

Lección 5

Monitorización de la contaminación superficial en el lugar de trabajo



IAEA

International Atomic Energy Agency

Contenido

- Introducción
- La técnica
 - Medición directa
 - Medición indirecta
- Equipos
- Calibración, verificación y pruebas
- Medición en la práctica
- Casos específicos y análisis de resultados

Introducción

Definiciones y tipos

- Contaminación es la presencia de radiactividad donde no es deseada (aire, agua, contaminación interna, etc.)
- Si la contaminación superficial se puede eliminar fácilmente se llama contaminación transferible (o suelta).
- Si la contaminación no se puede eliminar fácilmente, se denomina contaminación no transferible (o fija).

¿Qué causa contaminación superficial?

- Derrame de material radiactivo, ya sea sólido o líquido.
- Contaminación del aire.
- Contacto de un objeto contaminado (manos, zapatos, ropas, etc.) con la superficie.

¿Por qué medir contaminación superficial?

La contaminación superficial transferible puede causar:

- transferencia de contaminación de la superficie a la atmósfera, llevando a exposición interna por inhalación o ingestión, y
- exposición externa de todo el cuerpo, ojos o extremidades, si la contaminación es significativa.

La contaminación superficial no transferible puede causar:

- contaminación transferible en el futuro, y
- exposición externa de todo el cuerpo, ojos o extremidades, si la contaminación es significativa.

Objetivos do MLT

- Verificar que los niveles de contaminación sean menores que los niveles permisibles. Los límites están definidos en las normas vigentes en el país.
 - Áreas libres: entre 0,1 y 0,4 Bq/cm² para emisores alfa y entre 1 y 4 Bq/cm² para emisores beta/gamma.
 - Áreas controladas: entre 1 y 4 Bq/cm² para emisores alfa y entre 10 y 40 Bq/cm² para emisores beta/gamma.

Objetivos do MLT

- Verificar la clasificación de áreas controladas y supervisadas.
- Detectar y prevenir la propagación de contaminación incluyendo fallas en sistemas de contención y posibles desviaciones de las buenas prácticas de trabajo.
- Ayudar a tomar decisiones sobre monitorización individual y evaluación de dosis.

La técnica

Métodos de medición

- Medición directa:
 - detectar contaminación directamente utilizando equipos;
 - se usa para detectar tanto contaminación no transferible (fijas) como transferible (suelta).
- Medición indirecta:
 - usando frotador seco o húmedo;
 - detección de contaminación en el frotador con equipos de conteo;
 - se utiliza para detectar sólo la contaminación transferible (suelta).

Medición directa

- El barrido de la superficie se deberá hacer usando la salida auditiva. Cuando se ha encontrado el área contaminada, el equipo se debe sostener rígido y la lectura se debe usar para estimar la contaminación superficial.
- Medidas integradas pueden ser usadas para detectar niveles más bajos y hacer mediciones más repetibles.
- No mover el equipo e integrar la cuenta durante un corto período de tiempo, por ejemplo, 10 segundos.

Medición directa

Considerar:

- el tipo y la ubicación de la contaminación;
- el área a monitorear;
- la distancia entre el detector y la superficie, y
- la velocidad de la monitorización.



Medición directa

Considerar el tipo y ubicación de la contaminación.

- Presencia de agua/grasa/suciedad/pintura/cera en la superficie (considere auto-absorción).
- El tipo y energía de la radiación emitida de la superficie y uniformidad de la contaminación.
- Otras fuentes de radiación en las cercanías. Es posible que sea necesario remover fuentes o blindar la fuente apropiadamente antes de que se inicie la monitorización de contaminación.

Medición directa

Considerar el área a monitorear:

- La ventana del detector define el área mínima promedio.
- Para superficies como suelo, paredes, etc., la contaminación debe promediarse en un área de 1000 cm² o menos.
- Normas nacionales pueden indicar el área máxima promedio.

Medición directa

Considerar la distancia detector – superficie:

- Emisores alfa y beta de baja energía se detectarán si la distancia entre sonda y superficie no es superior a unos pocos milímetros debido al corto alcance de estas partículas.
- Nunca permita que la sonda toque la superficie ya que podría contaminar la sonda. (p. ej.: utilice un espaciador).

Medición directa

Considerar la velocidad de la monitorización:

- Generalmente se recomienda a partir de la experiencia práctica una velocidad del barrido como una dimensión del detector por segundo.
- Cuanto más rápido sea el movimiento, menor será el nivel de detección.

