

TEMA 5:
DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN.
DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN EXTERNA.

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MONITORES PARA LA MEDIDA DE TASA DE DOSIS.....	4
2.1. Monitores basados en detectores de ionización gaseosa	6
2.2. Monitores basados en detectores de centelleo.....	9
2.3. Monitores basados en detectores de semiconductor	11
3. MONITORES PARA LA MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL.....	11
3.1. Monitores basados en detectores de ionización gaseosa	12
3.2. Monitores basados en detectores de centelleo.....	14
3.3. Monitores basados en detectores de semiconductor	15
4. MEDIDA DE LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD EN EL AIRE.....	15
5. DOSÍMETROS PERSONALES	16
5.1. Dosímetros pasivos.....	17
5.1.1. Dosímetros de termoluminiscencia.....	17
5.1.2. Dosímetros fotográficos	21
5.2. Dosímetros activos	21
6. DOSIMETRÍA DE NEUTRONES.....	22
7. INTERPRETACIÓN DE LECTURAS DOSIMÉTRICAS.....	24

1. INTRODUCCIÓN

De la misma forma que en otras actividades laborales convencionales, el tipo e importancia de los procedimientos de Protección Radiológica necesarios en una instalación nuclear o radiactiva, dependen de la naturaleza y evaluación de los riesgos previsibles en cada operación.

En general, el riesgo asociado a la presencia de radiaciones ionizantes depende en primer lugar del tipo de exposición que puede ser por irradiación externa (las fuentes se sitúan fuera del organismo) o por exposición interna (el material radiactivo se incorpora al organismo vía inhalación, ingestión o a través de una herida, fijándose en tejidos biológicos determinados). La estimación de los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes se efectúa mediante las magnitudes de protección radiológica Dosis efectiva, E, y Dosis equivalente en un órgano o tejido, H_T , que no son medibles directamente pero cuyo valor se puede evaluar con las magnitudes dosimétricas operacionales para la vigilancia de área y ambiental o para la vigilancia individual de trabajadores expuestos. La Dosis Efectiva E (Sv) es la magnitud limitante de acuerdo a la regulación española, y considera la suma de las dos contribuciones: (1) la dosis equivalente personal externa $H_p(10)$ y (2) la dosis efectiva comprometida $E(50)$ por exposición interna:

$$E \text{ (Sv)} = H_p(10) + E(50) = H_p(10) + \sum_j I_{j,\text{ing}} e(g)_{j,\text{ing}} + \sum_j I_{j,\text{inh}} e(g)_{j,\text{inh}}$$

Donde $I_{j,\text{ing}}$ es la incorporación (Bq) por ingestión

$e(g)_{j,\text{ing}}$ es el coeficiente de dosis (Sv/Bq) para ingestión

$I_{j,\text{inh}}$ es la incorporación (Bq) por inhalación

$e(g)_{j,\text{inh}}$ es el coeficiente de dosis (Sv/Bq) por inhalación

La caracterización de la radiación presente en el lugar de trabajo y un programa de vigilancia individual adecuado de acuerdo al riesgo de exposición externa y/o interna, permiten establecer las condiciones de operación que resulten aceptables para el personal de la instalación en sus diversas funciones y proporcionan información fiable sobre las dosis recibidas por los trabajadores expuestos durante las labores desarrolladas en la instalación.

Para la vigilancia radiológica continua de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes se realizan dos tipos de controles:

a) Vigilancia radiológica del lugar de trabajo que comprenderá:

- La medición de las tasas de dosis externas, especificando la naturaleza y calidad de las radiaciones de que se trate.
- La medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes y sus estados físico y químico.

b) Vigilancia individual mediante la evaluación periódica de las dosis recibidas por cada

individuo durante su trabajo y debidas tanto a la irradiación externa (dosimetría personal externa) como a la incorporación de radionucleidos al organismo (dosimetría personal interna).

2. MONITORES PARA LA MEDIDA DE TASA DE DOSIS

La tasa de dosis es una magnitud que indica la intensidad del campo de radiación ionizante existente en un instante dado y por tanto proporciona la información dosimétrica de un modo inmediato. Esta magnitud es la adecuada para la caracterización radiológica de lugares o la vigilancia instantánea y/o continuada de campos de radiación ionizante que pueden variar con el tiempo y alcanzar niveles que pueden resultar inadecuados para las personas expuestas.

La tasa de dosis se mide con dispositivos denominados monitores que se basan en distintos tipos de detectores (generalmente de ionización en gases o de centelleo) que necesitan para su correcto funcionamiento alimentación eléctrica (por lo que también se les denominan instrumentos activos) y que condicionan en parte su tamaño, peso y autonomía de funcionamiento.

En general, el aspecto exterior de los monitores no revela información sobre el tipo de detector y las características de funcionamiento del monitor por lo que siempre es conveniente estudiar la documentación del fabricante antes de emplearlo. Algunos de los monitores consisten en un solo instrumento donde se integra tanto el detector como la electrónica y otros constan de un módulo electrónico al que se une el detector con un cable adecuado. En algunos diseños incluso se emplea una electrónica única para distintos detectores con diferentes aplicaciones como las medidas de la tasa de dosis o la contaminación superficial (Figura 1).



