

Curso de entrenamiento

Monitorización del lugar de trabajo



IAEA

International Atomic Energy Agency

Objetivos del curso

- Fortalecer el programa de protección radiológica ocupacional en los Estados Miembros ayudando a establecer un programa de monitorización radiológica del lugar de trabajo proporcionando información sobre:
 - información básica y la importancia de la monitorización radiológica;
 - técnicas y equipos de monitorización radiológica;
 - la utilización práctica del equipo y la interpretación de los resultados, y
 - calibración y gestión de la calidad.

Contenido del curso

El curso contiene tres módulos:

- Módulo 1: cuatro lecciones sobre la monitorización de tasa de dosis (fotones, partículas beta y neutrones) y contaminación superficial.
- Módulo 2: tres lecciones sobre la monitorización de la contaminación del aire; gases nobles, yodo, tritio y ^{14}C .
- Módulo 3: cinco lecciones prácticas y demostraciones.

Contenido del Módulo 1

- Lección 1: Principios básicos de monitorización del lugar de trabajo – I
- Lección 2: Principios básicos de monitorización del lugar de trabajo – II
- Lección 3: Medición e incertidumbres

Contenido del Módulo 1

- Lección 4: Monitorización de tasa de dosis – fotones.
- Lección 5: Monitorización de tasa de dosis – beta y neutrones.
- Lección 6: Monitorización de la contaminación superficial.

Contenido del Módulo 2

- Lección 7: Monitorización de la contaminación del aire.
- Lección 8: Monitorización de tritio y ^{14}C .
- Lección 9: Espectrometría alfa y gamma.

Contenido del Módulo 2

- Lección 10: Monitorización de yodo
- Lección 11: Monitorización de gases nobles.
- Lección 12: Monitorización en centrales nucleares

Contenido del Módulo 3

- **Práctica 1:** Monitorización del lugar de trabajo: diseño del programa, preparación y análisis de documentación.
- **Práctica 2:** Monitorización de la tasa de dosis: selección y utilización de equipos de monitorización de radiación gamma y neutrones.

Contenido del Módulo 3

Práctica 3: Monitorización de la contaminación superficial:

- selección y utilización de equipos de monitorización de contaminación superficial alfa y beta y sistemas de conteo;
- cálculo de resultados basados en mediciones, y
- estadísticas de conteo y el impacto en los resultados.

Contenido del Módulo 3

Práctica 4: Monitorización radiológica del lugar de trabajo:

- realización de la monitorización con equipos de medición de tasa de dosis y de contaminación superficial (medida directa e indirecta) que incluya el recuento de centelleo de líquidos, y
- monitorización después de incidentes radiológicos con o sin contaminación.

Contenido del Módulo 3

- **Práctica 5:** Monitorización del aire y espectrometría:
 - monitorización de la contaminación del aire. Equipos fijos y móviles;
 - espectrometría alfa discusión/demostración, y
 - espectrometría gamma con detectores NaI y HPGe – discusión/demostración.

Lección 1

Principios básicos de la monitorización radiológica del lugar de trabajo – PARTE 1

Lección 1 - contenido

- Introducción
- Objetivos de la monitorización del lugar de trabajo
- Diseño del programa

Introducción

Introducción

- Las radiaciones ionizantes tienen el potencial de dañar el cuerpo humano si éste se expone a niveles excesivos.
- Debe establecerse un marco de protección radiológica:
 - para limitar la exposición, y
 - para optimizar la protección dentro de estos límites.

Introducción

Mediciones confiables de exposición a radiación son esenciales para:

- demostrar el cumplimiento de los límites reglamentarios;
- permitir la optimización de las condiciones de trabajo, e
- identificar fallas o deficiencias en el control.

Introducción

- El término “monitorización” describe mediciones relacionadas con la identificación, evaluación y control de exposición a la radiación y a los materiales radiactivos.
- La monitorización es más que simplemente medir.
- Requiere la interpretación de la medición y la evaluación de los resultados.

Introducción

- La monitorización del lugar de trabajo (MLT) abarca mediciones realizadas en el lugar del trabajo y la interpretación de dichas mediciones.
- La monitorización radiológica de los trabajadores (MT) abarca la mediciones obtenidas por el equipamiento utilizado por los trabajadores en forma individual o las mediciones de cantidades de materiales radiactivos en o sobre sus cuerpos, y la interpretación de dichas mediciones.

