

CNEA-AC- 16/85

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad

MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL

Dirección Nacional de Saneamiento

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ingeniería

INSTRUMENTACION PARA EL MONITORAJE
INDIVIDUAL DE LA CONTAMINACION INTERNA
Y DE LA IRRADIACION EXTERNA

Ing. Pedro M. SAJAROFF

Apuntes para el curso Post-grado
en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear

BUENOS AIRES - ARGENTINA

1985

INSTRUMENTACION PARA EL MONITORAJE INDIVIDUAL DE LA CONTAMINACION INTERNA Y DE LA IRRADIACION EXTERNA

Ing. Pedro M. SAJAROFF

1.- Introducción.

Los métodos de monitoraje individual de la contaminación interna son tecnológicamente complejos por lo que la instrumentación asociada es, generalmente, de costo elevado. Afortunadamente, la experiencia demuestra que el monitoraje individual rutinario de la contaminación interna sólo es necesario cuando se manipulean ciertos nucleídos en cantidades substanciales. Los casos más corrientes se detallan a continuación:

- Plantas de reprocesamiento.
- Plantas de producción de radionucleídos y moléculas marcadas.
- Reactores nucleares.
- Instalaciones que procesan uranio y elementos transuránidos.

2.- Mecanismos de incorporación.

La incorporación de radionucleídos puede efectuarse por inhalación, por ingestión, a través de la piel o por heridas.

La incorporación por inhalación comprende a gases, líquidos o sólidos que pueden ingresar en el torrente respiratorio. Cuando los gases son solubles en agua (p.e., óxido de tritio, radioiodo, etc.) la absorción es rápida y prácticamente completa. Los líquidos y sólidos ingresan generalmente bajo forma de partículas (aerosoles).

Los materiales incorporados durante las tareas son retenidos en pulmón y transferidos al aparato gastrointestinal por la acción ciliar. El material ingerido suele clasificarse en "transportable", cuando es absorbido por el fluido extracelular según los mecanismos normales, y "no transportable", cuando circula

por el aparato respiratorio o digestivo y egresa del organismo con las heces.

La absorción por la piel es particularmente importante en el caso de contaminaciones epiteliales con óxido de tritio (en fase líquida o vapor), con yodo (como vapor o solución) y con otros radionucleidos en ciertos compuestos orgánicos.

Cuando existe una herida en la piel, el material radiactivo puede ingresar al tejido subcutáneo y, en consecuencia, al fluido intracelular (proceso que se lleva a cabo rápidamente en el caso de materiales transportables).

3.- Métodos de monitoraje.

Existen dos métodos básicos para el monitoraje individual de la contaminación interna: a) la determinación de la actividad en el organismo, o en algún órgano predeterminado, por medición externa de la radiación fotónica emitida por el contaminante y b) la medición de la actividad en excretas. El primero de los métodos se utiliza cuando el contaminante emite alguna radiación fotónica característica (tal como el Pu-239 u otros gamma emisores); el método es más exacto, pero los límites de detección son relativamente altos. La medición de actividad en excretas se utiliza en el monitoraje de los radionucleidos emisores alfa o beta que no tienen radiación fotónica característica, o para niveles de actividad gamma que no son detectables por medición directa.

Para la determinación de contaminaciones internas en base a la medición externa de la radiación fotónica emitida por el contaminante, los sistemas de instrumentación empleados actualmente se basan en diferentes técnicas de detección, las que se detallan a continuación:

- Cristales centelladores inorgánicos (delgados o de tipo "PHOSWICH").
- Contadores proporcionales.
- Detectores semiconductores de germanio "hiper-puro".

3.1. Medición externa de la radiación fotónica emitida por el contaminante.

La situación más desfavorable, desde el punto

de vista de la medición, se presenta con bajas actividades y bajas energías; a continuación se detallan las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos en el caso de una contaminación interna con plutonio.

3.1.1. Cristales centelladores inorgánicos delgados.

Como centellador se emplea el INa (Tl). En cuanto a los cabezales detectores, los mismos deben reunir una serie de condiciones para una correcta medición:

- Gran superficie (para mayor eficiencia).
- Ventana delgada (para mínima pérdida de energía de la radiación X a medir).
- Espesor reducido pero suficiente para que la partícula ionizante más energética deposite en él toda su energía y se minimice la contribución del fondo.

Las ventajas de este método residen en su simplicidad y bajo costo. Las desventajas son la escasa resolución, la fragilidad de la ventana de entrada y un fondo que dista de ser nulo para bajas actividades.

