

Toma de muestras de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada

CR-03/2006

Índice

0. INTRODUCCIÓN

1. AEROSOLES EN LOS LUGARES DE TRABAJO

1. Tamaño de partícula de los aerosoles
2. Distribución por tamaño de partícula de los aerosoles

2. COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN EL TRACTO RESPIRATORIO. CONCEPTOS BÁSICOS

3. DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LA DEFINICIÓN DE FRACCIÓN DEL AEROSOL POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

1. Primeras definiciones de partículas respirables
2. Primer intento de armonización internacional
3. Segunda armonización internacional
4. Unión Europea

4. CONVENIOS DE LA NORMA UNE-EN 481 PARA LA TOMA DE MUESTRA DE LAS FRACCIONES POR TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LOS AEROSOLES

1. Aerosol total
2. Fracción inhalable y convenio para la toma de muestra
3. Fracción torácica y convenio para la toma de muestra
4. Fracción respirable y convenio para la toma de muestra
5. Convenios para la toma de muestra de otras fracciones

5. INSTRUMENTACIÓN PARA LA TOMA DE MUESTRA DE AEROSOLES

6. REQUISITOS DE LOS MUESTREADORES DE AEROSOLES

1. Exactitud de los muestreadores
2. Otros requisitos
3. Métodos de ensayo de los muestreadores
4. Instrucciones de uso de los muestreadores

7. MUESTREADORES PERSONALES DE LA FRACCIÓN INHALABLE UTILIZADOS EN LA UNIÓN EUROPEA

1. Descripción de los muestreadores
2. Eficacia de muestreo de los muestreadores personales de la fracción inhalable utilizados en la Unión Europea
3. Muestreadores personales de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea
4. Muestreadores personales de más de una fracción del aerosol recomendados por la Unión Europea

8. ELEMENTOS DE RETENCIÓN UTILIZADOS EN LA TOMA DE MUESTRA DE LOS AEROSOLES

1. Filtros
2. Espumas

9. TOMA DE MUESTRA DE AEROSOLES

1. Objetivos de la toma de muestra
2. Factores que afectan a la toma de muestra de los aerosoles
3. Limitaciones de uso de los muestreadores
4. Selección del elemento de retención
5. Procedimiento de toma de muestra personal de los aerosoles

10. RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. Evaluación de la exposición a aerosoles
2. Convenios para la toma de muestra de las fracciones por tamaño de partícula de los aerosoles
3. Instrumentación para la toma de muestra de aerosoles
4. Eficacia de los muestreadores de fracciones
5. Muestreadores de la fracción inhalable
6. Elementos de retención de las partículas captadas

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE A. DEFINICIONES DE LOS TÉRMINOS CITADOS EN EL DOCUMENTO

APÉNDICE B. ORGANISMOS CITADOS EN EL DOCUMENTO

0. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la exposición a los agentes químicos presentes en el aire en forma de partículas requiere considerar, además de su naturaleza, el tamaño de las partículas.

La proporción de partículas presentes en el aire que penetran en el tracto respiratorio y el lugar de deposición dependen en primer lugar del tamaño de las partículas. Es decir, que la zona del tracto respiratorio en la que se producen los efectos adversos y en cierta medida los propios efectos dependen del tamaño de las partículas. Por esta razón los valores límite de exposición se definen para una determinada fracción de tamaño de partículas. Consecuentemente, los equipos que se utilicen para las tomas de muestra con el fin de evaluar la exposición a los agentes químicos, presentes en el aire en forma de partículas, deberían recoger la fracción de partículas de interés con relación a la definición del correspondiente valor límite.

El conocimiento sobre los mecanismos de penetración y deposición de las partículas en el tracto respiratorio se ha ido incrementando con los numerosos estudios toxicológicos y epidemiológicos realizados desde que, hace casi un siglo, se puso de manifiesto la importancia del tamaño de partícula en la evaluación de la exposición a aerosoles. Paralelamente, los conceptos de "inhalabilidad" y "respirabilidad" de las partículas han ido evolucionando a lo largo del tiempo adoptándose no sólo diferentes convenios sino incluso diferentes términos para su denominación. Esta evolución ha tenido su correspondencia en la definición de los valores límite de exposición y en las recomendaciones para la toma de muestra de los aerosoles, incluyendo el tipo y las características de los muestreadores.

Actualmente existe un consenso internacional sobre la definición y los convenios para la toma de muestra selectiva de las fracciones por tamaño de partícula de los aerosoles. Existen también comercialmente muestreadores que recogen selectivamente las fracciones de los aerosoles de acuerdo con los convenios internacionales.

En España, los muestreadores que se han venido utilizando hasta la fecha son la cassette de 37 mm de diámetro cerrada para la llamada "fracción total" y el ciclón para la fracción respirable. Mientras que el ciclón es un muestreador adecuado para la fracción respirable, la cassette de 37 mm en sus dos modalidades de uso, abierta y cerrada, no cumple con el convenio de la fracción inhalable. Este hecho, junto con la incorporación de los criterios de los convenios citados en la definición de los Límites de Exposición Profesional (LEP), hace imprescindible su sustitución por otros equipos de toma de muestra que se adecuen a los convenios.

En este contexto, este documento tiene como objetivo proporcionar, a los especialistas de Higiene Industrial, la información necesaria para la selección y utilización del muestreador más adecuado a las exposiciones a evaluar, entre los que cumplen con los criterios de la norma. Los temas que se tratan incluyen los convenios utilizados en la Unión Europea, los requisitos que deben cumplir los muestreadores y su relación con los valores límite. La parte central y más extensa del documento está dedicada a los **muestreadores personales de la fracción inhalable**. Se presentan las ventajas y limitaciones de los muestreadores recomendados en la Unión Europea y su aplicabilidad a las distintas situaciones de exposición, de forma que se posibilite la obtención de muestras válidas para la evaluación de la exposición laboral a los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo en forma de partículas.

1. AEROSOL EN LOS LUGARES DE TRABAJO



Los contaminantes químicos presentes en los lugares de trabajo se pueden encontrar en forma de suspensiones de partículas sólidas o líquidas en el aire, denominadas **aerosoles**. Los aerosoles se pueden generar en una gran variedad de actividades y procesos industriales. La naturaleza, tamaño y número de partículas que constituyen un aerosol industrial es, por tanto, de una enorme variedad ya que dependen de las características de los productos utilizados y de las operaciones implicadas en la actividad industrial.

Los aerosoles reciben diferentes nombres en función de distintos aspectos o características: origen o forma en que se generan, estado físico, forma, composición, tamaño de partícula o efectos que producen.

Considerando el procedimiento mediante el cual se generan las partículas o si las partículas generadas son sólidas o líquidas se utilizan diferentes términos para los aerosoles. Así, se llama “polvo” (dust) a una suspensión de partículas sólidas en el aire generadas por procesos mecánicos; “niebla” (mist), a una suspensión de partículas líquidas en el aire generadas por una acción mecánica sobre un líquido (arrastre de gas, salpicaduras, pulverización) y “humo” (smoke), a una suspensión de partículas sólidas en el aire generada en los procesos de combustión incompleta. El humo metálico (fume) corresponde a la suspensión de partículas sólidas en el aire, generadas por la condensación de un estado gaseoso originado tras la sublimación o la volatilización del metal.

Con relación a los efectos que ocasionan los aerosoles se puede hablar de aerosol o polvo (según el caso) neumoconiótico, tóxico, cancerígeno, alérgico, etc. Conviene recordar que, hasta hace pocos años, se ha estado utilizando el término “polvo inerte” o “polvo molesto” para designar a aquellas partículas que no ocasionaban efectos adversos importantes, no contenían amianto y la proporción de sílice cristalina era inferior al 1 %. Actualmente, este término ha sido sustituido por el de “Partículas (insolubles o poco solubles) no especificadas de otra forma” que considera a toda la materia particulada para la que no existe evidencia toxicológica sobre la que basar un valor límite ambiental.

Por último, respecto de la naturaleza química de las partículas, se utilizan los términos de “aerosol o polvo” (según el caso) mineral, metálico, químico y orgánico o vegetal.

Para evaluar la exposición a un aerosol es importante tener en cuenta la forma, naturaleza, composición y origen del aerosol, así como los efectos para la salud que pueden resultar de la exposición. Cuando se realicen las mediciones de las concentraciones del aerosol conviene también considerar todas las propiedades del aerosol (a excepción de los efectos), aunque para la toma de muestra se debe tener en cuenta, en primer lugar, la fracción del aerosol para la que está definido el valor límite.

1.1 Tamaño de partícula de los aerosoles

Los aerosoles no son constantes en su composición por tamaño de partícula. El número de partículas por volumen de aire se modifica con el tiempo como consecuencia de la sedimentación de las partículas más grandes, el movimiento browniano y la formación de aglomerados de las partículas más pequeñas. Esto, unido a la variedad de procesos industriales en los que se generan aerosoles, hace que la forma y el tamaño de las partículas que se pueden encontrar en los lugares de trabajo sean muy variables. Generalmente, se considera que las partículas de un aerosol se encuentran entre 0,001 μm y 100 μm .

El tamaño de partícula es importante porque determina en gran medida el comportamiento de las partículas en el aire y las leyes físicas que lo gobiernan. El tamaño y la forma de las partículas pueden ser muy complejos y a menudo sólo se pueden definir en la medida en que se pueden medir o calcular. Hay, por tanto, muchas formas de definir el tamaño y la forma de las partículas dependiendo de la técnica de medida o de su uso posterior. Uno de los parámetros más utilizados en el estudio de los aerosoles es el **diámetro equivalente**, que es el diámetro de una esfera que tiene el mismo valor de la propiedad física específica que la partícula irregular que se está midiendo.

El diámetro aerodinámico (equivalente) resulta útil para describir el comportamiento, por sedimentación y fuerzas de inercia, de las partículas que penetran en el tracto respiratorio y caracterizar su tamaño, independientemente de su forma y composición. El comportamiento de las partículas en otros dispositivos o instrumentos como filtros, ciclones o impactadores, también está gobernado por la dinámica de fluidos y por tanto el **diámetro aerodinámico** es el más adecuado para definir el tamaño de partícula. El diámetro aerodinámico se define como el diámetro de una esfera de densidad 1 g/cm^3 , que tiene la misma velocidad de sedimentación que la partícula, es decir, que tiene la misma velocidad final debida a la fuerza gravitatoria en el aire en calma que la que tiene la partícula, bajo las condiciones existentes de temperatura, presión y humedad relativa. Las partículas de diámetro aerodinámico menor de 0,5 μm tienen un comportamiento diferente del de las partículas de tamaño mayor y es más adecuado utilizar el **diámetro de difusión** en lugar del diámetro aerodinámico. El diámetro de difusión de una partícula es el diámetro de una esfera con el mismo coeficiente de difusión que el de aquella bajo las condiciones existentes de temperatura, presión y humedad relativa.

1.2 Distribución por tamaño de partícula de los aerosoles

Los aerosoles pueden estar constituidos por partículas de similar o de diferente tamaño denominándose “monodispersos” y “polidispersos”, respectivamente. Normalmente, los aerosoles de los lugares de trabajo presentan partículas de tamaño muy diferente y, por lo tanto, se tratará de aerosoles polidispersos.

Resulta conveniente disponer de algún medio para describir los aerosoles por tamaño de partícula. Las dos formas más comunes de medir la cantidad de partículas son la determinación del número o de la masa de partículas presentes en el aerosol. Una distribución por tamaño de partícula consiste en la representación del número o de la masa de las partículas para intervalos contiguos de tamaños (diámetros aerodinámicos). Normalmente se presentan como distribuciones de frecuencias o acumuladas. Para describir el aerosol, con un número reducido de parámetros, se ajustan matemáticamente a una función de distribución ideal. Las más utilizadas son la distribución normal, la logarítmico-normal y las distribuciones acumuladas correspondientes. Para los estudios de aerosoles se recomienda la utilización de distribuciones acumuladas frente a las de frecuencias.

Las distribuciones normales quedan caracterizadas por la media y la desviación típica. Las distribuciones logarítmico-normales, por la media geométrica o mediana y la desviación típica geométrica. Estas parejas de parámetros describen completamente la aproximación idealizada de los datos. La media describe el tamaño y la desviación típica es un indicador de la dispersión del tamaño de las partículas

del aerosol.

La distribución acumulada, para un tamaño de partícula dado, da el percentil o cantidad total de partículas del aerosol cuyo tamaño de partícula es inferior al dado. En las distribuciones logarítmico-normales acumuladas, la mediana, es decir, el diámetro aerodinámico mediana, corresponde al tamaño de partícula del percentil 50 (d50). Cuando la distribución de tamaño es en número de partículas, el diámetro aerodinámico mediana se denomina “diámetro aerodinámico mediana del recuento” (CMAD) y cuando la distribución de tamaño es en masa, se denomina “diámetro aerodinámico mediana de la masa” (MMAD).

Las distribuciones normales se pueden observar en el caso de aerosoles con partículas de tamaño similar, es decir, casi monodispersos. Las distribuciones por tamaño de partícula de los aerosoles polidispersos se ajustan mejor a una logarítmico-normal ya que, habitualmente, presentan desviaciones típicas grandes comparadas con la media.

Los aerosoles presentes en los lugares de trabajo estarán, en general, mejor caracterizados por una distribución logarítmico-normal acumulada. Asimismo, tal como se verá más adelante, las fracciones del aerosol que penetran en las regiones internas del tracto respiratorio se describen también mediante distribuciones logarítmico-normales acumuladas, caracterizadas por su mediana y su desviación típica geométrica.



2. COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN EL TRACTO RESPIRATORIO. CONCEPTOS BÁSICOS

La toma de muestra de la materia particulada se basa en el conocimiento del comportamiento médico-fisiológico del sistema respiratorio humano.

El tracto respiratorio se divide en función de las características anatómicas y de depósito y eliminación de las partículas en tres regiones: **vías aéreas superiores, región traqueobronquial y región alveolar**. Las características de los tejidos, los tiempos de residencia del aire, los mecanismos y la capacidad de separación de las partículas así como los mecanismos de eliminación son diferentes en cada región.

Las partículas, una vez que penetran en el organismo (son inhaladas), pueden ser exhaladas o pueden depositarse en alguna zona del tracto respiratorio. El comportamiento y la deposición de las partículas inhaladas en el tracto respiratorio dependen principalmente de la naturaleza y del tamaño de las partículas. Además del tamaño de las partículas, hay otros factores que afectan a la cantidad de materia particulada inhalada por el ser humano como son la velocidad y dirección del viento en las proximidades del cuerpo, las propiedades de las partículas (composición del aerosol, carga del aerosol), la cadencia respiratoria, la posibilidad de que la respiración sea a través de la nariz o la boca o las características individuales.

El depósito de las partículas en las vías respiratorias tiene lugar a través de mecanismos de impactación por inercia, sedimentación, intercepción y difusión en función principalmente del diámetro aerodinámico de las partículas. En el caso de las partículas líquidas o los componentes solubles de las partículas sólidas, éstas pueden ser absorbidas por los tejidos donde se depositen. Las partículas pueden causar daño en el lugar de depósito si son corrosivas, radioactivas o capaces de iniciar algún otro tipo de daño. Las partículas insolubles pueden ser transportadas a otra parte del tracto respiratorio o del cuerpo, donde pueden ser absorbidas o causar un efecto biológico.

Los principales mecanismos de defensa del tracto respiratorio frente a la materia particulada son el mecanismo mucociliar, que actúa en las regiones de las vías superiores y traqueobronquial, y el mecanismo de endocitosis, que supone la acción de los macrófagos en la región alveolar. En las vías superiores quedan depositadas las partículas de mayor tamaño que pueden ser eliminadas en unos minutos mediante el estornudo o por deglución. Sin embargo, hay partículas que presentan mayores tiempos de residencia como son, por ejemplo, las partículas de maderas duras que pueden residir durante largos períodos y causar cánceres nasales. Las partículas que se depositen en la región traqueobronquial son desplazadas hasta la laringe gracias al movimiento de los cilios y, posteriormente, serán deglutidas. Las partículas que se depositen en la región alveolar serán transportadas hacia los bronquiolos por los macrófagos o pasarán al sistema circulatorio o linfático. El tiempo de eliminación de las partículas de la región traqueobronquial es relativamente corto comparado con el correspondiente de la región alveolar.



3. DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LA DEFINICIÓN DE FRACCIÓN DEL AEROSOL POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

De forma genérica puede decirse que las partículas presentes en el aire se han clasificado, de forma más o menos explícita, en partículas totales y partículas respirables. El concepto y el término “respirable” han estado siempre asociados a las partículas que se depositan en la región alveolar o no ciliada. El conjunto de todas las partículas que pueden entrar en el organismo ha recibido diferentes nombres y consideración, desde “polvo total” a “partículas inspirables o inhalables”. Tanto en un caso como en otro, la definición cuantitativa, es decir, su descripción en función del tamaño de partícula y de los porcentajes, respecto de las partículas presentes en el ambiente que se asocian a uno u otro grupo, ha ido variando a medida que se ha ido disponiendo de más información proveniente de las investigaciones realizadas tanto en el campo de la Higiene Industrial como en otros campos.

