

Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en aerosoles y radioyodos

CSN



Colección
Informes Técnicos 11.2005
Serie
Vigilancia Radiológica
Ambiental
Procedimiento 1.7
(Rev.1, 2025)

Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en aerosoles y radioyodos

Autores: Margarita Herranz (coordinadora)
Pablo Belinchón
David Blázquez
Rafael García-Tenorio
Javier Guillén
Raquel Idoeta
María José de Lucas
Cristina Navas

Colección
Informes Técnicos 11.2005
Serie Vigilancia Radiológica Ambiental
Procedimiento 1.7 (Revisión 1, 2025)
Anula al procedimiento 1.8 (2005)



Colección Informes Técnicos
Referencia INT-04.07

Agradecemos la colaboración de las instituciones y laboratorios citados en este documento, y de las personas que desarrollan en ellos su labor, gracias a las cuales se dispone de los procedimientos elaborados.

© Copyright 2024, Consejo de Seguridad Nuclear

Edita y distribuye:
Servicio de Publicaciones
Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid. España
www.csn.es
peticiones@csn.es

Maquetación: Composiciones Rali, S.A.
I.S.B.N.: 84-95341-41-7
Depósito legal: M-50411-2005

Índice

1. Prólogo	5
2. Introducción y justificación	8
3. Sistemática de trabajo	10
4. Objetivos y campo de aplicación	11
5. Definiciones y terminología	12
5.1. <i>Área de estudio</i>	12
5.2. <i>Zona de muestreo</i>	12
5.3. <i>Punto de muestreo</i>	12
5.4. <i>Muestra</i>	13
5.5. <i>Equipo de toma de muestras</i>	13
5.6. <i>Captador, captación</i>	13
5.7. <i>Colector</i>	13
5.8. <i>Tamaño de mesh o número mesh</i>	13
5.9. <i>Partículas</i>	13
5.10. <i>Aerosoles</i>	14
5.11. <i>Área o punto testigo</i>	14
6. Programa de muestreo	15
6.1. <i>Sobre el establecimiento del programa de muestreo</i>	15
6.2. <i>Sobre Áreas, Zonas y Puntos de muestreo. Equipos de toma de muestras</i>	16
6.2.1. <i>Clasificación del área</i>	17
6.2.2. <i>Subdivisión del área en zonas</i>	17
6.2.3. <i>Características del punto de muestreo en cada zona</i>	17
6.2.4. <i>Equipo de toma de muestras y su instalación en cada punto de muestreo</i>	18
6.3. <i>Sobre la toma de muestras</i>	21
6.3.1. <i>Tipo de muestreo</i>	22
6.3.2. <i>Frecuencia y duración de la toma de muestras</i>	22
6.3.3. <i>Caudal de aspiración</i>	23
6.4. <i>Personal involucrado, características de formación</i>	23
7. Sobre los equipos de toma de muestras	24
7.1. <i>Del colector de aerosoles</i>	26
7.2. <i>Del colector de radiyodos</i>	30
7.3. <i>Del captador (soporte del colector)</i>	32
7.4. <i>De la bomba de aspiración</i>	33
7.5. <i>De los controladores</i>	33

8. Procedimiento operativo de la toma de muestras	36
8.1. <i>Consideraciones previas / Precauciones</i>	36
8.2. <i>Materiales</i>	36
8.3. <i>Toma de la muestra</i>	37
8.4. <i>Registro de la toma de muestra</i>	39
9. Control de calidad del muestreo	42
10. Procedimiento operativo en el laboratorio	44
10.1. <i>Recepción de la muestra</i>	44
10.1.1. <i>En la base de datos de muestras recepcionadas</i>	45
10.1.2. <i>Acompañando a la muestra durante su preparación</i>	45
10.1.3. <i>Información adicional</i>	46
10.2. <i>Procedimiento de conservación de la muestra</i>	46
10.2.1. <i>Filtros para la recolección de aerosoles</i>	46
10.2.2. <i>Cartuchos de carbón activo para la recolección de radioyodos</i>	47
10.3. <i>Procedimiento de preparación de la muestra</i>	47
10.3.1. <i>Equipamiento y materiales</i>	47
10.3.2. <i>Procedimiento</i>	48
11. Bibliografía	51
Anexo 1. Ejemplo de etiqueta de muestra	53
Anexo 2. Ejemplo de hoja de recogida de datos	54

1. Prólogo

El proceso de toma de muestras es la pieza angular del programa de muestreo. Este programa de muestreo no solo debe garantizar que el momento y lugar en que una muestra se toma es el adecuado para que los objetivos de dicho programa se cumplan, sino que también debe proporcionar las características que esta muestra debe de tener. Sin embargo, los objetivos de este programa no se cumplirían si la muestra no se toma de manera correcta y eficaz, pero también reproducible y sistemática.

Plenamente consciente de ello, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) decidió en su momento la conveniencia de impulsar el desarrollo de procedimientos de muestreo y de recepción, conservación y preparación de muestras, para después elevarlos a normas UNE y, así, contribuir también a elevar la capacidad de interlocución de nuestro país a nivel de la normalización europea e internacional. Esta iniciativa fue el origen de la publicación del CSN, INT-04.07 Vigilancia radiológica ambiental que, en diferentes documentos, desarrollaba los siguientes procedimientos:

- 1.1. Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos: capa superficial.
- 1.2. Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelos para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.7. Procedimiento de toma de muestras de aerosoles y radioyodos para la determinación de la radiactividad.
- 1.8. Procedimiento para la recepción, conservación y preparación de muestras de aerosoles en filtros y de radioyodos en carbón activo para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.10. Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.11. Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.12. Procedimiento de toma de muestras de la deposición total para la determinación de la radiactividad.
- 1.14. Procedimiento de toma de muestras de vapor de agua para la determinación de tritio.

1.15. Procedimiento para el muestreo, recepción y conservación de muestras de agua para la determinación de la radiactividad ambiental,

así como de las normas UNE: UNE 73320-3: Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras. Parte 3: Aerosoles y radioyodos. UNE 73311-1: Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad ambiental. Parte 1: Suelos, capa superficial. UNE 73320-2: Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras. Parte 2: Sedimentos. UNE 73311-5: Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelo para la determinación de la radiactividad ambiental.

Todos estos documentos fueron publicados entre los años 2002 y 2009 y fueron realizados por un Grupo de Trabajo que coordinó Margarita Herranz, de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), y que estuvo formado en sus diferentes temas por: R. Jiménez (U. Autónoma de Madrid), E. Navarro Anglés (U. de Valencia), J. P. Bolívar Raya (U. de Huelva), E. Liger Pérez (U. de Málaga), J. Payeras Socías (Cedex) y J. L. Pinilla Matos (ENRESA). Y por el Grupo de Trabajo de Conservación y Preparación de Muestras que coordinó Antonio Baeza, de la Universidad de Extremadura (UEX), y que estuvo formado en sus diferentes temas por: A. Alonso (Geocisa), M. C. Heras y M. Pozuelo (Ciemat) y R. García-Tenorio (U. de Sevilla). El procedimiento 1.15 fue realizado de manera conjunta por ambos grupos.

No se puede considerar que la ciencia/tecnología asociada a estos procedimientos haya cambiado sustancialmente en los años transcurridos desde entonces, pero sí se ha incrementado el interés en estos temas y también el reconocimiento de su capital importancia para el correcto desarrollo de los Planes de Vigilancia Radiológica en sus diferentes contextos, tanto los asociados al entorno de las instalaciones nucleares en fase preoperacional, operacional y en desmantelamiento como los puramente ambientales y, de manera paralela, se ha ido incrementando la experiencia de los organismos que realizan muestreos para la determinación de la radiactividad en nuestro país, en la aplicación de estos procedimientos. Todo ello, unido al hecho de que las normas se revisan de manera rutinaria cada cinco años, ha llevado a que el CSN haya considerado necesario abordar una revisión y actualización de dichos procedimientos de muestreo.

Para ello, el CSN ha contado esta vez con un nuevo Grupo de Trabajo que, de nuevo coordinado por Margarita Herranz, de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), para dar continuidad a la filosofía que inspiró los documentos originales, ha estado esta vez formado por María José de Lucas (Medidas Ambientales S.L.), Cristina Navas (DRACE-GEOCISA), David Blázquez (ENUSA), Pablo Belinchón (ENRESA), Raquel Idoeta (UPV/EHU), Javier Guillén (UEX) y Rafael García-Tenorio (U. de Sevilla), para este procedimiento. Este Grupo se ha considerado que reúne las necesarias características de experiencia profesional, capacidad e independencia para abordar esta tarea.

La revisión de estos procedimientos se ha desarrollado partiendo del texto original y teniendo en cuenta la normativa de rango nacional, europeo e internacional aparecida y/o re-



visada en los años que median entre los documentos originales y estas revisiones, así como los retornos de los usuarios de estos documentos y la propia experiencia profesional de los miembros del Grupo de Trabajo.

En el caso del presente documento “Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en aerosoles y radioyodos”, su objetivo básico es especificar el procedimiento de muestreo de aerosoles y radioyodos en aire que permita delimitar y/o caracterizar niveles de fondo, posibles anomalías y realizar un seguimiento y evolución sistemáticos de su contenido, todo ello referido a sus características radiactivas.

Este documento pretende poner a disposición de los interesados una descripción de los objetivos planteados, los criterios aplicados y las bases científicas que los sustentan, junto con la toma de decisiones que ha parecido más correcta y que ha conducido a la definición y elaboración del contenido de este procedimiento para el muestreo de aerosoles y/o radioyodos.

Este procedimiento describe de manera detallada los diferentes pasos que se han de seguir para la obtención de una muestra de aerosoles y/o radioyodos y garantizar, al menos, los siguientes aspectos: la obtención de una muestra de aerosoles y/o radioyodos que cumpla los objetivos de control y/o representatividad para los que fue recolectada y con las características necesarias para los análisis radiológicos que en ella se van a desarrollar, la conservación de estas propiedades hasta el momento en que la muestra esté lista para realizar su caracterización radiológica en el laboratorio de análisis y, por último, el suministro de los datos necesarios para la caracterización radiológica de la muestra y la trazabilidad del proceso de muestreo. Además, el presente documento incluye aspectos relativos al aseguramiento de la calidad y el control de la calidad en el muestreo de aerosoles y radioyodos, ya que no se debe olvidar que los errores provocados por un muestreo no pueden corregirse.

2. Introducción y justificación

El muestreo de aerosoles presentes en el aire en general no reviste una gran complejidad desde el punto de vista técnico, puesto que existen en el mercado diferentes tipos de equipos de toma de muestras adaptados a diferentes condiciones en que este se puede desarrollar; ahora bien, lo que es más difícil de definir son las antedichas condiciones, puesto que éstas van a ser fuertemente dependientes de los objetivos del muestreo.

Por ejemplo, se pueden recolectar los aerosoles en el aire presente en la atmósfera de trabajo, los presentes en el aire procedente de la emisión de una fuente estacionaria (salidas de chimeneas), los presentes en el propio conducto de emisión (chimenea) o bien en el aire ambiente.

Y, en alguno de estos casos, los objetivos pueden imponer otras subdivisiones referentes a la ubicación física de los equipos de toma de muestras: en la dirección de la emisión para controlar ésta, dirección aleatoria para muestrear un aire promedio, dirección de vientos predominantes, etc.

