

Lección 6

Monitorización del aire en el lugar de trabajo



Contenido

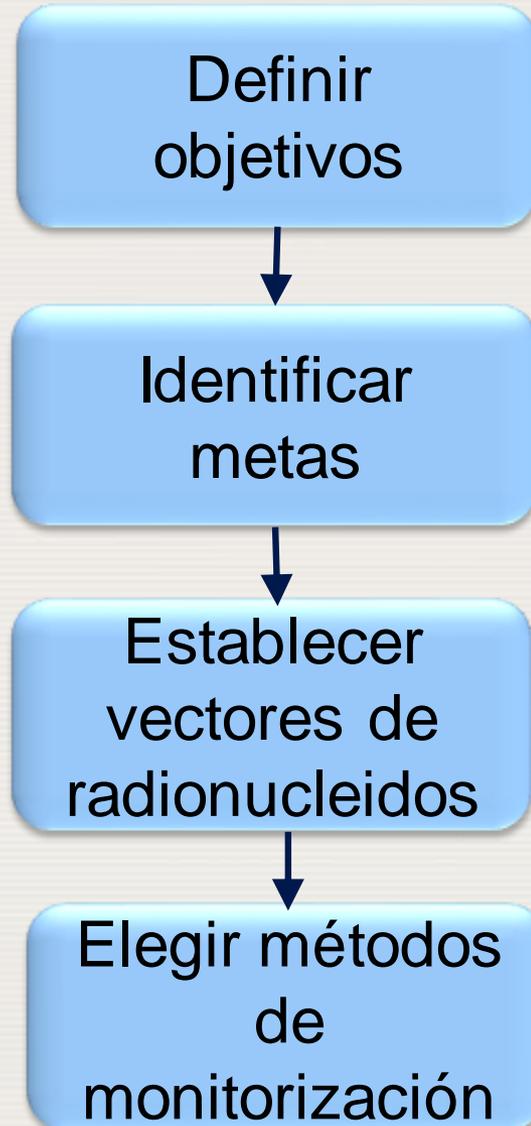
- Diseño del programa de monitorización de la actividad en el aire (actividad volumétrica).
- Técnica y equipos.
- Calibración, pruebas de aptitud (*type tests*) y verificación.

Actividad en el aire

La Actividad en el aire puede presentarse en diferentes formas:

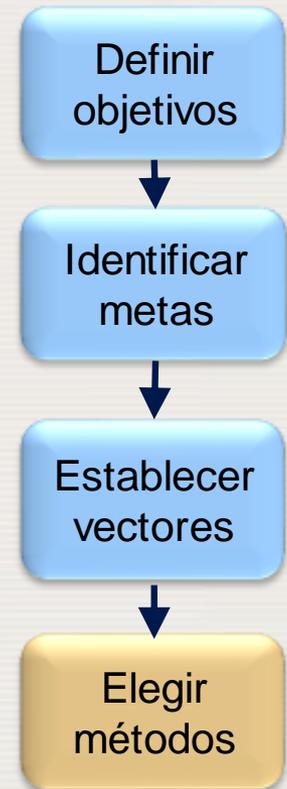
- Partículas: polvo, productos de corrosión, productos de fisión, actínidos ...
- Vapores (HTO, ..)
- Gases: gases nobles (Xe, Kr, Ar), yodo.

Diseño del programa de MLT del aire



Objetivos principales

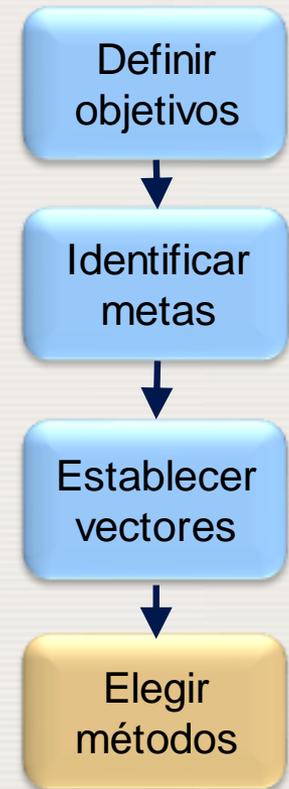
- Controlar la incorporación de radionucleidos detectando e impidiendo su inhalación.
- Proporcionar aviso inmediato a los trabajadores para evacuar la zona en caso de pérdida de contención.
- Seleccionar el equipo de protección personal adecuado.