Medición directa – ejemplo de cálculo

- Eficiencia de conteo = 5%, Área de la ventana del detector = 50 cm², recuentos por segundo = 2,0 cps, recuentos por segundo de radiación de fondo = 0,5 cps.

$$\text{contaminación superficial (Bq/cm}^2\text{)} = \frac{(\text{cps} - \text{cps}_{\text{fondo}}) \times 100 / \text{eficiencia}}{\text{área de la ventana}}$$

$$\text{contaminación superficial} = 0,6 \text{ Bq/cm}^2$$

Medición indirecta

- La prueba de superficie (wipe test) se utiliza para estimar la contaminación no fija o transferible (suelta).
- El método seco o húmedo puede ser usado. La eficiencia de la colección se mejora mojando el frotador con agua o alcohol. Para emisores alfa nunca mojar el frotador.
- Las muestras pueden ser analizadas usando un monitor de contaminación en el lugar de trabajo o pueden ser analizadas en laboratorio.

Medición indirecta

- Normalmente el área cubierta por una frotación es de 100 cm². Para una respuesta ¿está contaminado sí/no?, se puede muestrear una área más grande.
- El área de frotación puede estar establecida por regulación nacional.
- Si no lo está, el experto cualificado debería definir el área.

Medición indirecta

- Para contaminación localizada, use una área de 100 cm².
- Subdivida áreas grandes en áreas más pequeñas y realice una prueba de superficie en cada una.
- Realice la prueba para cada objeto.
- En la práctica se puede utilizar una combinación de ambos métodos (directo e indirecto).

Material del frotador

- Se utilizan varios tipos de materiales incluyendo papel, espuma de poliestireno, hisopos de algodón, parches de tela y filtros de fibra de vidrio.
- Frotadores de área grande generalmente usan tela de algodón o papel.
- Se puede usar cinta adhesiva para recolectar partículas para análisis.
- Solventes incluyen metanol o agua destilada. El frotador debe estar seco antes del conteo.

Procedimiento de prueba de superficie

- Prepare frascos marcados o sobres, según sea apropiado.
- Se pueden utilizar cajas pequeñas con separaciones, bolsas de plástico o sobres para evitar contaminación cruzada entre frotadores.
- Use guantes.
- Superficies rugosas generalmente no deben estar sujetas a pruebas de superficie.

Procedimiento de prueba de superficie

- El material debe ser frotado con una presión uniforme sobre el área de interés.
- Use tenazas si hay altos niveles de actividad o altas tasas de dosis.
- Coloque cada muestra en frascos o sobres separados.
- Tenga en cuenta la ubicación de la muestra cuando sea apropiado.

Conteo del frotador

- El método de análisis depende del nivel de contaminación.
- Para una alta actividad en el frotador, realice una monitorización directa.
- Para emisores alfa y actividades más bajas de emisores beta o gamma de baja energía, realizar el análisis en un laboratorio.
- Manipule los frotadores con pinzas.

Conteo del frotador

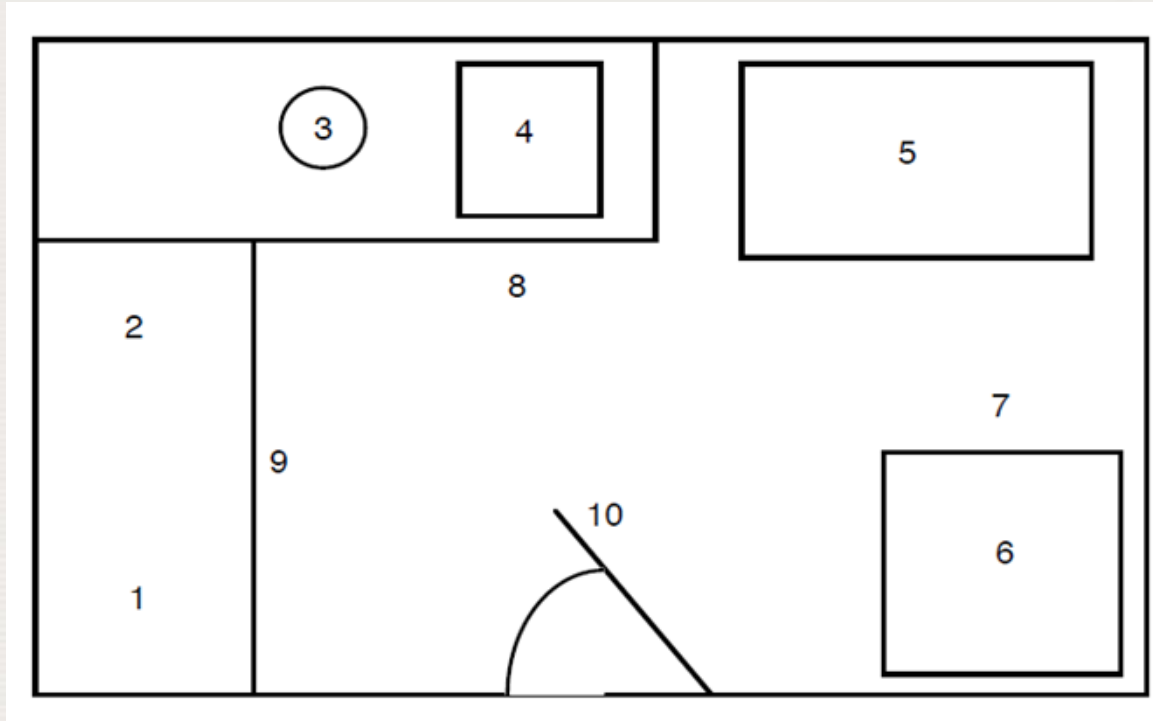
- Los frotadores se cuentan típicamente por un minuto, dependiendo de la sensibilidad requerida.
- Asegúrese de que el fondo y un frotador en blanco son contados.
- Si el frotador requiere un análisis adicional, no utilice el recuento de centelleo líquido, reserve el frotador para análisis radioquímico por si fuera necesario.