Por otra parte, se puede tomar la muestra a la altura correspondiente a una persona para simular lo que ésta respira, fuera de obstáculos para determinar la calidad del aire sin objetivos de análisis de impacto en los seres humanos, o bien en los puntos en los cuales se sospeche una incidencia mayor de los contaminantes buscados, al margen de cuál sea su posición.

También se puede interpretar que se puede tomar una muestra pretendiendo obtener unos parámetros concretos, por ejemplo, distribución del tamaño de los aerosoles contenidos en el aire, o bien, un contaminante concreto, incluido los radiactivos, o un determinado tamaño de partículas.

Así mismo, incluso considerando los parámetros radiactivos, se puede interpretar que se quiere muestrear en un punto cualquiera con el objetivo de determinar en él la calidad radiológica del aire y analizar su evolución, para disponer de una serie de datos que sirva como nivel de referencia y que permita detectar posibles anomalías o incidentes y, en su caso, evaluarlos y hacer predicciones evolutivas y dosimétricas.

Finalmente, no hay que perder de vista que los componentes radiactivos en los aerosoles son sólo uno de los posibles contaminantes presentes en estos y no necesariamente el más importante desde el punto de vista de calidad ambiental del aire; esto determina que, aun existiendo una amplia normativa y documentación nacional e internacional que aplica a este

tipo de muestreo, esta, de forma mayoritaria, toma en consideración otro tipo de parámetros que los radiactivos. Ello conduce a que este tipo de normativa sea de aplicación general pero no siempre ayuda a resolver los problemas concretos que aparecen o pueden aparecer a la hora de realizar un muestreo de los aerosoles y radioyodos presentes en el aire atmosférico con objetivos radiológicos.

Se puede ver que el tema es amplio y complejo, por lo que, en ocasiones, no resulta sencillo para el personal no estrictamente especializado en la materia, programar y realizar un muestreo con unos objetivos parciales, concretos y bien definidos. Por esto se elabora este documento, con el objetivo de constituir un procedimiento general de muestreo y preparación de muestras de los aerosoles y radioyodos contenidos en el aire atmosférico que ayude a asegurar y controlar la calidad de las determinaciones radiológicas que sobre dichas muestras se van a realizar, de manera que se puedan cumplir los objetivos para los cuales el muestreo se realizó.

Hay que reflejar que los autores, en su labor de recopilación de información, no sólo se han fijado en la bibliografía adjunta, sino que también han tenido en consideración los procedimientos de muestreo y preparación de muestras que actualmente se llevan a cabo en nuestro país.

3. Sistemática de trabajo

La sistemática ha sido la habitual en este tipo de trabajos y ha cubierto las siguientes fases:

- Análisis del estado del arte en el momento actual: normativa de rango nacional, europeo e internacional; otros documentos procedentes de organismos de reconocido prestigio en el área.
- Confrontación de los documentos obtenidos con los procedimientos a revisar.
- Obtención de información de retorno de entre los usuarios de los procedimientos a revisar.
- Estudio de conclusiones y adopción de decisiones a la luz de la experiencia profesional del grupo de trabajo que permita tener una versión inicial del procedimiento revisado.
- Remisión a comentarios entre usuarios del procedimiento revisado.
- Redacción del procedimiento final.

Todo el proceso se ha realizado de forma coordinada con la Jefatura de Área de Vigilancia Radiológica Ambiental del Consejo de Seguridad Nuclear.

4. Objetivos y campo de aplicación

Para poder desarrollar este procedimiento de muestreo y preparación de muestras de aerosoles y radioyodos, ha sido necesario definir los objetivos que se pretendían lograr, que en este caso han sido:

- Determinar el fondo radiológico de una determinada zona.
- Detectar posibles impactos radiológicos mediante el análisis de su evolución.
- Realizar el seguimiento de la calidad del aire en un punto determinado.
- En la medida de lo posible, realizar comparaciones entre diferentes puntos o estaciones de muestreo.

Si el área de estudio no está influenciada por ninguna vía de exposición, lo que se determina es el fondo radiológico; en caso contrario podrá determinarse el impacto radiológico.

Se decidió no contemplar la toma de muestras en zonas de trabajo o en salidas de chimeneas. El motivo de esta exclusión está relacionado con el hecho de que para cumplir con estos objetivos se requiere un muestreo más especializado que implica, en algunos casos, un análisis detallado del tamaño de partículas para poder analizar su probabilidad de ser depositados tanto en los componentes del equipo de toma de muestras como en los órganos respiratorios. Para esos objetivos, además es importante conocer la eficiencia de retención del filtro empleado en las condiciones de uso del mismo (velocidad del aire, tamaño de partículas).

Hay que considerar que los objetivos planteados para el muestreo de los aerosoles y/o radioyodos, frente a los planteados en el muestreo de otras matrices son más difíciles de cumplir por no constituir el aire una matriz ni mínimamente estática ni estable, lo que impide no solo hablar de su carácter representativo, sino incluso asegurar que un determinado impacto vaya a ser detectado, dependiendo esto entre otras cosas, de la dirección del viento en un momento determinado. Por otra parte, hay que considerar que nunca muestras posteriores recolectadas en el mismo punto podrán reproducir las mismas condiciones.

Este procedimiento abarca desde la definición de los objetivos de muestreo hasta la entrada de la muestra al laboratorio.

El procedimiento desarrollado se aplica al muestreo y preparación de muestras de aerosoles y radioyodos y describe las actividades a desarrollar, desde la definición de los objetivos del muestreo hasta la entrada de la muestra al laboratorio, así como la preparación previa y posterior de la muestra, ya en el laboratorio de análisis, hasta que se llega al momento de su medida.

5. Definiciones y terminología

Utilizar una terminología adecuada y homogénea a la hora de elaborar cualquier procedimiento se revela como condición indispensable para llevar este a buen término, dado el interés en que todo posible usuario de un procedimiento entienda los términos utilizados con la misma intención con la que fueron escritos. En el caso concreto del muestreo de aerosoles y radioyodos, existe una amplia terminología, en muchos casos ya normalizada.

La terminología utilizada ha seguido en líneas generales la presentada en la norma UNE 77204 y en la norma ISO 20044. Sin embargo, con el objetivo de clarificar los usos que a ciertos términos se le da en el presente documento, se presentan algunas definiciones:

5.1. *Área de estudio*

Región geográfica que ha sido delimitada o se va a delimitar para establecer en ella un programa de muestreo, al margen de los objetivos concretos que en este se contemplan.

5.2. *Zona de muestreo*

Parte del área de estudio que presenta un conjunto de factores ambientales, orográficos y de características homogéneas propias relevantes en el programa de muestreo, y que hacen suponer que, en toda ella, el contenido radiológico será similar. El área de estudio puede estar compuesta por varias zonas de muestreo con características propias definidas.

5.3. *Punto de muestreo*

Es el lugar elegido en la zona de muestreo para tomar una muestra sobre la cual realizar las determinaciones radiactivas pertinentes. Debe ser representativo de la zona y, en esta, pueden existir uno o más puntos de muestreo, en función de los objetivos concretos de este y de las características de la zona. Se definirá por su altitud y sus coordenadas geográficas, de acuerdo con el sistema internacional de coordenadas tal y como contempla la norma UNE-EN ISO 19112. En este procedimiento, se corresponde con la posición geográfica en la que se ubica el equipo de toma de muestras.

5.4. Muestra

Porción representativa del medio de interés, o de uno o más componentes de ese medio, que posee las mismas cualidades y características del todo y que se va a utilizar para determinarlas. En este procedimiento, la muestra estará compuesta por: un filtro donde se habrán depositado las partículas contenidas en el aire ambiente y/u otro filtro que habrá capturado el yodo contenido en ese aire.

5.5. Equipo de toma de muestras

Equipo utilizado para la obtención de una muestra. En este procedimiento y, en el caso más general, consta de los siguientes componentes: sistema de captación (boquilla o embocadura), línea de transporte, colector con su soporte/s, bomba de aspiración, controladores y sistema de descarga.

5.6. Captador, captación

Se utilizará el término captación cuando se refiera al aire como un fluido, que resulta captado para recolectar de él las partículas y aerosoles.

5.7. Colector

Componente del equipo de toma de muestras utilizado para la retención de aerosoles, partículas y/o radioyodos. Comúnmente llamado *filtro*.

5.8. Tamaño de mesh o número mesh

Número de aperturas por unidad de pulgadas en la malla del filtro.

5.9. Partículas

Agregado de moléculas que forman un sólido o líquido en el aire con tamaño comprendido entre algunos diámetros moleculares hasta algunos cientos de micrómetros. Estas acaban decantándose por efecto de la gravedad.

5.10. Aerosoles

Sistema de partículas coloidales ultramicroscópicas, sólidas o líquidas, dispersas en el aire. Estos quedan en suspensión en el aire.

Cuando se toma una muestra en las condiciones descritas en este procedimiento normalizado, se recogen tanto aerosoles como partículas que pueden estar en proceso de decantación. La pretensión de este procedimiento es realmente el muestreo o recolección de todo tipo de partículas de polvo que se encuentren en dispersión en el aire en un momento determinado. De alguna forma, es una extensión del término aerosol, y, por lo tanto, se decide usar este a lo largo de todo el procedimiento.

5.11. Área o punto testigo

Cuando el objetivo del programa de muestreo sea la vigilancia en el entorno de una instalación, sería el lugar donde se recolectan idénticos tipos de muestras que las que se van a recoger en el punto de muestreo, pero que no estén afectadas por las emisiones de la instalación objeto de interés.

6. Programa de muestreo

6.1. Sobre el establecimiento del programa de muestreo

Antes de proceder a la realización del muestreo, es necesario tener establecido un programa de muestreo no solo como guía para la realización de este, sino también como marco necesario donde se plasmen las decisiones que es necesario adoptar para alcanzar los objetivos con los cuales este se desarrolla.

Aunque no es objeto de este procedimiento indicar cómo debe desarrollarse un programa de muestreo de aerosoles y radioyodos, sí es necesario señalar que se deberá partir, al menos, de los siguientes conocimientos y estudios previos:

1. Objetivos del muestreo. Antes de empezar a diseñar un programa de muestreo para la recogida de aerosoles y radioyodos, es necesario definir sus objetivos ya que determinan la escala, densidad y características del muestreo requerido. Este programa debe ser específico, aplicable y sensible a dichos objetivos.

Entre los objetivos, se debe especificar:

- a) El tipo de muestreo:
 - Muestreo de eventos puntuales.
 - Muestreo continuo, correspondiente a un periodo predefinido de tiempo.
 - Muestreos sucesivos, o puntuales tomados sucesivamente.
 - Hay que considerar que cualquiera de los anteriores puede ser o no direccional, para determinar la procedencia de los contaminantes.
- b) Tipos de análisis radiactivos a realizar, precisión requerida y límites de detección a alcanzar, si aplican. En su caso, la cantidad de muestra para las alícuotas responderá a las necesidades preestablecidas en el programa de muestreo en cuanto al número de laboratorios que van a intervenir, los tipos de análisis a realizar y la muestra control, si se considera necesaria.