El método de medición

El método de medición depende:

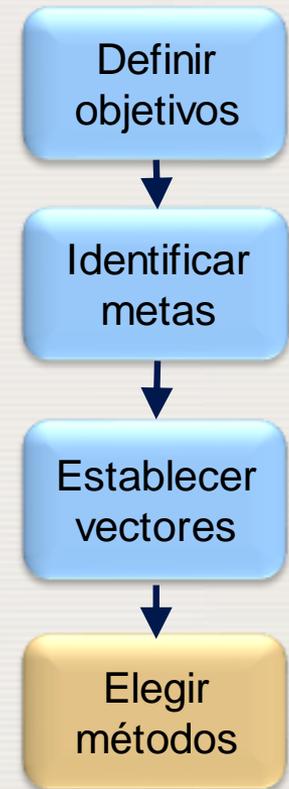
- del objetivo de la medición;
- de los radionucleidos de interés;
- del tipo de emisión; α , β o γ , γ
- de la forma física de la contaminación del aire, por ejemplo, aerosoles.



Importancia del muestreo de aire

La importancia del muestreo de aire se basa en:

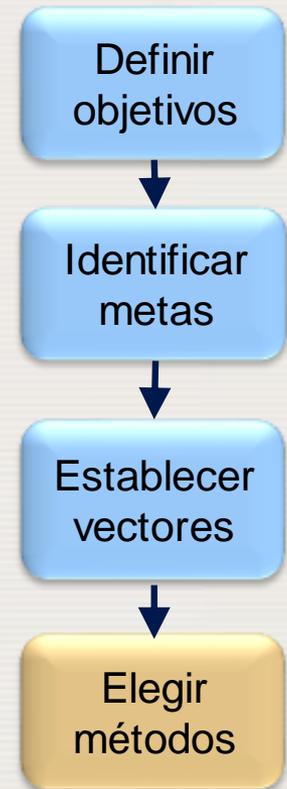
- La actividad de los radionucleidos manejados;
- la radiotoxicidad de los radionucleidos;
- la forma física y química de la contaminación del aire, y
- los sistemas de contención.



Vectores de radionucleidos

Es necesario conocer:

- los radionucleidos y su forma química y física que se esperan en el lugar de trabajo, y la actividad esperada de cada radionucleido.
- Esta información es llamada “impresión digital” o “vector de radionucleidos”. Los métodos para obtener esta información son explicados en la Lección 1.



Vectores en diferentes instalaciones

Instalación/operación	Radionucleidos
Exploración y explotación minera	^{238}U , ^{234}U , ^{222}Rn y sus progenies
Procesamiento de torio	^{232}Th , ^{228}Th , ^{220}Rn y sus progenies
Enriquecimiento de uranio	UF_6 es el principal peligro debido a la toxicidad química
Laboratorios	^{125}I , ^{32}P , ^{35}S , ^{14}C , ^3H , etc.

Vectores en diferentes instalaciones

Instalación/operación	Radionucleidos
Producción de combustible nuclear	Natural/enriquecido U, Pu
Operación del reactor nuclear	Productos de fisión p. ej. Xe, Kr, yodo; (^{131}Xe , ^{85}Kr , ^{131}I , ^{137}Cs , etc.) y activación p. ej. ^3H , ^{41}Ar , ^{16}N , ^{24}Na etc. Productos de corrosión (^{60}Co , ^{108}Ag , ^{54}Mn , etc.)
Reprocesamiento de combustible gastado	Productos de fisión p. ej. ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{137}Cs y actínidos p. ej. U, Pu, Am etc.

Vectores en diferentes instalaciones

Instalación/operación	Radionucleidos
Gestión de desechos radiactivos	Productos de fisión y activación
Procesamiento de radioisótopos, aplicaciones médicas e investigación de radioisótopos	Depende del radioisótopo que se manipula (^{125}I , ^{32}P , ^{14}C , ^3H)
Aceleradores	Productos de activación (depende del material cercano) - ^7Be , ^{22}Na , ^{26}Al , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co y ^{60}Co

Los vectores

- Producir una lista completa de radionucleidos en cada área de trabajo y sus proporciones de actividad relativa.
- Desde el punto de vista de la dosis, identificar en la mezcla cuales son los radionucleidos más importantes.

