

# Lección 12

## Monitorización del lugar de trabajo en reactores nucleares



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

# Contenido

- Impacto del tipo de reactor, edad y estado.
- Vector de radionucleidos.
- MLT y desafíos en el reactor operativo.
- Ejemplos concretos.

# Importancia del tipo de reactor

Diferentes tipos de reactores presentan desafíos diferentes.

- Reactores de agua presurizada: son el tipo más común de reactores. Campos de neutrones durante la operación, productos de corrosión, generador de vapor.

# Importancia del tipo de reactor

- Reactores de agua pesada. Altas concentraciones de tritio – se puede medir cientos de DACs en el lugar de trabajo y miles de DACs en el caso de un pequeño derrame de agua del moderador.
- Reactor de agua en ebullición (BWR). La contaminación se puede encontrar en la turbina, ya que es parte del circuito primario.

# Importancia del tipo de reactor

- En los reactores de agua ligera (PWR y BWR), la activación neutrónica del oxígeno en el agua del refrigerante produce  $^{16}\text{N}$ , un emisor gamma de muy alta energía y de vida media corta, que puede causar tasas de dosis muy altas cerca del sistema primario cuando el reactor está operando.
- En los BWRs, el  $^{16}\text{N}$  se puede transportar al edificio de la turbina dando por resultado la reflexión de radiación gamma por el aire (“sky shine”) que puede afectar otras áreas.

# Importancia de la historia operativa del reactor

- El  $^{16}\text{N}$  tiene una vida media muy corta y decae rápidamente después de la parada reduciendo la tasa de dosis externa cerca del sistema primario.
- Los neutrones están presentes durante la criticidad solamente.

# Importancia de la historia operativa del reactor

Los reactores más antiguos pueden haber tenido fugas de elementos de combustible que podrían ocasionar:

- partículas con altos niveles de radiactividad “partículas calientes” en la planta;
- contaminación alfa en el sistema primario que puede ser blindada por depósitos subsecuentes, y
- contaminación excesiva con productos de corrosión radiactiva debido a la incorrecta elección de los materiales utilizados en los componentes del sistema.