La evolución de la definición de las fracciones ha ido indisolublemente unida al desarrollo de equipos capaces de separar la fracción de interés de la nube de polvo, es decir, de “muestreadores por tamaño de partícula”.

3.1 Primeras definiciones de partículas respirables

Las primeras observaciones sobre la necesidad de considerar el tamaño de las partículas en las exposiciones laborales corresponden

a estudios con relación al riesgo de neumoconiosis. El objetivo de estas investigaciones eran las partículas sólidas, insolubles, que se depositaban y permanecían durante largo tiempo en los alvéolos (polvo). La primera referencia de la necesidad de muestreos selectivos de las partículas en función de su tamaño data de 1913. Se observó que las partículas que se encontraban en los alvéolos pulmonares de los mineros muertos en Sudáfrica no excedían de 7 μm y, por tanto, resultaba necesario el poder medir estas partículas finas para evitar la correspondiente neumoconiosis. Posteriormente, esta teoría se confirmó con estudios llevados a cabo con voluntarios.

En 1952 el *British Medical Research Council* (BMRC) dio la **primera definición de polvo respirable**, como aquella **fracción de partículas sólidas** de un aerosol industrial capaz de alcanzar los alvéolos pulmonares y, por tanto, susceptible de originar neumoconiosis. La fracción se describió mediante una curva que indicaba el porcentaje de partículas, para cada diámetro aerodinámico, que podía alcanzar los alvéolos pulmonares. Asimismo, se recomendó el uso de la masa de las partículas como el índice más apropiado para expresar la concentración del aerosol. Según la curva BMRC, el 50 % de las partículas que se depositan en los alvéolos corresponde a partículas con un diámetro aerodinámico de 5,0 μm .

La definición propuesta por el BMRC fue adoptada en la Conferencia Internacional de Neumoconiosis de Johannesburgo (1959), especificándose que, en relación con la neumoconiosis, debe considerarse solamente la fracción respirable de dicha atmósfera y que esta fracción debe separarse de la nube de polvo mientras las partículas estén suspendidas y en su medio original de dispersión.

En 1961, en Estados Unidos, la *Atomic Energy Commission* (AEC) definió la fracción respirable como la proporción de polvo inhalado que penetra en las regiones o zonas no ciliadas de los pulmones. Esta definición sólo era aplicable a las partículas insolubles que mostraban una prolongada retención en el pulmón. El 50 % de las partículas retenidas corresponde a un diámetro aerodinámico de 3,5 μm . En concepto es similar al del BMRC. La diferencia entre las curvas BMRC y AEC está en la base que se tomó para definir las, mientras que la primera basa la selección en un elutriador, la segunda lo hizo mediante un ciclón. La correlación entre las dos curvas, BMRC y AEC, fue calculada experimentalmente por Jacobson como $AEC = 0,8 \text{ BMRC}$.

En 1965, la *International Commission on Radiation Protection* (ICRP), Task Group on Lung Dynamics, determinó las exposiciones a radiaciones a partir de la inhalación de aerosoles radiactivos. De acuerdo con los datos de deposición que había hasta la fecha y justificados por estudios farmacocinéticos de las vidas medias de eliminación, se propusieron unos modelos de retención y deposición de los aerosoles basados en tres zonas principales del tracto respiratorio que son: la región nasofaríngea, que corresponde a las vías aéreas superiores, la región traqueobronquial, que corresponde al árbol traqueobronquial, y la región pulmonar, que corresponde a la zona de intercambio de gas.

En 1968, la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), basándose en los estudios de la ICRP, propuso su primera definición de la fracción respirable cuya única diferencia con la propuesta por la AEC se sitúa, para el tamaño de 2 μm , en la que el muestreador de la ACGIH deja pasar el 90 % de las partículas frente al 100% de la curva AEC.

3.2 Primer intento de armonización internacional

En todas las referencias anteriormente citadas, el **riesgo que se consideró para definir la fracción respirable fue el de neumoconiosis**. El estudio de la ICRP demostró que, además de en la zona alveolar, **las partículas pueden depositarse en otras partes del sistema respiratorio** como son el árbol traqueobronquial o las vías aéreas superiores causando enfermedades como el cáncer nasal.

En 1975, durante el Symposium de Partículas Inhaladas se compararon diferentes estudios realizados de determinaciones de "**polvo total**" en distintos países. Los resultados obtenidos mostraban inconsistencias de los métodos utilizados y, por tanto, resultaba difícil llevar a cabo estudios epidemiológicos utilizando los datos de las exposiciones a polvo. Finalmente, se llegó a un acuerdo en el que había que aplicar los principios científicos antes que las preferencias nacionales. Además, se requerían más datos relacionados con el comportamiento del polvo, por ejemplo, el conocer cómo penetraba el polvo en el cuerpo o cómo podría captarse en un medio que se comportara de forma similar al sistema respiratorio.

En 1979, el Comité Técnico 146 de la Organización Internacional de Normalización (ISO) propuso una serie de recomendaciones para las definiciones de las fracciones por tamaño de partícula con relación a la toma de muestra y análisis de los contaminantes presentes tanto en los ambientes laborales como en el medio ambiente. Las recomendaciones se recogen en el informe técnico **ISO/TR 7708: 1983**. Para la definición de las distintas fracciones, el grupo de trabajo utilizó los datos de deposición de partículas en las distintas regiones del sistema respiratorio. La propuesta fue dividir las partículas en **partículas inspirables y no inspirables**. Las **partículas inspirables** se dividían a su vez en fracción torácica (fracción traqueobronquial y fracción alveolar) y fracción extratorácica (vías aéreas superiores). Los resultados se extrapolaron a partículas de tamaño de hasta 185 μm aunque solamente se había experimentado con partículas de diámetro aerodinámico de hasta 30 μm .

En 1985, la ACGIH, acogiéndose al criterio propuesto por ISO, establece la toma de muestra selectiva por tamaño de partícula en la evaluación de los riesgos por inhalación de aerosoles en los puestos de trabajo, desarrollando unos valores límite selectivos por el tamaño de partícula *Particle Size Selective Threshold Limit Value* (PSS-TLVs).

Inspirable Particulate Mass TLV's IPM-TLV's. TLV de la **Masa Inspirable** de Partículas. Corresponde a aquellas partículas que resultan peligrosas cuando se depositan en cualquier zona del tracto respiratorio.

Thoracic Particulate Mass TLV's TPM-TLV's. TLV de la **Masa Torácica** de Partículas. Partículas que resultan peligrosas al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases.

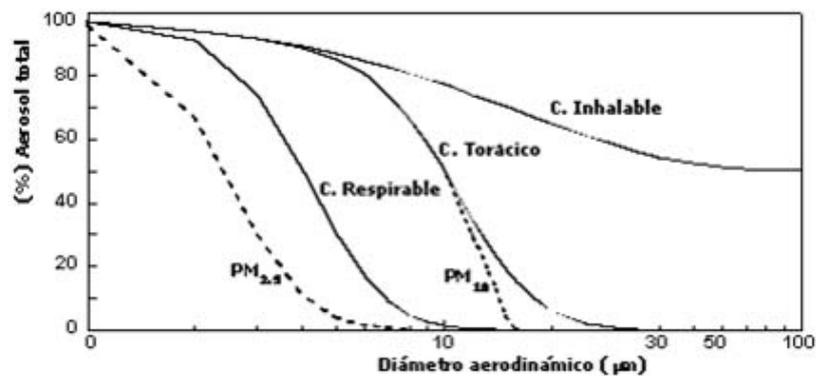
Respirable Particulate Mass TLV's RPM-TLV's. TLV de la **Masa Respirable** de Partículas. Partículas que resultan peligrosas al depositarse en la región de intercambio de gases.

Como consecuencia de la aparición de numerosas enfermedades relacionadas con el tracto respiratorio en la población en general, en 1984 la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos propuso una definición para el **aerosol torácico** que posteriormente ha sido conocida como PM_{10} . La curva que define la **PM_{10}** es similar a la curva para la fracción torácica propuesta por ISO. A finales de 1990, la causa de la mayoría de los efectos sobre la salud que ocasionaban los aerosoles presentes en el medio ambiente se atribuyó a las partículas más finas que la fracción PM_{10} . En concreto, a aquellas partículas que tenían el diámetro aerodinámico inferior a $2,5 \mu m$ y se generaban en los procesos de combustión. La EPA propuso una nueva fracción para los aerosoles finos denominada $PM_{2,5}$. A diferencia de las otras fracciones que se basan en los datos de deposición de las partículas en el tracto respiratorio en función del tamaño, la **$PM_{2,5}$** se basa en las propiedades relacionadas con el origen del aerosol atmosférico, en concreto la composición.

3.3 Segunda armonización internacional

Las tomas de muestra selectivas por tamaño de partícula que se realizaban para la evaluación de la exposición se basaban en diferentes criterios. Por una lado, se disponía de la definición de la fracción respirable que originalmente recomendó el BMRC y posteriormente fue adoptada en la Conferencia Internacional de Neumoconiosis de Johannesburgo (1959) y, por otro, estaban las diferentes fracciones, inspirable, torácica y alveolar definidas por ISO (1983) y la ACGIH (1985). Finalmente, también había países que tenían legislación propia en vigor. Dadas las diferencias entre unos criterios y otros, se propuso una armonización internacional para unificar los criterios. Para la fracción inhalable, se propuso que se mantuviera el criterio de la ACGIH (1985). Para la fracción torácica, se propuso una definición similar a las propuestas por la ACGIH (1985) e ISO (1983). Para la fracción respirable, se propuso una nueva definición que se apartara en la misma medida de las propuestas por el BMRC y la ACGIH (1985) e incorporara información reciente sobre el efecto del cuerpo en la eficacia de muestreo del muestreador. Una vez conseguida la unificación de los criterios correspondientes a las tres fracciones, cada organismo implicado (ISO, ACGIH y CEN) procedió a su publicación de forma independiente. CEN e ISO publicaron las normas **EN 481:1993** e **ISO 7708:1995**, respectivamente y la ACGIH lo incorporó en la **Documentación de los TLV en la edición de 1995**. En el capítulo 4 se tratan de forma detallada el contenido de estos convenios. En la **figura 1** se representan los convenios para la toma de muestra de las fracciones inhalable, torácica, respirable, PM_{10} y $PM_{2,5}$.

Figura 1
Convenios para la toma de muestra de las fracciones inhalable, torácica, respirable, PM_{10} y $PM_{2,5}$



3.4 Unión Europea

Las disposiciones de la Unión Europea que se van a considerar con relación a la evaluación de la exposición a aerosoles son las contenidas en las Directivas de la Unión Europea y en las normas y otros documentos del Comité Técnico 137 del Comité Europeo de Normalización, CEN/TC 137 *Evaluación de la exposición en el lugar de trabajo*.

La primera referencia en la legislación de la Unión Europea relacionada con la materia particulada es la **Directiva 88/642/CEE**. El apartado A del Anexo II-bis de dicha Directiva indicaba que para evaluar los riesgos para la salud relacionados con las materias en suspensión había que tener en cuenta el tamaño de las partículas. En dicho apartado también se recogían las definiciones de **fracción inspirable**, como el conjunto de materias en suspensión presentes en el aire que respira un trabajador, y **fracción respirable**, como la parte de la fracción inspirable que penetra en los alvéolos. El apartado B del Anexo II-bis de dicha Directiva hacía referencia a la evaluación de la exposición y a la estrategia de la medición, indicando que cuando se fuera a efectuar una medición de la concentración de las materias en suspensión, **las partículas tenían que separarse en función de su diámetro aerodinámico, indicando si correspondían a la fracción inspirable o a la respirable**.

La **Directiva 88/642/CEE** fue sustituida en lo que se refiere a agentes químicos por la **Directiva 98/24/CE**. En esta Directiva no se incluyó el anexo citado anteriormente quedando únicamente en el artículo 3 una referencia general a los métodos para la evaluación de los riesgos derivados de la exposición por inhalación de agentes químicos.

Como desarrollo de las disposiciones de las directivas relacionadas con la evaluación de la exposición a agentes químicos en el lugar de trabajo, en 1988 se creó el Comité Técnico CEN/TC 137 con el objetivo de elaborar específicamente normas y documentos sobre estos aspectos. El CEN/TC 137 ha elaborado y sigue elaborando normas que establecen los requisitos que deben cumplir las mediciones de agentes químicos para la realización de evaluaciones de exposición fiables. En lo que respecta a la evaluación de la exposición a agentes químicos presentes en el aire en forma de partículas, en primer lugar se elaboró la norma **EN 481:1993** anteriormente citada en la que se definen los convenios. Posteriormente, se elaboró la norma **EN 13205:2001** que recoge los requisitos que deben cumplir los equipos que se utilicen para la toma de muestra de las fracciones definidas por los convenios de la norma EN 481. La elaboración de esta norma se hizo de forma paralela a un **estudio comparativo** del comportamiento de los distintos muestreadores personales de la fracción inhalable que se utilizan en los distintos países europeos. Los resultados de este estudio junto

con la información de otras fuentes bibliográficas son la base del informe técnico **CEN/TR 15230:2005** *Workplace atmospheres- Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions* en el que se recogen los muestreadores que se consideran aceptables con relación a los convenios de la norma EN 481 y los requisitos de la norma EN 13205. Los capítulos siguientes están basados en los criterios y recomendaciones de estos documentos.

En España, el **Real Decreto 374/2001** traspone la **Directiva 98/24/CE** y el grupo de normalización paralelo al CEN/TC 137 es el Subcomité Técnico AEN/CTN 81/SC 4 *Evaluación de riesgos por agentes químicos* de AENOR. Las versiones en español de las normas europeas anteriormente citadas son **UNE-EN 481:1995** y **UNE-EN 13205:2002**. Los muestreadores que se han utilizado para captar la materia particulada presente en los ambientes laborales han sido la cassette de poliestireno de 37 mm cerrada y, para la fracción respirable, el ciclón de 10 mm de nylon.

En la **tabla 1** se recoge la información sobre la evolución de la definición de fracción del aerosol por tamaño de partícula.

Tabla 1
Evolución de la definición de fracción del aerosol por tamaño de partícula

Cronología de la definición de fracción del aerosol por tamaño de partícula	
McCrea, 1913	Las partículas encontradas en los alvéolos pulmonares de los mineros muertos en Sudáfrica resultaron inferiores a 7 μm .
BMRC, 1952	Primera definición de polvo respirable. El 50 % de las partículas depositadas corresponden a partículas con un diámetro aerodinámico de 5,0 μm .
Conferencia Internacional de Neumoconiosis de Johannesburgo, 1959	Se adoptó la definición propuesta por el BMRC.
AEC, 1961	Segunda definición de fracción respirable. El 50 % de las partículas depositadas corresponden a partículas con un diámetro aerodinámico de 3,5 μm .
ICRP, 1965	Se propusieron modelos de retención y deposición de los aerosoles basados en tres zonas: la región nasofaríngea, la traqueobronquial y la pulmonar.
ACGIH, 1968	Primera definición de fracción respirable para la ACGIH.
ISO, 1979	Las partículas se dividen en partículas inspirables y no inspirables. Las partículas inspirables se dividen en fracción torácica y extratorácica. ISO/TR 7708:1983.
ACGIH, 1985	Se establece el muestreo selectivo por tamaño de partícula para la fracción inspirable, torácica y respirable. También se establecen los valores límite correspondientes.
EPA, 1984	Se propone la definición de PM_{10} . Posteriormente, se define $\text{PM}_{2,5}$.
Unión Europea Directiva 88/642/CEE	Se definen las fracciones inspirable y respirable.
ISO/ ACGIH/ CEN, 1993	Armonización internacional para unificar los criterios de la fracción inhalable, torácica y respirable.
EN 481:1993 UNE-EN 481:1995 ISO 7708:1995 ACGIH, 1995	Se especifican los convenios para la toma de muestra de las distintas fracciones del aerosol en función del tamaño de las partículas.
Directiva 98/24/CE	Sustituye a la Directiva 88/642/CEE .
Real Decreto 374/2001	Trasposición de la Directiva 98/24/CE .

4. CONVENIOS DE LA NORMA UNE-EN 481 PARA LA TOMA DE MUESTRA DE LAS FRACCIONES POR TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LOS AEROSOL

La Norma Europea EN 481:1993 se elaboró en el seno del Comité Técnico CEN/TC 137 "Evaluación de la exposición en el lugar de trabajo" del Comité Europeo de Normalización, trabajando de forma coordinada con el Subcomité ISO/TC 146/SC 2 "Calidad del aire - Atmósferas en los lugares de trabajo" de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH).

La norma UNE-EN 481, considerando las diferentes regiones del tracto respiratorio, define cinco **fracciones**: inhalable, extratorácica, torácica, traqueobronquial y respirable junto con los correspondientes **convenios para la toma de muestra selectiva** de dichas fracciones para utilizar en la evaluación de los efectos para la salud que pueden resultar de la inhalación de aerosoles en los lugares de trabajo.