Registro de resultados

Si no se registran los resultados de la monitorización, entonces nunca se hicieron (es como si nunca se hubieran hecho). El registro incluye:

- fabricante, modelo y número de serie del equipo de monitoreo de contaminación utilizado;
- medición de fondo;
- lugar de la medición y cualquier dificultad, y
- el resultado en Bq/cm².

Registro de resultados



Sugerencia de puntos de monitoreo en un laboratorio.

1,2,- Mesa, 3 - Centrifugadora, 4 - Fregadero, 5 - Piso, 6 - Estantes del refrigerador, 7, 8, 9 - Piso,10 - Manija interior de la puerta

Factores que influyen en los resultados

- El “factor de remoción” es el porcentaje de contaminación removido por una frotación de la superficie. El factor depende de:
 - el tipo de frotador utilizado;
 - la presión aplicada durante la prueba;
 - la porosidad, composición química, textura y limpieza de la superficie.

Factores que influyen en los resultados

- Tradicionalmente se utiliza un factor de remoción de 10%.
- El factor de auto-absorción por el frotador es normalmente 25% para emisores alfa y 5% para emisores beta.

Prueba de superficie - ventajas

- Las mediciones realizadas durante más tiempo en el laboratorio pueden proporcionar un límite de detección más bajo que con el método directo.
- Los radionuclídeos pueden ser identificados por espectrometría.
- El método se puede utilizar en áreas de radiación de fondo alta o donde la geometría física y la accesibilidad sean un problema.
- Para algunos radionuclídeos que emiten betas de baja energía (^3H por ejemplo), esta es la única manera de medir la contaminación superficial.

Prueba de superficie - limitaciones

- No mide contaminación fija.
- La incertidumbre asociada con la prueba de superficie es alta. La mayor incertidumbre está en el factor de remoción.
- La prueba podría no detectar el área de contaminación o no medir puntos contaminados específicos.

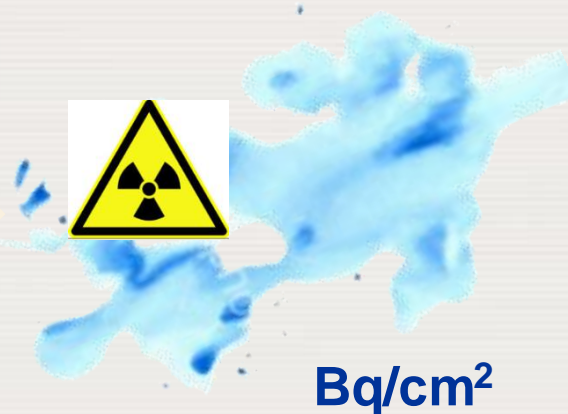
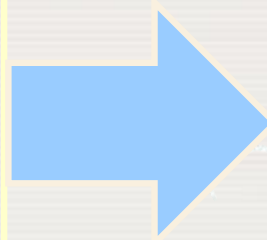
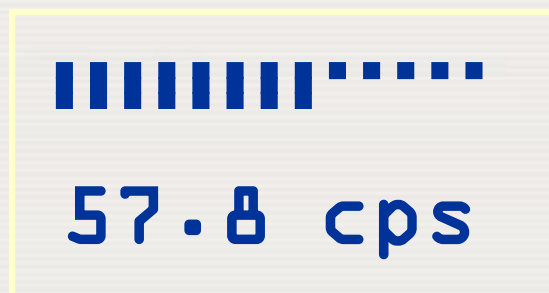
El experto cualificado y oficial de protección radiológica siempre debe interpretar los resultados e identificar si se hace necesaria más monitorización.