IAEA

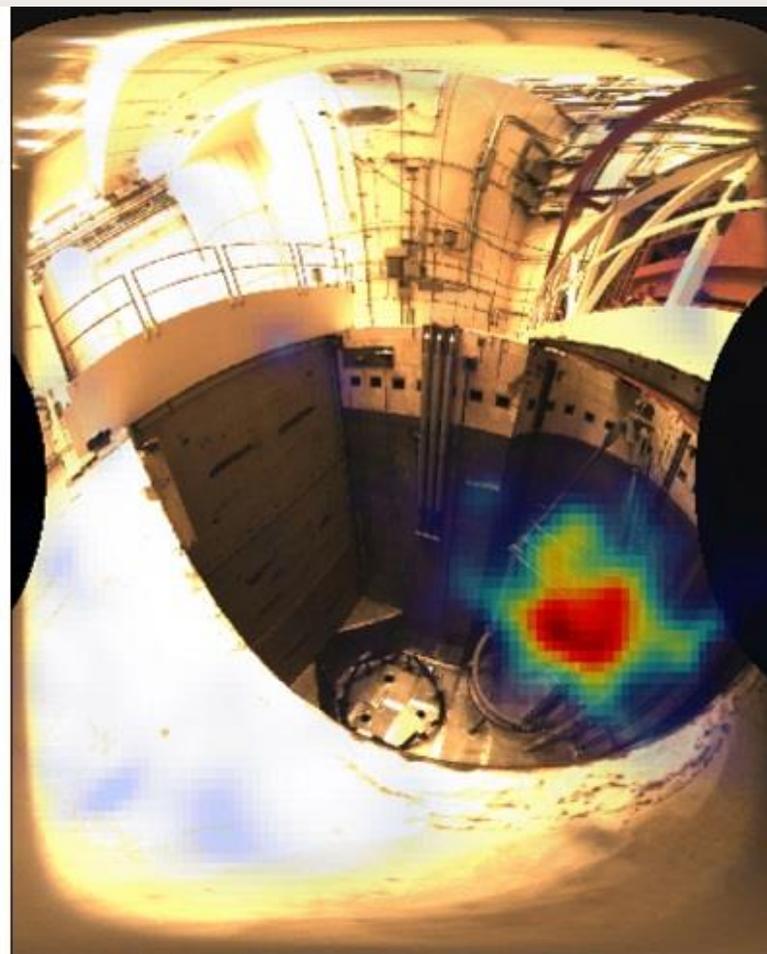
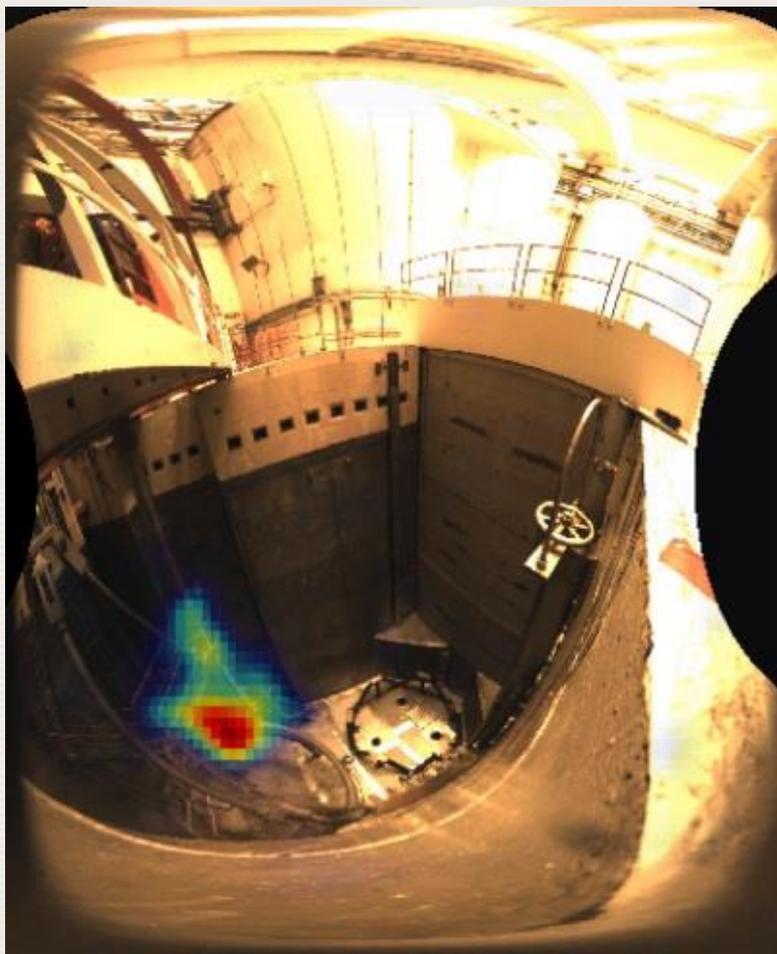
# Campos de radiación gamma

Campos de radiación gamma se deben a:

- activación neutrónica de los sistemas y componentes del reactor:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ , y
- activación neutrónica y deposición de contaminantes (“*crud*” o incrustaciones de tuberías) en los sistemas primarios: productos de fisión en el sistema primario:  $^{137}\text{Cs}$ .



# Imagen de una gammacámara



# Vector de contaminación

La caracterización debe utilizar espectrometría gamma y análisis radioquímico de muestras tomadas de todos los sistemas de la planta para identificar:

- el vector de radionucleidos en contaminantes típicos y la contribución a la dosis interna de radionucleidos no detectados normalmente por monitores de contaminación como  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{14}\text{C}$ , y
- cualquier emisor alfa en la contaminación.

# Contaminantes típicos

- La contaminación podría contener una serie de productos de fisión y activación.
- Generalmente los emisores beta de energía media están presentes y contribuyen más a la dosis interna:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ .

# Contaminantes típicos

Se puede detectar contaminación en una mezcla de emisores beta/gamma mediante:

- medidores de tasa de dosis, en caso de altos niveles de contaminación ( $\mu\text{Sv/h}$  a  $\text{mSv/h}$ );
- monitores de contaminación beta, en caso de niveles moderados de contaminación (decenas o centenas de  $\text{Bq/cm}^2$ ), y
- tubos G-M de ventana delgada, en caso de niveles bajos de contaminación ( $1\text{-}10 \text{ Bq/cm}^2$ ).

# Algunos radionuclídeos no son fáciles de detectar

- Emisores de partículas beta, rayos X o radiación gamma de baja energía, p. ej.  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ .
- Emisores alfa pueden contribuir significativamente a la dosis interna.
- La contaminación alfa se limita a los circuitos primarios, incluyendo los generadores de vapor, pero también a componentes del sistema primario que se han desmantelado y a áreas de desecho.

# Algunos radionuclídeos no son fáciles de detectar

- La determinación de la proporción actividad beta/gamma a alfa puede ser un método útil para identificar la significación radiológica.
- En una proporción de 3000 Bq\* beta/gamma a 1 Bq alfa, aproximadamente el 50% de la dosis de inhalación será de alfa y 50% de beta/gamma.
- La necesidad de la monitorización de la contaminación alfa de la superficie y del aire es determinada por la presencia de radionucleidos de emisión alfa y por la proporción de beta/gamma a la actividad alfa.

# Radionucleidos específicos

- Radionucleidos que podrían ser liberados de los elementos de combustible averiados: gases nobles: kriptón y xenón. Estos gases de vida media corta pueden causar contaminación del aire.
- Yodo: amplia gama de isotopos de vida media corta.
- Tritio - importante en reactores de agua pesada. No suelen estar en cantidades significativas en otros tipos de reactores.

# MLT en un reactor operativo

- Monitorización rutinaria: Contaminación, tasa de dosis, verificación de niveles permitidos y ALARA.
- Monitorización relacionada a la tarea: monitorización para asegurar que las dosis sean ALARA, tanto antes como durante el trabajo.
- Monitorización especial: identificar dónde se debe colocar blindajes o durante investigaciones después de incidentes.

# MLT en un reactor operativo

- Tasa de dosis: gamma, beta y de neutrones.
- Contaminación radioactiva: alfa, beta y gamma.
- Actividad volumétrica:
  - Yodo
  - Gases nobles
  - $^3\text{H}$  y  $^{14}\text{C}$  (en algunos casos).

# Equipo fijo de MLT

Se proporcionará una variedad de monitores gamma y de neutrones instalados en todo el reactor para:

- identificar condiciones anormales, p.ej. en el reactor o cuando el nivel de agua en la piscina de combustible gastado sea bajo, y
- que el equipo fijo mida tasas de dosis y las envíe a la sala de control.

# Equipo fijo de MLT

Se proporcionará una variedad de monitores gamma y de neutrones instalados en todo el reactor para:

- monitorización en tiempo real del aire para yodo, gases nobles y partículas en suspensión para identificar condiciones anormales, y
- el proyecto de la planta debe incluir la especificación y ubicación de equipos fijos de MLT.

# Equipo fijo de MLT

Dependiendo del tipo de reactor:

- monitores de tritio en aire (reactores de agua pesada), y/o
- monitores de emisores alfa en aire.
- Monitores portátiles se utilizan para tareas específicas, p. ej., parada del reactor y trabajos de mantenimiento.

# Equipo fijo de MLT



Cortesía: Nucleonix

Monitor de aire en tiempo real



Monitor fijo de radiación gamma

# Monitores portátiles - tasa de dosis gamma

Se necesitan equipos con un amplio rango de tasas de dosis gamma:

- tasas de dosis bajas:  $\mu\text{Sv/h}$  (transporte de residuos);
- tasas de dosis durante las operaciones rutinarias, paradas y para mantener las dosis ALARA:  $5 \mu\text{Sv/h}$  -  $50 \text{ mSv/h}$ , y
- tasas de dosis muy altas durante la operación de la planta en algunas partes no accesibles:  $> \text{Sv/h}$ .