Los convenios son relaciones entre el diámetro aerodinámico y las fracciones del aerosol recogidas o medidas por los instrumentos de muestreo que representan aproximadamente las fracciones que penetran, bajo condiciones promedio, a las diferentes regiones del tracto respiratorio. Los convenios se expresan en términos de **fracciones de masa de las partículas**, pero también se pueden utilizar cuando el objetivo sea la determinación del valor del área superficial total o el número de partículas en la fracción recogida.

La aplicación principal de los convenios es la comparación de la concentración en masa de las fracciones por tamaño del aerosol con los valores límite. Los convenios describen las fracciones del aerosol que recogería un muestreador ideal y por tanto, en la práctica, los convenios se utilizarán para definir las características de los instrumentos para la toma de muestra de aerosoles con el objetivo de medir las concentraciones que corresponden a las fracciones para las que los valores límite estén definidos. Los convenios no se deben utilizar con valores límite definidos en términos diferentes como, por ejemplo, los de las fibras que se definen por la relación entre la longitud y el diámetro de las fibras. En los [apartados 4.2 a 4.5](#) se tratan los convenios de la Norma UNE-EN 481.

4.1 Aerosol total

En este documento se utiliza el término de “aerosol total” en el sentido de la norma UNE-EN 481 que lo define como “todas las partículas en suspensión que se encuentran en un volumen dado de aire”.

En el pasado, en la mayoría de los países, las recomendaciones para la toma de muestra de los aerosoles se basaban en el concepto de “**aerosol total**”, “**polvo total**” o “**partículas totales**”. Estos términos correspondían a las partículas captadas por un determinado instrumento de muestreo. Por ejemplo, la ACGIH consideraba como “partículas totales” a aquellas partículas recogidas con la cassette de poliestireno de 37 mm cerrada. En el Reino Unido, las partículas que se recogían con el muestreador de siete orificios se consideraban como “polvo total”. En todos los casos, se consideraba que los instrumentos de muestreo podían recoger todas las partículas del aerosol, independientemente del tamaño que tuvieran. Sin embargo, posteriores estudios han demostrado que la eficacia de captación de un instrumento de muestreo está relacionada con el tamaño de las partículas del aerosol.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que muchas veces es imposible medir la concentración del aerosol total debido a que todos los instrumentos de muestreo son, en alguna medida, selectivos con relación al tamaño de las partículas.

4.2 Fracción inhalable y convenio para la toma de muestra

4.2.1 Fracción inhalable

La **fracción inhalable** se define como la fracción de la masa de las partículas del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca.

La fracción inhalable se estableció a partir de una serie de trabajos experimentales llevados a cabo por diferentes autores a finales de los años 70 y a principios de los 80. En estos trabajos la fracción inhalable se obtuvo a partir de la fracción del aerosol, en función del diámetro aerodinámico de las partículas, que era aspirada por el orificio de la boca de un maniquí situado en un túnel de viento. Las velocidades de viento utilizadas en el túnel de viento oscilaron entre 0,5 m/s y 4 m/s. Los estudios se realizaron con partículas de diámetros aerodinámicos de hasta 100 µm.

4.2.2 Convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable

El **convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable** se aproxima, para cada diámetro aerodinámico de partícula, a la relación entre la concentración en masa de las partículas que entran en el tracto respiratorio con respecto a la concentración en masa de las partículas presentes en el aire (es decir, respecto del aerosol total), antes de que se perturben por la presencia del individuo expuesto y la inhalación.

El convenio inhalable se describe por medio de la expresión:

$$E_i = 50 [1 + \exp(-0,06 D)]$$

donde:

E_i es el porcentaje de aerosol que tiene que ser recogido por el instrumento de muestreo.

D es el diámetro aerodinámico de la partícula, en micrómetros.

Esta ecuación se representa en la [figura 2](#). En la [tabla 2](#) se recogen algunos valores obtenidos a partir de ella.

Figura 2

Convenios para la toma de muestra de las fracciones inhalable, torácica y respirable como porcentaje del aerosol total

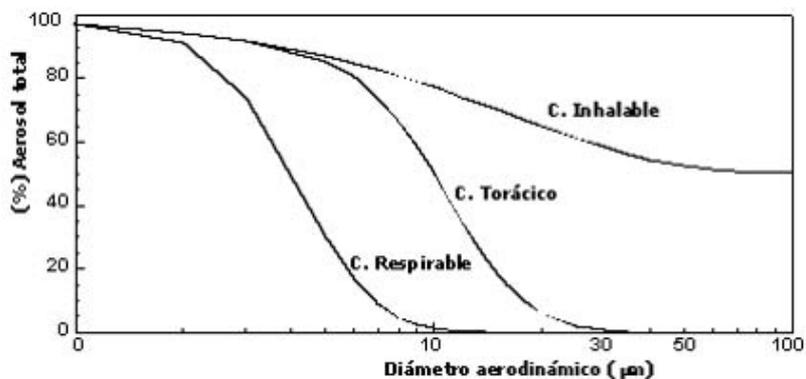


Tabla 2
Valores numéricos de los convenios, como porcentajes del convenio para la fracción inhalable y del aerosol total

Diámetro aerodinámico D µm	Convenio inhalable E _I %	Convenio torácico E _T %	Convenio respirable E _R %	Convenio inhalable E _I %	Convenio torácico E _T x E _I %	Convenio respirable E _R x E _I %	Diámetro aerodinámico D µm
	Como porcentaje del inhalable			Como porcentaje del total			
0	100	100	100	100	100	100	0
1	100	100	100	97,1	97,1	97,1	1
2	100	100	96,8	94,3	94,3	91,4	2
3	100	100	80,5	91,7	91,7	73,9	3
4	100	96,8	55,9	89,3	89,0	50,0	4
5	100	98,1	34,4	87,0	85,4	30,0	5
6	100	94,9	19,8	84,9	80,5	16,8	6
7	100	89,5	10,9	82,9	74,2	9,0	7
8	100	82,2	5,9	80,9	66,6	4,8	8
9	100	73,7	3,2	79,1	58,3	2,5	9
10	100	64,6	1,7	77,4	50,0	1,3	10
11	100	55,5	0,9	75,8	42,1	0,7	11
12	100	47,0	0,5	74,3	34,9	0,4	12
13	100	39,3	0,3	72,9	28,6	0,2	13
14	100	32,4	0,2	71,6	23,2	0,2	14
15	100	26,6	0,1	70,3	18,7	0,1	15
16	100	21,6	0,1	69,1	15,0	0	16
18	100	14,1	0	67,0	9,5		18
20	100	9,1		65,1	5,9		20
25	100	3,0		61,2	1,8		25
30	100	1,0		58,3	0,6		30
35	100	0,3		56,1	0,2		35
40	100	0,1		54,5	0,1		40
50	100	0		52,5	0		50
60	100	-		51,4	-		60
80	100	-		50,4	-		80
100	100	-		50,1	-		100

La fracción inhalable depende del movimiento del aire (velocidad y dirección), de la cadencia respiratoria y de si la respiración se realiza a través de la nariz o de la boca. Los valores dados en el convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable corresponden a valores representativos de la cadencia respiratoria y están promediados para todas las direcciones del viento.

No se recomienda el empleo del convenio para partículas con diámetros aerodinámicos superiores a 100 µm ya que, como se ha indicado en 4.2.1, no se dispone de datos experimentales para estos tamaños de partícula.

4.2.3 Otros términos utilizados para la fracción inhalable

En el informe técnico ISO/TR 7708:1983 y en la [Directiva 88/642/CEE](#), citados en 3, se utilizó el término “inspirable” en lugar de “inhalable”. Esto fue debido a que la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) durante un tiempo utilizó el término “inhalable” para lo que ahora denomina “partículas torácicas totales” o “PM₁₀”. En la actualidad, el término “inhalable” está adoptado internacionalmente para designar a la fracción de la masa del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca.

Los términos inhalable e inspirable se consideran equivalentes.

4.3 Fracción torácica y convenio para la toma de muestra

4.3.1 Fracción torácica

La **fracción torácica** se define como la fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe.

4.3.2 Convenio para la toma de muestra de la fracción torácica

El **convenio para la toma de muestra de la fracción torácica** se aproxima, para cada diámetro aerodinámico de partícula, a la relación entre la concentración en masa de las partículas que penetran más allá de la laringe con respecto a la concentración en masa de las partículas inhaladas.

El convenio torácico se describe mediante una distribución logarítmico-normal acumulada cuya mediana es 11,64 µm y la desviación típica geométrica es 1,5 µm. Para facilitar los cálculos en la práctica, se utiliza una aproximación numérica de la función de distribución logarítmico-normal acumulada que da, para cada diámetro aerodinámico, el valor del convenio en forma de porcentaje (véase tabla 2).

El **convenio torácico** se puede expresar respecto al aerosol total. Los valores del convenio respecto al aerosol total, para cada diámetro aerodinámico, se obtienen al multiplicar los valores de ET, dados en la tabla 2, por 0,01 E_T.

4.4 Fracción respirable y convenio para la toma de muestra

4.4.1 Fracción respirable

La **fracción respirable** se define como la fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.

4.4.2 Convenio para la toma de muestra de la fracción respirable

El **convenio para la toma de muestra de la fracción respirable** se aproxima, para cada diámetro aerodinámico de partícula, a la relación entre la concentración en masa de las partículas que alcanzan las vías respiratorias no ciliadas con respecto a la concentración en masa de las partículas inhaladas.

El convenio respirable se describe mediante una distribución logarítmico-normal acumulada de mediana 4,25 µm y desviación típica geométrica 1,5 µm. Al igual que para la fracción torácica, a partir de una aproximación numérica de la función de distribución, se obtienen, para cada diámetro aerodinámico, los valores del convenio respirable como porcentaje (véase [tabla 2](#)).

El convenio respirable se puede expresar respecto al aerosol total. Los valores del convenio respirable con respecto al aerosol total, para cada diámetro aerodinámico, se obtienen al multiplicar los valores de E_R, dados en la [tabla 2](#), por 0,01 E_T.

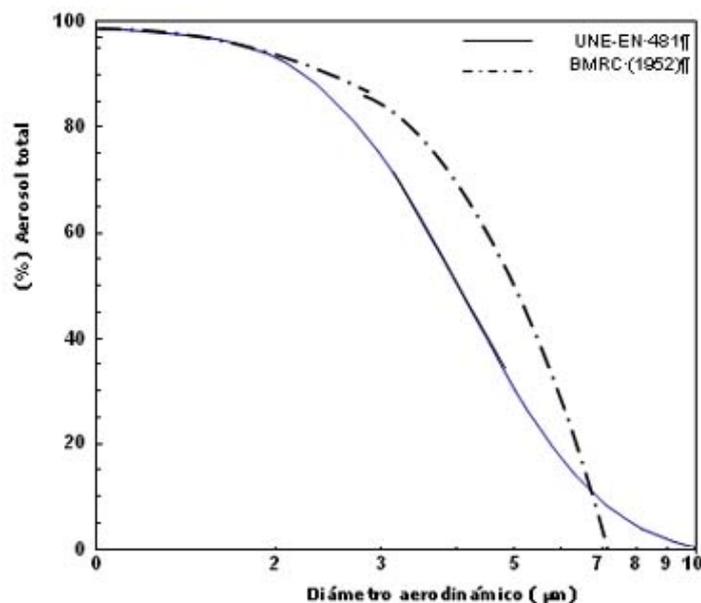
4.4.3 Convenio para la toma de muestra de la fracción respirable para grupos de alto riesgo

La norma ISO 7708:1995 propone un segundo convenio para la toma de muestra de la fracción respirable con el objetivo de proteger al grupo denominado “de alto riesgo” que incluye a los niños y a las personas enfermas. El convenio para la toma de muestra de esta fracción respirable viene descrito mediante una distribución logarítmico-normal acumulada de mediana 2,5 µm y desviación típica geométrica 1,5 µm.

4.4.4 Comparación de las curvas BMRC y UNE-EN 481 para la fracción respirable

Como se ha mencionado en 3.3, la curva que describe la fracción respirable propuesta en la norma UNE-EN 481 difiere de la curva BMRC. En la [Figura 3](#) se representan las dos curvas. Se puede observar que la curva BMRC da valores más altos que el convenio de la norma UNE-EN 481. Esto quiere decir que los equipos acordes con el convenio de Johannesburgo (que siguen la curva BMRC) darán, en la práctica, igual o mayor concentración en masa (hasta un 20% más) que los equipos acordes con el convenio para la fracción respirable, descrito en la norma UNE-EN 481. La norma UNE-EN 481 indica que, de cara a la comparación de la concentración en masa de las fracciones del aerosol con los valores límite, pueden utilizarse otros métodos, siempre que den lugar a conclusiones semejantes o de mayor rigor. Por tanto, se podrán utilizar aquellos equipos que se ajusten al convenio de Johannesburgo.

Figura 3
Comparación de los convenios BMRC y UNE-EN 481 para la fracción respirable (ACGIH)



4.5 Convenios para la toma de muestra de otras fracciones

Los convenios para la toma de muestra de las fracciones extratorácica y traqueobronquial se obtienen a partir de los convenios de las fracciones inhalable, torácica y respirable. En ambos casos se pueden describir con respecto a la fracción inhalable o al aerosol total.

4.5.1 Fracción extratorácica y convenio para la toma de muestra

La **fracción extratorácica** se define como la fracción de la masa de las partículas inhaladas que no penetran más allá de la laringe.

El **convenio para la toma de muestra de la fracción extratorácica** se calcula, para cada diámetro aerodinámico de las partículas, como la diferencia de los convenios para las fracciones inhalable y torácica ($E_I - E_T$) dados en la [tabla 2](#).

4.5.2 Fracción traqueobronquial y convenio para la toma de muestra

La **fracción traqueobronquial** se define como la fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe pero que no alcanzan las vías respiratorias no ciliadas.

El **convenio para la toma de muestra de la fracción traqueobronquial** se calcula, para cada diámetro aerodinámico de las partículas, como la diferencia de los convenios para las fracciones torácica y respirable ($E_T - E_R$) dados en la [tabla 2](#).



5. INSTRUMENTACIÓN PARA LA TOMA DE MUESTRA DE AEROSOL

La toma de muestra de los aerosoles presentes en los lugares de trabajo, dependiendo de los objetivos de la medición ([véase 9.1](#)), puede ser personal, es decir, el equipo de toma de muestra se coloca sobre la persona, o estática, en el caso de que el equipo de toma de muestra se sitúe en un lugar fijo del emplazamiento en el que se va a realizar la determinación de la concentración ambiental del aerosol.

Los sistemas de **toma de muestra de aerosoles** constan, en general, de un muestreador que selecciona la fracción de interés por tamaño de partícula del aerosol, un elemento de retención que recoge las partículas del aerosol que han entrado en el muestreador y una bomba de muestreo.

El **muestreador** capta la fracción de interés del aerosol (inhalable, torácica, respirable) con una determinada eficacia dependiendo del tamaño de las partículas. Los muestreadores personales pueden captar una única fracción o varias fracciones simultáneamente. En este último caso, es necesario un proceso de separación interna de las partículas captadas. En [7.1](#) se describen los muestreadores personales de la fracción inhalable utilizados en la Unión Europea.

Las partículas que han penetrado en el muestreador se separan del aire, en la mayoría de los casos, mediante un proceso de filtración y quedan recogidas en el elemento de retención. Los **elementos de retención** son normalmente filtros o espumas de diferentes características (material de construcción y tamaño de poro diferentes). Según el tipo de muestreador, los elementos de retención están integrados o no en el mismo. En todos los muestreadores personales de la fracción inhalable que se describen en [7.1](#), el elemento de retención se coloca dentro del muestreador. En el [apartado 8](#) se da información de los elementos de retención que se utilizan habitualmente con estos muestreadores.

El muestreador necesita de una bomba de aspiración del aire para su funcionamiento. Algunos muestreadores tienen la bomba integrada, pero la mayoría requieren una bomba externa. Las **bombas de muestreo** que se utilicen en los sistemas de toma de muestra de aerosoles deben cumplir con los requisitos de las normas correspondientes. En los sistemas de toma de muestra personal

de aerosoles, las bombas de muestreo son de tipo P, de acuerdo con la clasificación de la norma UNE-EN 1232, y el rango de caudal máximo en el que operan habitualmente es de 1 a 5 l/min. Los requisitos de las bombas de muestreo personal así como las recomendaciones y uso de ellas vienen descritos en el documento CR-01/2005. En las tomas de muestra en un lugar fijo, pueden utilizarse bombas de muestreo que operan a caudales superiores a 5 l/min debiendo cumplir las especificaciones que se indican en la norma UNE-EN 12919.

El muestreador se une a la bomba de muestreo externa mediante un tubo de plástico, flexible. Es recomendable utilizar tubos de Tygon ya que presentan menores efectos electrostáticos que los de Teflón (politetrafluoroetileno) o los de Polyflo (polietileno).