Figura 1: Ejemplos de monitores activos y sondas para diversas aplicaciones.

Los monitores de tasa de dosis deben estar calibrados en las magnitudes radiológicas definidas para la vigilancia de área o ambiental, que son la Dosis equivalente ambiental, $H^*(d)$ y Dosis equivalente direccional, $H'(d, \Omega)$. Ambas magnitudes tienen el Sievert (Sv, $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$) como unidad del Sistema Internacional y sus tasas se suelen referir al periodo de

una hora ($\mu\text{Sv/h}$, mSv/h) aunque en algunos casos donde los valores de la tasa puedan ser más elevados se pueden referir a minutos e incluso segundos.

La calibración de los monitores de tasa de dosis para la vigilancia de área y ambiental se efectúa en aire (sin maniquí) y situando el punto de referencia del detector suficientemente lejos de la fuente de radiación de modo que se obtengan las condiciones de campo alineado y expandido que requieren las definiciones de las magnitudes dosimétricas $H^*(d)$ y $H'(d,\Omega)$. Es importante tener en cuenta que propiedades del monitor como la respuesta con la energía de la radiación depende de la magnitud de calibración del instrumento.

Es habitual encontrarse con monitores de tasa de dosis que presenten sus lecturas en términos de otras magnitudes y unidades, como por ejemplo la dosis absorbida en un material, D_m , (Unidad SI: Gray , $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$, Unidad tradicional: rad) o la exposición, X , (Unidad SI: C/kg, Unidad tradicional: Roentgen, R). En estos casos es fundamental conocer las bases del funcionamiento del equipo para poder establecer correctamente la conversión a las magnitudes radiológicas de interés.

El paso previo a cualquier medida a efectuar con monitores activos es la comprobación del estado de las baterías. Para ello, en general existe un modo de comprobación en el cual el instrumento informa sobre este aspecto, siendo obligatorio atender las indicaciones del fabricante antes de comenzar las medidas (en algunos casos se recomienda esperar unos minutos antes de proceder a medir). En los instrumentos con indicación analógica, la aguja del instrumento debe situarse en una zona identificada con un trazo o sector sombreado del dial. En los instrumentos digitales normalmente aparece un número o un icono informando sobre el estado de las baterías y, en general, si no es suficiente no es posible efectuar las medidas.

En algunos monitores analógicos será necesario ajustar el cero de la escala de medida antes de proceder a las medidas, para lo cual el instrumento dispone de un mando de ajuste.

Algunos equipos permiten verificar su calibración mediante una fuente de comprobación de baja actividad (generalmente $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ó ^{137}Cs) que situada en un punto de referencia del detector debe proporcionar aproximadamente la misma señal en cada exposición. Este proceso NO puede ser considerado como una calibración formal del monitor y se emplea únicamente para verificar si existen anomalías en el recuento del equipo ante la misma fuente radiactiva.

En general, los monitores de tasa de dosis ofrecen dos modos de operación para que el usuario disponga de opciones según su aplicación concreta:

- Modo instantáneo, donde el monitor reporta las lecturas de la tasa de dosis que mide en cada instante, que suele ser en cada segundo, aunque en ocasiones conviene alargar dicho periodo como se explica más adelante. En este modo, se tiene información inmediata de la intensidad del campo de radiación en el punto de la medida, lo que resulta muy útil al caracterizar distintos puntos o detectar cambios temporales en el valor de dicha intensidad.

- Modo integrado, donde el monitor acumula las señales debidas a la radiación ionizante en un periodo de tiempo controlado por el usuario y al final reporta la dosis acumulada en dicho periodo. Este modo resulta muy útil cuando interesa el valor de la dosis acumulada durante el desarrollo de una actividad y además es más preciso cuando se opera en lugares donde la tasa de dosis es relativamente baja o presenta importante fluctuaciones temporales.

Los monitores de tasa de dosis analógicos suelen disponer de varias escalas entre las que el usuario debe elegir la más adecuada en función del valor de las medidas realizadas. En los monitores de tasa de dosis digitales se cuenta ya con escala automática que el propio equipo selecciona en función de las medidas registradas.

Los monitores más recientes permiten visualizar y registrar las medidas efectuadas, lo que resulta muy útil cuando se efectúan medidas sistemáticas en un lugar. También resulta de gran utilidad la capacidad de algunos modelos de monitores de tasa de dosis para establecer avisos acústicos y luminosos en función de los valores de la tasa de dosis o dosis integrada y que es de gran ayuda en el desarrollo de actividades planificadas.

Algunos monitores también permiten registrar únicamente el valor máximo de la tasa de dosis en un intervalo de medida, lo que resulta imprescindible en algunas aplicaciones como por ejemplo campos pulsados de muy corta duración en algunas aplicaciones médicas.

