1987](#) (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, BOE de 15.1.1987) "Normas complementarias del Reglamento sobre Trabajos con Riesgo de Amianto" modificada por Orden 26.7.1993 (BOE de 5.8.1993).
- [Resolución de 8.9.1987](#) (Dirección General de Trabajo, BOE de 14.10.1987, rect. de 26.1.1988) "Tramitación de solicitudes de homologación de laboratorios especializados en la determinación de fibras de amianto".

Legislación de la Unión Europea no traspuesta a 30 de septiembre de 2005

- [Directiva 2003/18/CE](#). Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo. DOCE n° L097 de 15 de abril de 2003, pgs 48-52. Modifica las [Directiva 83/477/CEE](#) del 19 de octubre de 1983 y [91/382/CEE](#) de 25 de junio de 1991.

Publicaciones del INSHT

- INSHT. Determinación de fibras de amianto y otras fibras en aire - Método del filtro de membrana/microscopía óptica de contraste de fases (Método multifibra). [MTA/MA-051/A04](#). INSHT. Métodos de toma de muestras y análisis.
- INSHT. Determinación de fibras de amianto en aire - Método del filtro de membrana/microscopía óptica. [MTA/MA-010/A87](#). INSHT. Métodos de toma de muestras y análisis.

Otras publicaciones

- Arroyo, M.C. y Rojo, J.M. National versus International Asbestos fibre Counting Schemes: Comparison between the Spanish Interlaboratory Quality control Programme (PICC-FA) and the Asbestos Fibre Regular Informal Counting Arrangement (AFRICA). *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 42, n° 2, pág. 97-104 (1998).
- Arroyo, M.C. y Rojo, J.M. A proposal for harmonising laboratory performance assessment criteria in national asbestos fibre counting schemes. *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 45, N° 6, pág. 447-455 (2001).
- Arroyo, M.C. y Rojo, J.M. Ampliación del programa interlaboratorio de control de calidad de fibras de amianto (PICC-FA). Protocolo estadístico para el recuento de fibras de amianto en bajas concentraciones. *Prevención, Trabajo y Salud*, vol. 27, págs. 35-40 (2003).
- Organización Mundial de la Salud. Determinación de la concentración de fibras suspendidas en aire. Método basado en la microscopía óptica de contraste de fase. OMS. Ginebra (1997).

APÉNDICE DISTRIBUCIÓN DE POISSON

La distribución de Poisson es una distribución discreta que se caracteriza completamente por el parámetro k . La función que describe la probabilidad de que un suceso X ocurra $0, 1, 2, 3, \dots, N$ veces viene dada por la expresión:

$$f(x) = P_x = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \text{ siendo } t \text{ la unidad de observación}$$

La media de la distribución de Poisson es:

$$\mu \cdot \lambda_t = \lambda t = \text{esperanza matemática de } \lambda_t$$

y la varianza:

$$\sigma^2 \lambda_t = \lambda_t = \text{esperanza matemática de } \lambda_t$$

Aplicado al recuento de fibras en el filtro, cada campo de recuento es una unidad de observación, luego el resultado (N) que corresponde al número total de fibras contadas en un número determinado de campos aleatorios (C) se puede expresar como:

$$\lambda_{100} = N \text{ o } \lambda_c = 100 \text{ según se hayan contado } N (\leq 100) \text{ fibras en } 100 \text{ campos o } 100 \text{ fibras en } C \text{ campos } C (> 20)$$

Para $k_r = 100$, el coeficiente de variación o desviación estándar relativa será, por tanto:

$$\sigma_r = \frac{(\sigma^2)^{1/2}}{\mu} = \frac{\mu^{1/2}}{\mu} = \frac{1}{\mu^{1/2}} \text{ ó } S_r = \frac{1}{100^{1/2}} = 0,10$$

Para $\lambda_{100} = N$, N tomará valores menores de 100, luego según se reduzca el número de fibras contadas, aumentará la desviación estándar relativa del resultado (Tabla 1):

N nº de fibras	SrP (%) Poisson (teórica)
5	45
7	38
10	32
20	22
50	14
80	11
100	10
200	7

La desviación estándar relativa real es superior a la teórica dado que tiene asociadas las variaciones adicionales debidas a las diferencias subjetivas inter e intra contadores. Esta desviación real se puede estimar mediante la expresión:

$$S_{RR} = \frac{(N + 0,04 N^2)^{1/2}}{N}$$

Límites de confianza

Si N es el número de fibras obtenido en un recuento, se puede esperar que la media M de un gran número de recuentos en la misma muestra esté comprendida en el intervalo M5 (límite inferior) - M95 (límite superior) para un nivel de confianza del 90%. Estos límites se definen por las ecuaciones siguientes:

$$0,84 (M_5)^2 - (2N + 4) M_5 + m^2 = 0$$

$$0,91 (M_{95})^2 - (2N + 2,25) M_{95} + m^2 = 0$$

La resolución de estas ecuaciones para distintos valores de N conduce a los límites indicados en la [Tabla 2](#) (véase 5.4).

Para cualquier observación o sugerencia en relación con este Método puede dirigirse al
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
[Centro Nacional de Verificación de Maquinaria](#)
Camino de la Dinamita, s/n Monte Basatxu-Cruces - 48903 BARACALDO (VIZCAYA)
Tfn. 944 990 211 - 944 990 543 Fax 944 990 678
Correo electrónico.- cnvminsht@mtas.es