Calibración, verificación y pruebas

Conversión de cps a Bq/cm²

Un enfoque diferente es necesario:

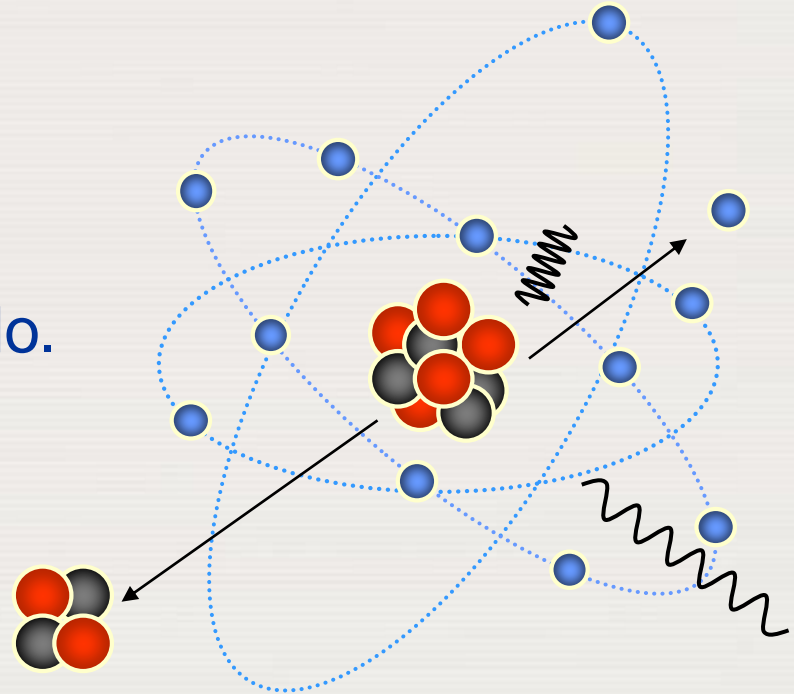
- El equipo no exhibe la magnitud de protección radiológica que se debe medir. Hace falta la conversión de cps a Bq/cm².



Conversión de cps a Bq/cm²

Conversión de cps a Bq/cm² – aspectos a tener en cuenta:

- tipo de radiación (α / β / γ);
- energía de la radiación;
- tamaño de ventana, y
- recuento de radiación de fondo.



Conversión de cps para Bq/cm²

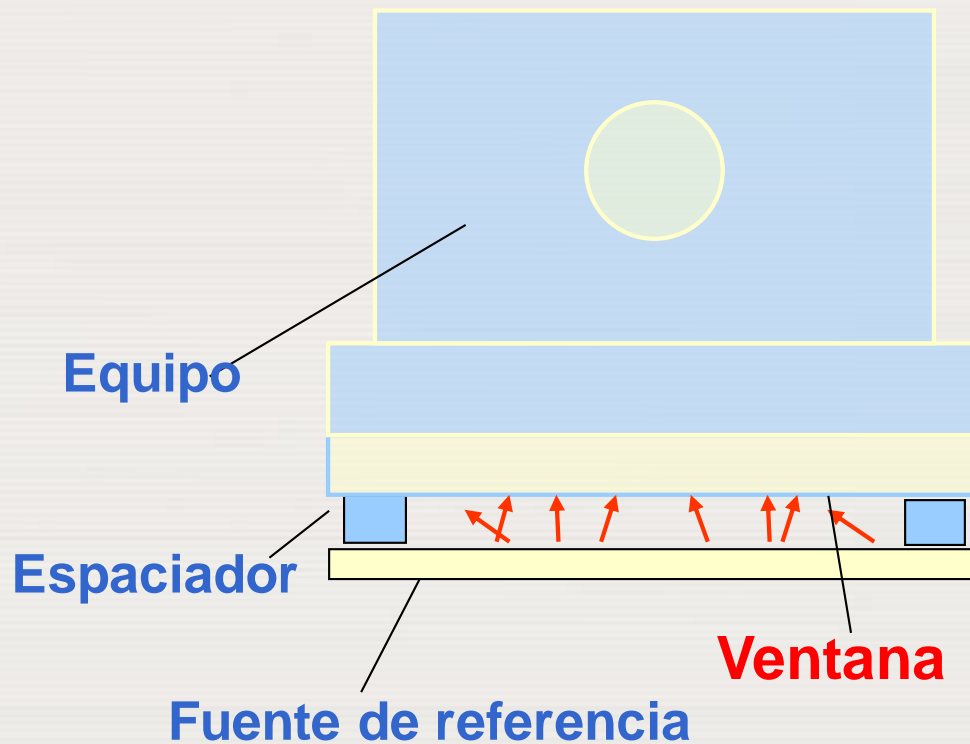
Por lo tanto, la calibración de un monitor de contaminación debe:

- Realizarse con una variedad de tipos y calidades de radiación (fuentes de referencia de radionucleidos) – con emisiones compatibles con aquellas con las que el equipo se medirá.

$$\text{Factor de calibración}_{\text{nucleido}} = \frac{\text{Bq/cm}^2}{\text{cps}}$$

Calibración

Calibración: ¿Cómo funciona en la práctica?