2.1 Monitores basados en detectores de ionización gaseosa

La mayoría de los monitores de tasa de dosis utilizados en la vigilancia de área o ambiental suelen emplear detectores de ionización gaseosa que, en función de la tensión de operación, funcionan en modo cámara de ionización, contador proporcional o contador Geiger-Müller. Aunque su eficiencia para la detección de las radiaciones alfa y beta es prácticamente del 100% (siempre que las fuentes estén en contacto con el detector e incluso en su interior), su rendimiento para fotones es mucho más bajo lo que obliga a rellenar los detectores con gases a presión para aumentar su eficiencia.

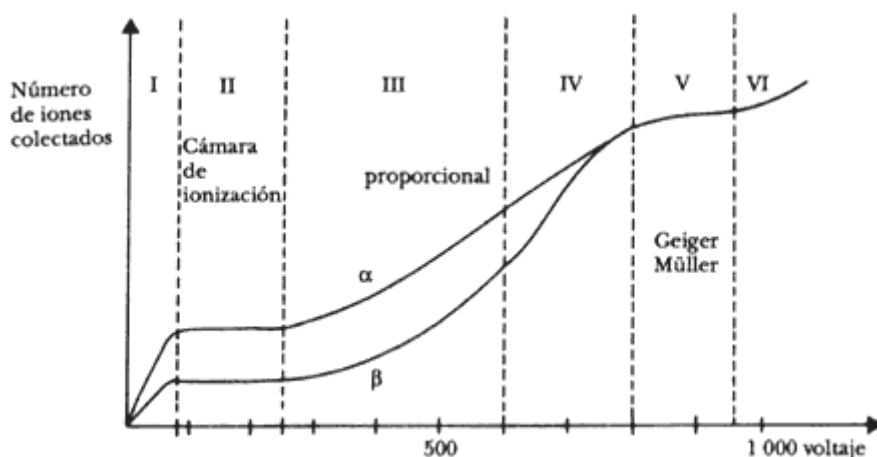
La respuesta de los monitores basados en detectores por ionización en gases puede depender en gran medida de la temperatura ambiente, tendiendo en general a presentar valores mayores cuanto mayor es la temperatura ambiente. Aunque muchos de los equipos actuales ya compensan automáticamente este efecto, es importante realizar las medidas en condiciones ambientales de temperatura entre 15 y 25°C.

La pared de los detectores suele ser de un material ligero y delgado, de modo que la radiación de baja energía pueda atravesarla y alcanzar el volumen de detección. Sin embargo, para poder medir correctamente radiaciones de mayor energía será necesario cubrir el detector con unas cubiertas de plástico o Aluminio que proporcionan las condiciones de equilibrio electrónico donde los electrones liberados por la radiación que alcanzan las paredes y se absorben en ella se compensan con los electrones liberados en las paredes por la radiación y entran en la zona sensible del detector. En estas condiciones el kerma y la dosis absorbida en el material que rellena el detector son iguales.

El modo de cámara de ionización permite medir la ionización producida en el gas de relleno ya que colecta todas las cargas eléctricas producidas por la radiación ionizante incidente, produciendo un pulso eléctrico cuya amplitud es proporcional a la energía de las partículas incidentes y por tanto se tiene la capacidad de discriminar la energía de la radiación ionizante que generó cada pulso (capacidad espectrométrica).

Los monitores basados en cámaras de ionización contienen normalmente un pequeño volumen (0.5 l) de aire seco a presión atmosférica y sus paredes están formadas por materiales ligeros (plásticos) cuyo número atómico medio es lo más próximo posible al del aire. Las cámaras de ionización, de paredes equivalentes a aire, son el fundamento de los sistemas patrón para medidas de exposición¹ y dosis absorbida en aire y se emplean para contrastar y calibrar monitores que se basan en otros tipos de detectores en todo tipo de aplicaciones. Existen diseños de cámaras de ionización de mayor volumen (5-8 l) y alta presión (25 atm) que son muy adecuadas para la medida de tasas de dosis en el rango más bajo de la tasa de dosis debida al fondo de radiación natural (0-0.5 $\mu\text{Sv/h}$). La Figura 2 muestra algunos ejemplos de monitores activos basados en el modo cámara de ionización.

Al aumentar la tensión entre los electrodos del detector, los electrones liberados en el gas por la radiación ionizante tienen suficiente energía para que puedan ellos también producir ionizaciones en el gas (multiplicación gaseosa). Se dice entonces que el detector entra en modo 'contador proporcional', obteniéndose pulsos mayores cuya amplitud es aún proporcional a la energía de la radiación ionizante. Si se continúa aumentando la tensión entre los electrodos se alcanza el modo Geiger-Müller en el cual la multiplicación gaseosa origina una avalancha de iones que origina un pulso de mayor magnitud que los generados en los otros dos modos, lo que permite simplificar la electrónica, aunque se pierde la capacidad espectrométrica al no ser proporcional la amplitud del pulso a la radiación ionizante que lo genera.