Introducción

Por experiencia, sabemos que:

- a veces sólo es necesario MLT;
 - a veces sólo es necesario MT, pero
 - normalmente ambas son necesarias y posibles.
-
- Como una recomendación del OIEA, se debe realizar MT cuando la dosis efectiva total anual pueda ser superior a 1 mSv. MLT puede ser realizada en zonas supervisadas cuando la dosis anual es menor que 1 mSv con el objetivo de verificación.

Objetivos de la monitorización del lugar de trabajo

Objetivos de MLT

- Proveer información de las condiciones en el lugar de trabajo para establecer si están sujetas a control satisfactorio y si los cambios operativos han mejorado o empeorado las condiciones radiológicas de trabajo.
- MLT facilita el control de exposición de trabajadores mediante detección rápida de condiciones anormales, permitiendo así acciones correctivas apropiadas.

Objetivos de MLT

- Selección de equipo de protección personal apropiado.
- Ayudar a prevenir la dispersión de contaminación.
- Proveer información para comprender cómo, cuándo y dónde los trabajadores son expuestos, para así contribuir a reducir su exposición (ALARA).

Objetivos de MLT

- Verificar las buenas prácticas de trabajo (por ejemplo: adecuada supervisión, entrenamiento, etc.)
- Ayudar a prevenir la dispersión de la contaminación a través de la detección de fallas de contención o de la desviación de los correctos procedimientos operativos.
- Confirmar la clasificación de áreas en controladas, supervisadas y libres.
- Suministrar alarmas prontas y confiables que permitan evacuar a los trabajadores a un lugar seguro.

Objetivos de MLT

- Ayudar en la evaluación de dosis de individuos o grupos de trabajadores y demostrar el cumplimiento de las restricciones de dosis (*dose constraints*).
- Proporcionar información para:
 - definir o programa de monitorización individual;
 - definir procedimientos operacionales y equipos de protección, y
 - evaluar a dosis en caso de exposición accidental.

Diseño del programa de monitorización

Diseño del programa de monitorización

El documento GSR-3 establece que el tipo y la frecuencia de MLT se basarán en:

- la tasa de dosis, la concentración de actividad en aire y superficies, sus fluctuaciones previstas, y
- la probabilidad y magnitud de las exposiciones en casos de incidentes operacionales previstos y en caso de accidentes.

Diseño del programa de monitorización

El programa de monitorización debe:

- identificar los métodos de medición más apropiados;
- esbozar los procedimientos;
- establece el tipo y frecuencia de las mediciones, y
- establecer los niveles de referencia, restricciones de dosis y las acciones que se deben tomar si se exceden estos niveles.

Magnitudes operacionales

Magnitudes operacionales

- No pueden medirse las magnitudes limitadoras E y H_T puesto que para ello habría que situar los detectores en el interior de los órganos del cuerpo humano.
- Por esta razón, ICRU ha definido magnitudes capaces de proporcionar en la práctica una aproximación razonable (o una sobreestimación) de las magnitudes limitadoras.
- Estas magnitudes operacionales medibles se definen a partir de la dosis equivalente en un punto del cuerpo humano o de un maniquí. Su relación con las magnitudes limitadoras puede calcularse para condiciones de irradiación determinadas (ICRP, 1996; ICRU 1998a).

Magnitudes operacionales

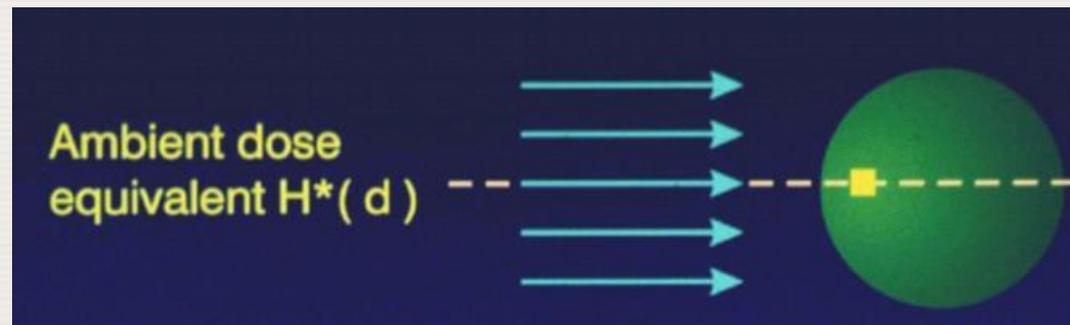
- Las magnitudes operacionales recomendadas fueron introducidas por ICRU en 1985 para diferentes aplicaciones de dosimetría personal y ambiental. La descripción detallada de las mismas puede encontrarse en el informe ICRU 51 (ICRU, 1993).
- Para monitorización de área se han introducido dos magnitudes que relacionan la irradiación externa con la dosis efectiva y con la dosis en piel y cristalino. Estas son el equivalente de dosis ambiental, $H^*(d)$ y el equivalente de dosis direccional, $H'(d, \Omega)$.