Concentración derivada en aire

- La “Concentración Derivada en Aire”, CDA, expresada en Bq/m³, se define como aquella concentración de actividad en el aire tal que respirada por el trabajador de referencia expuesto continuamente durante un año (tomadas como 2000 horas de trabajo por año) a una tasa de respiración estándar de 1,2 m³/h, resultaría en una incorporación igual al “Límite anual de incorporación” (LAI)

$$\text{CDA} = \frac{\text{Límite anual de incorporación (Bq)}}{2400 \text{ m}^3}$$

Ejemplo de cálculo de CDA

$$CDA = I_{j,inh,L} / (2000 * 1,2)$$

Asumir ^{137}Cs en el aire con $5 \mu\text{m}$ de AMAD*.

$$e(g)_{inh} = 6,7 \text{ E-9 Sv/Bq}$$

Límite de dosis anual = $20 \text{ mSv} = 0,02 \text{ Sv}$

$$I_{j,inh,L} = 0,02 / 6,7 \text{ E-9} = 3 \text{ E+6 Bq}$$

$$CDA = 3 \text{ E+6} / (2000 * 1,2) = 1,3 \text{ kBq/m}^3$$

La utilización de CDA-h

La actividad volumétrica (Bq/m^3) expresada como una fracción de la CDA y multiplicada por el tiempo de exposición en horas, da una estimación de la incorporación expresada en CDA-h.

Por ejemplo: trabajando durante una semana con 0,1 CDA resultaría en 4 DAC-h, o una incorporación de $4/2400 = 0,002 I_{j,\text{inh},L}$.

2400 DAC-h corresponde a una incorporación de $I_{j,\text{inh},L}$.

Métodos de monitorización del aire

- La medición en tiempo real (continua) está diseñada para activar una alarma en caso de una inesperada liberación de material radiactivo para limitar al máximo posible una incorporación por parte de los trabajadores.
- Medición diferida o “a posteriori” en un laboratorio de análisis de una muestra tomada en el lugar de trabajo.

Métodos de monitorización del aire

- El muestreador puede ser de volumen bajo, medio o alto.
- Muestreo puntual (grab sample) - usado cuando se manejan fuentes abiertas de vez en cuando. También se realiza en operaciones específicas que generan un aerosol localizado.

Métodos de monitorización

- Para determinar si se requiere muestreo o monitorización en tiempo real, cuantifique la posible liberación en Bq/m^3 .
- Calcular la incorporación anual potencial utilizando la concentración esperada, la ocupación del área durante un año y el límite de incorporación calculado a partir del vector de radionucleidos.
- La incorporación anual potencial debería ser entonces comparada con la tabla siguiente:

¿Cuándo necesitamos MLT del aire?

Incorporación anual como fracción de LIA	Recomendación
$< 0,02$	Generalmente no es necesario hacer monitorización del aire. Una MLT rutinaria para contaminación de superficies es suficiente.
$\geq 0,02$ y $< 1,0$	<p>Se recomienda monitorización del aire si la actividad volumétrica puede exceder 0,1 DAC promediado sobre 40 h o por más tiempo.</p> <p>Se recomienda el monitoreo en tiempo real cuando las concentraciones de actividad pueden exceder 1 DAC promediado sobre 40 h.</p>
$\geq 1,0$	Se recomienda la monitorización en tiempo real del aire con capacidad de alarma.

El monitoreo en tiempo real

- El monitoreo en tiempo real es obligatorio cuando es necesario alertar a las personas potencialmente expuestas a aumentos inesperados en los niveles de radiactividad en el aire.

Casos que requieren monitorización del aire

- Cuando se manejan altas actividades de radionucleidos gaseosos o volátiles.
- Cuando el manejo de un material radiactivo abierto puede causar contaminación frecuente y sustancial del lugar de trabajo.

Casos que requieren monitorización del aire

- Durante el procesamiento de materiales radiactivos con moderada o alta toxicidad.
- Durante la manipulación de radionucleidos no sellados en hospitales.
- Durante operaciones con celdas calientes (hot cells) o reactores nucleares.

Diseño del programa de monitorización

El programa de monitorización debe especificar:

- Las magnitudes a ser medidas;
- la ubicación de los puntos de medición;
- el número de puntos a ser monitorizados, y
- la frecuencia de la medición.

Equipos y técnicas de monitorización de actividad volumétrica

Monitorización de aire para emisores alfa y beta

- Medición en tiempo real o diferida.
- Medio de captura.
- El equipo y técnicas de monitorización de aerosoles.
- Parámetros que influyen en la eficiencia de detección.
- Incertidumbres.

Métodos de medición

- Medición en tiempo real o diferida.
- El filtro puede ser estático cambiable periódicamente o un filtro móvil o cinta. En cada caso, el filtro es medido por un detector.

Métodos de medición

Medición diferida en un laboratorio de análisis.