6. REQUISITOS DE LOS MUESTREADORES DE AEROSOLES

Los métodos de medición que se utilicen para la evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso deberían cumplir la normativa específica que sea de aplicación que incluye la relativa a los **requisitos exigibles a los instrumentos de medida** (Art. 3 Real Decreto 374/2001). Para los muestreadores de aerosoles, los documentos a considerar son:

- La norma UNE-EN 481 que define los convenios para la toma de muestra de las fracciones por tamaño de partícula de los aerosoles.
- La norma UNE-EN 482 que establece los requisitos generales para los métodos de medición.
- La norma UNE-EN 13205 que establece los requisitos específicos de los instrumentos para la medición de las concentraciones de aerosoles.
- Las especificaciones contenidas en los métodos de medición que se apliquen en cada caso.

Para realizar mediciones fiables de la exposición laboral a agentes químicos, los métodos de medición deben cumplir los requisitos contenidos en la norma UNE-EN 482. Para que los métodos de medición de aerosoles cumplan los requisitos generales de esta norma, los muestreadores deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 13205, lo que a su vez implica que el muestreador sea capaz de tomar muestras de aerosol de acuerdo con el convenio correspondiente (inhalable, torácico, respirable) definido en la norma UNE-EN 481.

La norma UNE-EN 13205 se aplica a todos los instrumentos utilizados en las tomas de muestra de partículas, relacionadas con la salud, en los lugares de trabajo, cualquiera que sea su modo operativo. La [tabla 3](#) resume los requisitos de la norma UNE-EN 13205 para los instrumentos de toma de muestra de aerosoles que se utilicen en los métodos con etapas separadas de toma de muestra y análisis.

La verificación del cumplimiento de los requisitos se realiza evaluando el comportamiento de los instrumentos para la toma de muestra de aerosoles siguiendo los ensayos descritos en la norma UNE-EN 13205. Estos ensayos deben ser realizados por el fabricante y las aplicaciones y los intervalos de operación que declara para el muestreador se deben fundamentar en los resultados obtenidos. Por su parte, el usuario tiene la responsabilidad de asegurar que el muestreador cumple con los requisitos de la norma UNE-EN 482 en las condiciones reales de utilización. El [apartado 6.3](#) contiene un resumen de los ensayos para evaluar los parámetros relacionados con la exactitud de los muestreadores.

6.1 Exactitud de los muestreadores

Con relación a la adecuación a los convenios, el parámetro fundamental es la **exactitud** del muestreador que depende de la eficacia de muestreo y de la variabilidad de los muestreadores. La eficacia de muestreo se define, para cada diámetro aerodinámico de las partículas, como la relación entre la concentración del aerosol recogida por el muestreador y la correspondiente concentración ambiental del aerosol. En general, la **eficacia de muestreo** de los muestreadores de aerosoles reales se desvía de la del muestreador ideal representada por los convenios y la masa del aerosol recogida será, por tanto, diferente de la que recogería un muestreador ideal. Hay que tener también en cuenta que el comportamiento de los muestreadores reales está influenciado por muchos factores que dependen del ambiente en que se emplea el muestreador, entre los cuales los más importantes son la velocidad y la dirección del viento exterior. La norma UNE-EN 13205 establece que para que el muestreador cumpla con el convenio apropiado de la norma UNE-EN 481, la **exactitud debe ser inferior o igual al 30%** promediada para todas las velocidades de viento ([tabla 3](#)).

6.2 Otros requisitos

Además del requisito de exactitud, el muestreador debe cumplir otros requisitos ([tabla 3](#)) que pueden afectar a la fiabilidad y calidad de la medición y a la seguridad del usuario.

El **transporte** de los muestreadores al laboratorio para su análisis puede producir pérdidas de la materia particulada recogida o provocar que las partículas se desplacen de un elemento de retención a otro en el caso de los muestreadores multifracciones o bien hacia las paredes del muestreador, lo que resultaría en una aparente disminución de la eficacia de muestreo. El transporte y la manipulación de los muestreadores no debe provocar variaciones superiores al 5 % en la masa de las partículas recogidas. Para minimizar este efecto son importantes el diseño interno del muestreador y las instrucciones para el transporte y manipulación contenidas en el manual de uso.

Tabla 3
Resumen de los requisitos para los muestreadores de aerosoles

Parámetro	Requisito
-----------	-----------

Exactitud	≤ 30 % promediada para todas las velocidades de viento
Variabilidad de los muestreadores	< 5 % de la masa muestreada para un grupo de 6 muestreadores expuestos de forma idéntica
Transporte y manipulación	Variación en el peso < 5 % para 10 muestreadores ensayados
Estabilidad del caudal (para muestreadores con bomba integrada)	Desviación del caudal ≤ 5 % del caudal inicial en todo el intervalo de caudales (UNE -EN 1232)
Identificación de la muestra	Existencia de una zona adecuada para la identificación de la muestra por el usuario
Instrucciones de uso	Deben existir (6.4)
Seguridad del diseño	Ni ángulos vivos ni partes salientes molestas (UNE-EN 1232)
Seguridad eléctrica	Conforme a UNE-EN 50014

El muestreador debe disponer de una **zona adecuada** que permita **la identificación** de la muestra por el usuario.

En el caso de los muestreadores con bomba integrada, el muestreador debe cumplir además los requisitos de las bombas de muestreo personal (véase CR-01/2005), especialmente los relacionados con la estabilidad del caudal y con la seguridad.

Respecto de la estabilidad del caudal, el requisito es que el caudal no se debe desviar más de ± 5 % del valor ajustado inicialmente para las pérdidas de carga que se pueden presentar durante la toma de muestra. En la tabla 1 de CR-01/2005 se recogen, para cada caudal, los intervalos de pérdida de carga en los que el caudal debe mantenerse constante dependiendo del tipo de bomba. Si los requisitos de estabilidad del caudal para muestreadores con bomba integrada fueran más restrictivos, el fabricante deberá indicarlo en el manual de uso del instrumento.

Respecto de la seguridad del usuario, para los instrumentos en los que se indique que pueden ser utilizados en lugares donde existe un riesgo de explosión, el fabricante debe entregar con el muestreador el certificado de conformidad con la norma UNE-EN 50014 Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Reglas generales. Además, la cubierta exterior del muestreador debe estar construida de manera que no haya ángulos vivos ni otras partes salientes molestas.

Los instrumentos utilizados para la medición de aerosoles deben estar marcados. El marcado debe ser permanente y permitir identificar el fabricante y el instrumento.

Para todos los instrumentos de muestreo de aerosoles, el fabricante debe entregar junto con el muestreador las instrucciones de utilización o "Manual de uso" en español. Las instrucciones deben contener toda la información relevante para el funcionamiento del muestreador. El contenido mínimo de las instrucciones de utilización se detalla en 6.4.

6.3 Métodos de ensayo de los muestreadores

El comportamiento de los muestreadores puede evaluarse a través de diferentes métodos de ensayo. El más completo se realiza exponiendo los muestreadores a diferentes aerosoles y condiciones en un túnel de viento. Los valores de la eficacia de muestreo del muestreador en función del diámetro aerodinámico de las partículas de la fracción de interés se comparan con los del convenio de muestreo correspondiente. El intervalo del diámetro aerodinámico de las partículas del aerosol a ensayar depende de la fracción (inhalable, torácica, respirable) que se pretende captar con el muestreador (fracción inhalable 1 µm – 100 µm; fracción torácica 0,1 µm - 35 µm; fracción respirable 0,1 µm - 15 µm). A partir de los datos obtenidos y empleando modelos matemáticos, se estima el sesgo y la precisión del muestreador. Estos ensayos están indicados para los muestreadores que mediante procesos aerodinámicos separen físicamente las partículas de su gas portador.

El muestreador también se puede evaluar comparándolo con un muestreador de referencia. Para ello, los dos instrumentos se exponen en un túnel de viento a los mismos aerosoles de ensayo y en las condiciones específicas en las que se va a utilizar el muestreador. Los resultados del muestreador a evaluar deben concordar con los resultados del muestreador de referencia. En estos ensayos de comparación no se determina la curva de la eficacia de muestreo del muestreador y, por tanto, no puede compararse directamente con los convenios de muestreo. El campo de aplicación del muestreador a evaluar estará limitado por la elección de los aerosoles de ensayo y las condiciones del ensayo. Estos ensayos de comparación pueden realizarse en los muestreadores que mediante procesos aerodinámicos separen físicamente las partículas de su gas portador o en cualquier otro tipo de instrumento destinado a medir la concentración de las partículas de un aerosol en un gas.

Los dos métodos de ensayo descritos anteriormente tienen que llevarse a cabo en un túnel de viento o en una cámara de aerosoles. Sin embargo, en los lugares de trabajo el **usuario** puede efectuar un método de ensayo que permita establecer la equivalencia entre el muestreador a evaluar y un muestreador de referencia. El muestreador a evaluar puede ser un muestreador o cualquier otro dispositivo utilizado para medir las concentraciones de las partículas suspendidas en el aire, incluyendo aquellos que realmente no recogen las partículas. La equivalencia entre los dos muestreadores permite al usuario realizar mediciones con muestreadores que no se han evaluado en ensayos de laboratorio. A partir de los datos de la comparación en campo, se obtiene una **función de corrección** que relaciona las concentraciones del aerosol, medidas con el muestreador a evaluar, con las medidas por el muestreador de referencia. La función de corrección depende de las propiedades del aerosol y de las condiciones ambientales existentes durante el ensayo, por tanto, es específica para las actividades del lugar de trabajo en el que se ha realizado el ejercicio de comparación y no es aplicable a otras condiciones.

Finalmente, hay ensayos de laboratorio que permiten simular los movimientos bruscos que los muestreadores pueden sufrir durante su manipulación y transporte. La manipulación brusca puede provocar el desplazamiento de las partículas recogidas en el elemento de

retención (filtro, espuma) hacia las paredes internas del muestreador, resultando importante en el momento de retirar los muestreadores personales del usuario y también en el transporte de las muestras desde el lugar donde se ha realizado la toma de muestra hasta el laboratorio donde se vayan a analizar. Asimismo, debe considerarse el desplazamiento de las partículas en aquellos muestreadores que tienen capas de selección de partículas de diferente tamaño, ya que puede darse una contaminación de las fracciones de las partículas finas con las partículas más gruesas.

6.4 Instrucciones de uso de los muestreadores

El fabricante debe suministrar los muestreadores acompañados de las correspondientes instrucciones de utilización que carecerán de ambigüedades y serán de fácil comprensión.

Las instrucciones de uso deben incluir la información relacionada con la adecuación del muestreador al convenio para la toma de muestra correspondiente, las limitaciones en la utilización del instrumento así como las distribuciones por tamaño de partícula de los aerosoles, velocidades del viento y otras condiciones de funcionamiento, en las que el muestreador cumple los requisitos de exactitud. Se incluirá también la manera de poner en marcha el instrumento y cómo se fijan los parámetros de operación, especificando el caudal de muestreo previsto. Se indicará el intervalo de temperaturas para el almacenamiento y el funcionamiento adecuado del instrumento.

En el caso en el que sea necesario el uso de una bomba externa se indicarán los requisitos que tiene que cumplir (caudal, pérdida de carga, pulsación), las baterías y el cargador de baterías recomendados y el tiempo de funcionamiento con las baterías completamente cargadas, en las condiciones de funcionamiento habituales.

Asimismo, se señalarán los detalles del elemento de retención a utilizar para la recogida de las partículas (diámetro del filtro, material, tamaño de poro).

Se indicarán las operaciones de mantenimiento, limpieza y calibración del instrumento, las advertencias sobre los problemas conocidos que pueden darse durante la utilización del instrumento (orientación, choques mecánicos) y, si procede, la prohibición del empleo del muestreador en ciertas condiciones, por ejemplo, en atmósferas explosivas.



7. MUESTREADORES PERSONALES DE LA FRACCIÓN INHALABLE UTILIZADOS EN LA UNIÓN EUROPEA

Existe una gran variedad de muestreadores de partículas desarrollados por diferentes organizaciones e institutos europeos y de otros países, así como por diferentes fabricantes. A continuación se describen los principales muestreadores personales de la fracción inhalable que se están utilizando o se han estado utilizando hasta recientemente en la Unión Europea. En la [figura 4](#) se muestran las fotografías de estos muestreadores. Hay que señalar que no todos ellos cumplen los requisitos de las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205 y los que los cumplen no tienen la misma eficacia de muestreo para todas las condiciones ambientales.

7.1 Descripción de los muestreadores

- **7 orificios** (varios fabricantes).

Muestreador utilizado en el Reino Unido. Comercialmente disponible en tres versiones, una de ellas es de metal (fabricado por Casella) y las otras dos son de plástico (fabricados por SKC y JS Holdings). El aerosol se aspira a través de 7 orificios de 4 mm que se orientan en dirección perpendicular con respecto al cuerpo del trabajador. El caudal de muestreo es de 2 l/min. La muestra se recoge en un filtro de 25 mm situado dentro del muestreador. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro.

- **PGP-GSP 3,5** (fabricado por Strohlein).

Muestreador utilizado en Alemania. Es de metal con una entrada cónica de aluminio. El aerosol se aspira a través de un orificio de 8 mm que se orienta en dirección perpendicular con respecto al cuerpo del trabajador. El caudal de muestreo es de 3,5 l/min. Las partículas se recogen en un filtro de 37 mm situado dentro del muestreador. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro.

- **PGP-GSP 10** (fabricado por Strohlein).

Muestreador utilizado en Alemania. Es de metal con una entrada cónica de aluminio. El aerosol se aspira a través de un orificio de 12 mm que se orienta en dirección perpendicular con respecto al cuerpo del trabajador. El caudal de muestreo es de 10 l/min. Las partículas se recogen en un filtro de 37 mm situado dentro del muestreador. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro.

- **PAS-6** (fabricado por la Universidad de Wageningen).

Muestreador utilizado en Holanda. Es de metal y las partículas se recogen en un filtro de 25 mm situado dentro del muestreador. El aerosol se aspira a través de un orificio de 6 mm con forma cónica que se orienta hacia abajo, con un ángulo aproximadamente de 45° con respecto a la horizontal. El caudal de muestreo es 2 l/min. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro.

- **PERSPEC** (fabricado por Lavoro e Ambiente).

El muestreador utilizado en Italia, es de metal, y las partículas se recogen en un filtro de 50 mm situado dentro del muestreador. El aerosol se aspira a través de un orificio estrecho con forma de herradura que se orienta en dirección perpendicular con respecto al cuerpo del trabajador. El caudal de muestreo es de 2 l/min. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro.

- **Casete de poliestireno de 37 mm abierta** (varios fabricantes).

Muestreador utilizado en Suecia. La casete es de plástico no conductor y en su interior contiene el filtro donde se recogen las partículas. El aerosol se aspira a través de un orificio abierto de 38 mm que se orienta hacia abajo, de forma que quede un ángulo aproximadamente de 45° con respecto a la horizontal. El caudal de muestreo es de 2 l/min. Existen muchas versiones de casetes suministradas por distintos fabricantes. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro de 37 mm.

- **Casete de poliestireno de 37 mm cerrada** (varios fabricantes).

Muestreador utilizado en España y Francia. El muestreador es el mismo que en la versión abierta excepto que en la parte superior de la casete tiene una cubierta con un orificio de 4 mm. El caudal de muestreo, la posición y la orientación son idénticos a los de la casete abierta. Al igual que para la versión abierta, la determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro de 37 mm.

- **IOM** (fabricado por SKC).

Muestreador utilizado en el Reino Unido. Fue desarrollado por el Instituto de Medicina Ocupacional de Edimburgo (1986). Es el primer muestreador diseñado para recoger la fracción inhalable. El muestreador puede ser de plástico o acero inoxidable, incorporando un portafiltro interno de plástico o acero inoxidable en cuyo interior se coloca el filtro. El aerosol se aspira a través de un orificio de 15 mm que está orientado en dirección perpendicular con respecto al cuerpo del trabajador. El caudal de muestreo es de 2 l/min. La mayoría de las partículas que llegan al portafiltro se recogen en un filtro de 25 mm. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro junto con las partículas que se depositan en las paredes internas del portafiltro.

- **CIP 10-I** (fabricado por Arelco).

Muestreador utilizado en Francia. El muestreador es de plástico conductor y dispone de una cápsula rotatoria con una espuma porosa donde se recogen las partículas. El aerosol se aspira a través de un orificio anular estrecho que queda en posición horizontal cuando el portador está de pie. El caudal de muestreo es de 10 l/min. La determinación analítica considera las partículas depositadas en la espuma porosa junto con las partículas que se depositan en las paredes internas de la cápsula rotatoria.

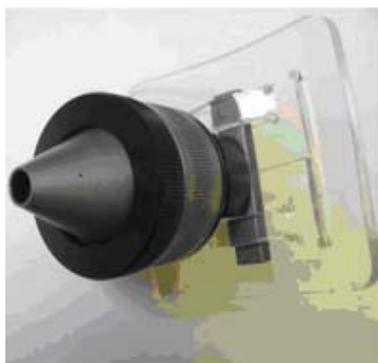
- **Button** (fabricado por SKC).