¹ La exposición es una magnitud radiológica que se define sólo para fotones en aire y aunque existen aplicaciones e instrumentos que aún la usan se recomienda emplear en su lugar las magnitudes kerma en aire o dosis absorbida en aire, que son numéricamente iguales en condiciones de equilibrio electrónico



Figura 2: Regiones de operación de un detector gaseoso. Ejemplos de monitores activos de tasa de dosis basados en cámaras de ionización. Izquierda: Monitor con indicación analógica, multiescala y ajuste de cero. Centro: Monitor con sonda separada e indicación digital. Derecha: Monitor para tasas ambientales con cámara de ionización presurizada.

Los detectores en modo Geiger-Müller son bastante más sensibles que los otros dos modos y en la práctica incluso puede ser necesario cambiar el tamaño de detector en función de la tasa de dosis a medir, empleando detectores más pequeños cuanto mayor es la tasa de dosis y viceversa. En la figura 3 se muestran ejemplos de monitores basados en contadores proporcionales y tubos Geiger-Müller.



Figura 3: Ejemplos de monitores activos de tasa de dosis basados en contador proporcional (Izquierda) y tubos Geiger-Müller (Derecha).

Un aspecto a considerar cuando se emplean detectores de ionización en gases es el tiempo muerto del detector, que es el intervalo que transcurre desde que se producen las ionizaciones hasta que se obtiene el pulso medible en el instrumento. En general, las cámaras de ionización y los contadores proporcionales presentan tiempos muertos inferiores a 10 ms, lo que en la práctica supone que no habrá que considerar este factor hasta tasas de dosis muy altas. Sin embargo en los tubos Geiger-Müller el tiempo muerto

puede ser del orden de 50-300 ms, lo que implica que en tasas de dosis elevadas las lecturas pueden ser más bajas de lo esperado (se produce la saturación del detector que no puede procesar todos los sucesos radiactivos). Algunos monitores disponen de mandos u opciones que permiten ajustar el tiempo muerto, posibilidad que es también útil cuando se miden campos que varían rápidamente con el tiempo.

Otra diferencia importante entre los tubos Geiger-Müller y las cámaras de ionización es su respuesta con la energía de los fotones, tal y como se muestra en la Figura 4. Para corregir esta dependencia, se recubre el tubo Geiger-Müller por filtros adicionales de diversos materiales que compensan la sobre-respuesta para los fotones de bajas energías. Aún así, en general los detectores Geiger-Müller tienden a sobre responder en un 20-50% para energía de fotones superiores a 1 MeV, por lo que en la práctica debe considerarse este efecto a la hora de interpretar las medidas.

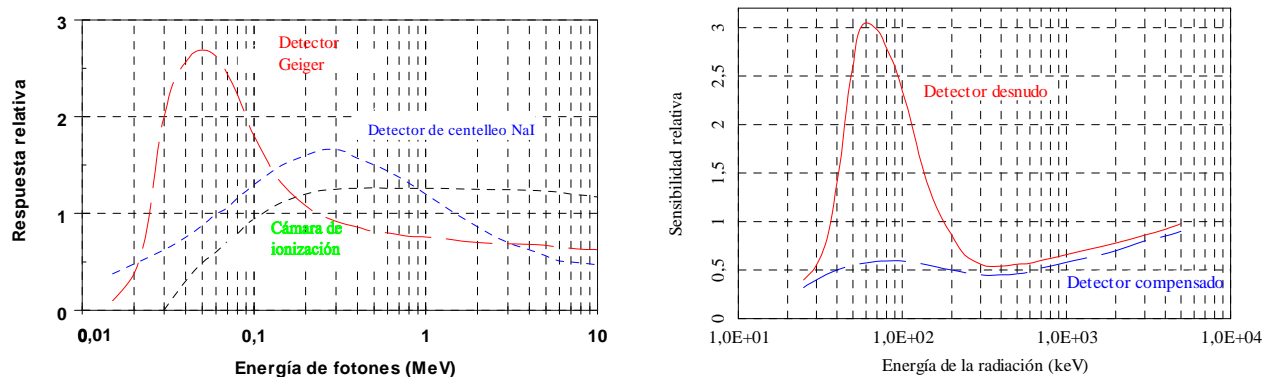


Figura 4: Dependencia con la energía de los fotones de diversos tipos detectores (Izquierda) y su compensación en tubos Geiger-Müller mediante la adición de filtros físicos (Derecha).

2.2 Monitores basados en detectores de centelleo

Los detectores de centelleo aprovechan la luminiscencia generada por la radiación en algunos sólidos orgánicos e inorgánicos para medir la dosis absorbida en el medio. Son detectores muy sensibles debido principalmente a la eficiencia luminiscente, la alta densidad del centelleador y a la excelente y elevada amplificación aportada por los tubos fotomultiplicadores (TFM) a los que va acoplado el centelleador. Para ello se suelen utilizar TFM de bajo ruido, seleccionando adecuadamente la tensión de trabajo. Hay que considerar también que las características de operación de los TFM dependen de la temperatura ambiente. En la figura 5 se muestran varios ejemplos de monitores activos basados en detectores de centelleo inorgánicos y plásticos.