- El método diferido tiene una mejor sensibilidad para niveles más bajos de actividad volumétrica debido a un mayor volumen de aire muestreado y formas más sofisticadas de análisis del medio filtrante.
- En algunos casos, los dos métodos (tiempo real y diferido) se pueden utilizar simultáneamente.

Muestreadores de aire

- Muestreadores de aire (bajo, medio y de alto volumen)



Bajo volumen
(0,04 a 0,1 m³/min)



Alto volumen (portátil)
(0,5-1,0 m³/min)



Alto volumen (portátil)

Equipos de monitorización en tiempo real

El equipo consiste en:

- entrada de aire (cabezal);
- tubo para transportar los aerosoles al filtro de colección;
- dispositivo para medir la caída de presión del filtro (no es necesario cuando se utiliza un caudalímetro de masa);
- dispositivo de medición de caudal;
- bomba de aire;
- medio de retención;
- equipo de medición, y
- dispositivo de alarma.



Técnicas de monitorización de partículas

Los desafíos incluyen:

- Para algunos radionucleidos un DAC corresponde a un número bajo de partículas por metro cúbico de aire.
- Interferencia debido a la presencia de radionucleidos naturales en el aire, como radón y sus productos de desintegración.
- Encontrar una muestra representativa.

Técnicas de monitorización de partículas

- Los desafíos incluyen:
 - pérdida de partículas desde el punto de liberación hasta el equipo de detección;
 - pérdida de partículas en las líneas de muestreo, y
 - La eficacia de recolección de los filtros.

Interferencia del radón

- Los emisores de partículas alfa como el plutonio tiene una muy alta dosis comprometida por unidad de incorporación por inhalación. La CDA es típicamente $0,2 \text{ Bq/m}^3$
- Los radionucleidos que emiten beta tienen una dosis comprometida por Bq incorporado mucho menor, la CDA es típicamente mayor que 100 Bq/m^3 .

Interferencia del radón

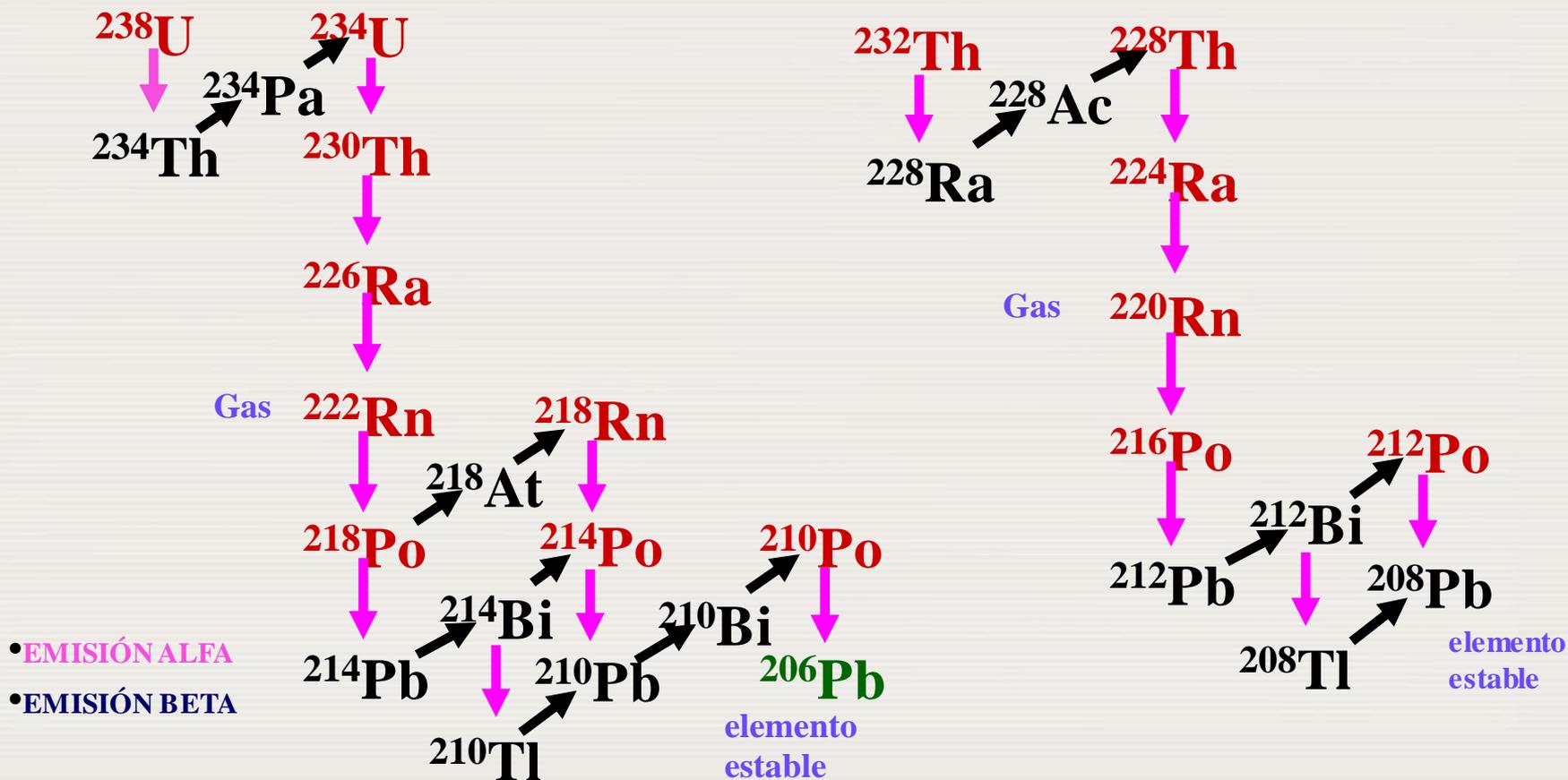
- En los lugares de trabajo es común encontrar niveles de 20 a 40 Bq/m³ de la progenie del radón.
- La concentración de la progenie del radón varía con el número de cambios de aire por hora.