2. Investigación inicial del área de estudio. Para poder definir el contenido de un programa de muestreo, es necesario llevar a cabo una investigación inicial del área de estudio que nos permita definir claramente las zonas de muestreo. Estas determinaciones preliminares deberán ser, al menos, las siguientes:
 - a) Conocer si el área de estudio está influenciada, a través de distintas vías de exposición, por instalaciones susceptibles de emitir aerosoles o radioyodos. En este caso, será necesario conocer las características de los 16 sectores de la rosa de los vientos predominantes, si es posible obtenida *in situ* o a través de mapas eólicos, con centro en la instalación y evitar obstáculos en la dirección en que se sitúe el equipo de toma de muestras.
 - b) En cualquier caso, es necesario conocer las dimensiones del arbolado y la topografía del área de estudio para evaluar posibles variaciones de dirección de los vientos predominantes, causadas por formaciones montañosas u otros obstáculos.
 - c) Análisis de las características del aire: se debe conocer al menos las distribuciones de frecuencias de velocidad y dirección de viento (valores medios anuales, obtenidos preferentemente mediante medidas *in situ* o a partir de los mapas eólicos) y su contenido en humedad; así como poseer información sobre la distribución del tamaño de partículas. También sería conveniente tener la mayor cantidad posible de información sobre la composición del aire. Estos datos deberán estar medidos en la dirección en la cual se va a realizar la captación, en su caso. También hay que señalar que, en función de los objetivos del muestreo, este análisis de características podrá ser más o menos riguroso.

Todo ello con objeto de que el programa de muestreo pueda contener, al menos, la siguiente información: definición de las áreas, zonas y puntos de muestreo, las características específicas de las muestras a tomar, el equipamiento a usar (identificación de modelo) y su localización, altura y orientación, procedimiento específico de toma de muestras, siguiendo las directrices y recomendaciones de este documento, así como los requisitos de seguridad y de personal. También deberá contener la planificación temporal de dicha toma de muestras y se respetará siempre que se garantice la seguridad del personal que realice esta.

A continuación, se proporcionan recomendaciones sobre la selección de esos ítems.

6.2. Sobre Áreas, Zonas y Puntos de muestreo. Equipos de toma de muestras

Lógicamente, la definición de áreas y zonas de muestreo va a estar directamente relacionada con los objetivos de este. Por ejemplo, si se van a controlar las emisiones procedentes de una instalación habrá que delimitar el área en la cual es posible que se produzca un impacto; y

dentro de estas posibles zonas en función de los sectores de la rosa de los vientos, pero también de la orografía o de la existencia o no de otro tipo de instalaciones emisoras, etc. Si se quiere analizar la calidad del aire que se respira en una determinada área geográfica, esta se tendrá que subdividir en zonas, atendiendo, por ejemplo, a su carácter urbano o rural, industrial o agrícola, y también a temas orográficos y geológicos.

Por lo tanto y considerando los datos obtenidos en los estudios previos, así como los tipos de análisis que se pretenden realizar y cuál es su objetivo final, en el programa de muestreo debe aparecer:

6.2.1. Clasificación del área

En rural, industrial, urbana, semi-urbana o mixta.

6.2.2. Subdivisión del área en zonas

Las zonas deben ser de características lo más homogéneas posible. Esto se debe realizar en el caso de tratarse de un área mixta o de que las características del área o los objetivos del muestreo así lo requieran.

Como caso concreto, si se pretende evaluar el impacto de una instalación, las zonas deben estar, además, relacionadas con los sectores de la rosa de los vientos centrada en la instalación.

6.2.3. Características del punto de muestreo en cada zona

En cada una de las zonas habrá que ubicar, al menos, un punto de muestreo o, dicho de otra manera, el punto geográfico en el cual se va a instalar el equipo de toma de muestras con el cual se obtiene la muestra de aerosoles y/o radioyodos. Evidentemente, este punto deberá ser seleccionado con el criterio de presentar las características utilizadas en la definición de la zona a la cual debe representar.

Para caracterizar un punto de muestreo, se tendrán que indicar sus coordenadas y su altitud tanto respecto al suelo como respecto a la línea de referencia, que se corresponde con la altura respecto a la superficie en que está instalado (p.ej. una azotea). La necesidad del dato de la altitud no parece tan clara como la de las coordenadas, sin embargo, puede aportar información adicional a la hora de realizar comparaciones.

En principio, parece evidente que se puede muestrear en cualquier punto en el que se precise o se desee conocer su contenido radiológico. Sin embargo, si un punto va a representar a toda una zona y se desea realizar un muestreo sistemático a lo largo del tiempo o se

desea establecer comparaciones entre distintas zonas geográficas, es preciso que los puntos, considerados como lugares geográficos donde se realiza una captación, cumplan unos requisitos mínimos comunes a todos ellos y que además dichos requisitos contribuyan a minimizar la variabilidad espacial y temporal de su contenido radiactivo. Consideraciones sobre estos requisitos se presentan en los siguientes subapartados.

No hay que perder de vista otras consideraciones sobre la accesibilidad, la capacidad de evitar intrusismo, los obstáculos entre el punto potencial de emisión y el equipo de toma de muestras, la dirección del viento predominante, la topografía, el clima, el tipo de entorno (industrial, agrícola, etc.), las cuales deben ser tomadas en consideración y, en ocasiones, pueden llegar a primar sobre la representatividad del punto con respecto a la zona, lo cual obligaría a buscar otro punto o a redefinir esta.

6.2.4. Equipo de toma de muestras y su instalación en cada punto de muestreo

La elección del tipo de equipo de toma de muestras y de sus componentes, incluido el colector, así como del caudal de captación seleccionado, será función de los objetivos del muestreo, de los tipos de análisis a realizar, de las características de la zona, del lugar donde se vaya a ubicar el equipo y de las características del aire en ese punto. Más detalles de los equipos se pueden encontrar en el apartado 7 de este documento.

En cuanto a la instalación del equipo, los principales parámetros a considerar son los siguientes:

6.2.4.1. Localización

Al hablar de la localización, se debe considerar desde dos puntos de vista distintos: macroimplantación y microimplantación. La primera de ellas está directamente relacionada con los objetivos de muestreo y su elección, en el marco de este procedimiento, se ha incluido en la definición de áreas o zonas de muestreo.

En cuanto a la microimplantación, en la medida de lo posible deben seguirse las siguientes indicaciones:

- No deberían existir restricciones al caudal del aire alrededor de la entrada del muestreo, ni obstrucciones que afecten al caudal de aire en la vecindad del sistema de muestreo. Esto es, no se debe perturbar el entorno a muestrear.

Esto implica que la captación debe colocarse a una cierta distancia de edificios, balcones, árboles y otros obstáculos. Sin embargo, el definir esa distancia no es obvio ya que dependerá de las características del aire, pero también de los objetivos del muestreo.

treo. Por ejemplo, según la Directiva 1999/30/CE, si se busca la calidad del aire en general, se puede estar hablando de varios metros y si se quiere calidad de aire en la línea de edificios, 0,5 m del edificio más próximo.

En este sentido, la norma ISO 20044, de 2022, indica que el sistema de captación del equipo de toma de muestras debe colocarse en un espacio abierto representando una superficie donde los obstáculos estén a una distancia mínima de al menos 10 veces la altura de los obstáculos y se recomienda una esfera libre de obstáculos de un diámetro de 1 m alrededor del sistema de captación.

Dado que los objetivos del muestreo en este procedimiento son amplios, se ha decidido dejar relativamente abierto el tema de la distancia, siempre cumpliendo la siguiente condición: “Localización del sistema de captación de aire: para evitar turbulencias artificiales en la captación, el captador se ubicará lo más alejado posible de obstáculos, por lo general varios metros”.

Adicionalmente:

- La captación del aire no deberá estar situada en las proximidades de fuentes de emisión, hay que dar tiempo a que estas se hayan mezclado con el aire ambiente.
- La descarga deberá colocarse de manera tal que se evite la recirculación de aire saliente hacia la captación. En el caso de los equipos de toma de muestras de alto volumen, dirigir el aire saliente lejos del aire que se muestrea.
- En ciertos casos de condiciones meteorológicas adversas, se puede poner el equipo bajo tejadillo, pero tratando de evitar turbulencias al seleccionar su ubicación.

En determinadas situaciones puede ser necesario colocar una línea de transporte; en ese caso, la longitud de la línea de transporte no debe exceder de 3 m y no debería tener curvaturas ni cambios de diámetro. En caso de tenerlas, su radio de curvatura no debe ser inferior a 3 veces el diámetro interior de la línea de transporte. Como indica la norma ISO 20044:2022, la línea de transporte debe ser preferentemente de acero resistente a la corrosión con una superficie suave. Los plásticos pueden producir atracción electrostática y los corrugados o con refuerzos de malla pueden actuar como trampas para las partículas.

6.2.4.2. Altura de la captación del aire con respecto al suelo

Como en el caso anterior, este tema es ampliamente citado en la bibliografía manejada al respecto, sin embargo, tampoco existe acuerdo al respecto, como se puede ver, por ejemplo, en los documentos: CE, 1999; Oak Ridge, 2000; DOE, 1991 y MARLAP, 2004.

1,5 m, al menos, sobre la línea de referencia (o superficie sobre la que se ubica el equipo), parece ser una distancia adecuada para evitar problemas como la resuspensión. Ahora bien, dónde estará situada esa línea de referencia va a depender claramente de los objetivos del muestreo y del grado de representatividad de la zona o punto de muestreo.

Por ejemplo, si se quiere conocer la calidad del aire que respira una persona, 1,5 m del suelo es una buena opción, ahora bien si se quiere saber la calidad media del aire en una determinada zona, la altura de la captación respecto al suelo dependerá tanto del tipo de zona como de su extensión; si se quiere conocer la calidad del aire en una zona urbana no se puede muestrear por encima de los tejados, si se quiere realizar el seguimiento y control de una determinada instalación habrá que asegurarse de que su altura sea tal que pueda captar el aire directamente procedente de ella, si se quiere que represente todo un territorio, alturas por encima de obstáculos pueden ser convenientes.

Por lo tanto, y como en el caso anterior, se ha decidido dejar relativamente abierto el tema de la distancia, indicando como condición a cumplir que la altura de la captación del aire con respecto al suelo estará en función del objetivo final de los análisis que se pretenden realizar, pero se encontrará al menos a 1,5 m de la línea base.

6.2.4.3. Orientación del sistema de captación del aire

Hay que considerar que algunos de los equipos de toma de muestras poseen sistemas de captación orientables, pero no todos ellos. Pero, en todo caso, hay que realizar las siguientes puntualizaciones:

- El plano horizontal, hacia arriba, presenta la ventaja de muestrear sobre un aire promedio y, por lo tanto, nos proporcionará muestras más reproducibles. Pero tiene el inconveniente de requerir un sistema de protección para evitar la destrucción del colector (generalmente un filtro) así como el depósito de residuos en su superficie, procurando que altere lo menos posible el flujo en el entorno del sistema de captación.
- El plano horizontal, hacia abajo, presenta las ventajas del anterior, pero con el inconveniente de la posible caída gravimétrica de las partículas más pesadas.
- El plano vertical presenta la ventaja de no requerir estos sistemas de protección, siendo orientable en una dirección determinada. El aire captado no será un aire promedio y las muestras obtenidas serán menos reproducibles; por otra parte, el impacto del viento puede llegar a perturbar la eficiencia de la captación.

La elección de uno u otro sistema dependerá de los objetivos del muestreo, por ejemplo, si se quiere analizar el impacto de una determinada instalación o la calidad del aire que respira una persona, la toma en el plano vertical permite en el primer caso una orientación en la dirección de ella y en, el segundo caso, simular el aire inhalado.