Figura 5: Ejemplos de monitores activos de tasa de dosis basados en detectores de centelleo. Izquierda: Detector de NaI(Tl). Centro: Detector de La₃Br(Ce). Derecha: Plástico de centelleo.

Los detectores de centelleo más empleados en monitores de radiación se basan en cristales inorgánicos como el NaI(Tl), generalmente en forma cilíndrica y con dimensiones desde 1 a 8 cm tanto en su diámetro como en su longitud. Como se aprecia en la figura 4-Izquierda, los detectores NaI(Tl) tienen una importante sobre-respuesta a los fotones con energías en el rango entre 30 keV y 600 keV, debido a que su número atómico efectivo es mayor que el del aire o el tejido. A valores de energías más altas, por encima de unos pocos MeV, la respuesta del detector se asimila más a dichos materiales. Por ello, la conversión a dosis de la respuesta de un centelleador de NaI(Tl) no es sencilla y requiere el uso de funciones respuesta y protocolos de calibración adecuados.

Otra aplicación de los detectores de NaI(Tl) y quizás más conocida e interesante es su uso como espectrómetro de fotones para identificar los radionucleidos emisores de radiación gamma y determinar su contribución a la dosis. En los últimos años han aparecido sistemas portátiles con centelleadores de distintos tamaños que permiten ambos tipos de medida simultáneamente. Sin embargo, la interpretación de estos datos requiere una preparación adicional si se quieren evitar errores importantes. En los últimos años también se han desarrollado monitores activos basados en el material inorgánico Br₃La(Ce) que mejora las propiedades del NaI(Tl) sobre todo en su resolución en energía cuando se emplea como espectrómetro.

También existen materiales plásticos de centelleo que mantienen las propiedades de los cristales inorgánicos pero que presentan ventajas como su equivalencia a aire o tejido, lo que mejora en gran medida su respuesta energética como monitor de tasa de dosis pero impide su uso como espectrómetro. Sin embargo, los plásticos de centelleo aportan una gran ventaja desde el punto de vista práctico ya que se pueden fabricar en cualquier forma y tamaño que se precise.

La eficiencia y sensibilidad de los detectores de centelleo permite reducir el tamaño del monitor y en la actualidad existen diseños cuyas magnitudes son similares a las de los dosímetros personales. En el apartado 5.2 se ofrece más información sobre estos instrumentos.

2.3 Monitores basados en detectores de semiconductor

Existen también en la actualidad equipos para la medida de tasa de dosis que utilizan cristales semiconductores como elemento detector. Cuando la radiación ionizante incide sobre un material semiconductor genera pares electrón-hueco en la estructura del sólido que se comportan de manera análoga a los pares ión-electrón de los dispositivos de ionización en gases. Así, al aplicar un campo eléctrico externo, se actúa sobre la movilidad de dichos portadores y se obtiene una señal eléctrica debida a la ionización en el detector. Por estas analogías, algunos autores se refieren a estos detectores como 'cámaras de ionización de estado sólido'.

Como en el caso de los detectores de centelleo, la sensibilidad de los detectores de semiconductor permite reducir el tamaño del monitor y en la actualidad existen diseños cuyas magnitudes son similares a las de los dosímetros personales. En el apartado 5.2 se ofrece más información sobre estos instrumentos.

3. MONITORES PARA LA MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL

La contaminación superficial se define como la presencia no deseada de radionucleidos en una superficie. La contaminación superficial es removible si se elimina con procesos físicos sencillos como el arrastre por frotamiento y se dice que es fija cuando estos métodos no son suficientes para eliminarla.

El manejo de fuentes radiactivas no encapsuladas en una instalación implica siempre un cierto riesgo de contaminación superficial en las superficies de trabajo (mesas, poyatas), ropa de trabajo, protecciones, instrumentos, herramientas, mobiliario, paramentos y el propio cuerpo de las personas.

En general, el estudio de la contaminación superficial se inicia efectuando un frotis en la zona afectada para eliminar la contaminación removible, especialmente si visualmente se aprecia la presencia de líquidos o sólidos diferenciados del sustrato. Si se juzgara conveniente, el frotis será posteriormente analizado en un laboratorio especializado.

Los monitores de contaminación superficial son instrumentos activos (necesitan alimentación eléctrica para su funcionamiento) específicamente diseñados para medir directamente la contaminación superficial en estas situaciones y, en general, los resultados se expresan en términos de actividad superficial, siendo la unidad más empleada el Bq/cm².