Interferencia del radón

Las soluciones incluyen:

- Uso de técnicas de discriminación de radón y torón y cambios de filtro más frecuentes, específicamente en áreas con alto contenido de radón o polvo.
- Utilizar altas tasas de flujo de aire para recolectar más radiactividad, pero las tasas de flujo de aire de monitores en tiempo real son limitadas.
- Usar tiempos de conteo más largos para lograr menores límites inferiores de detección.

Cadenas de desintegración del ^{238}U y ^{232}Th



Vida media: ^{214}Pb -27 min, ^{214}Bi -20 min, ^{214}Po -180 sec

Compensación de la radiactividad natural

La compensación de la radiactividad natural está basada en:

- Discriminación entre los pulsos electrónicos generados por la progenie del radón y la de los radionucleidos artificiales.
- Un software de procesamiento de datos que permitirá compensar la actividad natural.
- En caso de la medida diferida de radiactividad, la actividad recolectada en el filtro es medida después del decaimiento de la progenie del radón.

Decaimiento de actividad natural

Dos mediciones del filtro se realizan de la siguiente forma:

- la primera medición se realiza después de al menos 5 horas para permitir el decaimiento de los productos de media vida corta del ^{222}Rn , y
- la segunda medición se realiza después de 5 días para permitir el decaimiento de los hijos de media vida corta del ^{220}Rn .

Características del flujo de muestreo

- El aire suele pasar directamente a través del filtro del muestreador, pero pueden utilizarse ciclones(*) para excluir partículas mayores que las de tamaño respirable)
- Generalmente el flujo de muestreo varía entre 30 l/min y 100 l/min. Altas velocidades de flujo provocarán la rotura de filtros. Bajos flujos reducen la eficiencia de recolección de partículas. Un valor típico es 10 litros/minuto por cm^2 de medio filtrante.
- El flujo es medido por medio del medidor de flujo másico o del medidor de flujo de volumen localizado después del medio de recolección.

Factores que influyen en el volumen de aire muestreado

Los dos factores principales que influyen en el volumen de aire muestreado son:

- La presión atmosférica y
- La temperatura del aire.

Ubicación de los monitores de aire

- Concentraciones de materiales radiactivos en el aire varían ampliamente en el espacio y el tiempo.
- Deberían realizarse estudios de las corrientes de aire para identificar la mejor ubicación del muestreador.
- Las muestras de aire deben recolectarse colocando el monitor en un punto cercano a la fuente, en la dirección en que sopla el viento (con viento a favor), para que la medición sea mas efectiva. Para medir la incorporación de los trabajadores, este punto debe estar en zonas de respiración.

Ubicación de los monitores de aire

- Para comprobar la efectividad de la contención, el monitor de aire debe colocarse cerca del punto de liberación.
- Para medir la incorporación de trabajadores, el monitor de aire debe colocarse en la zona de respiración.