Empleando INa (Tl), la ventana no puede dejar de usarse pues se trata de un material higroscópico. Una posibilidad es trabajar con cristales no-higroscópicos, como el ICs (Tl), a fin de evitar la ventana y su inherente fragilidad, pero se obtiene una menor altura de pulso luminoso para igual energía de las partículas ionizantes incidentes; por otra parte, si se aumenta la ganancia se reduce la relación señal/ruido pues las señales eléctricas son de baja amplitud para bajas energías, con lo que se degrada la resolución.

3.1.2. Cristales centelladores tipo "PHOSWICH".

Estos detectores están constituidos por un sandwich de dos centelladores diferentes, acoplados ópticamente entre sí a un único tubo foto-multiplicador.

Uno de los centelladores es delgado, con un espesor tal que la máxima energía de la radiación a medir (p.e., los 20keV del Pu-239) quede totalmente depositada en él; a continuación, e intercalado entre el anterior y el fototubo, hay un segundo centellador de mayor espesor. Si los centelladores son de materiales diferentes (p.e., ICs e INa), serán diferentes sus tiempos de desexcitación ante la interacción de una misma partícula ionizante y la idea del método consiste en discriminar los pulsos de cada centellador por su tiempo de crecimiento. Ello se logra con un convertidor tiempo-amplitud, que es un circuito electrónico que permite obtener pulsos de salida con una amplitud proporcional al tiempo de crecimiento de los pulsos de entrada. Los pulsos así obtenidos se procesan en un analizador multicanal, discriminando por amplitud aquellos originados en el centellador de mayor espesor, con lo que se obtiene un espectro de los pulsos originados por la radiación en su interacción con el centellador delgado; de esta manera se reduce enormemente la contribución del fondo. El costo del sistema es relativamente elevado pues los dos cabezales de detección (uno por pulmón) y la electrónica asociada son sofisticados.

El PHOSWICH es en esencia un método que, en base a un artificio, permite reducir más aún el fondo: el primer centellador, delgado, "ve" sólo los X a medir y el segundo aquellos γ energéticos que inciden sobre el cabezal. Dado que el primero es muy fino (del orden de 1mm), la probabilidad de interacción de un γ de alta energía en él es muy baja y aún si se da el caso de una doble interacción el pulso eléctrico de salida tampoco es analizado por el multicanal por diferir su tiempo de crecimiento respecto del de señal.

En este método la eficiencia para energías medias (p.e., los 70keV del Am-241) es mayor que para bajas (p.e., los 20keV del Pu-239) y en consecuencia, el PHOSWICH y los contadores proporcionales multifu-

lamentosos son dos métodos complementarios.

3.1.3. Contadores proporcionales.

Otra posibilidad para la detección externa de la radiación fotónica emitida por un eventual contaminante interno es emplear contadores proporcionales "multifilamentosos", que permiten la espectrometría de fotones de baja energía y baja actividad con buena resolución.

La detección de radiación fotónica de baja energía se logra con una ventana de entrada delgada. La buena resolución es inherente al diseño de la configuración del campo eléctrico del contador en base a una red de electrodos o filamentos (óptima eficiencia de recolección con valor adecuado de multiplicación de portadores de carga). En estas condiciones, la medición de una baja actividad se logra con un sistema de coincidencia. Para ello el cabezal de detección consta de dos contadores en línea, tales que la partícula a medir deja toda su energía en el primero de ellos y el pulso eléctrico (con una amplitud proporcional a su energía) es procesado por un analizador multicanal. Si incide una partícula de mayor energía, ésta depositará energía en los dos contadores y se generarán, en consecuencia, dos señales en coincidencia de tiempo, con lo que se bloquea el procesamiento de la primera en el analizador.

Las ventajas son la buena resolución (se pueden resolver los tres picos de 12, 17 y 20keV del Pu-239) y el bajo fondo. El costo no es muy elevado pero la tecnología de fabricación de este tipo de contadores es complicada y requiere mano de obra especializada, por lo cual no se han industrializado masivamente. Este tipo de contador tiene una fragilidad considerable y su reparación es difícil.

La eficiencia es buena para energías del orden de 10 a 20keV pero se reduce para

mayores energías, razón por la cual su empleo para el monitoraje de contaminaciones internas con Am-241 es limitado.

3.1.4. Detectores semiconductores de germanio hiper-puro.

Este tipo de detectores de germanio intrínseco de alta pureza provee una muy buena resolución pero la limitación tecnológica está en la fabricación de unidades de gran superficie; se los agrupa en configuraciones tipo "mosaico". El espesor de los detectores es un compromiso entre la absorción total de la máxima energía de las partículas ionizantes a monitorar, la contribución del fondo (por aumento de la eficiencia para mayores energías gamma y el efecto Compton asociado) y el ruido (o sea, la resolución).