La única consideración a realizar es respecto al hecho de que, si el sistema de captación tiene la toma en el plano vertical, se tendrá que indicar su orientación, que será en la dirección predominante del viento, salvo que se pretenda comprobar si los contaminantes proceden de un foco emisor concreto, en cuyo caso se debería orientar en su dirección.

6.2.4.4. Sistema de protección del equipo de toma de muestras (si aplica)

En el caso de que los objetivos del muestreo lo permitan, y para proteger el equipo de toma de muestras de condiciones meteorológicas adversas, su instalación puede hacerse protegiéndolo con una cubierta estable contra la intemperie, en un tejado plano, con el captador en su centro para evitar turbulencias. En caso de que no se pueda colocar el sistema de captación en el tejado, también puede montarse en una pared exterior del edificio.

De manera similar, la posibilidad de intrusismo se puede evitar en parte dotando al equipo de toma de muestras con una caseta o similar. En este caso, hay que considerar que el sistema de captación de aire debe estar situado fuera de la caseta y a ser posible por encima de ella.

6.2.4.5. Requisitos eléctricos y de seguridad

En todo caso, se debe considerar que tanto las características de los equipos de toma de muestras como su localización pueden estar muy condicionados por su accesibilidad y por las medidas que se adopten para evitar intrusismos, debiendo predominar estas cuestiones sobre otras de índole técnico.

6.3. Sobre la toma de muestras

Las más importantes consideraciones sobre la toma de muestras son el tipo, duración y frecuencia y caudal de captación, que van a estar directamente relacionadas con los objetivos del muestreo y también con las características del equipo de toma de muestras y del aire que se pretende captar. Un muestreo correctamente realizado será aquel en el cual la combinación de estos tres factores permita que:

- a) En el colector quede depositada una cantidad de materia tal que permita la realización de las determinaciones requeridas con los límites de detección previamente establecidos.
- b) No se alcancen situaciones de colmatación en el colector de aerosoles que llevarían a una alteración del caudal y a una posible alteración de la eficiencia de captación, ni tampoco situaciones de saturación del adsorbente utilizado para el radioyodo gaseoso.

- c) El colector debe ser capaz de capturar partículas de aerosol respirable (< 10 micras) en el caso de plantearse objetivos dosimétricos.

6.3.1. Tipo de muestreo

- a) Puntual, cuando la captación se realiza durante un corto tiempo, recolectando las partículas y radioyodos contenidas en un volumen predeterminado de aire;
- b) Continuo, cuando la toma de muestras se realiza a lo largo de un tiempo más prolongado y de forma continua.
- c) Sucesivos, cuando la toma se realiza de forma puntual, pero se realizan tomas de manera sucesiva.

En muestreos ambientales lo más habitual es la toma continua, aunque, en el caso de que se prevea la llegada de una nube radiactiva, resulta más indicado efectuar tomas sucesivas puntuales de corta duración, que pongan de manifiesto la importancia del aporte radiactivo, así como la duración de la contaminación en la atmósfera de la zona muestreada, aspectos ambos que quedarían enmascarados en una toma de carácter continuo.

En los tres tipos anteriores, el muestreo puede ser direccional, hacia la dirección predominante de una instalación capaz de emitir sustancias radiactivas, o no.

6.3.2. Frecuencia y duración de la toma de muestras

La elección de estos parámetros está íntimamente relacionada con el propósito del muestreo, los niveles de actividad ambiental en el aire y el límite de detección requerido, así como con las posibilidades del equipo de toma de muestras.

En muestreos ambientales, lo más habitual es la captación continua con duración de una semana, mientras que, en los puntuales, la duración es generalmente igual o inferior a 20 minutos.

Una duración de toma de muestras diaria o semanal puede resultar conveniente excepto en el caso de querer medir radionúclidos de periodo de semidesintegración muy corto, ya que, si la duración es mucho mayor que ese periodo, el valor real de la concentración de ese radionúclido en el aire podría quedar enmascarado salvo que se tratase de una emisión de tipo constante.

En el caso de situaciones excepcionales en que se prevea la colmatación de los filtros, se recomendaría realizar muestreos puntuales y secuenciales.

Muestreos mensuales o trimestrales pueden resultar aceptables cuando la concentración media del contenido radiactivo de los aerosoles es esperable que sea inferior a unos pocos mBq/m³.

6.3.3. Caudal de aspiración

Hay equipos en los cuales esta es una magnitud seleccionable y otros en que no lo es. En todo caso, el seleccionar uno u otro equipo y los caudales con los cuales se va a realizar la captación está fuertemente relacionada con los objetivos.

En equipos fijos, si se quiere simular la cantidad de aire inhalada por una persona, hay que seleccionar equipos que permitan trabajar con valores de caudal en el entorno de los 30 l/min (llamados equipo de bajo flujo). Si se quiere determinar la calidad del aire, es conveniente irse a grandes caudales que permitan a posteriori minimizar los límites de detección, por ejemplo, 13000 l/min (llamados equipo de alto flujo). Lógicamente, entre estos extremos hay diversas situaciones intermedias. Si se quiere captar radioyodos, hay que tener en cuenta las características específicas del colector para trabajar en aquellas condiciones que permitan maximizar su eficiencia de recolección. Esto, en general, se consigue con un caudal entre 30 y 100 l/min en los equipos de bajo flujo. En estos equipos, mayores caudales pueden estropear el filtro y menores reducen la eficiencia de la captación.

En equipos portátiles que, en general, se usan en situaciones puntuales, el caudal puede variar entre 30 y 1800 l/minuto, aproximadamente, y se usará uno u otro de nuevo en función del objetivo a alcanzar.

6.4. Personal involucrado, características de formación

Se considera que el programa de muestreo debe incluir qué personal (o empresa) va a ser el encargado de la toma de muestras y también qué formación mínima va a tener con sus correspondientes registros. Ello no implica que esta formación deba ser más que el conocimiento del procedimiento, pero ciertamente deberá figurar en algún documento que esto es así.

En el programa de muestreo, y en función de al menos las citadas consideraciones, se deberá referenciar el procedimiento a seguir, así como los correspondientes registros a completar.

7. Sobre los equipos de toma de muestras

Un equipo de toma de muestra de aire es un instrumento que, en cuanto a su estructura, de forma general consta de los siguientes componentes: sistema de captación de aire (boquilla o cabezal o embocadura), línea de transporte, sistema de acondicionamiento del aire, colector de aerosoles, partículas o radioyodos con su soporte, bomba de aspiración (o sistema de vacío), controladores y sistema de descarga. No necesariamente todos los equipos deben de contar con todos estos componentes; ello estará en función de los objetivos y el lugar de muestreo.

En medidas ambientales, fuera de instalaciones radiactivas o nucleares y de sus canales de emisión, la boquilla y la línea de transporte suelen coincidir en el mismo lugar que el colector, que, habitualmente, es un filtro para la captación de aerosoles y, en su caso, un cartucho de carbón activo o equivalente cuyo objetivo es recolectar los radioyodos en forma gaseosa. Ver figura 1.



Figura 1: Equipo de toma de muestras de bajo flujo para medidas ambientales.

Se recomienda evitar el uso de líneas de transmisión, por los problemas de depósito en tuberías. Por lo tanto, en el caso de este tipo de medidas, los componentes habituales serán el colector con su soporte, los controladores, la bomba de aspiración y el sistema de descarga.

Se deben considerar muchos factores al seleccionar un equipo de toma de muestras de partículas y aerosoles contenidos en el aire. Factores tales como portabilidad, requisitos de energía, flujo operativo máximo, el rango de temperaturas de uso, el costo, la durabilidad y el mantenimiento deben considerarse en la selección de un equipo de toma de muestras de aire. También es importante que el equipo de toma de muestras de aire en sí no sea una fuente de contaminación en cualquier estudio.

Como ya se ha comentado, el sistema de captación puede estar en el plano horizontal (figura 2) o en el vertical (figura 1). La segunda posibilidad permite la orientación del sistema de captación en la dirección del viento, e impide el depósito directo de partículas por gravimetría, sin embargo, la primera posibilidad permite utilizar captadores de mayor superficie y, por lo tanto, la recolección de altos volúmenes. El plano horizontal, por lo tanto, es característico de los equipos llamados de alto flujo y el plano vertical es el característico de los llamados de bajo flujo.



Figura 2: Equipo de toma de muestras de alto flujo para medidas ambientales con captador en plano horizontal. Se observa la salida del aire saliente hacia la izquierda, lejos del aire que se muestrea.

Los equipos pueden ser fijos o portátiles. En general, estos últimos son los que se utilizan para realizar muestreos de corta duración y su diseño es lo más sencillo posible.

A continuación, se describen brevemente las características de los componentes del equipo que afectan o pueden afectar a su adecuación a los objetivos del muestreo y a su eficiencia de captación.

7.1. Del colector de aerosoles

El colector típico para aerosoles es un filtro, entre los cuales existen grandes diferencias en función de las necesidades y características del muestreo. Dichos colectores se ubican en el sistema de captación (ver figuras 3 y 4).



Figura 3: Sistema de captación (donde se ubican los colectores) de un equipo de toma de muestras de bajo flujo.



Figura 4: Despiece del sistema de captación o captador de un equipo de toma de muestras de bajo flujo con los colectores de yodo (cartucho, en color metálico) y de aerosoles (filtro, en color blanco).



Figura 5: Sistema de captación (donde se ubica el colector) de un equipo de toma de muestras de alto flujo.

Se pueden utilizar diferentes tipos de filtros de entre los existentes en el mercado, como compuestos de celulosa, fibra de vidrio, fibras sintéticas (polipropileno...), de membrana, metálicos. La elección de unos u otros depende del tipo de análisis que se desee realizar, de las características del muestreo y del punto en que este se vaya a realizar.



Figura 6: Distintos colectores de aerosoles para equipos de toma de muestras de bajo flujo.

De forma general habrá que tomar en consideración:

- a) que su fondo radiactivo sea mínimo si se pretende medir en condiciones de baja actividad, por ejemplo, los de fibra de vidrio suelen tener una pequeña cantidad de ^{40}K , lo que determina que sus fondos β puedan ser elevados.

- b) que sean fácilmente solubles, si sobre ellos se pretende realizar determinaciones que requieran separaciones radioquímicas, lo que, por ejemplo, no es el caso de los filtros de fibra de vidrio.
- c) que se fabriquen con condiciones controladas de tamaño de poro. Deberían permitir la recolección de partículas de aerosol respirables (< 10 micras) si se plantean objetivos dosimétricos.
- d) que su eficiencia de captación sea estable y a ser posible elevada para el intervalo de variación de las condiciones en el que va a funcionar el equipo de toma de muestras.
- e) que sean suficientemente resistentes para las condiciones en las cuales la toma de muestra se va a producir, lo que incluye el que sean químicamente resistentes a los posibles contaminantes químicos contenidos en el aire a captar. Sin embargo, hay que prestar especial atención a las posibles implicaciones de esta resistencia, por ejemplo, los filtros de celulosa pura son robustos pero su grosor determina que no sean adecuados para realizar en ello recuentos alfa de forma directa debido a la incrustación de las partículas en el material.
- f) que posean baja resistencia al flujo, bajo coste, alta resistencia mecánica, compresibilidad, bajo contenido en cenizas, no higroscopicidad, estabilidad térmica y disponibilidad en diversos tamaños y en grandes cantidades.