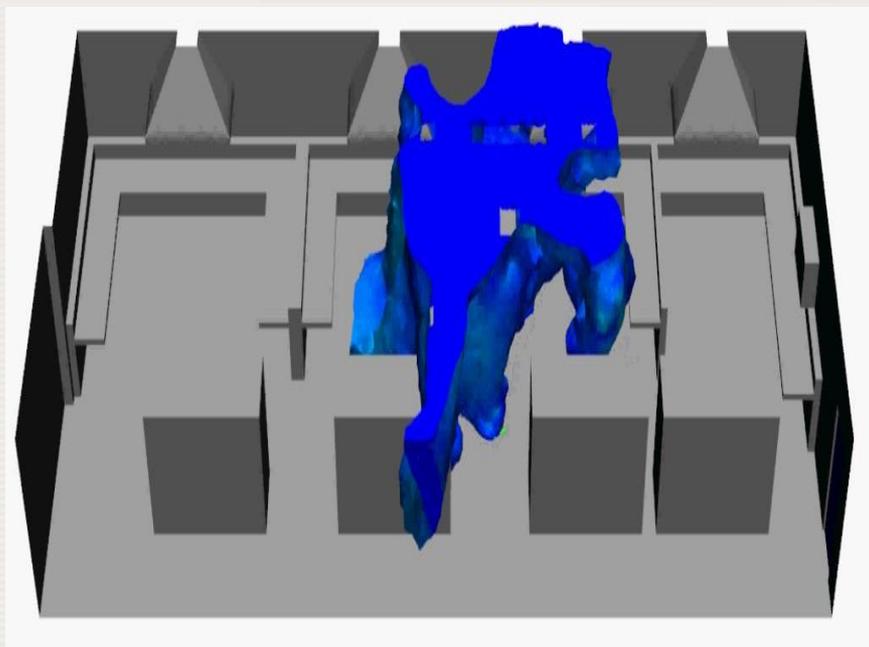
Ubicación de los monitores de aire

MÉRITOS RELATIVOS (CARACTERÍSTICAS RELATIVAS) DE LAS LOCALIZACIONES (POSICIONES) DEL MUESTREADOR DE AIRE

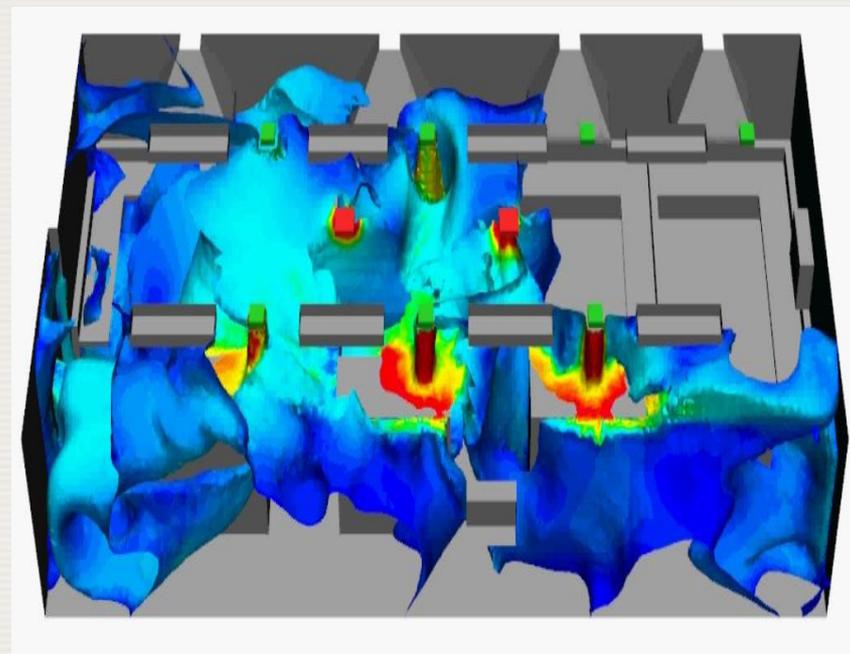
	Ubicación del muestreador de aire	
	Cerca del punto de liberación	Lejos del punto de liberación (En la ventilación de extracción)
Dilución	baja	alta
Ajuste de la alarma del monitor de aire	Puede ser más alto	Debe ajustarse bajo
Concentración del penacho (pluma)	alta	baja
Tiempo de respuesta de la alarma	corto (1 min)	largo (Varios minutos)
Probabilidad de que se detecte la pluma	más baja	más alta
Nivel de detección	bajo (bueno)	alto (malo)

Migración de actividad en el aire

Transporte aéreo después de 120 segundos de la liberación.