Calibración

- Medir la respuesta de la fuente en cps.
- Lo ideal es que la fuente de referencia sea una fuente de área grande con unidades de Bq/cm^2 . En ese caso, calcular el factor de conversión directamente.
- Si la fuente está en Bq, entonces dividir por el área de la fuente.
- Expresar el factor de conversión en $\text{Bq}/\text{cm}^2/\text{cps}$.

Calibración

- La frecuencia de calibración debe definirse en la documentación del sistema de gestión de calidad.
- Los resultados de calibración deben registrarse en la hoja de datos del equipo o documentarse de otra manera.
- Para mantener la calidad de la fuente de referencia se recomienda que ésta no se utilice para las pruebas funcionales de los equipos.
- Las sondas no deben intercambiarse y el equipo siempre debe calibrarse y probarse como una unidad.

Calibración

- Normas nacionales o del OIEA especifican la frecuencia de calibración, generalmente entre uno a dos años.
- Para calibrar el equipo de conteo, utilizar una fuente con el mismo tamaño y geometría que el frotador.

Prueba de funcionamiento

- Para garantizar la confiabilidad y verificar la estabilidad del equipo, se debe utilizar una fuente de verificación (*check source*) antes de cada día de medición.
- Verificar la integridad física del detector, especialmente la ventana, el cable y la sonda.
- Para contadores proporcionales, verificar la presión del gas o rellenar la cámara.
- Verificar la fecha de calibración.

Prueba de funcionamiento

- ¿La batería tiene suficiente carga para el período de trabajo?
- ¿La tasa de conteo de fondo es creíble?
- ¿Cambia la tasa de conteo cuando el cable entre la sonda y el equipo es flexionado?
- ¿La alarma funciona?

Prueba de funcionamiento

- Coloque el detector en una fuente de verificación alfa o beta de actividad baja con la fuente normalmente en el centro de la ventana. Compruebe si la lectura está dentro del rango esperado, normalmente $\pm 10\%$.
- Para una sonda de centelleo, deje que la luz caiga sobre la ventana para detectar pequeños orificios en ésta.

Medición en la práctica

Elección del equipo

- Se debe hacer una lista completa de los radionucleidos que podrían encontrarse y estudiar los esquemas del decaimiento.
- El equipo debe ser elegido en función del tipo y de la energía de radiación emitida.
- En la práctica, más de un equipo puede ser necesario.

Mediciones de contaminación superficial

Antes de realizar una medición:

- seleccionar el equipo correcto (tipo de radiación, energía y rango de Bq/cm²);
- realizar la prueba de funcionamiento, y
- encender la señal de audio. Establecer los niveles de las señales de alarma.

Mediciones de contaminación superficial

Al realizar la medición:

- siga el procedimiento para la medición (más detalles más adelante). Permita un tiempo apropiado para que la lectura del equipo se estabilice, y
- cuando se indique un resultado de medición inusualmente alto o bajo, actúe inmediatamente.

Mediciones de contaminación superficial

Al realizar la medición:

- mantenga la ventana delgada alejada de objetos afilados para evitar daños irreparables en el detector;
- apague el equipo cuando no esté en uso, y
- si el equipo tiene una sonda, no sostenga la sonda por el cable.

Cálculo de contaminación superficial no fija

Contaminación superficial = CS

$$CS = (N - N_b) / (E \times A \times F) \text{ Bq/cm}^2,$$

donde:

- **N** = tasa de conteo total en recuentos por segundo (cps) medido directamente o en el frotador.
- **N_b** = tasa de recuento del blanco (cps).
- **E** = eficacia del equipo para el isótopo específico (*).

Cálculo de contaminación superficial no fija

Contaminación superficial = CS

$$CS = (N - N_b) / (E \times A \times F) \text{ Bq/cm}^2,$$

donde:

- **A** = área frotada en cm² (no mayor que 100 cm²) o área de la ventana del detector (medición directa).
- **F** = factor de recogida del frotador (por ejemplo, un valor de F = 0,1; es decir, 10%).

Consideraciones específicas para emisores alfa

Mediciones de contaminación alfa

- Los emisores alfa tienen coeficientes de dosis de inhalación (Sv/Bq) más elevados en comparación con emisores beta o de fotones.
- Esto conduce a un nivel aceptable más bajo de contaminación superficial con emisores alfa, generalmente 10 veces menor que la contaminación beta (y no más de 0,4 Bq/cm²).
- Cualquier partícula alfa detectada es significativa.

Mediciones de contaminación alfa

- Las mediciones son difíciles debido al muy corto rango de radiación alfa en el aire y a la absorción en la propia superficie.
- Alfas son muy susceptibles a la atenuación en capas de grasa o polvo en la superficie y también exigen que cualquier sonda se mantenga a no más de unos pocos mm de la superficie.