Muestreador desarrollado en la Universidad de Cincinnati (2000). El muestreador es de forma redondeada (32 mm de diámetro) con la parte superior curvada. El 21% de la superficie curva es porosa, con orificios de 381 µm de diámetro. La base del muestreador es de aluminio y la superficie curva es de acero inoxidable. El caudal de muestreo es de 4 l/min. Las partículas se recogen en un filtro de 25 mm situado dentro del muestreador. La determinación analítica considera las partículas depositadas en el filtro. Si se va a realizar un análisis gravimétrico del filtro, el fabricante recomienda guardar el filtro en cápsulas de transporte de plástico conductor. La determinación gravimétrica incluye la cápsula de transporte junto con el filtro. En el caso en el que se vaya a efectuar un análisis químico al filtro, éste se transporta en un vial adecuado.

Figura 4
Muestreadores personales de la fracción inhalable utilizados en la Unión Europea



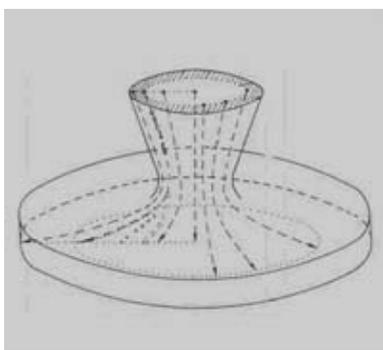
7 orificios



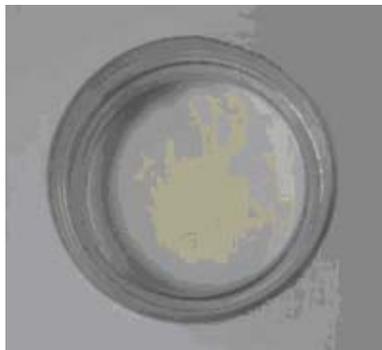
PGP-GSP 3,5



PGP-GSP 10



PERSPEC



Casette abierta



Casete cerrada



IOM



CIP 10-I



Button

7.2 Eficacia de muestreo de los muestreadores personales de la fracción inhalable utilizados en la Unión Europea

7.2.1 Estudio europeo piloto sobre el comportamiento de los muestreadores personales de la fracción inhalable

Dada la diversidad de muestreadores personales que se utilizaban de forma habitual en la Unión Europea, se llevó a cabo un estudio durante el período comprendido entre 1993 y 1995 con el objetivo de comparar la eficacia de muestreo (6.1) de ocho de los muestreadores de la fracción inhalable descritos en el apartado 7.1 y ver cuáles de ellos se aproximaban al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable y, por tanto, podían ser utilizados para recoger dicha fracción. En este estudio participaron los representantes de siete países europeos, la mayoría miembros del CEN/TC 137, así como los representantes de los fabricantes de los muestreadores de fracciones que se utilizaron en el estudio y técnicos expertos de otros comités europeos e internacionales.

Los muestreadores elegidos para el estudio estaban comercialmente disponibles y la mayoría de ellos se recomendaban en los métodos elaborados por los países miembros representados en la comisión del proyecto. Los muestreadores personales de la fracción inhalable que se utilizaron en el estudio fueron el IOM, el muestreador personal de 7 orificios, el PGP-GSP 3,5, el PAS-6, el PERSPEC, el CIP 10-I, la casete de poliestireno de 37 mm abierta y la casete de poliestireno de 37 mm cerrada (figura 4). Para minimizar los efectos electrostáticos, las paredes de las casetes de poliestireno se pintaron con una pintura conductora.

El estudio se realizó en un túnel de viento en el que se generaba un aerosol monodisperso y permitía el control de la velocidad del viento. Los muestreadores personales se colocaron sobre el torso de un maniquí de cuerpo entero. El maniquí rotaba despacio para que todos los muestreadores estuvieran expuestos al viento desde todas las direcciones. Las muestras de referencia se tomaron mediante unas sondas isocinéticas que se colocaron a los lados del maniquí. Se realizaron los ensayos con partículas de diferente tamaño cuyo diámetro aerodinámico osciló entre $\sim 7 \mu\text{m}$ y $\sim 100 \mu\text{m}$. Las velocidades del viento fueron: 0,5 m/s, 1 m/s y 4 m/s.

Los resultados que se obtuvieron se recogen en la tabla 4 donde se indican los factores de corrección que hay que aplicar para adecuar la eficacia de muestreo del muestreador al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable. En la tabla 5, los muestreadores ensayados se clasifican en función de la precisión obtenida.

Tabla 4
Factores de corrección recomendados para obtener comportamientos satisfactorios

Muestreador	Factor de corrección 0,5 m/s	Factor de corrección 1,0 m/s
IOM	0,9 (filtro + portafiltro)	1,0 (filtro + portafiltro)
	1,0 (solamente el filtro)	
7 orificios	1,0	1,2
PGP-GSP 3,5	1,0	1,0
PAS-6	1,0	1,25
PERSPEC	1,0 ⁽¹⁾	⁽²⁾

CIP 10-I	1,15	1,15
Casete 37 mm abierta	1,15	1,15
Casete 37 mm cerrada	1,0	1,2

(1) Partículas depositadas en la entrada del muestreador recuperadas e incluidas en la muestra.

(2) Partículas depositadas en la entrada del muestreador no recuperadas.

Tabla 5
Clasificación de los muestreadores de la fracción inhalable en función de la precisión en orden decreciente

Velocidad del viento 0,5 m/s	Velocidad del viento 1,0 m/s	Velocidad del viento 4,0 m/s
PGP-GSP 3,5	PGP-GSP 3,5	PERSPEC
PAS-6	PAS-6	PGP-GSP 3,5
PERSPEC	CIP 10-I	Casete 37 mm cerrada
Casete 37 mm abierta	Casete 37 mm abierta	PAS-6
CIP 10-I	Casete 37 mm cerrada	IOM
IOM	PERSPEC	7 orificios
Casete 37 mm cerrada	IOM	CIP 10-I
7 orificios	7 orificios	Casete 37 mm abierta

Como puede verse en la [tabla 4](#), para bajas velocidades del viento, cinco de los ocho muestreadores ensayados recogieron la fracción inhalable sin ningún tipo de corrección. Para mayores velocidades del viento, 1 m/s, solamente dos de los muestreadores (IOM y PGP-GSP 3,5) mantuvieron un comportamiento adecuado sin aplicar ninguna corrección. El resto de los muestreadores queda por debajo del convenio. Para velocidades del viento superiores, 4 m/s, ninguno de los muestreadores presentó buenos resultados.

7.2.2 Comparación de la eficacia de muestreo del IOM y de la casete de 37 mm cerrada

Además de los ensayos efectuados en los laboratorios, se han realizado numerosos estudios de comparación de la eficacia de muestreo de los muestreadores personales en los lugares de trabajo. La mayoría de estos estudios se basan en la comparación del comportamiento del IOM frente a la casete de plástico de 37 mm cerrada que es el muestreador que se utiliza de forma general en España. La comparación de los dos muestreadores se ha llevado a cabo en **distintos tipos de operaciones** ya que el tamaño de las partículas generadas varía en función de la operación realizada.

La tabla 6 recoge los datos obtenidos de la comparación de la eficacia de muestreo del IOM y de la casete de plástico de 37 mm cerrada, en función del tipo de operación realizada. El **factor E_{IOM} / E_{37}** representa la relación entre la concentración de las partículas captadas por el IOM y por la casete de plástico de 37 mm cerrada.

Tabla 6
Comparación de la eficacia de muestreo del IOM con la casete de poliestireno de 37 mm cerrada

Tipo de operación	Relación E_{IOM} / E_{37mm}
Abrasión	2,5
Cromato de estroncio	3,0
Recubrimientos	1,8
Sales de níquel	1,9
Fundición	5,3
Plomo	3,0
Humos asfálticos	
Polvo de madera	
Aceite	

Los resultados de la [tabla 6](#) muestran claramente que la concentración de partículas captadas por el IOM es superior a la de la casete de plástico de 37 mm cerrada. Estas diferencias pueden deberse a que muchas de las partículas que entran dentro de la casete de plástico no se depositan en el filtro sino que quedan en las paredes de la casete y, por tanto, quedan excluidas en las determinaciones analíticas. En el IOM, a diferencia de la casete de 37 mm, las determinaciones analíticas incluyen las partículas depositadas en el filtro

y las partículas que se han quedado en el portafiltro. También puede observarse que, en aquellas operaciones en las cuales se generan partículas de mayor tamaño, la relación entre la concentración de partículas captadas por el IOM y la casete de plástico de 37 mm cerrada es mayor.

Los estudios de comparación de la eficacia de muestreo de los dos muestreadores de la fracción inhalable, el IOM y la casete de 37 mm, realizados en los **lugares de trabajo** muestran que la concentración de partículas captadas por **el IOM es de 1,8 a 5 veces superior a la captada por la casete de 37mm**. Sin embargo, los resultados obtenidos en los ensayos efectuados en el **laboratorio** indican que esta **relación es de 1,2 a 1,4 veces**. Estas diferencias entre los ensayos efectuados en el laboratorio y los realizados en los lugares de trabajo pueden deberse a diferentes factores. En los ensayos realizados en el laboratorio los aerosoles estaban bien mezclados mientras que en los lugares de trabajo las fuentes de generación del aerosol están localizadas. El tamaño de las partículas del aerosol también resultó diferente. En los ensayos de laboratorio el intervalo del tamaño de las partículas fue de entre 6 µm y 100 µm mientras que en los lugares de trabajo las partículas pueden tener un tamaño muy grande. Otra diferencia entre unos ensayos y otros es la velocidad del viento. Los ensayos de laboratorio se realizaron a 0,5 m/s, 1 m/s y 4 m/s mientras que en los lugares de trabajo la velocidad del viento es menor, normalmente por debajo de 0,5 m/s. Estas diferencias también pueden deberse a que, en el ensayo efectuado en el laboratorio, se aplicó una pintura conductora a la casete de 37 mm para minimizar los efectos electrostáticos mientras que el material de la casete que se utiliza en los lugares de trabajo no es conductor y, por tanto, da lugar a grandes pérdidas de partículas en las paredes del muestreador. Asimismo, las partículas muy grandes presentes en los lugares de trabajo pueden penetrar en el muestreador IOM sin que realmente hayan sido captadas por éste ya que el muestreador tiene un orificio de 15 mm con lo cual las partículas pueden ser proyectadas directamente al muestreador, por ejemplo, las partículas generadas en las operaciones con madera.

7.3 Muestreadores personales de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea

Basándose en las referencias bibliográficas publicadas hasta el año 2004, el Comité Técnico 137 de CEN elaboró el informe técnico CEN/TR 15230 en el que se indican, con carácter informativo, los muestreadores disponibles en el mercado en el año 2004 que cumplen con las especificaciones de las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205 para algunas condiciones ambientales. Sin embargo, no todos los muestreadores cumplen con los requisitos para todas las posibles condiciones ambientales. Por tanto, **el usuario debe evaluar y verificar que el muestreador tiene un comportamiento aceptable en las condiciones en las que se va a utilizar**.

Los muestreadores personales de la fracción inhalable que se indican en el informe técnico citado y, por tanto, se considera que cumplen con los requisitos de las normas son: **IOM, PGP-GSP 3,5, PGP-GSP 10, CIP 10-I, BUTTON y PAS-6** (figura 4). En la **tabla 7** se recogen las características de cada muestreador, el caudal de muestreo, el tipo de elemento de retención que recomienda el fabricante, la determinación analítica que se realizará y, finalmente, el nombre del fabricante del muestreador y su página web.

Tabla 7
Características de diseño y de operación de los muestreadores personales de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea.

Muestreadores personales de la fracción inhalable					
Muestreador	Características	Caudal de muestreo	Elemento de retención	Determinación analítica	Fabricante
IOM	Muestreador de forma rectangular con un orificio de entrada de 15 mm de diámetro. En el interior se coloca el portafiltro junto con el filtro de 25 mm. Tanto el muestreador como el portafiltro pueden ser de plástico conductor o de acero inoxidable.	2,0 l/min Para ajustar el caudal de muestreo es necesario acoplar un adaptador al muestreador.	Filtros de fibra de vidrio, membrana de éster de celulosa (MCE), PVC, policarbonato o gelatina.	Se consideran las partículas depositadas tanto en el filtro como en el portafiltro.	SKC www.skcltd.com
PGP-GSP 3,5	Muestreador de forma redondeada con una entrada de forma cónica de 8 mm de diámetro. En el interior se coloca el portafiltro junto con el filtro de 37 mm. La mayor parte del muestreador es de metal. El portafiltro es de plástico.	3,5 l/min Para ajustar el caudal de muestreo se sustituye el cono de 3,5 por el cono empleado para la fracción respirable.	Los filtros son de fibra de vidrio.	Se consideran las partículas depositadas en el filtro.	GSM www.gsm-neuss.com

PGP-GSP 10	Muestreador de forma redondeada con una entrada de forma cónica de 12 mm de diámetro. En el interior se coloca el portafiltro junto con el filtro de 37 mm. La mayor parte del muestreador es de metal. El portafiltro es de plástico.	10 l/min Para ajustar el caudal de muestreo se sustituye el cono de 10 por el cono empleado para la fracción respirable.	Filtros de fibra de vidrio.	Se consideran las partículas depositadas en el filtro.	GSM www.gsm-neuss.com
CIP 10-I	Muestreador con bomba integrada en forma de bloque compacto alargado (175 × 70 × 45 mm). En la parte superior tiene un selector cilíndrico y una cápsula que rota. La parte inferior es una caja plana que contiene los componentes operativos (el motor, las baterías y el circuito eléctrico). El muestreador y la cápsula donde se coloca la espuma son de plástico.	10 l/min El caudal de muestreo está linealmente relacionado con la velocidad de rotación de la cápsula. Para ajustar el caudal de muestreo hay que disponer de un sistema específico.	Las partículas se recogen en las espumas de poliuretano.	Se consideran las partículas depositadas tanto en la espuma de poliuretano como en la cápsula.	ARELCO www.arelco.fr
BUTTON	Muestreador de forma redondeada (32 mm de diámetro) con la parte superior curvada. El 21% de la superficie curva es porosa, con orificios de 381 µm de diámetro. La base del muestreador es de aluminio y la superficie curva es de acero inoxidable.	4 l/min Para ajustar el caudal de muestreo es necesario acoplar un adaptador al muestreador.	Filtros de 25 mm de diámetro y de tamaño de poro ≥ 1,0 µm. Pueden ser de fibra de vidrio, membrana de éster de celulosa (MCE), PVC, teflón o gelatina.	Se consideran las partículas depositadas en el filtro.	SKC www.skcltd.com
PAS-6	Las partículas se aspiran a través de un orificio cónico de 6 mm y se recogen en un filtro de 25 mm. El muestreador es metálico.	2 l/min.		Se consideran las partículas depositadas en el filtro.	IRAS-UU www.iras.uu.nl

La [tabla 8](#) recoge el comportamiento de los muestreadores basado en las referencias bibliográficas citadas en el informe técnico para diferentes condiciones ambientales. Para cada referencia bibliográfica, se indican los muestreadores que se han utilizado en el estudio así como las condiciones ambientales en las que se ha llevado a cabo (velocidad y dirección del viento, tamaño de las partículas y si el ensayo ha sido realizado en el laboratorio (L) o en un lugar de trabajo (C)). Asimismo se incluye un resumen del comportamiento del muestreador en esas condiciones ambientales, indicando si se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable o no.

En la [tabla 9](#) se resume el comportamiento de los muestreadores de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea. Se han considerado los principales factores que afectan a la eficacia de muestreo del muestreador como son el tamaño de la partícula y la velocidad y dirección del viento. Cuando el muestreador se adecua al convenio de la fracción inhalable se indica con el símbolo (♦♦♣). Cuando el factor a considerar influye en el comportamiento del muestreador se indica con el símbolo (♦♥). En los casos en los que el muestreador no se adecua al convenio de la fracción inhalable se indica con el símbolo (♣). El muestreador CIP 10-I presenta un comportamiento similar al IOM, para concentraciones bajas (♦). El IOM no se adecua al convenio de la fracción inhalable para partículas con diámetros aerodinámicos superiores a 70 µm (♣).