Los monitores de contaminación superficial disponen de una o varias sondas y un equipo de recuento de impulsos que suministra además tensión a las sondas. Estas pueden estar en algún caso incorporadas al equipo o conectarse a éste a través de cables que proporcionen una mayor comodidad de uso en determinadas circunstancias. Los resultados se visualizan en términos de tasa de recuento (cuentas por segundo, cps, ó cuentas por minuto, cpm) o de actividad superficial (Bq/cm²) para lo cual el usuario habrá seleccionado previamente el factor de calibración adecuado al radionucleido detectado.

La calibración de estos monitores se efectúa con ayuda de fuentes certificadas de diversos radionucleidos siguiendo un procedimiento aceptado. Las eficiencias varían mucho dependiendo del radionucleido y en caso de que en la superficie coexistan más de uno de ellos la estimaciones con los monitores de contaminación superficial pueden ser únicamente cualitativas.

3.1 Monitores basados en detectores de ionización gaseosa

Los detectores de ionización gaseosa son adecuados para la medida de la contaminación superficial debido a su gran eficiencia para las radiaciones alfa y beta y a que el detector se sitúa muy cerca o incluso en contacto con la superficie. Por su baja sensibilidad las cámaras de ionización prácticamente no se emplean en esta aplicación, recurriéndose a contadores proporcionales y detectores Geiger -Müller (Figura 6).



Figura 6: Monitores de contaminación superficial basados en detectores de ionización en gases. Izquierda: Contador proporcional. Derecha: Tubo Geiger-Müller.

Los contadores proporcionales pueden fabricarse en muy distintas formas, aunque una de las configuraciones más habituales es la plana, con un área sensible que es, por imperativo legal en algunos países, igual o superior a 100 cm^2 . El gas de llenado rara vez es aire, porque al funcionar en modo de impulso, limitaría grandemente sus prestaciones. Xenon y butano son los gases más comúnmente utilizados. En el primer caso se trata de detectores sellados, con ventanas de recubrimiento en la cara activa con espesores del orden de 5 mg/cm^2 , de mylar o Ti, mientras que en el segundo los espesores son mucho menores, del orden de $0,4 \text{ mg/cm}^2$ de mylar metalizado, pero requieren un llenado del volumen activo poco antes de la medida. En ambos casos, en el interior del contador la carga se recoge a través de una serie de hilos paralelos.

En los contadores proporcionales es posible establecer una discriminación entre los impulsos originados por la radiación beta y la radiación alfa mediante un cambio en la tensión aplicada, obteniéndose para la tensión más baja el recuento correspondiente a la radiación alfa y para la tensión más alta los impulsos debidos a las radiaciones alfa y beta.

Los contadores proporcionales con carga de gas butano se utilizan cuando sea preciso detectar contaminación que requiera esa capacidad de discriminación, puesto que el menor

espesor de sus ventanas permite una buena medida de las partículas alfa emitidas por la fuente. Por el contrario, cuando interese una mayor eficiencia en la detección de emisores gamma de poca energía, se recurre a los detectores que utilizan Xenon.

Una aplicación especial de los contadores proporcionales es el control de la contaminación superficial en las personas que se efectúa en los puntos de tránsito definidos en las instalaciones, en particular en los accesos a zonas controladas. Para ellos se suelen utilizar varios detectores de flujo de gran área (hasta 800 o 1000 cm²) con una mezcla de argon y metano y capacidad de discriminación alfa/beta en función del tamaño o forma de los impulsos. Si es necesaria la detección de emisores gamma, estos sistemas se complementan con detectores de centelleo de gran superficie. Los detectores se configuran para facilitar las medidas de la contaminación en las extremidades (monitor de pies y manos) o a modo de pórtico. En ambos casos la persona permanece unos segundos hasta completar las medidas y recibir los resultados y autorización para acceder o salir de la zona (Figura 7).

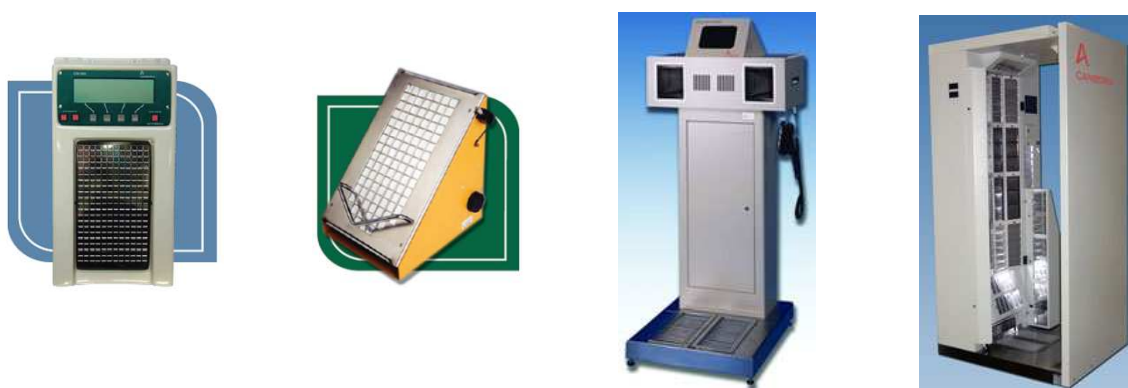


Figura 7: Monitores de contaminación superficial aplicados al control de personas en puntos de acceso a zonas controladas. De izquierda a derecha: Monitor de manos, monitor de pies, monitor conjunto para pies y mano y pórtico de acceso.