Una vez elegido el tipo de filtro que mejor se adapta a los requerimientos del muestreo, se tendrá que procurar poner las condiciones necesarias para que la consideración d), anteriormente citada, se cumpla. Esto es, para que la toma de muestras se realice de manera tal que las eficiencias de recolección permanezcan altas, además de estables.

La recolección de partículas por un filtro se realiza mediante un conjunto de procesos físicos y, para la mayor parte de los filtros, los mecanismos mayoritarios son el impacto y la difusión. El primer efecto crece con el tamaño y la velocidad de las partículas y el segundo, al contrario. Por lo tanto, la eficiencia de captación va a ser función de:

- Características del filtro, como su composición y tamaño de poro.
- Características del aire, como la distribución de tamaños aerodinámicos de las partículas y la humedad.
- Características de la toma, como la velocidad lineal de las partículas en el sistema de captación que se puede calcular a partir del caudal de captación.

Para un filtro concreto, la eficiencia nominal de captación la informa el fabricante para unos determinados rangos de tamaño de partícula, caída de presión en el filtro y velocidad lineal del aire en la captación. Según el tipo de filtro, la eficiencia puede variar fuertemente en función de estos parámetros, los cuales deberán adoptar valores que la maximicen y mantenerse en un intervalo de ellos tal que permita trabajar con valores de eficiencia conocidos, estables y cercanos a los nominales, y todo ello a lo largo de un periodo de toma de muestras que puede ser largo.

En ocasiones, para lograrlo se puede actuar sobre las características del aire o de la captación.

Sobre el tamaño de partículas no se puede actuar; se tiene que conocer los tamaños de las mismas y su distribución, sin perder de vista que el procedimiento de toma de muestra altera la distribución de tamaño de partículas en la muestra de aire comparado con su distribución original en el aire exterior, y calcular los factores correctores correspondientes (ANSI/HPS, 1999). En cualquier caso, es importante realizar las siguientes consideraciones:

Si el equipo dispone de línea de transporte, no alcanza el colector la misma fracción de partículas de uno u otro tamaño, debido fundamentalmente a problemas de depósito en tuberías. Por suerte, este no es el caso habitual en medidas ambientales, ya que los equipos comúnmente utilizados no disponen de línea de transmisión.

Sobre la velocidad lineal se puede influir modificando el caudal de captación, sin embargo, la colmatación dificulta el lograr su estabilidad. Una forma de disminuir este efecto es acondicionar el aire reduciendo su humedad con sistemas de calefacción, actividad no siempre compatible con los equipos de toma de muestras comerciales, sobre todo en los equipos de bajo flujo, y reduciendo, en su caso, los periodos de captación hasta valores compatibles con los errores y límites de detección asociados a las determinaciones radiactivas a realizar.

Estudios comparativos de diferentes tipos de filtros son habituales en la literatura (por ejemplo, los reflejados en ANSI, 1999; Kathren, 1991; NRL, 1964, ISO 20044:2022; ISO 2889:2023). Sin embargo, se debe solicitar al fabricante que proporcione las características de estos junto con el certificado de calibración.

Para los captadores de bajo flujo, y dado que los objetivos dosimétricos no están excluidos de este documento, el filtro debería ser del tamaño de poro más pequeño posible; sin embargo, dado que en España una mayoría de los programas se desarrollan con muestreos semanales, lo que conlleva el problema de la rápida colmatación de este tipo de filtros en determinadas condiciones ambientales, se establece, como solución más adecuada, que los filtros deben tener un tamaño de poro de $0,45\ \mu\text{m}$. En caso de no poder usarse dicho tipo de filtros por situaciones ambientales adversas, o por casos demostrados de colmatación del filtro, se podrá optar por tamaños de poro de hasta $0,8\ \mu\text{m}$.

En cuanto a la composición, los filtros de celulosa, fácilmente calcinables y con bajo fondo radiactivo, son la opción elegida en este procedimiento. Si por problemas ambientales o climatológicos, estos filtros resultan demasiado frágiles, podrán ser sustituidos por filtros de fibra de vidrio.

Para los captadores de alto flujo, este procedimiento establece el uso de los sintéticos (de polipropileno, tipo G3).

7.2. Del colector de radioyodos

Los radioyodos son de origen antropogénico, pero pueden existir en el aire en forma gaseosa y también asociados a partículas. En el aire ambiente la primera de estas formas es la mayoritaria.

El colector de radioyodos en forma gaseosa suele ser un lecho de material adsorbente, normalmente un cartucho con carbón activado o filtros moleculares de plata-zeolita. El primero de ellos es más económico, y por lo tanto más ampliamente utilizado, aunque el segundo cuenta con la ventaja de que fija el yodo, pero no los gases nobles.

Los cartuchos de yodo están destinados al muestreo de yodo radiactivo en suspensión en el aire en forma molecular (I_2) u orgánica (CH_3I).



Figura 7: Colectores de radioyodos de un equipo de toma de muestras de bajo flujo.

Este colector se suele incluir en el equipo de toma de muestras a continuación de un filtro de aerosoles con el objetivo de retirar del flujo de aire los posibles interferentes radiactivos, captar el yodo asociado a partículas, que también se debe considerar y, por último, para evitar la saturación del adsorbente (ver figura 4).

La eficiencia de captación va a ser función de las siguientes características tanto del cartucho, como del aire y de los parámetros de la captación:

- Características del cartucho, como el tipo de carbón y su activación, que se recomienda con trietilendiamina (TEDA). Más concretamente, para mejorar la eficiencia de la captación, el carbón vegetal se impregna generalmente con yoduro potásico y TEDA para obtener una eficiencia de captación cercana al 100%. Respecto del tamaño de grano, es conveniente utilizar un grano entre 12 y 50 mesh (cuanto mayor número de mesh, mayor es la eficiencia de retención). Se deben observar las indicaciones del fabricante sobre la eficiencia en función del caudal. Y, respecto al espesor de la capa de carbón: deben estar diseñados para lograr un tiempo medio de residencia atmosférica de unos 0,05 s/cm de lecho adsorbente. El fabricante de los filtros indicará cómo influyen en la eficiencia de la captación la forma química del yodo, las condiciones atmosféricas y la presencia de productos químicos en el aire muestreado. El fabricante deberá especificar las condiciones de almacenamiento del medio de recogida.
- Características del aire, como su temperatura, humedad y nivel de yodo. El aumento de la temperatura provoca un empeoramiento de la eficiencia; el aumento de la humedad conduce a la pérdida de eficiencia de captación, principalmente para los compuestos orgánicos de yodo; y, si el nivel de yodo es demasiado bajo, esa eficiencia tiende a disminuir.
- Características de la captación, como puede ser la velocidad lineal de las partículas en el sistema de captación, calculable a partir del caudal de captación. La eficiencia disminuye con el aumento de la velocidad, por lo que se recomienda un valor entre 20 y 50 m/min –lo que en el caso de los típicos cartuchos de área 12,5 cm², representa caudales de entre 25 y 60 l/min, valores compatibles con lo reflejado en el apartado 6.3.3.– o acorde con las especificaciones del fabricante.

Para un filtro dado, la eficiencia nominal de captación se informa en función del caudal de esta. Según los valores de esta, la eficiencia puede variar hasta un 20%; por lo tanto, hay que procurar que el caudal adopte valores que maximicen la eficiencia y se mantengan estables a lo largo de un periodo de toma de muestras que puede ser largo.

Por otra parte, en este tipo de toma de muestras es importante conocer la probabilidad de que en el aire captado existan otros gases, ya que podrían llegar a saturar el cartucho de carbón activo, influyendo por lo tanto fuertemente en la eficiencia de captación.

Los gases pueden resultar adsorbidos por el carbón durante el proceso de toma de muestra, pero también durante el periodo de almacenamiento previo a su utilización, por lo tanto, una precaución a adoptar es que los cartuchos o el carbón activo con que se preparan, permanezcan cerrados, siguiendo las instrucciones del fabricante, desde el momento de su preparación hasta su uso, no debiéndose utilizar, en general, para tomas de muestra superiores a una semana, salvo que el ambiente sea extraordinariamente seco.

No es una práctica aconsejable el acondicionar y/o reutilizar los cartuchos aun después de ser calentados a temperaturas de varios centenares de grados centígrados puesto que no se puede garantizar la eficiencia del proceso.

De forma general, hay que señalar que una vez elegido el filtro y/o el cartucho que se va a utilizar, se debe alcanzar un compromiso entre la cantidad mínima de muestra que es necesario recolectar, y, por lo tanto, el tiempo requerido de toma de muestra, para alcanzar los errores y límites de detección requeridos y el caudal que proporcione la mayor eficiencia.

Respecto del uso de línea de transporte, si se emplease, debe escogerse cuidadosamente ya que el yodo molecular puede resultar atrapado en los materiales. Por tanto, conviene que sus superficies se mantengan secas y libres de polvo y sean de material antiestático, como acero inoxidable con superficies electropulidas.

7.3. Del captador (soporte del colector)

Puede constar de los siguientes elementos:

- Sistema de acondicionamiento de la muestra, usualmente un calefactor-desecador. Ya se ha comentado su interés para mantener estable la eficiencia de captación.
- Elementos de fijación del colector al soporte, que deben ser tales que no sean susceptibles de dañar el filtro utilizado y, además, no dejen zonas de entrada directa de aire al sistema de vacío y controladores, ya que esto conduciría a una pérdida de la cantidad de aerosoles recolectados en el colector para la misma cantidad de aire captada.
- La conexión del soporte con el sistema de vacío (o bomba de aspiración), que puede ser fija o articulada, lo que permite no solo la orientación espacial del captador sino también el alejar el colector del sistema de vacío y de los controladores, permitiendo, por ejemplo, la ubicación de estos en una caseta o similar, mientras el colector se ubica en un punto que cumpla las condiciones requeridas en el muestreo. En general los captadores de alto flujo tienen sistemas fijos y los de bajo flujo articulados.

En general, la conexión del soporte con el sistema de vacío es móvil, lo que permite que todo o parte del soporte pueda ser retirado del equipo de toma de muestras, permitiendo la extracción del colector en el laboratorio.

En algunas situaciones especiales, se podría colocar una protección del captador a través del uso de una malla metálica (protección contra los pájaros o insectos) dependiendo de las condiciones locales o mediante una estructura metálica abierta (protección contra la lluvia y el viento); ahora bien, habría que considerar la influencia de la rejilla en la eficiencia de captación.

7.4. De la bomba de aspiración

Su principal requisito es que sean capaces de proporcionar el caudal requerido en función de las necesidades de velocidad lineal de los aerosoles en la superficie de captación y de su resistencia.

Hay dos tipos distintos de bombas en el mercado. Aquellas que permiten seleccionar un caudal de aspiración y aquellas que funcionan con este parámetro fijo. En ambos casos, la colmatación del filtro conduce a variaciones del caudal definido. Si se desea mantener un caudal fijo, habría que pensar en un equipo que regule automáticamente este.