Sin ventilación



Con ventilación

Eficiencia del circuito de muestreo

Si no se puede colocar el monitor en el área, se puede utilizar un circuito de muestreo para transportar los aerosoles, pero es imposible transportar aerosoles en una línea de muestreo sin pérdida, y por lo tanto es necesario:

- conocer los diferentes mecanismos de pérdida de partículas y los métodos de reducción de las pérdidas;
- optimizar las dimensiones de la tubería de muestreo, y
- estimar las pérdidas para calcular la eficiencia de muestreo del dispositivo.

Eficiencia del circuito de muestreo

Los principales parámetros que influyen en la pérdida de aerosoles en la línea de muestreo son:

- tamaño de las partículas muestreadas;
- velocidad del flujo de aire en las tuberías;
- dimensiones, forma y construcción de las tuberías;
- carga eléctrica en los tubos y aerosoles;
- diferencia de temperatura entre la pared de la tubería y el aire, y
- humedad.

Eficiencia del circuito de muestreo

- Las tuberías de muestreo deben ser cortas, < 2 m en la distancia horizontal.
- Si son > 2 m, es posible modelar la eficiencia de la línea de muestreo utilizando códigos y programas comercialmente disponibles.
- Una regla empírica: 50% de partículas de $10 \mu\text{m}$ se pierden en 1,5 m de tubería horizontal.

Minimización de la deposición de partículas

- Minimizar el número de curvas en el sistema.
- Evitar curvas pronunciadas (90 grados).
- Optimizar el diámetro del tubo con relación al flujo. Utilizar un diámetro de 20 mm con 37 LPM.
- Utilizar tubos lisos con el mismo diámetro.
- Utilizar válvulas de bola que no retengan partículas.

Circuito de muestreo

- El material de la línea de muestreo debe elegirse cuidadosamente prestando especial atención a la corrosión química o “efectos de memoria”.
- Es preferible usar tubos de acero inoxidable y no de PVC para reducir la deposición de partículas.
- Otros componentes del equipo también deben diseñarse para minimizar la pérdida de partículas en las paredes.

Circuito de muestreo

- Los aerosoles deben entrar en la unidad de medida desde todas las direcciones posibles.
- Entrada de aerosoles a partir de una sola dirección puede resultar en la recolección no uniforme de partículas de mayor tamaño ($> 1 \mu\text{m}$) en el papel de filtro.
- La recolección no uniforme en el filtro puede alterar la eficiencia de detección.
- La presencia de aerosoles radiactivos en la pared de la unidad de medida puede aumentar el fondo y, en consecuencia, aumentar el límite de detección del monitor.

Elección del filtro de recolección

El filtro de recolección debe elegirse teniendo en cuenta los parámetros:

- eficacia de recolección $> 90\%$ para partículas con un AMAD de $5 \mu\text{m}$.
- Los niveles de polvo y radón en la instalación.

Elección del filtro de recolección

El filtro de recolección debe ser elegido teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- penetración de partículas en el filtro y sus efectos en la eficiencia de conteo y la resolución espectral;
- diferencia de presión con relación al flujo de aire esperado y a las características de la bomba;

Elección del filtro de recolección

El filtro de recolección debe ser elegido teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- diferencia de presión con relación a la masa recolectada en el filtro y a las características de la bomba;
- resolución de espectrometría alfa para monitorización en tiempo real utilizando el método de discriminación de radionucleidos naturales.

Límites de detección

- El límite de detección está influenciado por la incertidumbre de la medición, que se determina por:
 - el volumen de aire muestreado;
 - el tiempo de conteo;
 - la radiación de fondo, y
 - la eficiencia de detección.
- Se pueden reducir las incertidumbres aumentando el volumen de aire muestreado o aumentando el tiempo de recuento, los cuales afectarán la frecuencia de cambio del filtro.

Cálculo de la actividad volumétrica

Para medición diferida:

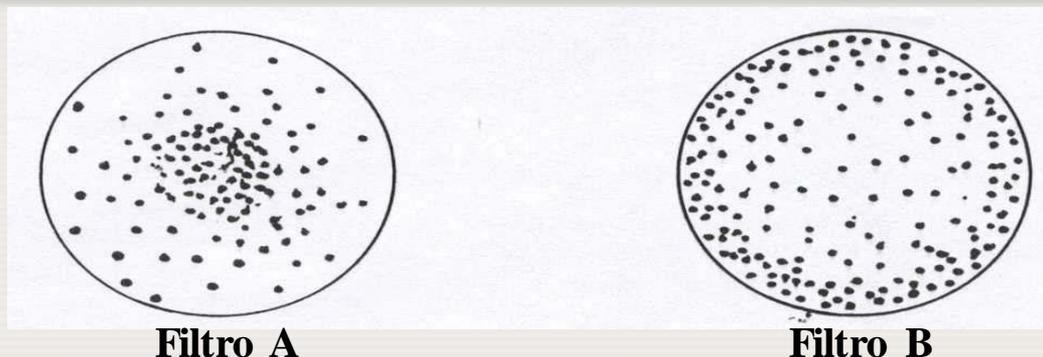
$$CS = RN / (V \times e \times SA \times CE \times CF)$$