# Ejemplos de MLT para tasa de dosis

- Campos gamma isotrópicos uniformes; p.ej. alrededor de componentes del sistema del reactor o en una instalación de almacenamiento de residuos.
- Otras fuentes como tambores de desecho y tuberías (podrían ser visibles, aéreas o subterráneas).

# Ejemplos de MLT para tasa de dosis

- Puntos calientes de contaminación atrapados en sistemas, componentes o en superficies, que son como fuentes puntuales.
- Tasas de dosis de neutrones a través de penetraciones.
- Tasas de dosis gamma bajo del agua en piscinas de combustible gastado.

# Ejemplos de MLT para tasa de dosis

Tasas de dosis gamma se miden en sistemas durante la operación para identificar:

- fuentes de radiación para evitar la exposición;
- requisitos de blindaje temporario antes del trabajo de mantenimiento y para verificar las tasas de dosis después del blindaje temporario, y
- fuentes que deben eliminarse, por ejemplo, puntos calientes.

# Ejemplos de MLT para tasa de dosis

- Tasa de dosis beta/gamma en la superficie interna de sistemas abiertos durante paradas o mantenimiento. Superficies internas pueden mostrar altas tasas de dosis (p. ej., después del drenaje de una cavidad).
- Altas tasas de dosis beta/gamma de fragmentos de combustible o contaminación después de un fallo de combustible.

# Ejemplos de MLT para tasa de dosis

- Tasas de dosis beta/gamma muy altas de fuentes sumergidas (fragmentos de desechos/combustibles) en piscinas de combustible gastado.
- Tasa de dosis beta/gamma en la superficie de fuentes selladas utilizadas para verificación y calibración.

# Monitores portátiles de tasa de dosis gamma



Cámara de ionización



Identificador



Teletector(\*) -G-M



Espectrómetro gamma portátil



Monitor de tasa de dosis de neutrones

# Desafíos en la medición de la tasa de dosis

- Monitorización remota de la tasa de dosis gamma.
- Medición de las tasas de dosis beta.
- Protección de los equipos contra la contaminación.
- Monitorización de la tasa de dosis gamma sumergido.



# MLT para contaminación

Equipo para detectar la contaminación beta/gamma de energía moderada y alta:

- monitores de tasa de dosis de radiación beta/gamma para altos niveles de contaminación;
- centelleadores plásticos, contadores proporcionales y sondas G-M estándar para niveles moderados de contaminación, y
- contadores proporcionales o de centelleo para niveles bajos de contaminación, típicamente para la dispensa.

# Equipo MLT para contaminación



Detector G-M "pancake"



Cámara de ionización



Detector "Pancake"



Sonda de centelleo para alfa

# Desafíos en el MLT para contaminación

- Las altas tasas de dosis gamma de fondo alrededor de sistemas dentro del edificio de contención pueden impedir la monitorización directa de la contaminación beta/gamma,
- “Partículas calientes” deben detectarse lo antes posible.
- Partículas beta pueden ser fácilmente absorbidas, por lo tanto son difíciles de detectar.

# Medición indirecta de contaminación

Hay una variedad de técnicas para medir contaminación radiactiva no fija:

- exploración para “partículas calientes” (p. ej. fragmentos de combustible o estellita activada), y
- frotador de área grande medida por un monitor de contaminación beta/gamma o monitor de tasa de dosis para confirmar (o no) la ausencia de contaminación no fija.

# Medición indirecta de contaminación

- Frotador de área pequeña medida por monitor de contaminación beta/gamma o monitor de tasa de dosis para estimar los niveles de contaminación.
- Los frotadores pueden ser monitoreados para verificar también contaminación alfa.
- Los frotadores de área pequeña se pueden medir usando el equipo de conteo en el laboratorio si la actividad es suficientemente baja para evitar contaminar el equipo.