7.5. De los controladores

Todos los controladores deberán estar debidamente calibrados, de acuerdo con el programa de calibración desarrollado por la entidad que realiza la toma de muestras y teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante. En principio, deben ser al menos de dos tipos distintos:

- **Controladores de caudal:** Cualquier equipo debe disponer de un controlador totalizador que proporcione el volumen total de aire captado y, a ser posible, de otro instantáneo (caudalímetro) que proporcione el volumen captado por unidad de tiempo y permita verificar la aparición de la colmatación y la importancia de esta. Estos controladores deberán estar colocados después del filtro. En el caso de usar un caudalímetro para obtener indirectamente el volumen total de aire captado, se recomienda el uso de caudalímetros másicos, que dan información independientemente de las condiciones ambientales de presión y temperatura. Mientras dure la captación no es conveniente que el caudal varíe más de un 20%, valor que se obtiene sin más que controlar la lectura del caudalímetro cuando se inicia y se termina el proceso de toma de muestra.
- **Controladores horarios:** Que permitan determinar el tiempo total de funcionamiento del equipo a lo largo del periodo de muestreo, esto lo pueden realizar o bien proporcionando directamente la duración real del proceso de toma de muestra o bien por diferencia con el tiempo medido con un reloj independiente del equipo de toma de muestras. Esto servirá para tener constancia de los posibles cortes de tensión, su duración y, según el sistema, el momento en que éstos se han producido. Periódicamente se comprobará que el controlador funciona.



Figura 8: Equipo de toma de muestras de alto flujo, abierto, observando el filtro, y los controladores en la parte inferior.

Dado que los valores de actividad se proporcionan en Bq/m^3 , si se dispone de un totalizador de volumen, se dispondrá de los datos precisos para realizar el cálculo. Ahora bien, el control horario se considera necesario para asegurar la calidad del muestreo ya que un corte de tensión durante el periodo de muestreo influye en que se pueda afirmar o no que se haya producido un determinado impacto atmosférico que nos haya pasado desapercibido y también en que, si se deben determinar isótopos de vida corta, puede ser importante el poder ubicar el periodo real de muestreo.

Si solo se dispusiera de un totalizador, en caso de corte de tensión durante el periodo de toma de muestras, se observaría que la lectura de este es más pequeña que la teórica; sin embargo, no se podría asegurar si lo que se ha producido es una colmatación, un corte de tensión o ambos.

Se puede realizar una valoración de lo ocurrido a partir de los valores proporcionados por el caudalímetro, que en caso de colmatación serían más bajos y en caso de corte de tensión, más altos. Para poder valorar este dato, sería necesario tener un buen registro histórico de los datos proporcionados por el equipo, y, aun así, no se tendría la certeza de lo ocurrido, dado el carácter variable de los aerosoles presentes en el aire. Si este análisis permite suponer la existencia de un corte de tensión, lo que no se puede hacer es valorar su duración, para ello en cualquier caso se necesitaría un controlador horario.

De forma opcional, se puede tener un sistema que garantice la alimentación eléctrica ininterrumpida. Con este sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) o electrogrupo, asociado al equipo de toma de muestras, no solo se evitan las paradas del equipo motivadas por

cortes de tensión si no que, en el caso de llegar a producirse, nos indicarían, de ser posible, el momento en que éstos se han producido y su duración.

También existen algunos equipos que incluyen un manómetro, que también puede aportar información sobre cómo se ha efectuado la toma de muestras (p.ej., un valor bajo de presión, respecto a los datos históricos, indica que el filtro está roto o que puede existir alguna toma en la línea de transporte; mientras que un valor alto indicaría una obstrucción).

8. Procedimiento operativo de la toma de muestras

8.1. Consideraciones previas / Precauciones

- Antes de realizar la toma de muestras, el personal responsable de la toma de muestras debe asegurarse de que todo el instrumental se encuentra en perfectas condiciones y responde al especificado en el Programa de muestreo.
- Antes de realizar la toma de muestras, el personal encargado debe asegurarse de que el punto de muestreo estará accesible y las condiciones climatológicas vayan a permitirla.
- Los soportes de ambos colectores (filtros de partículas y de yodos) tienen que estar escurpulosamente limpios y repetirse la limpieza tras cada toma, con el objeto de evitar contaminaciones cruzadas.
- También se deberá verificar la limpieza de los contenedores de transporte de muestras.
- Se debe evitar el contacto de los envases utilizados con cualquier tipo de material radiactivo o contaminado para prevenir su contaminación.
- Una vez finalizada la toma de muestras hay que prestar especial atención a que los filtros permanezcan bien cerrados en sus respectivos contenedores hasta su llegada al laboratorio, con el fin de evitar su interacción con un aire distinto al muestreado.
- El personal a cargo de la realización de la toma de muestras tiene que estar suficientemente formado y entrenado en las técnicas específicas a utilizar.

8.2. Materiales

Para la toma de muestras se debe disponer de los siguientes utensilios:

- Nuevo filtro de aerosoles y/o radioyodos.
- Pinzas para su manipulación.

- En su caso, balanza.
- Contenedor para los filtros de aerosoles.
- Bolsas de plástico con posibilidad de cerrarse herméticamente para los filtros de radioyodo.
- Etiquetas adhesivas y registros de muestreo.
- Rotulador indeleble.
- Guantes.
- Cepillo, brocha u otro material de limpieza adecuado para limpiar no solo el soporte del colector, sino también la boquilla del equipo de toma de muestras entre cambios de filtros.

8.3. Toma de la muestra

- Con el equipo parado se anotan, en un registro como el modelo que figura en el Anexo 2 de este documento, las lecturas del controlador horario, del totalizador de volumen y del caudal. Si el equipo permite la puesta a cero de estos parámetros, así se hará.
- Se comprobará el funcionamiento de los controladores. Los equipos habrán pasado los controles rutinarios de funcionamiento y el mantenimiento que les correspondan.
- En el caso de los colectores de aerosoles, en función el tipo de análisis a realizar o de los objetivos del muestreo, es posible que se necesite conocer la cantidad de polvo recogido. Para ello los filtros deberán de ser pesados previamente a su colocación y también al finalizar esta.
- A continuación, se introduce el filtro en el soporte del colector (del cual se han retirado previamente los restos de la captación anterior, si los hubiere, mediante el cepillo o material de limpieza *ad hoc*) teniendo cuidado de que sus bordes queden debidamente aprisionados por el sistema de fijación. Asimismo, se introduce, en su caso, el colector de radioyodos en su habitáculo, con la flecha indicada en el cartucho en la dirección del paso del aire, asegurándose de que haya permanecido aislado de la humedad hasta ese momento.

- Si la introducción del colector en el soporte se realiza en el laboratorio, sencillamente se fija este al equipo.
- Acto seguido, se selecciona, en su caso, el caudal requerido y se pone en funcionamiento el equipo de toma de muestras, anotando fecha, hora y lectura inicial del caudalímetro. Se verifica que el paso del caudal no produce alteraciones en la superficie del filtro y, si se dispone de sistema de acondicionamiento del aire, es también el momento de activarlo.
- Cuando haya transcurrido el tiempo requerido de captación, antes de parar el sistema se debe comprobar y anotar el registro del caudalímetro.
- A continuación, se debe detener el funcionamiento del equipo, anotando fecha y hora y, en su caso, se debe comprobar la existencia de paradas y su duración. También se deben anotar las lecturas del controlador horario y del totalizador de volumen.
- Todas estas anotaciones se deben realizar en el correspondiente registro de muestreo, un modelo para la cual aparece en el anexo 2 de este documento.
- Acto seguido, se retira el soporte del colector (o la correspondiente parte de él) del equipo de toma de muestras y de él se extrae el colector (o colectores), bien *in situ* bien en el laboratorio, evitando tanto la pérdida de material recolectado como la dispersión de este al soporte y realizando una inspección ocular del filtro para evaluar su estado de conservación y la homogeneidad del depósito. En todo caso, el soporte debe ser cuidadosamente cepillado antes de proceder de nuevo a su utilización.
- Bien el colector (o colectores) o bien la parte del soporte extraído del equipo de toma de muestras, se debe ubicar en un contenedor adecuado para su transporte al laboratorio, debidamente etiquetado y sellado para evitar la pérdida de material en su transporte.
- La cuestión fundamental que aplica al transporte de las muestras al laboratorio es el hecho de que el transporte no altere las características de las muestras. Para ello es necesario que se reúnan dos condiciones: el traslado de la muestra al laboratorio deberá realizarse con esta introducida en un recipiente bien cerrado para evitar la absorción de humedad y las posibles pérdidas de materia, y se realizará en el menor tiempo posible y sin contacto con el material muestreado. El almacenamiento y el transporte del colector de aerosoles de bajo flujo podrán realizarse en un contenedor, tipo caja Petri o caja portafiltros, que evite la adherencia de las partículas a ese recipiente en el que se transporta la muestra. En el caso de los colectores de radioyodos podrán realizarse en una bolsa de plástico bien cerrada.

- El contenedor (o contenedores) se debe señalar con una etiqueta adhesiva que debe contener, al menos, la información reseñada en el anexo 1 de este documento.
- En el caso de los colectores de polvo, dependiendo del tipo de análisis que haya que realizar sobre ellos, se pesarán de nuevo en el laboratorio para calcular la masa de polvo muestreada, necesaria para conocer el correspondiente factor de auto-absorción que habrá de considerarse en los análisis alfa/beta total en el laboratorio.
- En el caso de aparición de pelusas o insectos sobre el filtro, o en el caso en que presente algún tipo de deterioro, este se remitirá tal cual al laboratorio para que este valore lo que debe hacer al respecto, dejándolo recogido en el correspondiente registro.

8.4. Registro de la toma de muestra

Dada su importancia, es necesario considerar el registro de la información referente a una toma de muestra concreta como contenido fundamental del procedimiento. Resulta fundamental:

- Llevar registro de las actuaciones, dejando constancia de la visita al punto de muestreo mediante formularios para el laboratorio de análisis y de las etiquetas adhesivas para los contenedores.
- Pegar una etiqueta adhesiva en el/los contenedor/es de transporte de la muestra que, al menos, contendrá la siguiente información:

— Referencia de la muestra.

— Punto de muestreo.

— Fecha de recogida de la muestra.

— Datos del destinatario: laboratorio al cual se debe remitir la muestra y, de no ser él mismo el que realiza la toma de muestras, datos de contacto del laboratorio destinatario.

— Identificación de la persona y/o entidad responsable de la toma de muestras.

En el anexo 1 se incluye un ejemplo de etiqueta para el registro de información en la muestra.

- Por otra parte, se deberá registrar, como mínimo, la siguiente información en una ficha de toma de muestra, información que, total o parcialmente, deberá acompañar a la muestra al laboratorio de análisis.
 - Referencia de la muestra.
 - Punto de muestreo.
 - Tipo de filtro.
 - Procedimiento de muestreo.
 - Datos del destinatario: laboratorio al cual se debe remitir la muestra y, de no ser él mismo el que realiza la toma de muestras, datos de contacto del laboratorio destinatario.
 - Duración del muestreo (fecha y hora de inicio y fin de la toma de muestra).
 - Caudal de muestreo (en su caso, caudal inicial y final).
 - Volumen captado (dato del totalizador).
 - Tiempo del muestreo (dato del controlador).
 - Observaciones.
 - Firma y fecha de la persona que ha tomado la muestra, reflejando su nombre y apellidos o sus iniciales identificativas.
 - Identificación de la persona y/o entidad responsable de la toma de muestras.
 - En el apartado de observaciones se harán constar las indicaciones de anomalías registradas (incidencias del equipo de toma de muestras y de observaciones visuales del filtro y su estado). Adicionalmente, parámetros ambientales como la velocidad y dirección del viento, presencia de precipitación (lluvia, nieve, niebla) pueden ser útiles para posteriores interpretaciones.