- CS = concentración de actividad al final del tiempo de ejecución de la muestra.
- RN = tasa de conteo menos el fondo.
- V = volumen de muestra.
- e = eficiencia del detector.
- SA = factor de auto-absorción.
- CE = eficacia de recolección.
- CF = conversión de desintegraciones por unidad de tiempo a actividad.

Parámetros que influyen en la eficiencia de detección

- La auto-absorción de partículas alfa o beta recogidas en el filtro.
- Acumulación de polvo en el filtro.
- En lugares de trabajo muy polvorientos, puede ser necesario cambiar los filtros dos veces al día, o tener que reducir el flujo de aire. En estos casos se pueden utilizar monitores de filtros móviles.
- La ubicación de las partículas depositadas en el filtro y por lo tanto, la geometría de detección.

Parámetros que influyen en la eficiencia de detección



- El patrón de deposición en el filtro A muestra una concentración de material cerca del centro del filtro. Si la eficiencia del detector se determina con una fuente uniforme de radiactividad en Bq/cm^2 , la actividad en el filtro se sobreestima.
- El patrón de deposición en el filtro B muestra una concentración de material cerca del borde externo del filtro. Si la eficiencia del detector se determina con una fuente uniforme de radiactividad en Bq/cm^2 , se subestima la actividad en el filtro.

Dispositivo de alarma

- Establecer niveles de alarma tan bajos como sea razonablemente práctico para identificar los cambios en las condiciones sin causar un gran número de falsas alarmas debidas al radón.
- Analizar experiencias anteriores con el monitor.
- El nivel de alarma puede ser más alto cuando se usa protección respiratoria.
- Se pueden establecer niveles de alarma inmediatos o integrados (a largo plazo).

Calibración, pruebas y verificación

Pruebas de aptitud (*type testing*)

- Los equipos de monitorización de aire para MLT deben pasar por pruebas de aptitud (*type tests*) para demostrar su adecuación.
- Los *type tests* de equipos de monitorización de aire consisten en pruebas exhaustivas para determinar el rendimiento de los sistemas de muestreo y medición (p. ej., respuesta, linealidad, dependencia energética) y el efecto de factores ambientales como campos eléctricos, temperatura, etc.

Pruebas de aptitud (*type tests*)

- Las pruebas de aptitud por lo general son realizadas por fabricantes o laboratorios independientes de acuerdo con criterios de desempeño y procedimientos estipulados en normas nacionales e internacionales.
- Las pruebas de aptitud se realizan normalmente en un prototipo o en un equipo elegido de forma aleatoria de un lote de producción.

Calibración

- Antes de su uso, los equipos de monitorización de aire deben tener una calibración válida del sistema de detección y del medidor de flujo del aire.
- La calibración debe realizarse con una fuente radiactiva trazable (p. ej., planchetas o filtros) con las mismas características que la fuente utilizada durante los *type tests* (tamaño, radionucleidos y material) y de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Calibración

- Para el sistema de conteo, la sensibilidad del detector debe ser la recomendada en norma IEC apropiada.
- Se debe definir la frecuencia de calibración y se deben registrar los resultados en un informe.

Calibración

Componente	Calibración
Muestreador diferido	Prueba de la bomba y precisión de velocidad del aire; fugas de aire; alarma de flujo baja, y alarma de presión diferencial baja y alta.
Muestreador en tiempo real	Igual que el anterior pero también: actividad de fondo, prueba de alarma y eficiencia de detección.
Equipo de conteo de laboratorio	Actividad de fondo, eficiencia de detección dependencia energética, interferencia entre partículas alfa y beta (<i>cross response</i>) y linealidad.

Prueba de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento incluirán:

- comprobación visual de la condición física, cable etc.;
- indicación de fondo;
- Indicación de la fuente de control (no la fuente estándar);
- prueba de la alarma;
- comprobación del flujo de aire, y
- comprobación de parámetros pre-configurados.

Muchas gracias por
vuestra atención y...

SE ABRE EL DEBATE