# Medición indirecta de contaminación

Frotadores de área pequeña y grande son utilizados en objetos y superficies, especialmente pisos:

- antes de trabajar para comprobar los niveles de contaminación no fija;
- durante el trabajo para comprobar el nivel y la propagación de la contaminación, y
- después del trabajo para confirmar la ausencia de contaminación no fija.

# Medición indirecta de contaminación

- Antes del envío, la superficie exterior de los envases debe ser monitoreada para confirmar la ausencia de contaminación no fija. El resultado de la monitorización debe registrarse.
- Herramientas y equipos que salen del área controlada deben ser monitoreados para confirmar la ausencia de contaminación no fija.
- La monitorización directa se puede realizar dondequiera que los niveles de radiación de fondo lo permitan.

# Medición indirecta de contaminación

- Materiales de limpieza utilizados para limpieza y descontaminación de áreas grandes se pueden medir para verificar si hay contaminación.
- Las estereras pegajosas se pueden utilizar para capturar y medir partículas.
- Detectores G-M “*pancake*” pueden ser utilizados para identificar contaminación en las herramientas y en el equipo.

# Ejemplos de medición indirecta



Ejemplos de como tomar muestras con frotador



Estera pegajosa



Monitor para medir frotadores

# Espectrometría gamma y alfa

- La espectrometría gamma es necesaria para identificación de radionucleidos: para identificar la fuente de contaminación y para determinar las implicaciones dosimétricas.
- La espectrometría alfa se requiere para la identificación de emisores alfa - generalmente un servicio externo.



**Espectrómetro gamma**

# MLT del aire

## Beta/gamma:

- Muestreadores de aire fijos de medio a alto volumen son utilizados para el MLT rutinario.
- Muestreadores de aire portátiles de pequeño volumen son utilizados para tareas específicas y/o en áreas específicas (se detectan fácilmente DACs relativamente altos).
- Los filtros y cartuchos pueden ser medidos utilizando un monitor de contaminación portátil para indicar inmediatamente la contaminación.



IAEA

# MLT del aire

## Alfa:

- Monitorización alfa requiere grandes volúmenes de aire y el uso de un contador para medir fracciones de valores de DAC.
- La interferencia de radón se discutió en la lección 6.

# Ejemplos de equipos de MLT del aire



Monitor de aerosol portátil



Equipo de recuento



Filtros de aire - nuevos y usados

# MLT del aire

Fallas de combustible pueden dar lugar a la liberación de gases nobles y radioisótopos de yodo que requieren una MLT adicional incluyendo:

- monitorización de aire adicional para gases nobles y yodo, y
- monitorización de aire para emisores alfa.

# MLT del aire para $^3\text{H}$

- El tritio puede propagarse fácilmente y dispersarse a partir de derrames de agua pesada.
- Los monitores portátiles de  $^3\text{H}$  y los muestreadores pasivos se utilizan durante el trabajo con líquidos para identificar la presencia de tritio en el lugar de trabajo.
- Los monitores de  $^3\text{H}$  fijos se utilizan para medir los niveles ambientales  $^3\text{H}$  y detectar condiciones anormales.

# MLT del aire para $^3\text{H}$



Monitor  $^3\text{H}$  fijo



Monitores portátiles de  $^3\text{H}$

# Resumen

Discutimos:

- la importancia del tipo del reactor, edad y condición del sistema primario;
- el vector de radionucleidos;
- monitores fijos de tasa de dosis gamma y de aire, y
- tipos de equipos portátiles de monitorización para tasas de dosis, contaminación y actividad volumétrica.

# Resumen

Discutimos:

- desafíos: radiación de fondo, partículas calientes, partículas beta blindadas, monitoreo remoto;
- monitorización del aire alfa, beta/gamma.
- Gases nobles, yodo y  $^3\text{H}$  cuando sea necesario.

Muchas gracias por  
vuestra atención y...

**SE ABRE EL DEBATE**