Mediciones de contaminación alfa

- La velocidad de barrido para alfas es lenta.
- Es aconsejable utilizar equipos con el mayor tamaño de ventana posible.
- Aumentar el área de la ventana puede aumentar la velocidad de monitoreo. Usar áreas de por lo menos 100 cm², para mayor holgura.

Equipo para contaminación alfa

Se emplean comúnmente dos tipos de detectores:

- detector de centelleo de sulfuro de zinc, ya sea como detector de alfas solamente, o depositado en una placa de centelleador de plástico como un detector de alfa y beta, y
- Contador proporcional recargable de ventana delgada.

Equipo para contaminación alfa

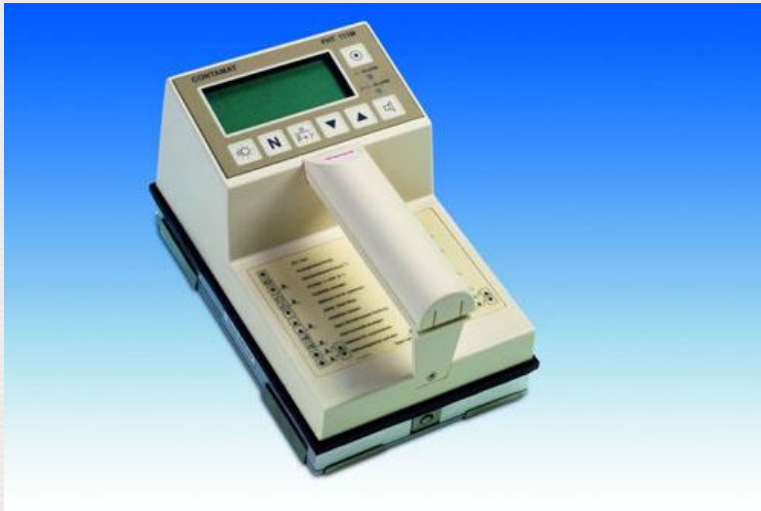


Detector de centelleo ZnS para alfa



Detector de centelleo ZnS para alfa

Equipo para contaminación alfa



Cámara proporcional de gas butano para alfas.

Equipo para contaminación alfa



G-M “pancake”

Área de ventana = 12 cm²

Eficiencia = 15% para ²³⁹Pu



Mediciones de contaminación alfa

Se pueden utilizar dos métodos:

- barredura en modo cps, y
- modo estático integrado: colocar la sonda sobre la superficie durante un tiempo conocido y registrar los recuentos.

Mediciones de contaminación alfa

- Tenga cuidado de mantener una distancia constante de unos pocos mm entre la ventana del detector y la superficie a medir.
- Para mantener una distancia constante, puede ser útil pegar un separador de plástico o de goma desechable en el marco del detector (no en la ventana). El espaciador puede entrar en contacto con la superficie y ser sustituido cuando sea necesario.

Mediciones de contaminación alfa

- El equipo utilizado para mediciones de contaminación de superficies alfa muestra una tasa de fondo gamma muy baja, generalmente alrededor de 0,1 cps para una sonda de 100 cm².
- Si se toca la superficie contaminada con la ventana, puede contaminarse la ventana o la sonda, y los bajos niveles de contaminación de la ventana producirán una alta tasa de fondo.

Mediciones de contaminación alfa

- Dos desventajas de los detectores de área grande son: (1) su peso y tamaño y (2) si la actividad es en forma de un punto caliente discreto, podría ser promediada sobre el área del detector y por lo tanto, el conteo en Bq/cm² en un área pequeña podría ser alto.
- Una ventana grande tampoco permitirá localizar un pequeño punto de contaminación.

Mediciones de contaminación alfa

- Los monitores de suelo pueden utilizar muchos detectores al mismo tiempo, aumentando así la sensibilidad.
- Si es necesario, se puede utilizar un detector con una ventana más pequeña para ubicar el punto caliente.