Los detectores Geiger-Müller se utilizan también como sondas en los monitores de contaminación superficial, siendo su robustez y su escasa dependencia de la tensión suministrada sus principales ventajas. Su inconveniente principal reside en su incapacidad de discriminar entre los distintos tipos de radiación. Suelen tener ventanas de entrada muy gruesas, normalmente de mica, con un mínimo de unos 2 a 5 mg/cm². Ello los hace poco recomendables para la medida de contaminación por emisores alfa.

Los detectores Geiger-Müller se fabrican generalmente en forma de sondas cilíndricas, siendo una de las caras planas la de entrada de la radiación al volumen activo. Sus tamaños son muy variables, aunque áreas de entre 6 y 10 cm² son bastante habituales. Existen también, al igual que en los detectores proporcionales, configuraciones de las llamadas "pancake" en las que el cilindro que constituye el detector tiene una altura muy inferior al diámetro de sus caras paralelas. Debido al gran tamaño del impulso Geiger, estos detectores pueden unirse al equipo de recuento mediante cables lo suficientemente largos como para permitir una gran flexibilidad en el acceso a superficies contaminadas.

3.2 Monitores basados en detectores de centelleo

Los monitores de contaminación superficial basados en detectores de centelleo (Figura 8) constan, al igual que sus análogos de ionización gaseosa de un detector y un sistema de recuento de impulsos y pueden utilizarse para la detección de radiación fotónica o de partículas alfa y/o beta. El principal inconveniente que presentan es la necesidad de disponer de una alta tensión estable en el fotomultiplicador, pues en caso contrario, pueden producirse variaciones importantes en las medidas. La cara expuesta a la radiación debe protegerse de la luz, lo que se suele hacer por medio de una lámina de mylar metalizado, cuyo espesor suele ser de unos pocos mg/cm^2 . Se utiliza además una rejilla de protección para evitar el contacto directo con la superficie que se examina.

Para la medida de contaminación causada por nucleidos emisores alfa se utilizan detectores de $\text{ZnS}(\text{Ag})$ de bajo espesor ($10 \text{ mg}/\text{cm}^2$), aunque también existen modelos que utilizan centelleadores plásticos. La sonda de medida consta de un cristal o plástico recubierto por una cara con el material centelleador y que permite el acoplamiento por la otra con el fotomultiplicador. Las sondas de este tipo se fabrican en una gran variedad de tamaños entre 5 y 300 cm^2 y varias formas.

Los detectores de plástico de centelleo se utilizan como una alternativa a los contadores proporcionales en la detección de contaminaciones superficiales por radiación beta porque, aunque son menos sensibles, son más robustos y no precisan recargas continuas de gas. Además, con procedimientos adecuados es posible discriminar los pulsos debidos a las radiaciones alfa y beta en la misma medida.

Para la medida de las contaminaciones superficiales por emisores gamma se prefiere el uso de cristales de $\text{NaI}(\text{TI})$ de bajo espesor ($1\text{-}2 \text{ mm}$) como detector. Sus principales ventajas son su sensibilidad y buena eficiencia de detección. Es típica su aplicación a la medida de emisores gamma en todo el rango de energía.



Figura 8: Monitores de contaminación superficial basados en detectores de centelleo. Izquierda: Detector de $\text{ZnS}(\text{Ag})$. Centro: Plástico de centelleo. Derecha: Detector de $\text{NaI}(\text{TI})$.

La versatilidad en los tamaños y formas de los detectores de centelleo y la fiabilidad en sus resultados han permitido desarrollar sistemas de vigilancia en controles de acceso en instalaciones industriales, edificios, fronteras, estaciones de tren, aeropuertos y puertos marítimos (Figura 9).



Figura 9: Aplicación de monitores de área basados en detectores de centelleo a controles de acceso de vehículos y procesos industriales.

3.3 Monitores basados en detectores de semiconductor

La placa de Si de espesores entre 100 y 300 μm y superficies variables es el detector de semiconductor más usado en su aplicación a la medida de la contaminación superficial debida a emisores alfa, para la que ofrece una eficiencia intrínseca de detección de prácticamente el 100%. Además, el detector también posee capacidad espectrométrica, por lo que resulta posible hacer una evaluación del espectro de energías de la radiación incidente en el detector. Para ello se interpone al detector un filtro que colima la radiación, de manera que solo se midan las partículas alfa que incidan en direcciones cercanas a la normal, lo que limita la eficiencia geométrica del instrumento, por lo que suelen efectuarse series de medidas con y sin el filtro colimador.