Tabla 8
Comportamiento de los muestreadores personales de la fracción inhalable para distintas condiciones ambientales

Comportamiento de los muestreadores personales de la fracción inhalable					
Muestreador	Ensayo ⁽¹⁾	Tamaño partícula	Velocidad Dirección del viento	Comportamiento	Referencia ⁽²⁾

<p>IOM (muestreador y portafiltro de plástico)</p> <p>PGP-GSP 3,5</p> <p>CIP 10-I</p> <p>PAS-6</p>	L	7 µm - 100 µm	0,5 m/s	<p>PGP-GSP 3,5 y PAS-6: Las eficacias de muestreo se adecuan al convenio inhalable.</p> <p>IOM: La eficacia de muestreo queda por encima del convenio (factor de corrección 0,9).</p> <p>CIP 10-I: Queda por debajo del convenio (factor de corrección 1,15).</p>	1
			1 m/s	<p>IOM y PGP-GSP 3,5: Los muestreadores se adecuan al convenio de la fracción inhalable.</p> <p>PAS-6 y CIP 10-I: quedan por debajo del convenio (factores de corrección 1,25 y 1,15).</p>	
			4 m/s	Ninguno de los muestreadores se adecua al convenio.	
<p>IOM (portafiltro de acero inoxidable o de plástico conductor, filtro de fibra de vidrio)</p> <p>PGP-GSP 3,5 (filtro de fibra de vidrio)</p>	L	6 µm - 90 µm	Ausencia de velocidad de viento medible.	<p>IOM y PGP-GSP 3,5: Los resultados fueron similares a los de la referencia 1. Presentan eficacias de muestreo similares para las partículas de menor tamaño. Para tamaños superiores, la eficacia de muestreo del IOM es superior a la del PGP-GSP 3,5.</p>	2
<p>IOM (portafiltro de acero inox., filtro de fibra de vidrio)</p> <p>PGP-GSP 3,5 (filtro de fibra de vidrio)</p> <p>BUTTON (filtro de fibra de vidrio)</p>	L	7 µm, 29 µm, 70 µm	0,5 m/s y orientación	<p>Los tres muestreadores se adecuan al convenio de la fracción inhalable.</p> <p>IOM y PGP-GSP 3,5: Los resultados son similares a los de la referencia 1. Cuando el muestreador está directamente orientado hacia la corriente de aire (ensayo con partículas de 70 µm), el IOM presenta una eficacia de muestreo superior a la del convenio (92,2% frente al 50,7% del convenio) mientras que el PGP-GSP 3,5 obtiene mejores resultados (46,7%).</p> <p>BUTTON: La eficacia de muestreo presenta menor dependencia de la dirección del viento que los otros dos muestreadores.</p>	3
			2 m/s y orientación	<p>IOM y del PGP-GSP 3,5: Las eficacias de muestreo del no se adecuan al convenio de la fracción inhalable. No hay datos del BUTTON.</p>	
<p>IOM (portafiltro de acero inox., filtro de fibra de vidrio)</p>			0,5 m/s	<p>IOM: Para las partículas de 65 µm la eficacia de muestreo se adecua al convenio. Al aumentar el tamaño de partícula mayor la eficacia de muestreo queda por encima del convenio.</p> <p>PGP-GSP 3,5 y BUTTON: Los resultados de los dos muestreadores son similares. Las eficacias de muestreo están próximas al convenio inhalable y no varía de forma importante al aumentar el tamaño de las partículas.</p>	

<p>PGP-GSP 3,5 (filtro de fibra de vidrio)</p> <p>BUTTON (filtro de fibra de vidrio)</p>	L	65 µm, 96 µm, 165 µm, 241 µm	1 m/s	<p>IOM: Para las partículas de 65 µm la eficacia de muestreo se adecua al convenio inhalable. Para partículas de mayor tamaño, la eficacia de muestreo supera considerablemente el convenio. Este aumento es más pronunciado a velocidades de viento de 1 m/s que a 0,5 m/s.</p> <p>PGP-GSP 3,5 y BUTTON: Las eficacias de muestreo quedan por debajo del convenio. La eficacia no varía de forma importante al aumentar el tamaño de las partículas. El tratamiento estadístico de los resultados a velocidades de viento de 0,5 m/s y 1 m/s muestra que la velocidad del viento no afecta de forma significativa a su eficacia de muestreo.</p>	4
<p>IOM</p> <p>PGP-GSP3,5</p> <p>BUTTON (fibra de vidrio)</p>	L	7 µm, 29 µm, 70 µm	0,5 m/s	<p>BUTTON : La eficacia de muestreo no muestra diferencias significativas al orientarlo a 0°, 90° y 180° con respecto a la corriente de aire.</p> <p>IOM y PGP-GSP 3,5: Los resultados obtenidos son similares a los de la referencia 1. Los resultados de los tres muestreadores son similares.</p>	5
2 m/s	<p>IOM: Para las partículas grandes, 70 µm, queda por encima del convenio.</p> <p>BUTTON: La eficacia de muestreo no muestra diferencias significativas al orientarlo a 0°, 90° y 180° con respecto a la corriente de aire. La influencia de la velocidad del viento en la eficacia de muestreo es menor que en los otros dos muestreadores. Ninguno de los tres muestreadores se adecua al convenio de la fracción inhalable.</p>				
<p>IOM (muestreador y portafiltro de plástico conductor, filtro de fibra de vidrio)</p> <p>IOM (muestreador y portafiltro de metal, filtro de fibra de vidrio)</p> <p>CIP-10I</p>	C (pana-derías, granjas)			<p>IOM y CIP 10-I: La respuesta de los dos muestreadores es similar para bajas concentraciones de polvo, sin embargo, su comportamiento difiere para altas concentraciones. Los muestreadores IOM recogieron partículas muy grandes a diferencia del CIP10-I.</p> <p>IOM: Los portafiltros de plástico presentan mayor variación en la pesada que los portafiltros de metal.</p>	6
<p>PGP-GSP 10</p>	L		0,5 m/s	PGP-GSP 10: El muestreador se adecua al convenio de la fracción inhalable siempre que el muestreador esté orientado hacia la corriente de aire (0°).	7
2 m/s	PGP-GSP 10: El muestreador no se adecua al convenio de la fracción inhalable.				

- L: Ensayos en laboratorio. C: Ensayos en campo.

(2)

- Ref. 1. Kenny, L.C. et al. A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. Ann. Occup. Hyg, 41, 2, 135-153, 1997.
- Ref. 2. Kenny, L.C. et al. The sampling efficiency of personal inhalable aerosol samplers in very low air movements. J. Aerosol Sci, 30, 5, 601-613, 1998.
- Ref. 3. Aizenberg, V. et al. Measurement of the sampling efficiency of personal inhalable aerosol samplers using a simplified protocol. J. Aerosol Sci, 31, 2, 169-179, 2000.
- Ref. 4. Aizenberg, V. et al. Evaluation of personal aerosol samplers challenged with large particles. J. Aerosol Sci, 32, 6, 779-793, 2001.
- Ref. 5. Aizenberg, V. et al. Performance of the Button personal inhalable aerosol sampler. AIHA Journal, 61, 3, 398-404, 2000.
- Ref. 6. Baldwin, P.E.J. et al. An investigation of short-term gravimetric sampling in pig farms and bakeries. Appl. Occup. Environ. Hyg, 12, 662-669, 1997.
- Ref. 7. Siekmann, H. Entwicklung eines Gesamtstaub-Probenahmekopfes für das PGP-System mit einem Volumenstrom von 10 l/min. BIA Abschlussbericht Nr 199820111, 1998.

Tabla 9

Resumen del comportamiento de los muestreadores de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea

Factor		Muestreador					
		IOM	PGP-GSP 3,5	PGP-GSP 10	BUTTON	CIP 10-I	PAS-6
Tamaño de partícula	0,5 m/s	♣ d > 70 µm ♠	♣		♣	♦	
	1,0 m/s	♣	♣		♣	♠	
Velocidad del viento	0,5 m/s	♣	♣	♣	♣	♠	♣
Dirección del viento	0,5 m/s	♠	♥	♠	♣		

- ♣ El muestreador se adecua al convenio de la fracción inhalable.
- ♥ El factor influye en el comportamiento del muestreador.
- ♠ El muestreador no se adecua al convenio de la fracción inhalable.
- ♦ Comportamiento similar al IOM.

7.4 Muestreadores personales de más de una fracción del aerosol recomendados por la Unión Europea

Los instrumentos de muestreo pueden recoger la fracción inhalable de forma individual (7.3) o bien pueden recoger varias fracciones del aerosol simultáneamente. El informe técnico citado en el apartado 7.3 indica los muestreadores personales que pueden recoger más de una fracción del aerosol de forma simultánea. Estos muestreadores son el **IOM Multidust** y el **Respicon**. En la figura 5 se muestran los dos muestreadores.

El muestreador IOM Multidust permite recoger las fracciones inhalable y respirable del aerosol. El IOM Multidust es el muestreador IOM (7.1) con la diferencia de que en el portafiltro, además del filtro se inserta una espuma de poliuretano. La fracción respirable se recoge en el filtro. En el informe técnico CEN/TR 15230 no hay suficientes datos sobre el comportamiento del IOM Multidust con respecto a los convenios de la fracción inhalable y la respirable.

El Respicon es un impactador que puede utilizarse como muestreador personal o estático. Permite recoger las tres fracciones, inhalable, torácica y respirable, del aerosol. El caudal de muestreo es de 3,11 l/min. En el primer filtro queda retenida la fracción respirable, en el segundo la fracción torácica y en el tercer filtro se recogen las partículas superiores a 10 µm. Los filtros que se utilizan son de fibra de vidrio de 37 mm. El Respicon lo fabrican Hund y TSI.

Figura 5

Muestreadores multifracciones recomendados por la Unión Europea



IOM Multidust



RESPICON

En las referencias bibliográficas citadas en el informe técnico CEN/TC 137, el Respicon se utiliza como muestreador estático. Para velocidades del viento de 0,5 m/s y 1 m/s, el Respicon se adecua al convenio inhalable.

8. ELEMENTOS DE RETENCIÓN UTILIZADOS EN LA TOMA DE MUESTRA DE LOS AEROSOLES

En la toma de muestra de los aerosoles, las partículas quedan retenidas en el elemento de retención situado dentro del muestreador. Generalmente, los elementos de retención que se utilizan para la toma de muestra de los aerosoles son los filtros, aunque en los últimos años se han desarrollado también algunos tipos de espumas para dicho fin.

8.1 Filtros

En el mercado existe una gran variedad de filtros. Los filtros que se utilizan para la medición de los aerosoles son los filtros de fibra y los filtros de membrana porosa.

Los **filtros de fibra** consisten en un entramado de fibras individuales. Las partículas que se recogen en el filtro quedan retenidas en toda la estructura del filtro. La porosidad del filtro oscila entre el 60 % y el 99 % mientras que el espesor puede variar entre 0,15 mm y 0,5 mm. El tamaño de las fibras del filtro también es muy amplio, desde menos de 1 μm hasta 100 μm . Normalmente el diámetro de las fibras de un filtro no es uniforme. Además de las fibras, algunos filtros llevan un ligante para mantener unidas las fibras individuales. Los que habitualmente se utilizan en la medición de aerosoles suelen estar libres de ligante (tipo A/E) ya que este último puede causar interferencias en las determinaciones analíticas. Los filtros de fibra se caracterizan por una pérdida de carga baja a caudales elevados y una alta eficacia de retención de las partículas. Pueden ser de vidrio borosilicatado, cuarzo, plástico y celulosa.

Los filtros de fibra de vidrio borosilicatado se caracterizan por tener una alta eficacia de retención de las partículas y por poseer unas buenas propiedades de adhesión. Pueden soportar caudales elevados y la humedad les afecta en menor medida que a los de membrana.

Los filtros de fibra de cuarzo tienen unas propiedades similares a los filtros de fibra de vidrio. Una ventaja que presentan con respecto a éstos es que los valores de los blancos son inferiores y más estables, con lo que resultan más adecuados en los casos en los que haya que efectuar un análisis químico de las partículas retenidas en el filtro.

Los **filtros de membrana porosa** son geles formados a partir de disoluciones coloidales y se caracterizan por tener una microestructura muy complicada y uniforme. A menudo, la estructura del filtro consiste en una serie de capas formadas por diferentes procesos. Las partículas que se recogen en el filtro quedan retenidas en la superficie. La porosidad es inferior al 85 % y el espesor se encuentra entre 0,05 mm y 0,2 mm. Los filtros de membrana porosa se caracterizan por una elevada pérdida de carga y una baja capacidad de carga de partículas, obstruyéndose rápidamente. Los filtros de membrana pueden ser de ésteres de celulosa (MCE), cloruro de polivinilo (PVC), Teflón o metales sinterizados.

8.2 Espumas

Las **espumas de poliuretano** también pueden utilizarse para recoger los aerosoles. La mayoría de las espumas son de poliéster TDI con distinta porosidad. Las espumas de poliuretano pueden tener distinta densidad y tamaño de poro, permitiendo separar las distintas fracciones de interés en el mismo muestreador. Las partículas se depositan en la superficie y entre los espacios de la espuma. Gracias a la gran superficie que tienen, permiten recoger grandes cantidades de partículas.

9. TOMA DE MUESTRA DE AEROSOLES

9.1 Objetivos de la toma de muestra

La medición de la concentración de los aerosoles presentes en los lugares de trabajo puede llevarse a cabo con diferentes objetivos. El primer objetivo es proporcionar información sobre la exposición personal, la cual permite evaluar la conformidad con el valor límite correspondiente así como utilizar esa información en los estudios epidemiológicos. Los datos de la exposición personal se deben obtener a través de tomas de muestra personales que consisten en colocar el sistema de toma de muestra sobre la persona. En concreto, el muestreador se colocará en la **zona respiratoria** del trabajador.

Otro objetivo de la medición de la concentración de los aerosoles en los lugares de trabajo puede ser proporcionar información sobre la localización e intensidad de una fuente de emisión y también sobre las concentraciones y tendencias que hay en la atmósfera del lugar de trabajo. Este tipo de mediciones se realizan mediante la toma de muestra estática. En este caso, el sistema de muestreo se coloca en un lugar del emplazamiento en el que se va a tomar la muestra del aerosol.

Por último, la medición de la concentración de los aerosoles permite obtener información sobre la efectividad de las medidas de control que se han llevado a cabo en el lugar de trabajo. Esta información puede conseguirse a través de la toma de muestra personal o de la toma de muestra estática.

9.2 Factores que afectan a la toma de muestra de los aerosoles

La fiabilidad de la toma de muestra de los aerosoles depende en primer lugar de la eficacia de muestreo de los muestreadores. La eficacia de muestreo puede verse afectada por numerosas variables. Algunas de estas variables resultan más influyentes que otras, por ejemplo, el **tamaño de las partículas del aerosol** y la **velocidad y dirección del viento**. En algunos tipos de muestreadores también resultan importantes las diferencias entre los distintos ejemplares de un mismo muestreador, las variaciones del caudal de muestreo y los elementos de retención que se utilicen para recoger las partículas. Entre las variables que afectan en menor medida a la eficacia de muestreo del muestreador se encuentran la composición del aerosol, la masa de aerosol muestreada y la carga del aerosol. En la tabla 10 se recogen los diferentes factores anteriormente citados que afectan a la eficacia de muestreo indicando el efecto que ocasionan.

Además de los factores indicados en la [tabla 10](#), la toma de muestra de los aerosoles se ve afectada por la temperatura, la presión, la humedad, las vibraciones, el transporte de la muestra, así como por la susceptibilidad magnética.

Otros aspectos a tener en cuenta durante la toma de muestra de los aerosoles son los siguientes:

En primer lugar, el proceso de toma de muestra puede causar la ruptura de los aglomerados del aerosol, y por tanto, modificar la distribución por tamaño de partícula del aerosol aspirado. Otro punto a considerar es la capacidad del orificio de entrada del muestreador para recoger las partículas que van en su dirección o que se sedimentan en él, así como aquellas que sólo entran por la influencia de la succión del aire.

La toma de muestra de los aerosoles también puede verse afectada por la posibilidad de interacción entre el caudal de muestreo y la velocidad del viento en el exterior, en los casos en los que la caída de presión a través del muestreador es pequeña.

Finalmente, también hay que considerar la posibilidad de que los muestreadores puedan comportarse de modo diferente para las partículas sólidas o para las líquidas.

Tabla 10
Principales factores que afectan a la eficacia de muestreo de los muestreadores

Factor	Naturaleza del efecto
Tamaño de las partículas	Selección de las partículas en función del tamaño.
Velocidad del viento	La velocidad del viento en el orificio de entrada influye en la aspiración, especialmente para valores elevados y partículas grandes.
Dirección del viento	La orientación del viento en el orificio de entrada influye en la aspiración.
Composición del aerosol	Rebote y re-arrastre de las partículas; ruptura de los aglomerados.
Masa de aerosol muestreada	La eficacia de recogida del aerosol varía en las superficies muy colmatadas.
Carga del aerosol	Atracción o repulsión de las superficies.
Variabilidad de los muestreadores	Una diferencia dimensional pequeña produce un efecto aerodinámico grande.
Variaciones del caudal	El mecanismo de separación de las partículas depende fuertemente del caudal.
Tratamientos de superficie	La eficacia de recogida puede verse afectada por los tratamientos superficiales realizados a los muestreadores.

9.3 Limitaciones de uso de los muestreadores

Tal como se ha mencionado en el apartado 6, los muestreadores que se utilicen para la toma de muestra de las distintas fracciones de los aerosoles presentes en los lugares de trabajo deben cumplir las especificaciones de las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205. Esta condición es aplicable tanto para los muestreadores que solamente recogen una fracción como para aquellos que recogen de forma simultánea dos o las tres fracciones de interés (inhalable, torácica, respirable).