Interpretación de resultados de medición

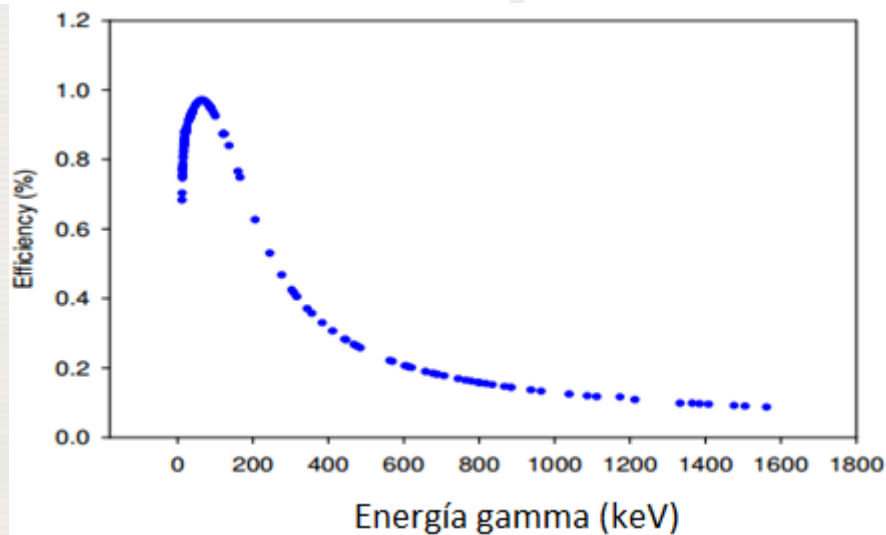
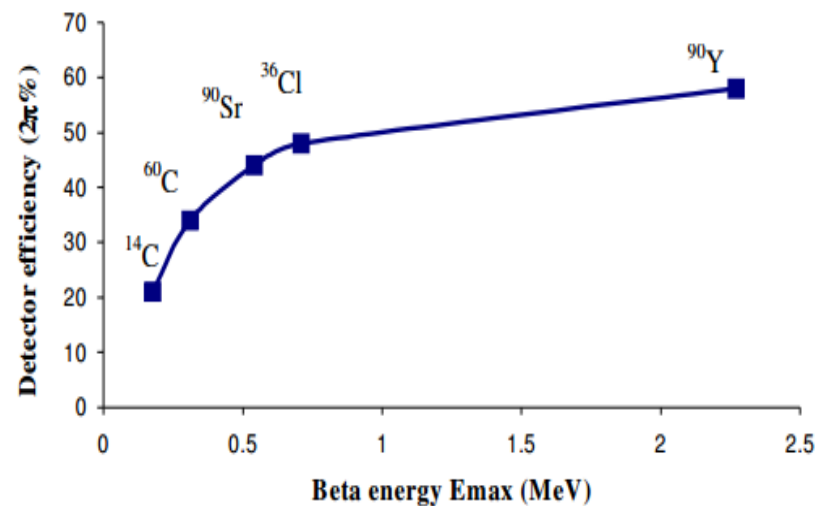
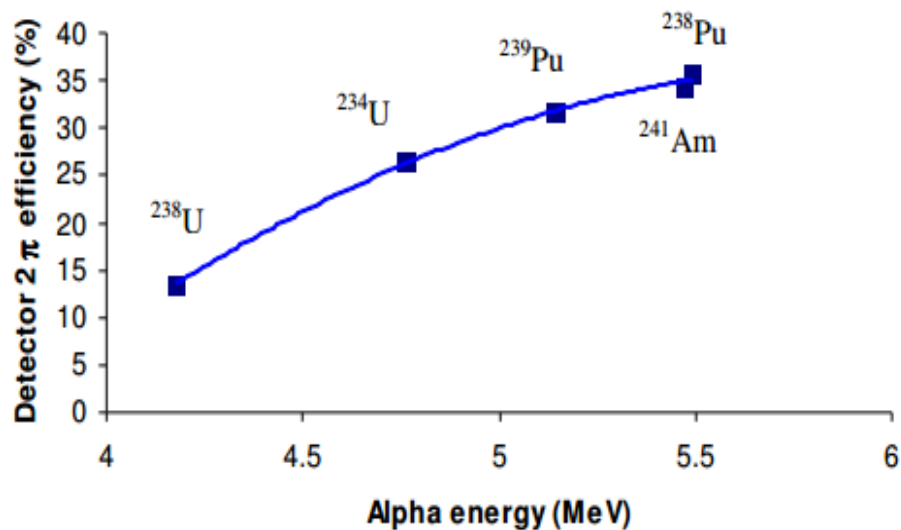
- La interpretación de la medición depende del tipo de superficie.
- Las superficies lisas, como el acero inoxidable, tendrán una alta eficiencia, mientras que las superficies como la madera, tendrán una eficiencia deficiente o podrán ocultar la contaminación.

Interpretación de resultados de medición

- Una capa de sólo 2 mg/cm² absorberá completamente partículas alfa e impedirá la monitorización (para agua, aceite y grasa, esto corresponde a una capa de 20 micrómetros).
- Es importante tener en cuenta la condición de las superficies monitoreadas. Si puede haber alguna duda sobre la eficiencia de la detección, esto debe ser considerado durante la interpretación.

Consideraciones específicas para emissores beta

Gráfico de eficiencia vs energía



Mediciones de contaminación beta

- La mayoría de los equipos de medición de contaminación beta detectan betas con E_{\max} mayores que 150 keV.
- Es necesario monitorar la radiación beta de baja energía a unos pocos mm de la superficie para detectar contaminación.
- Por debajo de esta energía, el rango de la partícula beta es demasiado pequeño; no es suficiente para cruzar unos pocos mm de aire y penetrar en la ventana de un detector.