Magnitudes operacionales - exposición externa

- Las magnitudes operacionales para monitorización de área son: equivalente de dosis ambiental, $H^*(10)$ o $H^*(3)$ y equivalente de dosis direccional, $H'(0,07,\Omega)$.
- La unidad de E , H_T , $H^*(d)$ y $H'(d)$ en el Sistema Internacional de Unidades es el $J\ kg^{-1}$ y su nombre especial es el sievert (Sv).
- Es importante que todos los monitores usados tengan las mismas magnitudes operacionales.

Magnitudes operacionales - exposición externa

- El equivalente de dosis ambiental, $H^*(d)$, en un punto de un campo de radiación, es el equivalente de dosis que se produciría por el correspondiente campo alineado en el esfera ICRU (diámetro de 30 cm) a una profundidad d sobre el radio opuesto a la dirección del campo alineado.
- Para radiación muy penetrante, se recomienda una profundidad d de 10 mm, lo cual se expresa como $H^*(10)$, mientras que para la poco penetrante se emplean $d = 0,07\text{mm}$ para la piel y $d = 3\text{ mm}$ para el cristalino.

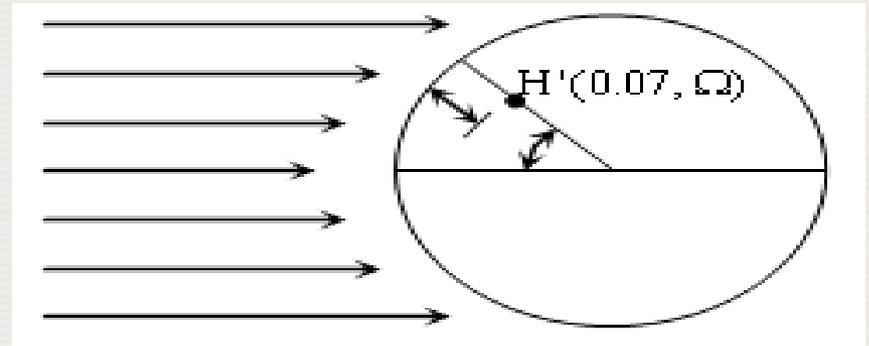


Magnitudes operacionales - exposición externa

- No existen estándares primarios para la dosis equivalente ambiental y direccional.
- Las magnitudes utilizadas para la calibración de instrumentos son:
 - Kerma en aire, K_a , (fotones);
 - Fluencia_(Energía), Ψ (neutrones), y
 - Dosis absorbida, D , en un tejido (electrones).
- Kerma en el aire, etc, se convierte a equivalente de dosis utilizando coeficientes de conversión.

Exposición externa – $H'(0.07)$

- El equivalente de dosis direccional, $H'(0,07)$, en Sv, es el equivalente de dosis a una profundidad de 0,07 mm en la esfera ICRU y es la magnitud utilizada para controlar la dosis equivalente en la piel.



- $H'(0,07)$ se utiliza para la radiación poco penetrante, generalmente radiación β y fotones de baja energía, aunque las radiaciones penetrantes también contribuyen si están presentes.

Contaminación superficial

- La contaminación superficial se mide por el cociente entre la actividad de los radionucleidos presentes en una superficie y el área de la superficie.
- La unidad de contaminación superficial es el Bq/cm^2 o "actividad por unidad de área".
- Para la monitorización de contaminación superficial, el equipo mide típicamente en cuentas por segundo. La conversión de cps a Bq/cm^2 es necesaria.

Contaminación del aire

- La concentración de actividad en el aire es la relación entre la actividad de los radionucleidos en el aire y el volumen del aire.
- La unidad de concentración de actividad en el aire es Bq/m^3 o "actividad por unidad de volumen".
- La concentración de actividad en el aire se mide en unidades de actividad y después tiene que ser convertida a la unidad operacional usando la eficiencia del detector y el volumen de aire muestreado.