En el anexo 2 se incluye un ejemplo de ficha para el registro de información.

De esta ficha debe conservar copia la persona o entidad responsable de la toma de muestras.

Hay que entender que estos son contenidos que se han considerado como mínimos. Cada entidad responsable de la toma de muestras deberá adecuar los registros a sus necesidades. Por ejemplo, no se ha considerado en este registro de mínimos, que se deba incluir el tipo de equipo de toma de muestras, ya que deben figurar detallados en el procedimiento correspondiente.

9. Control de calidad del muestreo

Un programa de calidad de muestreo deberá comprender todas las etapas necesarias para garantizar la obtención de resultados válidos (personal competente, métodos de recogida y manipulación de muestras apropiados, registros completos y seguros, etc.).

La competencia del personal se debe garantizar a través de las correspondientes actividades de formación que se consideran fuera del alcance de este procedimiento. Los otros dos aspectos se consideran cubiertos si el proceso de muestreo se realiza siguiendo este procedimiento.

Ahora bien, dentro de este programa deben plantearse medidas de control de calidad para la identificación y posibilidad de cuantificación de errores asociados al muestreo. Dicho control de calidad en el muestreo tiene tres objetivos principales:

1. Proporcionar un modo de monitorizar y detectar el error de muestreo, así como los medios para el rechazo de datos inválidos.
2. Actuar como demostración de que los errores de muestreo han sido controlados adecuadamente.
3. Indicar la variabilidad del muestreo, y, por lo tanto, proporcionar indicación de este importante aspecto del error.

Estos principios fundamentales del control de calidad en el muestreo, que alcanzan el acuerdo unánime por parte de todos los miembros del grupo, no siempre tienen una aplicación práctica sencilla que se traduzca en actividades a realizar para las distintas matrices a muestrear. De cualquier modo, se considera que, para cualquier procedimiento de muestreo, entre estas actividades se debe incluir, al menos:

- El intercambio de información entre el cliente, el personal de muestreo y el personal de laboratorio como pieza clave para mejorar la calidad del muestreo y del análisis.
- La supervisión y auditoría independientes del proceso de toma de muestras.

Además, en el caso particular de la toma de muestras de aerosoles y radioyodos, las medidas específicas de control de calidad pueden incluir, entre otras actividades:



- Contar con la calibración del equipo de toma de muestras y sus correspondientes registros.
- Comprobación rutinaria de la operación de los indicadores de tiempo, volumen y caudal antes de su funcionamiento con sus correspondientes registros. Se puede chequear el funcionamiento del controlador de tiempo fácilmente con un cronómetro.
- Verificación del caudal de la bomba: durante el periodo de muestreo se debe verificar con regularidad el correcto funcionamiento del sistema, siendo aconsejable verificar periódicamente el caudal de muestreo y que este no supere una variación de $\pm 20\%$ sobre el establecido.
- Se deberán seguir las labores de mantenimiento de los equipos de toma de muestras según las instrucciones de su fabricante con sus correspondientes registros.
- Se deberán realizar labores de limpieza más exhaustivas y periódicas en los equipos de toma de muestras de alto flujo, dado que sus probabilidades de ensuciarse son más altas con los volúmenes de aire que muestrean.

10. Procedimiento operativo en el laboratorio

10.1. *Recepción de la muestra*

Tres son los aspectos que deben destacarse sobre la recepción en el laboratorio de las muestras de aerosoles y radioyodos para la posterior medida de su contenido radiactivo.

En primer lugar, la importancia que tiene el registro, la aceptación o rechazo o la realización de las observaciones que deban efectuarse sobre las muestras recibidas y sobre la documentación que las acompaña a su llegada al laboratorio.

Este aspecto es clave para asegurar tanto la correcta identificación de la muestra, como para poder garantizar que esta no ha sufrido alteraciones significativas desde su toma, o que, en cualquier caso, se han documentado convenientemente las deficiencias o anomalías existentes en la misma, de forma que se puedan tener presentes a la hora de valorar los resultados que se obtengan.

En este sentido, es importante la existencia de unos criterios claramente establecidos en cada laboratorio, para aceptar o rechazar una muestra en el mismo, lo cual, en el caso de las muestras a las que este procedimiento se refiere, puede ser especialmente sencillo, como es el rechazo que debe producirse cuando la muestra recibida carezca de una correcta identificación o, dependiendo de los objetivos del muestro, el rechazo que se puede producir cuando las muestras no estén suficientemente selladas o esté roto el filtro o bien, la “mancha” de polvo esté tan fuertemente descentrada que se pueda suponer que su fijación al soporte no era correcta, aunque en estos últimos casos la recomendación sería considerarlo una observación y, en todo caso, medir los filtros, ya que la información obtenida, aunque escasa o sesgada, siempre puede ser mejor que la ausencia de ella, toda vez que este tipo de muestras no pueden reproducirse. En cualquier caso, dichos criterios no deben dejarse al libre albedrío de la persona concreta que en cada momento efectúa la recepción de la muestra.

La correcta identificación de la muestra en el laboratorio se garantiza registrando en su base de datos toda aquella información relativa a la toma de muestras, la cual debe venir consignada en la correspondiente ficha (véase anexo 2), que debe acompañar a cada muestra a su llegada al laboratorio. Por ello, para su correcto ingreso en el laboratorio, solo se precisa completar dichos datos con la fecha de recepción en el mismo, la clave identificativa de la muestra en el laboratorio, que puede coincidir o no con la referencia dada a la muestra durante su toma, y con las observaciones efectuadas durante el muestreo, que deben figurar en la ficha que acompaña a la muestra. Así mismo, deben reflejarse los comentarios que haya sido necesario realizar en el acto de su recepción en el laboratorio.

En segundo lugar, ha de destacarse la necesidad de poseer un sistema eficiente de registro y de documentación de las muestras recepcionadas, el cual abarque desde que ésta ingresa

en el laboratorio hasta que se efectúa la emisión del correspondiente informe de resultados y el posterior archivo definitivo de los datos correspondientes a la determinación realizada.

En tercer lugar, debe garantizarse la integridad y la confidencialidad de los datos en los diferentes procesos realizados en el laboratorio. Sería suficiente con que los trabajadores del laboratorio firmen un documento de confidencialidad; una alternativa a la firma de ese documento podría ser la encriptación de la referencia de la muestra, de forma que los operadores y analistas que trabajan con ella ignoren tanto el origen de la muestra, como el destinatario final de los datos obtenidos.

Por lo tanto, al recepcionar en el laboratorio una muestra, y como paso previo a su aceptación y registro, debe verificarse su correcta identificación. Es decir, deben ser coincidentes los datos que figuran en la etiqueta autoadhesiva existente en el recipiente que contiene la muestra, con los de la ficha de toma de muestra que la acompaña.

Seguidamente se procede al registro de la muestra en el sistema previsto al efecto en cada laboratorio, en el que al menos deben figurar los datos que a continuación se relacionan.

10.1.1. En la base de datos de muestras recepcionadas

- Datos que figuran en la hoja de toma de muestra (anexo 2), salvo los referentes a la persona/entidad responsable de la toma de muestra, además de:
 - Observaciones sobre el estado en que se recibe la muestra.
 - Observaciones relevantes que figuran en la ficha de muestreo.
 - Observaciones relevantes a tener presentes para su preparación.

10.1.2. Acompañando a la muestra durante su preparación

- Clave identificativa de la muestra.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Volumen de muestra.
- Observaciones relevantes a tener presentes para su preparación.

- Relación de las anomalías habidas durante la preparación.
- Registro de otros datos relevantes obtenidos durante la preparación.

10.1.3. Información adicional

Hay que considerar que el laboratorio solo se puede responsabilizar de la muestra que recepciona, a la hora de proporcionar sus resultados en cuanto a su contenido de radiactividad, por lo tanto, si la entidad que realiza la toma de muestras no es el mismo laboratorio, a este se le debe proporcionar información adicional respecto al procedimiento de toma de muestras, por ejemplo:

- Muestreador utilizado, incluyendo, entre otra información, la sensibilidad y precisión con la que proporciona los valores de caudal.
- Tipo de filtro utilizado, en particular las características de la eficiencia de colección de aerosoles y/o radioyodos para las condiciones de trabajo.
- Superficie de captación del filtro y/o dimensiones del cartucho de carbón activo.

10.2. *Procedimiento de conservación de la muestra*

La regla de oro a seguir en cuanto se recepciona una muestra, es que esta se prepare para su análisis en el menor tiempo posible, aunque, para cierto tipo de determinaciones, deberá ser el propio laboratorio el que determine el tiempo de espera aconsejable. En cualquier caso, durante el tiempo que transcurre entre el ingreso de la muestra en el laboratorio y su medida, debe garantizarse que las condiciones para la conservación, tanto de los filtros como de los cartuchos, son tales que permitan mantener inalteradas sus principales propiedades físico-químicas, evitando su posible contaminación. Estos aspectos son particularmente importantes en los filtros con aerosoles, ya que con frecuencia puede prolongarse su conservación, al ser necesario efectuar algún tipo de análisis sobre un conjunto de los mismos.

10.2.1. Filtros para la recolección de aerosoles

Debe limitarse al mínimo tiempo posible la duración del almacenamiento de la muestra en el laboratorio, previo a su preparación y puesta a disposición para su medida o tratamiento radioquímico, momento en el que se analizará si existe algún tiempo de espera aconsejable antes de efectuar determinados tipos de medidas o de tratamientos, o si deben acumularse varios filtros para su posterior medida o tratamiento conjunto.

En todo caso, su almacenamiento en el laboratorio se realizará siempre en lugares frescos, dentro de recipientes cerrados, situados en el interior de un desecador, de forma que se evite la alteración de la masa recolectada y se les proteja de toda contaminación.

10.2.2. Cartuchos de carbón activo para la recolección de radioyodos

En este caso la regla de preparar la muestra para ponerla a disposición para ser medida o tratada radioquímicamente en el menor tiempo posible se convierte en fundamental, ya que se pretende cuantificar la actividad de radioyodos, y muy frecuentemente efectuar de forma sistemática el seguimiento del yodo-131, radioisótopo con un periodo de semidesintegración de 8,04 días.

En todo caso, hasta su medida o tratamiento radioquímico, debe mantenerse la muestra en lugar fresco, herméticamente cerrada y dentro de un desecador, para evitar las pérdidas de radioyodos colectados o alteraciones en el sustrato.

10.3. Procedimiento de preparación de la muestra

10.3.1. Equipamiento y materiales

Salvo el horno mufla, no necesariamente imprescindible para la preparación de la muestra, ya que dependerá de los análisis a realizar y de la operativa del laboratorio, el resto de equipamiento y materiales son de uso muy común en cualquier laboratorio básico de química. Es necesario seguir las pautas establecidas en este documento para la selección de filtros y captadores de radioyodos, así como las especificaciones de los fabricantes de dichos materiales, en cuanto a sus características y comportamiento para los flujos de aspiración utilizados y para las propiedades de la atmósfera a muestrear.