En el estado actual de la técnica estos cabezales de detección tienen del orden de 10 cm² de superficie y 1 cm de espesor; la ventana de entrada es de berilio (0,2mm) y si bien se minimiza la absorción de los X de 12keV (caso del Pu-239), la fragilidad es considerable y resulta casi imposible una eventual descontaminación de su superficie. Los cabezales están constituidos por cuatro detectores cada uno, con lo cual resulta necesario un barrido secuencial (multiplexado) de la información que suministran, que complica la instrumentación asociada.

Este tipo de detectores no está aún industrializado masivamente (por lo que se dispone de poca información operativa y experiencia al respecto) y el costo de una instalación completa es relativamente elevado. Como ventaja puede citarse su excelente resolución y la posibilidad de monitorar simultáneamente Pu-239 y Am-241.

3.2. Medición de actividad en excretas.

La medición de la actividad en excretas se suele hacer en orina, aliento exhalado, descargas

nasales, esputo, saliva, sudor o sangre.

La determinación de actividad en orina es especialmente apropiada para el monitoraje de incorporaciones de tritio, para lo cual se emplea la técnica del "centelleo líquido" (la utilización de los centelladores orgánicos líquidos es de gran interés cuando se trata de medir partículas directamente ionizantes de baja energía, ya que deja de tenerse ventana de entrada). Las mediciones de actividad en orina también se utilizan para la determinación de incorporaciones de uranio por fluorimetría; el principio de la medición se basa en la excitación de la muestra con luz de una dada longitud de onda (en general, ultravioleta) y la intensidad luminosa de la desexcitación (en otra longitud de onda) resulta proporcional a la concentración de uranio. Como detector suele emplearse un tubo fotomultiplicador y es esencial que el pico de sensibilidad espectral del fotocátodo esté centrado en la longitud de onda de la desexcitación a fin de poder medir bajas concentraciones.

Las mediciones en heces suelen emplearse para monitorar incorporaciones de materiales no transportables.

Si los radionucleídos incorporados decaen a gases nobles (como ser el radio a radón) su concentración puede monitorarse en el aire exhalado.

Finalmente, el análisis de las demás excretas es poco usual.

Como caso particular se mencionan dos excelentes indicadores dosimétricos de irradiaciones neutrónicas: el pelo y la sangre, a través de su activación.

4.- Monitoraje individual de la irradiación externa.

El objetivo primario del monitoraje individual de la irradiación externa es determinar las dosis recibidas por los trabajadores debidas a fuentes selladas o máquinas productoras de radiación. Los objetivos complementarios son proveer información sobre las condiciones radiológicas en las áreas de trabajo y las exposiciones accidentales.

Para poder cumplir con ello, se impone el uso de dosímetros personales. Los dosímetros personales deberían tener las siguientes características generales:

- una respuesta prácticamente independiente de la energía de la radiación a monitorar;
- un rango de exposición que abarque desde algunos mR hasta varios R;
- una respuesta sólo a la radiación ionizante de interés y
- una forma tal que resulten pequeños, livianos, fáciles de manipular, cómodos de usar y de bajo costo (tanto de inversión como de operación).

Todas estas cualidades no han sido obtenidas hasta la fecha en ningún dosímetro personal. Sin embargo, el avance tecnológico permite prever que en un futuro próximo será posible disponer de dosímetros personales con estas características.

Otros dispositivos utilizados en el monitoreo personal de la irradiación externa son las alarmas de bolsillo. Existen de dos tipos: las alarmas por tasa de exposición y las alarmas por sobreexposición. Son verdaderos instrumentos nucleares miniaturizados; constan de una unidad de detección de radiación fotónica, un circuito electrónico, una alarma acústica y/u óptica y una fuente de alimentación (generalmente pilas recargables).

Como detector se suele utilizar un tubo contador Geiger que, en muchos equipos comerciales, está ecualizado para los rangos habituales de energía; las unidades de tasa de exposición suelen utilizar tubos de alta sensibilidad (tipo 18550 o similar), en cambio las de sobreexposición utilizan tubos pequeños (tipo 18529 o similar).

La electrónica asociada a las alarmas de sobreexposición suele ser un escalímetro binario constituido por un circuito integrado que, al acumular el número de cuentas proporcional a la exposición prefijada, acciona el circuito de alarma. La electrónica de las alarmas por tasa de exposición suele ser un simple integrador con un circuito de disparo ajustable para un nivel de tensión proporcional a la tasa de exposición prefijada.

El uso de ambos dispositivos es una buena práctica de radioprotección. La alarma de sobreexposición está relacionada con las dosis y ayuda a los oficiales de radioprotección de la instalación a verificar el cumplimiento de los límites de dosis; las alarmas de tasa de exposición dan aviso de exposiciones innecesarias y coadyuva al cumplimiento del principio de que las dosis deben ser tan bajas como resulte practicable.