Magnitudes derivadas

Exposición externa

- La tasa de dosis puede estar directamente relacionada con la exposición ocupacional a través del tiempo.
- También puede derivarse una tasa de dosis de radiación ocupacional aceptable y compararla con la tasa de dosis medida.
- Por ejemplo: $2,5 \mu\text{Sv/h}$ durante 2000 h resultará en una exposición anual de 5 mSv.

Contaminación superficial

- La magnitud operacional de contaminación superficial no puede estar directamente relacionada con la exposición ocupacional.
- Se puede estimar la relación entre la contaminación superficial y la exposición ocupacional que asume suposiciones sobre el radionucleido, vías de incorporación y duración de la exposición.

Contaminación superficial

En la práctica, se utilizan los límites reglamentarios para la contaminación superficial. Por ejemplo:

- La regulación de transporte del OIEA establece que el límite de contaminación superficial es $0,4 \text{ Bq/cm}^2$ para emisores beta/gamma y $0,04 \text{ Bq/cm}^2$ para emisores alfa.

Contaminación del aire

- La magnitud operacional de contaminación del aire (Bq/m^3) no puede estar directamente relacionada con la exposición ocupacional.
- La concentración derivada en aire (CDA) es un límite derivado de la concentración de actividad en el aire de un radionucleido específico, calculado de tal forma que un trabajador típico que respire aire con una contaminación constante igual a CDA mientras realiza una actividad física ligera durante un año de trabajo, recibiría el límite anual de incorporación para el radionucleido en cuestión.

Contaminación del aire

La CDA se calcula como el límite anual de dosis efectiva dividido por el coeficiente de dosis, $e(50)_{inh}$, y por el volumen del aire inhalado por el trabajador adulto de referencia en un año (2000 horas). La unidad de CDA es Bq/m³

$$CDA \left(\frac{Bq}{m^3} \right) = \frac{\text{Limite de incorporación anual (Bq)}}{2000 \text{ h} \times 1,2 \text{ m}^3 / \text{h}}$$

Contaminación del aire

- La contaminación del aire puede entonces ser expresada como una fracción del CDA que corresponde a la fracción del límite de incorporación, si el trabajador es expuesto durante un año.
- Por ejemplo, una exposición durante un año de 0,3 CDA resultaría en 0,3 del límite de dosis anual.
- Se puede estimar una dosis multiplicando el CDA por el número de horas de exposición (CDA-hora o CDA-h). 2000 CDA-h representa el límite anual de dosis.

Vector de radionucleidos

- La mayoría de las instalaciones manipulan más de un radionucleido.
- Para calcular la dosis debida a la contaminación superficial o a la contaminación del aire, se debe conocer la lista de radionucleidos en la instalación y sus actividades relativas.
- La mezcla de radionucleidos también se conoce como el vector de radionucleidos. Se utiliza el vector para ayudar a identificar los requisitos de la MLT y la interpretación de los resultados.

Vector de radionucleidos

Puede determinarse el vector de radionucleidos a partir de las siguientes fuentes de información:

- cálculos basados en software;
- historial operacional de la instalación;
- análisis radioquímico del material radiactivo;
- evaluación previa de la seguridad radiológica, y
- una combinación de las posibilidades anteriormente descritas.

Tipos, frecuencia y lugar de monitorización

Tipos de monitorización

- Primero debe establecer el tipo de monitorización para después decidir la frecuencia y el lugar de la monitorización.
- La monitorización se puede clasificar en:
 - rutinaria;
 - relacionada a la tarea;
 - especial, y
 - confirmatoria.

Monitorización rutinaria

Los objetivos de la monitorización rutinaria son:

- verificar la seguridad de las operaciones rutinarias, y
- demostrar que las condiciones de trabajo son satisfactorias y cumplen con los requisitos reglamentarios.

Monitorización rutinaria – exposición externa

Típicamente se establecerá una red de puntos de monitorización. Lugares de importancia especial son:

- con una ocupación de trabajadores relativamente alta;
- límites de áreas controladas;
- donde hay actividades operacionales;
- donde hay altas tasas de dosis, y
- donde las tasas de dosis son susceptibles de aumentar rápidamente, lo que indicaría fallas en el equipo o modificación en el proceso.