Seguidamente, se aporta una relación no exhaustiva de los equipos y materiales precisos para poder llevar a cabo la preparación de las muestras objeto de este procedimiento. En la mayoría de los casos, se destaca alguna de las características mínimas que deben satisfacer los equipos a utilizar, como puede ser la capacidad y/o la sensibilidad que se recomienda posean las balanzas a utilizar, o la temperatura mínima que debe alcanzar el horno con el que trabajar, aunque de hecho dichos requisitos mínimos son ampliamente satisfechos por la práctica totalidad de las marcas que fabrican esos equipos de laboratorio.

- Horno mufla con temperatura regulable hasta al menos 650°C.
- Balanza de al menos 250 g de capacidad y precisión 0,1 mg.

- Filtros adecuados para la captación de aerosoles.
- Cartuchos de carbón activo adecuados para la captación de radioyodos.
- Cápsulas de porcelana con tapadera.
- Desecador y pesafiltros.
- Envases con geometrías adecuadas para los diferentes tipos de medida, tales como: cápsulas plásticas tipo Petri, planchetas portafiltros, bolsas de plástico autosellables.
- Material de uso común en el laboratorio: espátula, productos de limpieza, etiquetas autoadhesivas, guantes, rotulador indeleble, etc.

Se debe evitar la transferencia del contenido radiactivo de unas muestras a otras. Para ello, los aparatos y materiales que se empleen en la preparación de estas muestras se mantendrán siempre limpios y en perfecto estado de uso, verificando este aspecto rigurosamente con anterioridad a la preparación de cada una de ellas.

10.3.2. Procedimiento

Durante el tránsito por los diferentes laboratorios de preparación, radioquímica y medida, tanto las muestras de aerosoles como las de radioyodos deben ir siempre acompañadas, no solo de su identificación, sino también de la información necesaria para conocer: a) la evolución que han ido experimentando como consecuencia de los tratamientos a los que se les ha ido sometiendo; b) los tratamientos y/o análisis que se deberán llevar a cabo; y c) si finalmente debe almacenarse una vez medida.

La preparación a la que se deben someter los filtros de aerosoles depende tanto del tipo como de las determinaciones que deban realizarse sobre estos. Por ello, y para dotar de la máxima generalidad a este procedimiento, se ha desarrollado suponiendo que sobre cada filtro o conjunto de los mismos se van a efectuar consecutivamente alguna o todas las siguientes determinaciones: medida de los índices de actividad alfa y/o beta total del filtro individual, espectrometría gamma de un filtro individual o de un conjunto de éstos y la determinación de uno o varios radionucleidos específicos emisores alfa y/o beta, no concretados *a priori*.

Normalmente, la determinación de los índices de actividad alfa y/o beta total en aerosoles se lleva a cabo utilizando equipos de bajo flujo y la preparación de la muestra previa a su medida es prácticamente nula, limitándose al conocimiento de la cantidad de depósito en el filtro (obtenido por diferencia de pesada), tras lo cual, el filtro se mide normalmente en un contador proporcional o un detector de ZnS.

En el caso de la espectrometría gamma, la preparación se limita a introducir los filtros en un contenedor, típicamente cajas Petri o similares, de forma que para la geometría resultante se tenga calibrado en eficiencias el espectrómetro a emplear. Este aspecto es relativamente automático para los filtros utilizados en bombas de bajo caudal, mientras que para los utilizados en bombas de alto caudal y dado el relativamente gran tamaño de los filtros que se usan, lo habitual es disminuir el tamaño de estos para adaptarlos al del detector y maximizar su eficiencia. Para ello, existen distintas alternativas: plegado manual con o sin sobrepresión del filtro o calcinación a baja temperatura. Una vez sellado e identificado el contenedor, se remite para el análisis gamma.

Si se deben realizar separaciones radioquímicas o si hay que separar alícuotas para diferentes laboratorios, las recomendaciones de este procedimiento son diferentes según se trate de filtros correspondientes a muestreadores de bajo flujo o de alto flujo.

En el caso de bajo flujo y dado que este documento recomienda el uso de filtros de nitrato de celulosa, la recomendación es la separación de la muestra de la matriz que la soporta (filtro), preferentemente eliminando esta última por calcinación en el caso de que las determinaciones a realizar así lo permitan. En este caso, debe ponerse atención en que la muestra resultante ha de poseer un color homogéneo y ausencia de restos de carbón, delatada por puntos negruzcos. Sobre el residuo obtenido o su posterior disolución en un medio ácido ya se pueden tomar alícuotas con las debidas garantías. La lixiviación del filtro, si debido a las determinaciones a realizar su calcinación no es aconsejable, se debe realizar con cuidado para no usar ácidos que después sean incompatibles con la separación radioquímica a realizar o dificulten esta. Sin embargo, se desaconseja en este documento la división del filtro en diferentes fracciones por ser casi imposible poder garantizar la homogeneidad entre todas ellas.

La calcinación se puede realizar siguiendo este procedimiento operativo:

- Pesar una cápsula de porcelana con tapadera de tamaño adecuado para situar en su interior los filtros a calcar.
- Colocar el (los) filtro(s) en la cápsula de porcelana de tamaño adecuado, tapándola a continuación.
- Calcinarlos en un horno mufla siguiendo las siguientes pautas:
 - Subir paulatinamente la temperatura, durante 24 horas, desde la ambiente o mínima del horno, hasta la temperatura seleccionada.
 - Calcar durante 12 horas a 400 °C.
 - Bajar paulatinamente la temperatura, durante 12 horas, hasta la mínima del horno.

- Sacar la cápsula de porcelana del horno y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.
- Obtener la masa de las cenizas de los filtros calcinados, Pc(400).

Ahora bien, en el caso del alto flujo, es casi imposible la calcinación de todo el filtro usado y la posterior disolución del producto resultante; también su lixiviación puede resultar en muchos casos complicada, según la cantidad/calidad de los aerosoles recolectados en el filtro. Por lo tanto, en este caso, la toma de fracciones representativas puede ser una solución adecuada, teniendo cuidado con el corte de estas para evitar la pérdida de material y siempre teniendo presente que es posible que la cantidad de material depositada en cada alícuota puede no ser igual; por lo que habrá que pesar la parte de filtro sobre la que efectivamente se haya realizado la captación (mancha) y después las correspondientes alícuotas, teniendo cuidado de que todas ellas tengan el mismo tamaño. Sobre una de estas alícuotas ya se podrá realizar bien una calcinación, siguiendo el procedimiento detallado en los párrafos anteriores, o bien una lixiviación.

Para el caso de los radioyodos recolectados en cartuchos de carbón activado, se contempla una doble alternativa para la preparación de la muestra, en base a que la determinación de la actividad vaya a efectuarse de manera directa, mediante espectrometría gamma, o tras la oportuna separación radioquímica.

Medida directa:

- Introducir el carbón activado en un recipiente con la geometría adecuada para su medida en el detector, sellándolo posteriormente para evitar las posibles pérdidas de radioyodos. En función de las geometrías para las que se posea calibrado el espectrómetro gamma, puede ser necesario abrir el cartucho, distribuyendo su contenido en dicho recipiente.
- Identificar el recipiente con, al menos, la clave de la muestra.

Separación radioquímica:

- Abrir el cartucho de carbón activado e introducirlo en un recipiente con cierre estanco.
- Identificar el recipiente con, al menos, la clave de la muestra.
- Remitir la muestra para su separación radioquímica.

11. Bibliografía

- ANSI/HPS N13.1 (2021) *Sampling and Monitoring Releases of Airborne Radioactive Substances From the Stacks and Ducts of Nuclear Facilities.*
- ASTM D1357-95(2000) *Standard Practice for Planning the Sampling of the Ambient Atmosphere.*
- ASTM D1739: D1739-98 (2004) *Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter)*
- ASTM C999-17 (2017) *Standard Practice for Soil Sample Preparation for the Determination of Radionuclides*
- CE (Comunidad Europea): Directiva 1999/30/CE del Consejo, *relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.*
- CEI/IEC 61171 (1992) *Radiation protection instrumentation – Monitoring equipment – Atmospheric radioactive iodines in the environment.*
- CEI/IEC 61172 (1992) *Radiation protection instrumentation – Monitoring equipment – Radioactive aerosols in the environment.*
- DOE-HDBK-1216-2015 (2022) *Environmental Radiological Effluent Monitoring and Environmental Surveillance*
- EPA (2022) *Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols Manual (MARLAP).*
- Gavila Frank M. *Radioiodine Collection Filter Efficiency Testing Program at F&J Specialty Products, Inc. 12TH Annual RETS/REMP Workshop.*
- HASL-300 (1997) *Methods of Sampling. Section 2.2: Air, Vol. I.*
- IAEA- Technical Reports Series N° 295 (1989) *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment.*

- IAEA Workplace Monitoring Training material, *Lesson 6: Workplace Monitoring of Air Activity* y *Lesson 10: Iodine Monitoring*
- ISO 2889 (2023) *Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities.*
- ISO 20044 (2022) *Measurement of radioactivity in the environment - Air: Aerosol particles. Test method using sampling by filter media.*
- Kathren, Ronald L. (1991) *Radioactivity in the environment: sources, distribution and surveillance.* Harwood Academic.
- Le Petit, G., Millies-Lacroix, J. C., & Simon, F. (1998). *Measurement of radioactive aerosols as an original indicator of atmospheric pollution in urban areas.* The 5th conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association (SPERA). Environmental radioactivity and its application in environmental studies Conference papers, (p. 292). Australia
- NRC Regulatory Guide 1.52 (2012) *Design, Inspection, and Testing Criteria for Air Filtration and Adsorption Units of Post-Accident Engineered-Safety-Feature Atmosphere Cleanup Systems in Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants*
- NRL Report 6054 (1964) *Characteristics of Air Filter Media Used for Monitoring Airborne Radioactivity.* By L.B. Lookhart y otros.
- Oak Ridge Institute for Science and Education (2000) *Air Sampling for Radioactive Materials Course* (H-119). STP-00-035.
- RAC Report No. 1-CDC-SRS-1999-Final (2001): *Savannah River Site Environmental Dose, Reconstruction Project.*
- UNE-EN ISO 19112:2019. *Información geográfica. Sistemas de referencia espaciales por identificadores geográficos.* (ISO 19112:2019)
- UNE 77204, 1998: *Calidad del Aire. Aspectos Generales. Vocabulario.* Confirmada en 2016.
- UNE 73320-3, 2004: *Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras, parte 3: Aerosoles y radioyodos.*



Anexo 1. Ejemplo de etiqueta de muestra

Referencia de la muestra:

Punto de muestreo:

Destinatario:

Dirección postal

Entidad que toma la muestra:

Fecha y hora:

NOTA: Cuando el destinatario coincide con la entidad que toma la muestra, se hará constar en el programa de muestreo y no será necesario rellenar ambos.

Anexo 2. Ejemplo de hoja de recogida de datos

Referencia de la muestra:	
Tipo de colector/filtro (marca y modelo):	
Procedimiento de muestreo:	
Punto de muestreo (Coordenadas y altitud):	
Duración del muestreo:	
Fecha y hora de inicio:	
Fecha y hora de fin:	
Caudal del muestreo (l/m):	
Volumen captado (m ³):	
Tiempo del muestreo (h):	
Observaciones y anomalías:	
Destinatario:	
Dirección postal	
Entidad que toma la muestra:	
Identificación de quien toma la muestra:	
Fecha y hora:	

Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en aerosoles y radioyodos

Colección Informes Técnicos 11.2005
Serie Vigilancia Radiológica Ambiental
Procedimiento 1.7 (Rev.1, 2025)