Los **muestreadores de la fracción inhalable** presentan dificultades en el cumplimiento de los requisitos de las normas anteriores en

los casos siguientes:

- Cuando la velocidad del viento es elevada, por ejemplo en las minas o en trabajos en el exterior.
- Cuando se generan partículas grandes con un gran momento de inercia, por ejemplo en los trabajos con madera o en la industria textil.
- Cuando haya pérdidas durante el transporte de las muestras.

En general, estas situaciones conllevan una subestimación de la fracción inhalable del aerosol excepto en las situaciones en las que se generan partículas grandes.

En el caso de los **muestreadores de la fracción torácica** y respirable esas dificultades de cumplimiento con las especificaciones de las normas se darán en aquellas situaciones en las que la velocidad del viento sea alta (solamente afectará a los muestreadores de la fracción torácica), la concentración del aerosol sea elevada con lo cual algunos muestreadores tenderán a saturarse, o haya pérdidas durante el transporte de las muestras. En general, estas situaciones conllevarán una subestimación de las dos fracciones.

Los **muestreadores** personales que recogen de forma simultánea **dos o las tres fracciones** de interés presentarán dificultades para cumplir con los requisitos anteriores en las situaciones en las que:

- La velocidad del viento sea elevada, por ejemplo en las minas o en trabajos en el exterior.
- Se generen partículas grandes con un gran momento de inercia.
- La concentración del aerosol sea elevada.
- Haya pérdidas durante el transporte de las muestras.
- Las partículas del aerosol puedan desplazarse de una fracción a otra.

En general, estas situaciones conllevarán una incorrecta recogida de la fracción inhalable o a una incorrecta subdivisión de las partículas del aerosol en las diferentes fracciones, resultando una sobreestimación de la fracción respirable y una subestimación de la fracción inhalable.

Normalmente, en los lugares de trabajo el aerosol de interés suele estar muy localizado y, por tanto, es poco probable que las tomas de muestra estáticas proporcionen una información válida de la exposición personal.

9.4 Selección del elemento de retención

La elección del tipo de filtro que se va a utilizar en la medición de los aerosoles depende de numerosos factores como son: la eficacia de retención de las partículas por el filtro; la pérdida de carga que origina el filtro al caudal de muestreo requerido, la compatibilidad con el método analítico; y el coste, la resistencia mecánica del filtro y la compatibilidad con las condiciones ambientales en las que se realiza la toma de muestra como son la temperatura, presión, humedad y corrosividad. En las **tablas 11** y **12** se recogen las aplicaciones así como las ventajas y limitaciones de los tipos de filtros de fibra y de membrana más utilizados.

Las técnicas de análisis de los aerosoles recogidos en los filtros pueden dividirse en tres categorías: análisis gravimétrico, análisis microscópico y análisis químico. La elección del tipo de filtro a utilizar en la toma de muestra del aerosol depende del tipo de análisis que se vaya a realizar posteriormente.

Tabla 11
Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los filtros de fibra

Filtros de fibra			
Tipo de filtro	Aplicaciones	Ventajas	Limitaciones
Filtros de fibra (general)	Toma de muestra ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Baja pérdida de carga a caudales elevados • Bajo coste • Alta eficacia de retención de partículas 	<ul style="list-style-type: none"> • Las partículas se recogen en toda la estructura del filtro
Fibra de vidrio borosilicatado	Amplio uso en la toma de muestra ambiental. Se deben usar filtros sin ligante (tipo A/E)	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a la temperatura hasta ~500 °C • Químicamente resistente 	<ul style="list-style-type: none"> • Restos de sulfatos debido a la alcalinidad de las fibras • Puede retener vapor de agua, debe acondicionarse

Fibra de cuarzo	Toma de muestra ambiental para análisis químico	<ul style="list-style-type: none"> • Baja retención de la humedad • Estable hasta ~ 800 °C • Bajos niveles de contaminación de trazas • Para eliminar las trazas orgánicas, pueden calentarse antes de la toma de muestra • Baja formación de otros compuestos 	<ul style="list-style-type: none"> • Friable • Restos de nitratos
Fibra de vidrio recubierto de Teflón	Toma de muestra ambiental para análisis químico	<ul style="list-style-type: none"> • Baja retención de la humedad • Minimiza la transformación química 	<ul style="list-style-type: none"> • Restos de nitratos
Fibra de celulosa	Aplicaciones limitadas en la toma de muestra ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Barato • Permite la extracción de las partículas 	<ul style="list-style-type: none"> • Les afecta la humedad en gran medida • Rango de temperatura limitado • Baja eficacia de retención de partículas • Baja resistencia química

Tabla 12
Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los filtros de membrana

Filtros de membrana			
Tipo de filtro	Aplicaciones	Ventajas	Limitaciones
Filtros de membrana (general)	Toma de muestra ambiental para técnicas analíticas de superficie	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficacia de retención de partículas • Alta resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada pérdida de carga • Baja capacidad de carga de partículas, se obstruyen rápidamente • Rango de temperatura limitado
Celulosa (membranas de mezcla de ésteres, nitrato, acetato y PVC)	Toma de muestra de metales, algodón, polvo, etc	<ul style="list-style-type: none"> • Los más baratos entre los filtros de membrana • Baja resistencia química 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptible de retener vapor de agua • Temperatura de trabajo limitada a 75 °C – 130 °C • Cargas electrostáticas en las membranas de PVC
Membranas de Teflón	Análisis gravimétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a las transformaciones químicas • Apenas le afecta la humedad • Bajo nivel de contaminación de trazas Resistencia química 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de nitratos • Rango de temperatura limitado a ~150 °C para las membranas de soporte y 260 °C para las membranas de PTFE puras
Membranas de plata	Recogida de materia particulada orgánica (benzo- α pireno, PAH)	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia química • Bajos niveles de interferencias • Temperatura máxima de trabajo 550 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • El más caro de todos los filtros de membrana
Membranas de policarbonato	Ideal para las técnicas analíticas de superficie, microscopía	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie uniforme • No higroscópico • Bajos valores de los blancos • Superficie semitransparente 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada pérdida de carga • Baja capacidad de carga de partículas • Susceptibles a las cargas electrostáticas

El **análisis gravimétrico** requiere que el filtro recoja el aerosol con una eficacia de retención elevada (cerca del 100 %) y que el aumento de peso del filtro sea totalmente atribuible al aerosol recogido, es decir, el peso del filtro debe ser independiente de las condiciones ambientales (temperatura, humedad). Los factores que más afectan al análisis gravimétrico de los filtros son la humedad y las cargas electrostáticas. Los filtros de fibra de vidrio borosilicatado y de cuarzo son los menos afectados por la humedad. Asimismo, hay algunos filtros de membrana, como son los de Teflón, policarbonatos o PVC, que tampoco resultan afectados, mientras que, por el contrario, a los de celulosa les afecta la humedad del ambiente. La acumulación de cargas estáticas en el filtro puede ocasionar dificultades en la manipulación de éste, aumentando o disminuyendo la eficacia de retención de las partículas en el filtro y generando errores en la pesada de los filtros. Algunos tipos de filtros de membrana como los de policarbonato y PVC pueden llegar a cargarse y ocasionar errores tanto en la toma de muestra como en la determinación analítica. Para minimizar estos efectos el filtro se expone a una fuente bipolar de descarga de iones antes de la toma de muestra y de la determinación gravimétrica.

El **análisis microscópico** se utiliza para obtener información del tamaño, la morfología y las características de composición del aerosol muestreado. El análisis microscópico requiere que las partículas se recojan en una superficie uniforme. Los filtros de membrana de policarbonato resultan adecuados para el análisis microscópico.

La elección del tipo de filtro para efectuar el **análisis químico** depende de la cantidad de materia particulada requerida para el análisis, de las interferencias de los blancos de los filtros y de las posibles transformaciones químicas que pueden darse en el filtro durante y después de la toma de muestra. Los filtros que habitualmente se utilizan para el posterior análisis químico son los de celulosa, fibra de vidrio, fibra de vidrio recubierto de Teflón o fibra de cuarzo. Para poder llevar a cabo el análisis químico, las partículas recogidas en el filtro deben extraerse.

En el caso de los filtros de celulosa las partículas retenidas en ellos se recuperan fácilmente incinerando o atacando el filtro con una disolución ácida. Sin embargo, las partículas retenidas en los filtros de fibra se extraen utilizando lechos ácidos. Los filtros de fibra de vidrio pueden presentar restos de sulfatos debido a la alcalinidad de las fibras. Los filtros de fibra de cuarzo resultan adecuados para el análisis químico por los bajos valores de los blancos y apenas se ven afectados por la humedad. Además, los filtros de fibra de cuarzo pueden someterse a altas temperaturas para eliminar las trazas orgánicas antes de la toma de muestra. Los filtros de membrana porosa también pueden utilizarse para el análisis químico, aunque presentan algunos problemas debido a la capacidad limitada de carga de partículas que tienen y a la posibilidad de pérdida de partículas durante la manipulación y transporte del filtro.

Las espumas de poliuretano se utilizan para el análisis gravimétrico pero todavía no hay suficiente información sobre su adecuación para el análisis químico.

9.5 Procedimiento de toma de muestra personal de los aerosoles

La toma de muestra personal del aerosol presente en los lugares de trabajo se realiza mediante el uso de un sistema de toma de muestra personal que consta de un muestreador personal que lleva incorporado un elemento de retención y una bomba de muestreo. Los requisitos de las bombas de muestreo personal así como las recomendaciones y uso de ellas vienen descritos en el documento CR-01/2005.

Para realizar la toma de muestra, en primer lugar hay que ajustar el caudal de la bomba. Para ello, se puede seguir el procedimiento descrito en el documento CR-01/2005. Una vez ajustado el caudal de la bomba, el muestreador se colocará, siguiendo las instrucciones del fabricante, en la zona respiratoria del trabajador. La zona respiratoria se define como el espacio que rodea la cara del trabajador. Para fines técnicos, se utiliza la definición que corresponde al hemisferio (generalmente, de 0,3 m de radio) que se extiende delante de la cara de la persona, centrado en el punto medio de la línea que une las orejas. Esta definición no se aplica cuando se utiliza un equipo de protección respiratoria.

El muestreador se conecta a la bomba mediante un tubo de plástico de Tygon.

Cuando el sistema de toma de muestra esté preparado, se quita la capa protectora al muestreador y se pone en marcha la bomba. Se anota el tiempo y el caudal de la bomba al inicio de la toma de muestra. Durante el tiempo que dura la toma de muestra, se recomienda comprobar el estado del sistema de toma de muestra. Una vez finalizada la toma de muestra, se quita con cuidado el sistema de toma de muestra del trabajador y se vuelve a medir el caudal de la bomba.

Las muestras recogidas se guardan junto con los blancos del elemento de retención y se remiten al laboratorio para la correspondiente determinación analítica.

En la medida de lo posible hay que evitar los choques entre las muestras durante su transporte ya que pueden conllevar una subestimación de la fracción o fracciones recogidas.

Finalmente, una vez realizada la toma de muestra, los muestreadores personales deben limpiarse siguiendo las instrucciones del fabricante.

Es recomendable recoger en un documento las condiciones en las que se ha efectuado la toma de muestra de los aerosoles. Dicha información incluirá el objetivo de la medición (nombre, dirección y localización del lugar de trabajo), los productos que se utilicen (nombre, número CAS), los factores relacionados con la exposición (rotación de los trabajadores, uso de equipos de protección individual, datos de ventilación, si el trabajo es en interiores o exteriores, fotografía del lugar de trabajo, duración de cada tarea de trabajo, nombres de las personas o números de identificación), los datos climáticos (temperatura, presión, humedad y velocidad del viento) así como el tiempo y el caudal de muestreo.

10. RESUMEN Y CONCLUSIONES



10.1 Evaluación de la exposición a aerosoles

La evaluación de la exposición a aerosoles debe hacerse teniendo en cuenta que:

- Los aerosoles presentes en los lugares de trabajo están constituidos normalmente por partículas con un rango de tamaño amplio. Generalmente el rango del tamaño de las partículas de los aerosoles oscila entre 0,001 μm y 100 μm .
- Las partículas del aerosol presentes en la zona respiratoria penetran en las distintas zonas del tracto respiratorio dependiendo, en primer lugar, de su tamaño. Los **daños** (o el efecto biológico) se producen en las zonas en las que se depositan.
- Teniendo en cuenta las distintas regiones del sistema respiratorio se consideran **cinco fracciones** cuya definición está aceptada internacionalmente: inhalable, torácica, respirable, extratorácica y traqueobronquial.
- Los **valores límite** para los agentes químicos que se presentan como aerosoles están establecidos en función de la región del tracto respiratorio donde el depósito de las partículas pueda llegar a producir un efecto biológico. Pueden estar establecidos para una o varias fracciones del agente químico.
- Las **exposiciones** a aerosoles se deben determinar a través de tomas de muestra personales. La toma de muestra estática o en un lugar fijo se utilizará para otros objetivos, como obtener información sobre la localización e intensidad de una fuente de emisión, y conocer las concentraciones y tendencias de la atmósfera del lugar de trabajo o estudiar la efectividad de las medidas de control.

10.2 Convenios para la toma de muestra de las fracciones por tamaño de partícula de los aerosoles

Paralelamente a las fracciones por tamaño de partícula se han definido los convenios correspondientes para la toma de muestra. Para la adecuada utilización de los convenios que posibilite la realización de mediciones fiables, debe tenerse en cuenta que:

- Estos convenios se han desarrollado para evaluar los posibles efectos sobre la salud que ocasiona la inhalación de los aerosoles en los lugares de trabajo. Una aplicación de los convenios es la comparación de la concentración másica de las fracciones del aerosol con los valores límite.
- Los convenios representan la fracción del aerosol que captaría un muestreador ideal y por tanto son las especificaciones que tienen que cumplir los instrumentos de muestreo cuando captan la fracción de interés.
- La **toma de muestra** de aerosoles debe realizarse teniendo en cuenta la fracción para la que está definido el correspondiente límite de exposición. Para ello, los muestreadores deberán seleccionarse entre los que captan la fracción correspondiente del aerosol.
- Los convenios para la toma de muestra de las distintas fracciones **no se deben utilizar** para comparar los datos obtenidos con valores límite que estén definidos en términos completamente diferentes. Por ejemplo, no se deben utilizar con los valores límite **para fibras** ya que éstas están definidas en función de su longitud y su diámetro de las fibras.
- El convenio para la toma de muestra de la **fracción inhalable** se ha definido para aquellas partículas cuyo diámetro aerodinámico es igual o inferior a 100 μm . Para partículas de mayor tamaño no hay datos experimentales y, por tanto, no se recomienda el empleo de dicho convenio.
- Pueden utilizarse otros métodos, siempre que den lugar a conclusiones semejantes o de mayor rigor que los convenios de la UNE-EN 481. Los muestreadores de la **fracción respirable** que se utilicen para la toma de muestra del aerosol se pueden adecuar al convenio para la toma de muestra de la fracción respirable definido en la norma UNE-EN 481 o al Convenio de Johannesburgo (véase 4.4.1).

10.3 Instrumentación para la toma de muestra de aerosoles

En general, el **sistema de toma de muestra** consta de un muestreador que selecciona la fracción de interés definida en el convenio correspondiente, un elemento de retención de las partículas del aerosol y una bomba de muestreo.

- Los **muestreadores** pueden recoger las distintas fracciones del aerosol de forma individual, o bien recoger varias fracciones simultáneamente. Los **muestreadores** se deben **seleccionar** entre los que cumplan los requisitos de las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205 (10.4).
- El **elemento de retención** es normalmente un filtro o una espuma. La **elección** debe hacerse teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante del muestreador y la determinación analítica que vaya a realizarse (análisis gravimétrico, análisis microscópico o análisis químico) (ver apartado 10.6).
- Las **bombas de muestreo** que se utilicen para la toma de muestra de los aerosoles deben cumplir con los requisitos de las normas correspondientes. Para la materia particulada, las bombas de muestreo personal serán de **tipo P** (UNE-EN 1232) y el rango de los caudales será de 1 l/min. a 5 l/min. Los requisitos de las bombas de muestreo personal así como las recomendaciones y uso de ellas vienen descritos en el documento **CR-01/2005**.
- El muestreador de fracciones se unirá a la bomba de muestreo mediante un **tubo flexible** de Tygon.

10.4 Eficacia de los muestreadores de fracciones

- La **eficacia de muestreo** (relación entre la concentración del aerosol recogida por el muestreador y la correspondiente concentración ambiental del aerosol para cada diámetro aerodinámico de las partículas) de los muestreadores debe corresponder al convenio para la toma de muestra de la fracción correspondiente (inhalable, torácica, respirable) en función del diámetro aerodinámico de las partículas. El muestreador cumple con el convenio correspondiente cuando su exactitud es inferior o igual al 30 %.
- Los **principales factores** que afectan a la eficacia de muestreo de los muestreadores son la distribución por tamaño de partícula del aerosol total (o ambiental) y la velocidad y dirección del viento. En algunos tipos de muestreadores también resultan importantes las diferencias entre los distintos ejemplares de un mismo muestreador, las variaciones del caudal de muestreo y los elementos de retención que se utilicen para recoger las partículas. Entre las variables que afectan en menor

medida a la eficacia de muestreo del muestreador se encuentran la composición del aerosol, la masa de aerosol muestreada y la carga del aerosol. En el apartado 10.5 se detalla la influencia de estos factores para cada muestreador recomendado.