Monitorización rutinaria – exposición externa

- La frecuencia de monitorización depende de la tasa de ocupación y de la probabilidad de una modificación en la condición del proceso.
- Cuando no se espera una modificación sustancial y la tasa de ocupación es baja, la frecuencia puede ser también bajo, por ejemplo, mensualmente.

Monitorización rutinaria – exposición externa

Para equipos portátiles hay dos configuraciones físicas fundamentales:

- la unidad “integrada” que incluye el detector y la electrónica de proceso en la misma unidad, y
- el diseño "de dos piezas", que tiene una sonda detectora independiente y un módulo electrónico conectado por un cable corto.

Monitorización rutinaria – exposición externa

- Cuando no se espera una modificación sustancial y la tasa de ocupación es alta, o cuando una modificación es posible y la tasa de ocupación es baja, la frecuencia podría ser semanal o diaria.
- Cuando pueden ocurrir aumentos repentinos en la tasa de dosis, o un trabajador puede ser considerablemente expuesto en este caso, puede requerirse que la monitoración de las tasas de dosis se haga en forma continua.

MLT rutinaria – contaminación superficial

- La contaminación removible es más importante ya que puede causar exposición interna o indicar pérdida de control de la contaminación.
- Para áreas menos propensas a ser contaminadas, la monitorización puede ser directa (frotador pequeño) e indirecta.

MLT rutinaria – contaminación superficial

- Para áreas de alta ocupación, límites de áreas controladas y áreas de trabajo:
 - frotado de área grande para el control (si/no);
 - comprobación puntual con frotadores pequeños para confirmar la ausencia de contaminación, y
 - monitorización directa de puntos críticos.

MLT rutinaria – contaminación superficial

- La frecuencia de monitorización de contaminación superficial suelta es típicamente mas alta en:
 - áreas de alto riesgo monitoreadas diariamente y áreas de menor riesgo monitoreadas semanal o mensualmente;
 - áreas de muy bajo riesgo monitoreadas cada 3, 6 o 12 meses – típicamente por monitorización directa.

MLT rutinaria – contaminación del aire

- Todas las posibles fuentes de contaminación deben ser identificadas, ya sea de condiciones rutinarias o accidentales.
- Se deben identificar los caminos de la contaminación del aire en el lugar de trabajo.

MLT rutinaria – contaminación del aire

- Calcule la exposición potencial como una fracción de incorporación anual y decida si se requiere monitorización continua o muestreo periódico.
- Si es mayor que el límite anual, monitorización continua es necesaria.
- Si es $< 0,02$ que el límite anual, monitorización continua no es necesaria.

MLT rutinaria – contaminación del aire

Al elegir las ubicaciones de monitorización:

- monitor lo más cerca posible del punto de liberación potencial, pero también utilice un segundo monitor (p. ej., chimenea);
- considerar la ergonomía y los patrones de flujo de aire;
- lejos de sistemas de ventilación, puertas y fuentes de calor, y
- cuando sea necesario, utilizar equipos fijos conectados a la red local.