Mediciones de contaminación beta

- Equipos de conteo de laboratorio se pueden utilizar para detectar betas de baja energía, p. ej., ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^3H (centelleo líquido o contadores proporcionales – consulte Lección 7).
- Equipos proporcionales de flujo de gas sin ventanas están disponibles en el mercado, aunque estos son difíciles de usar en la práctica.

Mediciones de contaminación beta

- Para radiación beta de mayor energía (p. ej., ^{90}Sr , ^{32}P), la sonda puede sostense hasta 1cm de la superficie que se está monitorando con poco impacto en la tasa de conteo.
- Equipos para de medición de contaminación de superficie beta mostrarán un recuento significativo debido a radiación gamma artificial o natural.
- Este recuento es de alrededor de 1 cps por 20 cm² de ventana de la sonda.

Mediciones de contaminación beta

- El nivel autorizado de contaminación beta para áreas libres es normalmente mayor que para contaminación alfa, típicamente 4 Bq/cm^2 .
- Este nivel por lo general sólo se puede detectar en bajos niveles de fondo gamma.
- La monitorización de estos niveles debe llevarse a cabo en un fondo gamma bajo o debe realizarse una medición indirecta.

Equipos para mediciones beta

Se pueden utilizar varios tipos de equipos para mediciones de contaminación beta directa:

- detectores GM de ventana fina;
- detectores GM con paredes finas de vidrio o metal ($E_{\max} > 0,5 \text{ MeV}$);
- contadores proporcionales recargables de gas (*);
- contadores proporcionales sellados de ventana delgada con xenón, y
- detectores de centelleo de ventana delgada(*).

Equipos para mediciones beta



Sonda "pancake"



Detector de centelleo

Interpretación de resultados

- La medición beta de baja energía tiene problemas de interpretación similares a los de alfa.
- Hay un número limitado de radionucleidos disponibles para calibración y pruebas de aptitud (*type tests*). A menudo es necesario estimar la respuesta para los radionucleidos en la instalación.
- Utilice un factor de conversión conservador en caso de una mezcla de radionucleidos.

Consideraciones específicas para emissores de fotones

Mediciones de emisores de fotones

- Varios radionucleidos emiten rayos X de baja energía, típicamente por un proceso de captura de electrones. El ^{125}I emite dos rayos X a 27 keV y 32 keV y un gamma con 35 keV.
- Se pueden encontrar radionucleidos emisores de rayos X en la contaminación alrededor de reactores. El más importante es el ^{55}Fe que emite un rayo X con 5,19 keV.

Mediciones de emisores de fotones

- La mayoría de los emisores gamma también emiten radiación beta y, por lo general, la radiación beta es la más fácil de detectar en una superficie. Los ejemplos típicos son ^{137}Cs y ^{60}Co .
- Sondas beta no detectarán emisores de rayos gamma/X puros, pero también pueden evaluarse utilizando el factor de escala basado en el vector de radionucleidos si es que hay una mezcla de éstos.

Mediciones de emisores de fotones

- Hay dos problemas conflictivos que hacen que la misma sonda no se pueda utilizar para medir las emisiones de rayos gamma/X de energías baja y alta.
- Para energías bajas del fotón, la ventana del detector tiene que ser delgada y tener un número atómico bajo para asegurar una buena transmisión.
- Para energías altas, el problema es asegurar que la radiación penetrante sea parada en el detector. Esto requiere un detector con alta masa por unidad de área y un número atómico alto.

Equipos para mediciones rayos X/gamma

Hay dos tipos de detectores:

- contador proporcional con xenón, más útil para energías más bajas, y
- detector de centelleo de NaI(Tl) con ventana de aluminio o berilio para un rango más amplio de energías.



**Contador proporcional
con xenón**



**Detector de centelleo de
NaI(Tl)**

Equipos para mediciones rayos X/gamma

- Detectores de centelleo de NaI(Tl) son generalmente menos sensibles que los contadores proporcionales llenos de xenón.
- Como las sondas están diseñadas para detectar contaminación gamma, son muy sensibles a la radiación de fondo y pueden tener una tasa de conteo de fondo significativa.

Equipos para mediciones rayos X/gamma

- Monitores para mediciones de fotones de baja energía detectarán emisores beta. En caso de duda, blinde las betas con un filtro.
- Tubos fotomultiplicadores son susceptibles a campos magnéticos, a menudo se suministran con escudos metálicos para superar este problema.

Mediciones de contaminación rayos X y γ

- Una distancia de unos centímetros de la superficie es adecuada para energías más altas. Para bajas energías, la medición debería realizarse ser más cerca.
- La salida de audio debe utilizarse para localizar la contaminación. Entonces el operador debe mover la sonda para maximizar la tasa de recuento.
- En áreas de fondo elevado hacer una medición indirecta.

**Muchas gracias por
vuestra atención y...**

SE ABRE EL DEBATE