10.5 Muestreadores de la fracción inhalable

Para la fracción inhalable, los muestreadores personales que se recomiendan en la Unión Europea son los siguientes: IOM, PGP-GSP 3,5, PGP-GSP 10, CIP 10-I, BUTTON y PAS-6. **La casete de poliestireno de 37 mm cerrada no puede utilizarse para la toma de muestra de la fracción inhalable ya que no cumple con los requisitos de las normas anteriormente citadas.**

Hay que indicar que no todos los muestreadores cumplen con los requisitos de las normas para todas las posibles condiciones ambientales. Por tanto, el usuario debe evaluar y verificar que el muestreador tiene un comportamiento aceptable en las condiciones en las que se va utilizar. A continuación se indican las características de construcción y comportamiento de cada uno de los muestreadores anteriores.

- El muestreador personal **IOM** se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s y 1 m/s. Para partículas de diámetro aerodinámico superior a 70 μm , su eficacia de muestreo queda por encima de la curva del convenio debido posiblemente al tamaño del orificio de entrada al muestreador. El IOM tiene un orificio de entrada de 15 mm de diámetro con lo cual muchas partículas entran en el muestreador por su propia inercia y no porque hayan sido captadas por el muestreador. Por la misma razón, el muestreador también se ve afectado por la dirección del viento. El IOM presenta una gran diferencia entre unos ejemplares y otros tal como se muestra en la tabla 5. Finalmente, con respecto al portafiltro del muestreador, el IOM puede incorporar un portafiltro de plástico o de acero inoxidable. Los portafiltros de acero inoxidable, al contrario que los de plástico, no resultan afectados por la humedad ambiental.
- El muestreador personal **PGP-GSP 3,5** se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s y 1 m/s. La dirección del viento le afecta menos que al IOM. La eficacia de muestreo del PGP-GSP 3,5 no varía de forma importante al aumentar el tamaño de las partículas.
- El muestreador personal **PGP-GSP 10** se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para una velocidad del viento de 0,5 m/s siempre que el muestreador esté orientado hacia la corriente de aire.
- El muestreador personal **CIP 10-I** presenta un comportamiento similar al IOM para bajas concentraciones de partículas, sin embargo su comportamiento difiere para altas concentraciones. Estas diferencias pueden deberse al diámetro del orificio de entrada del IOM. En el muestreador CIP 10-I las partículas se recogen en espumas de poliuretano, resultando adecuadas para las determinaciones gravimétricas pero no hay suficiente información sobre su adecuación para el análisis químico.
- El muestreador personal **BUTTON** se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s y 1 m/s. La eficacia de muestreo del BUTTON no se ve afectada por la dirección del viento ni por el aumento del tamaño de las partículas del aerosol.
- El muestreador personal **PAS-6** se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s.

La [tabla 9](#) recoge de forma resumida el comportamiento de los muestreadores personales recomendados en la Unión Europea en función de los principales factores que pueden afectar a la eficacia de muestreo del muestreador.

Los muestreadores personales pueden recoger una o varias fracciones del aerosol simultáneamente. Los muestreadores de más de una fracción del aerosol recomendados en la Unión Europea son el IOM Multidust y el Respicon. Las limitaciones de dichos muestreadores se indican en el [apartado 7.4](#).

10.6 Elementos de retención de las partículas captadas

- La elección del elemento de retención debe hacerse teniendo en cuenta las **recomendaciones del fabricante** del muestreador y el análisis posterior de las muestras que se requiere.
- La **elección del tipo de filtro** depende de la determinación analítica que vaya a realizarse (análisis gravimétrico, análisis microscópico o análisis químico).
- Los filtros que resultan más adecuados para las **determinaciones gravimétricas** son los filtros de fibra de vidrio y de cuarzo, ya que no les afecta la humedad ni las cargas electrostáticas.
- El **análisis microscópico** requiere que las partículas se recojan en una superficie uniforme, resultando apropiados para ello los filtros de membrana de policarbonato.
- Cuando vaya a efectuarse el **análisis químico** del filtro, la selección del tipo de filtro depende de la cantidad de materia particulada requerida para el análisis, de las interferencias de los blancos de los filtros y de las posibles transformaciones químicas que pueden darse en el filtro durante y después de la toma de muestra.
- Además de los filtros, también pueden utilizarse las **espumas** de poliuretano como elemento de retención de las partículas del aerosol. Estas espumas se utilizan para el análisis gravimétrico pero no hay suficiente información sobre su adecuación para el análisis químico.



BIBLIOGRAFÍA

Legislación

- [RD 374/2001](#) (Ministerio de la Presidencia, BOE 1.5.2001). Protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Normas

- ISO 7708:1995 Air quality-particle size fraction definitions for health-related sampling.
- UNE-EN 481:1995 Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles.
- UNE-EN 1232:1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
- UNE-EN 1540:1999 Atmósferas en el lugar de trabajo. Terminología.
- UNE-EN 12919:1999 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a 5 l/min. Requisitos y métodos de ensayo.
- UNE-EN 13205:2002 Atmósferas en el lugar de trabajo. Evaluación del funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles.
- CEN/TR 15230:2005 Workplace atmospheres - Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions.

Publicaciones del INSHT

- INSHT. [Límites de exposición profesional para agentes químicos en España](#). Madrid 2006.
- INSHT. [Métodos de Toma de Muestra y Análisis](#). Colección 1987.
- Tanarro, C. Informe resumen del comportamiento de los equipos de captación para recoger los aerosoles de materia particulada. Informe interno, INSHT 2005.
- Uribe, M.B. y Quintana M.J. Criterios y recomendaciones. Bombas de muestreo personal para agentes químicos. CR-01/2005. INSHT. Madrid 2005.

Otras publicaciones

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, 1995/1996. Cincinnati, OH, 1995.
- Calzavara, T.S. et al. Air sampling methodology for asphalt fume in asphalt production and asphalt roofing manufacturing facilities: total particulate sampler versus inhalable particulate sampler. *Appl. Occup. Environ. Hyg*, 18, 5, 358-367, 2003.
- Carlton, G.N. The impact of a change to inhalable occupational exposure limits: strontium chromate exposure in the U.S. air force. *AIHA Journal*, 64, 306-310, 2003.
- Gerner, P. Measurement of sampling efficiency of porous foam aerosol sampler prototypes. Abstracts of the European Aerosol Conference, 2001.
- Kenny, L.C. Developments in workplace aerosol sampling. A review. *Analyst*, 121, 9, 1233-1239, 1996.
- Kenny, L.C. et al. The adaptation of existing personal inhalable aerosol samplers for bioaerosol sampling. *AIHA Journal*, 59, 831-841, 1998.
- Kenny, L.C. et al. Twenty-five years of inhalable dust. *Ann. Occup. Hyg*, 44, 8, 561-563, 2000.
- Kenny, L.C. et al. Investigation and application of a model for porous foam aerosol penetration. *Aerosol Science*, 32, 271-285, 2001.
- Li, S. et al. Weighing accuracy of samples collected by IOM and CIS inhalable samplers. *AIHA Journal*, 60, 235-236, 1999.
- Li, S. et al. Evaluation of six inhalable aerosol samplers. *AIHA Journal*, 61, 506-516, 2000.
- Liden, G. et al. Weighing imprecision and handleability of the sampling cassettes of the IOM sampler for inhalable dust. *Ann. Occup. Hyg*, 45, 3, 241-252, 2001.
- Liu, B.Y.H. et al. Electrostatic effects in aerosol sampling and filtration. *Ann. Occup. Hyg*, 29, 2, 251-269, 1985.
- Martin, J.R. et al. Comparison of total dust/inhalable dust sampling methods for the evaluation of airborne wood dust. *Appl. Occup. Environ. Hyg*, 13, 3, 177-182, 1998.
- The MAK Collection Part III: Air Monitoring Methods, 9, 2005.
- Soderholm, S.C. Proposed international conventions for particle size-selective sampling. *Ann. Occup. Hyg*, 33, 3, 301-320, 1999.
- Spear, T. M. et al. Comparison of methods for personal sampling of inhalable and total lead and cadmium-containing aerosols in a primary lead smelter. *AIHA Journal*, 58, 893-899, 1997.
- Tatum, V. et al. Performance of the Respicon personal aerosol sampler in forest products industry workplaces. *AIHA Journal*, 63, 311-316, 2002.
- Tsai, P.J. et al. Worker exposure to nickel-containing aerosol in two electroplating shops: comparison between inhalable and total aerosol. *Appl. Occup. Hyg*, 11, 5, 484-492, 1996.
- Vincent, J.H. Health-related aerosol measurement: a review of existing sampling criteria and proposals for new ones. *J. Environ. Monit*, 7, 1037-1053, 2005.
- Werner, M.A. et al. Investigation into the impact of introducing workplace aerosol standards based on the inhalable fraction. *Analyst*, 121, 1207-1214, 1996.
- Willeke, K. and Baron, P.A. Aerosol measurement. Ed. Van Nostrand Reinhold, 1993.
- Wilsey, P.W. et al. Exposures to inhalable and "total" oil mist aerosol by metal machining shop workers. *AIHA Journal*, 57, 1149-1153, 1996.



APÉNDICE A DEFINICIONES DE LOS TÉRMINOS CITADOS EN EL DOCUMENTO

A.1 Aerosol

Suspensión de partículas sólidas o líquidas en el aire.

A.2 Aerosol total

A.2.1 Definición de UNE-EN 481:1995, ISO 7708:1995 y ACGIH 1995.

Todas las partículas en suspensión que se encuentran en un volumen dado de aire. (Debido a que todos los instrumentos de medida actúan de algún modo como selectores de partículas según su tamaño, a veces es imposible medir la concentración del aerosol total).

A.2.2 Definiciones anteriores a la UNE: EN 481

Aerosol total, polvo total o partículas totales Partículas suspendidas en el aire que son captadas por un muestreador de partículas.

A.3 Convenios para la toma de muestra de las distintas fracciones del aerosol

Especificaciones a alcanzar por los instrumentos de muestreo cuando recogen las fracciones de interés. **UNE-EN 481:1995, ISO 7708:1995, ACGIH, 1995.**

A.4 Diámetro aerodinámico de la partícula

Diámetro de una esfera de densidad 1 g/cm^3 que tiene la misma velocidad final debida a la fuerza gravitatoria en el aire en calma que la que tiene la partícula, bajo las condiciones existentes de temperatura, presión y humedad relativa. **UNE-EN 1540.**

A.5 Eficacia de entrada

Para cada diámetro aerodinámico de las partículas, es la relación entre la concentración del aerosol que pasa a través del sistema de entrada del muestreador y la correspondiente concentración ambiental del aerosol. **UNE-EN 13205.**

A.6 Eficacia de muestreo

Para cada diámetro aerodinámico de las partículas, la razón entre la concentración del aerosol recogida, para su medición, por el proceso de toma de muestra y la correspondiente concentración ambiental del aerosol. **UNE-EN 13205.**

A.7 Eficacia de separación

Para cada diámetro aerodinámico de las partículas, es la relación entre la eficacia de muestreo y la eficacia de entrada. **UNE-EN 13205.**

A.8 Elemento de retención

Medio en el que se retienen las partículas del aerosol una vez que penetran en el muestreador.

A.9 Exactitud.

Límite superior de confianza del sesgo o error relativo en el muestreo del aerosol, que proporciona una estimación del intervalo alrededor de la concentración ideal o verdadera, en la que se espera encontrar el 95 % de las concentraciones muestreadas.

Generalmente, la exactitud se define como "Grado de concordancia entre el resultado del ensayo y el valor de referencia aceptado". **UNE-EN 13205.**

A.10 Fracciones

A.10.1 Definiciones de UNE-EN 481:1995, ISO 7708:1995 y ACGIH 1995.

Fracción inhalable. Fracción de la masa del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca. Los términos "inhalable" e "inspirable" son equivalentes.

Fracción torácica. Fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe.

Fracción respirable. Fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.

Fracción extratorácica. Fracción de la masa de las partículas inhaladas que no penetran más allá de la laringe.

Fracción traqueobronquial. Fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe pero no alcanzan las vías respiratorias no ciliadas.

A.10.2 Definiciones anteriores a la UNE-EN 481

BMRC (1952), Polvo respirable. Aquella fracción de partículas sólidas de un aerosol industrial capaz de alcanzar los alvéolos pulmonares.

AEC (1961), Fracción respirable. Proporción de polvo inhalado que penetra en las porciones no ciliadas de los pulmones. Sólo se aplica a las partículas insolubles que muestren una prolongada retención en el pulmón.

EPA (1984), PM₁₀, aerosol torácico o partículas torácicas totales. Partículas que penetran en el árbol traqueobronquial y en la zona de intercambio de gases en los pulmones.

EPA (1990), PM_{2,5}. Fracción de partículas cuyo diámetro aerodinámico es inferior a 2,5 µm y se generan en los procesos de combustión.

ACGIH (1985), Masa inspirable. Partículas que resultan peligrosas al depositarse en cualquier zona del tracto respiratorio.

ACGIH (1985), Masa respirable. Partículas que resultan peligrosas al depositarse en la región de intercambio de gases.

ACGIH (1985), Masa torácica. Aquellas partículas que resultan peligrosas al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases.

A.11 Muestra personal

Resultado que se obtiene de una toma de muestra personal. **UNE-EN 1540.**

A.12 Muestra tomada en un lugar fijo

Resultado que se obtiene de una toma de muestra en un lugar fijo. **UNE-EN 1540.**

A.13 Muestreador o instrumento de muestreo

Aparato para separar las partículas del aerosol de su gas portador (normalmente aire). **UNE-EN 13205.**

A.14 Muestreador de referencia (para utilizar en las comparaciones)

Muestreador que se ha ensayado previamente utilizando los métodos descritos en el anexo A de la norma, y cuya exactitud se estima inferior o igual al 30 %, en las condiciones ambientales de la comparación. **UNE-EN 13205.**

A.15 Muestreador en un lugar fijo

Aparato que, sin estar fijado sobre una persona, muestrea el aire en un emplazamiento determinado. **UNE-EN 1540.**

A.16 Muestreador personal

Aparato, fijado sobre una persona, que muestrea el aire en la zona de respiración. **UNE-EN 1540.**

A.17 Muestreo o toma de muestra del aire

Proceso que consiste en recoger, extraer o separar una fracción de un volumen mayor de aire. Puede incluir la separación simultánea y selectiva de determinados componentes. **UNE-EN 1540.**

A.18 Muestreo o toma de muestra personal

Proceso de toma de muestra del aire efectuado con ayuda de un muestreador personal. **UNE-EN 1540.**

A.19 Muestreo o toma de muestra tomada en un lugar fijo

Resultado que se obtiene de una toma de muestra en un lugar fijo. **UNE-EN 1540.**

A.20 Precisión

Grado de concordancia entre los resultados obtenidos al aplicar el método varias veces bajo condiciones determinadas. **UNE-EN 13205.**

A.21 Proceso de muestreo

Mecanismos físicos que permiten que las partículas se aspiren selectivamente hasta el orificio de entrada del muestreador, se clasifiquen por medio de fuerzas de inercia u otras, se transporten hasta el sustrato de recogida (elemento de retención) u otras superficies internas o se pierdan del sustrato de recogida. **UNE-EN 13205.**

A.22 Sesgo

Desviación significativa y sistemática de los resultados de un proceso de medida respecto del valor verdadero de la característica de la calidad del aire. "Característica de la calidad del aire" significa la concentración de un agente químico en el aire. **UNE-EN 13205**.

A.23 Sistema o equipo de toma de muestra del aerosol

Sistema o equipo que permite recoger las partículas de los aerosoles presentes en los lugares de trabajo. En general, consta de un muestreador, un elemento de retención de las partículas del aerosol y una bomba de muestreo.

A.24 Zona respiratoria del trabajador

Espacio que rodea la cara del trabajador. Para fines técnicos, se utiliza la definición que corresponde al hemisferio (generalmente, de 0,3 m de radio) que se extiende delante de la cara de la persona, centrado en el punto medio de la línea que une las orejas. Esta definición no se aplica cuando se utiliza un equipo de protección respiratoria. **UNE-EN 1540**.

APÉNDICE B ORGANISMOS CITADOS EN EL DOCUMENTO

AEC	Atomic Energy Commission
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AENOR	Asociación Española de Normalización
BMRC	British Medical Research Council
CAS	Chemical Abstract Service
CEN	Comité Europeo de Normalización
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos)
ICRP	International Commission on Radiation Protection
ISO	International Organization for Standardization

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