MLT rutinaria – contaminación del aire

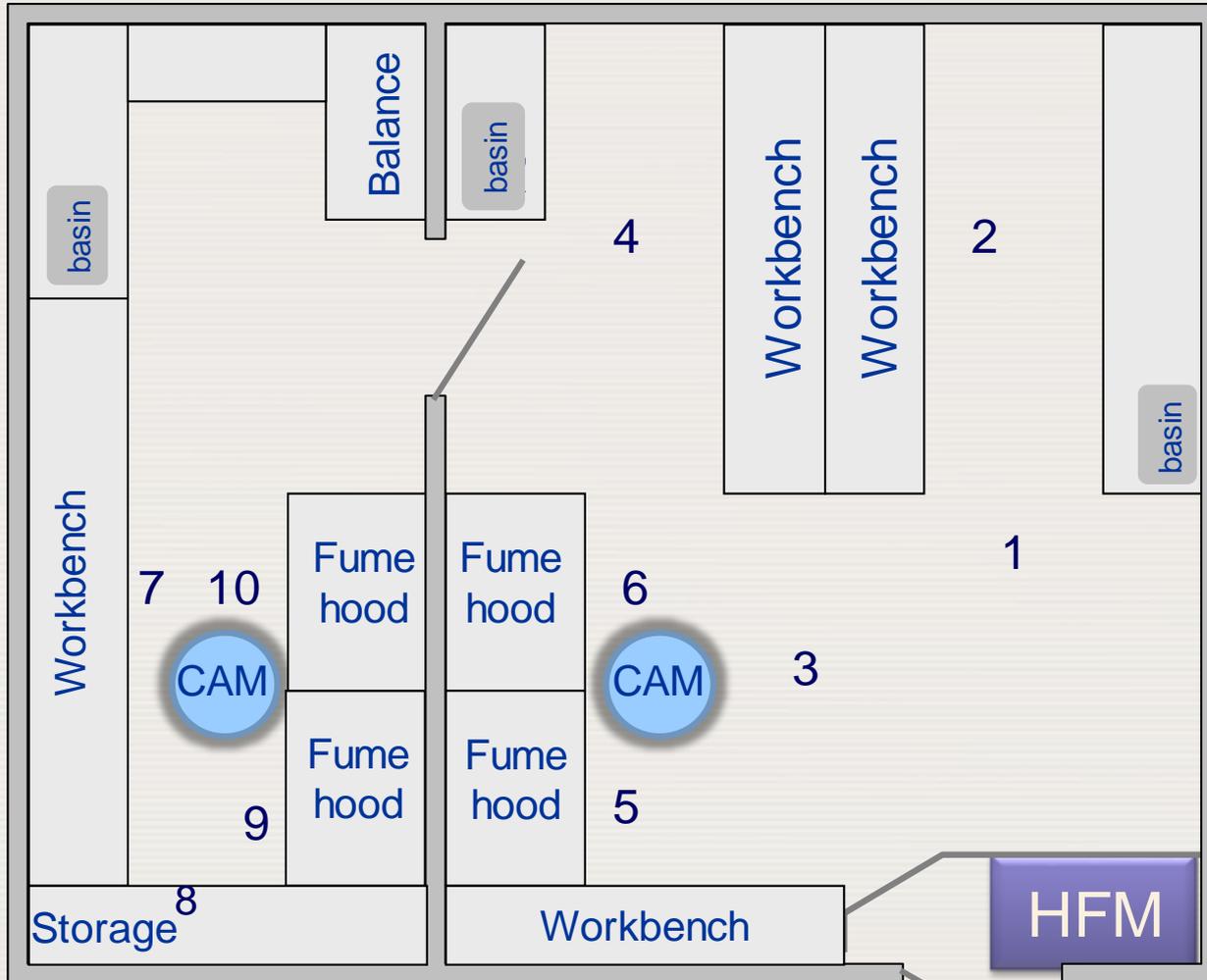
- La frecuencia de monitorización de contaminación del aire es típicamente alta, depende de la tasa de ocupación y de la probabilidad de una modificación en la condición del proceso. Frecuencias típicas son monitorización:
 - continua;
 - una vez por turno;
 - diaria, o
 - semanal.

Ejemplos de MLT rutinaria

Ejemplo: laboratorio con licencia para manejar fuentes de emisores alfa y beta/gamma no selladas y selladas. Las mediciones requeridas son:

- tasa de dosis;
- contaminación superficial;
- contaminación del aire;
- contaminación de la piel a la salida, y
- mediciones fuera del laboratorio para asegurarse de que no hay propagación de la contaminación.

Ejemplos de MLT rutinaria



MLT relacionada a la tarea

- Se realiza durante una operación/tarea específica, proporciona datos para respaldar decisiones inmediatas sobre la gestión de la operación. Se realiza para confirmar las estimaciones predictivas de las condiciones radiológicas y optimizar la protección.
- Proporciona mediciones para apoyar las decisiones inmediatas sobre la operación (establecer medidas de protección).
- Complementa la monitorización individual proporcionando indicadores útiles para predecir las dosis.

MLT relacionada a la tarea

- La necesidad de MLT relacionada con la tarea se acordará con el operador y el oficial de protección radiológica.
- Los objetivos y métodos deben acordarse caso por caso.
- Deben establecerse los niveles de acción, estos pueden ser diferente de los de la MLT de rutina.

MLT relacionada a la tarea – exposición externa

- Utilizar monitores de tasa de dosis portátiles y EPDs
- confirmar que las tasas de dosis durante las tareas están dentro de los límites preestablecidos
- Para la radiación beta, medir las tasas de dosis donde las manos pueden entrar en contacto con la fuente.

MLT relacionada a la tarea

- Verificar los niveles de contaminación y tasa de dosis a medida que avanza el trabajo.
- Recuerde que la tasa de dosis puede aumentar temporalmente fuera de las áreas controladas establecidas.
- Se puede establecer un área de control de contaminación temporal.
- Para monitorización del aire, utilice muestreadores de aire portátiles durante el trabajo.

MLT relacionada a la tarea - ejemplos

- Operaciones de cambio de filtro.
- Operaciones de mantenimiento no rutinarias.
- Descontaminación de áreas.

MLT relacionada a la tarea - ejemplos



Monitorización relacionada a la tarea realizada durante una descontaminación de área. Se utilizó una tienda temporal para evitar la propagación de la contaminación.

MLT especial

- Es de naturaleza investigativa o para una situación en la que no hay suficiente información para demostrar un control adecuado.
- El programa MLT debe definir cuándo se debe realizar monitorización especial.
- El programa MLT debe definir cómo y con qué rapidez se deben informar los resultados y los niveles de acción pertinentes.

MLT especial - ejemplos

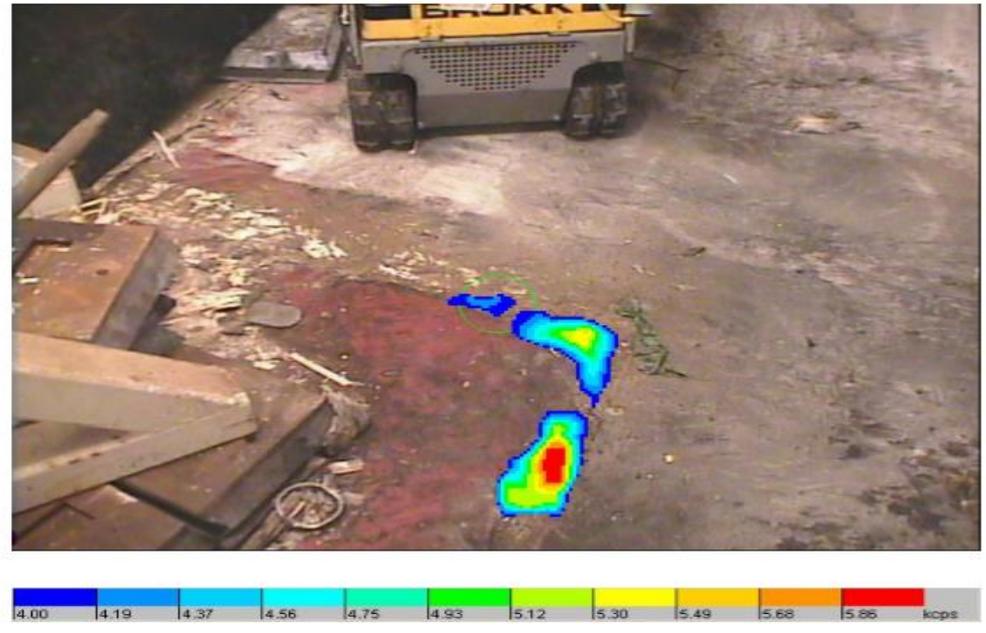
- Antes de la operación inicial de la instalación, o tan pronto como sea posible después de que las fuentes de radiación entren en la zona controlada.
- Siempre que se hayan producido cambios en los procedimientos, el equipo, el blindaje o las fuentes.
- Cuando un accidente o incidente pudo haber ocurrido o después de que haya ocurrido.

MLT especial - ejemplos

- Entrada en funcionamiento o desmantelamiento de una instalación.
- Identificación de “hotspots”, gestión de materiales residuales.
- Modificaciones: determinar si el blindaje es adecuado.
- Condiciones anormales: identificar problemas operacionales, por ejemplo, obstrucción de tuberías.
- Búsqueda de fuentes perdidas.

MLT especial - ejemplos

- Identificación de “hotspot” – punto activo - utilizando cámara de imágenes gamma - gammacamera.



MLT confirmatoria

- La monitorización confirmatoria se realiza cuando es necesario comprobar algunas suposiciones sobre las condiciones de exposición.
- Se utiliza para verificar la robustez del blindaje y otras medidas de protección.

Sumario

- La MLT es necesaria para identificar posibles exposiciones. Implica la medición de:
 - exposición externa;
 - contaminación superficial, y
 - contaminación del aire.
- La MLT ayuda a controlar la exposición al permitir que se tomen las medidas de protección necesarias.