4. MEDIDA DE LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD EN EL AIRE

En general, la presencia de contaminación radiactiva en el aire se elimina o minimiza en las fases de diseño de las instalaciones y planificación de las actividades. Cuando existe este riesgo normalmente se clasifican estas áreas como zonas controladas con el propósito de incrementar el esfuerzo en protección radiológica para las actividades que se desarrollan en estas zonas de trabajo que generalmente implican la vigilancia de la presencia de contaminantes en el aire y la realización de controles de dosimetría interna si se considerara necesario.

En la medida de radiactividad en el aire se pueden distinguir dos fases. En la primera se hace circular un volumen conocido de aire a través de un filtro adecuado para las partículas radiactivas de interés y en la segunda fase se mide la actividad retenida en dicho filtro. En la Figura 10 se muestran ejemplos de los equipos empleados en la medida de la actividad en aire.



Figura10: Medios para la vigilancia de la actividad en el aire. Izquierda: Muestreador de aire de alto flujo con caudalímetro y totalizador de volumen. Centro: Ejemplos de soportes y filtros y equipo para su medida tras el muestreo de aire. Derecha: Monitor de aire en continuo basado en detector de semiconductor con filtro continuo.

Existen varios tipos de muestreadores de aire adecuados para la detección de partículas radiactivas, siendo el parámetro más relevante el caudal nominal que es capaz de recoger, y que puede variar en el rango 0.1-100 m³/h. Los filtros donde se recogen las partículas están normalizados en tamaño, material y retención, siendo los más habituales los fabricados en celulosa o fibra de vidrio con diámetros entre 50 y 100 mm. Los equipos de muestreo se completan con caudalímetros y totalizadores de volumen. Una vez finalizado el muestreo, los filtros se recogen adecuadamente y se envían a un laboratorio especializado para la determinación de la actividad retenida.

Existen también monitores de contaminación en aire que son capaces de estimar en tiempo real la actividad en el aire y que resultan fundamentales en caso de algún incidente o accidente que supongan la liberación a la atmósfera de radionucleidos. Estos monitores emplean contadores proporcionales, detectores de centelleo y detectores de semiconductor y en general son suficientemente precisos para poder establecer niveles de actuación. Muchos de estos monitores indican sus lecturas como la fracción del Límite derivado de concentración (LDCA)² en aire de cada radionucleido. En estas medidas es determinante la capacidad del instrumento para discriminar la influencia de emisores naturales (radón fundamentalmente) y poder evaluar de modo fiable la actividad del resto de radionucleidos.

5. DOSÍMETROS PERSONALES

Los dosímetros personales se utilizan para la vigilancia radiológica individual de las exposiciones externas. Debido a que deben ser portados por las personas en el desempeño de su actividad laboral, los dosímetros personales deben ser ligeros y de pequeño tamaño,

² Concentración media anual de actividad en aire inhalado, que de ser respirado por el hombre-patrón durante un año laboral de 2000 horas de trabajo, da lugar a una incorporación igual al límite de incorporación anual. Se expresa en Becquerel por metro cúbico (Bq/m³).

sin renunciar a la sensibilidad y versatilidad en la detección de las radiaciones que puedan afectar al usuario.

Se puede distinguir entre dosímetros personales pasivos y activos. Los primeros no necesitan alimentación eléctrica y acumulan de un modo seguro la información debida a las radiaciones ionizantes sin intervención alguna del usuario, precisando un proceso posterior de lectura y evaluación de las dosis. Los dosímetros activos proporcionan una lectura inmediata de las dosis y tasas de dosis recibidas, pero son algo mayores y pesados pues necesitan alimentación eléctrica (baterías) para su funcionamiento.

5.1 Dosímetros pasivos

Son dispositivos que contienen uno o varios detectores con alguna propiedad que, sin intervención del usuario, permite acumular la información sobre la cantidad de dosis recibida debida a las radiaciones ionizantes que se extrae en un proceso posterior de evaluación. Por su difícil manipulación y facilidad de uso, en España este tipo de dosímetros es el único reconocido para efectuar la vigilancia dosimétrica oficial requerida por la legislación vigente y que consiste en la exposición y su correspondiente medida cada mes.

5.1.1 Dosímetros de termoluminiscencia

Se denomina termoluminiscencia (TL) a la emisión de luz que presentan ciertas sustancias sólidas cristalinas al ser calentadas después de haber sido expuestas a radiación ionizante. Es un proceso físico en dos fases (excitación y relajación) que puede explicarse mediante un modelo sencillo de bandas de energía (Figura 11), donde la Banda de Conducción (BC) está separada de la Banda de Valencia (BV) por un rango de energías no permitidas que se denomina banda prohibida o 'gap'. Debido a la presencia de impurezas y elementos dopantes en el sólido cristalino, aparecen niveles discretos en la banda prohibida que se denominan trampas T y centros de recombinación R. En el rango de temperaturas (-10 a 60°C) los materiales TL son aislantes eléctricos y por tanto no existen portadores de carga libres en la BC.

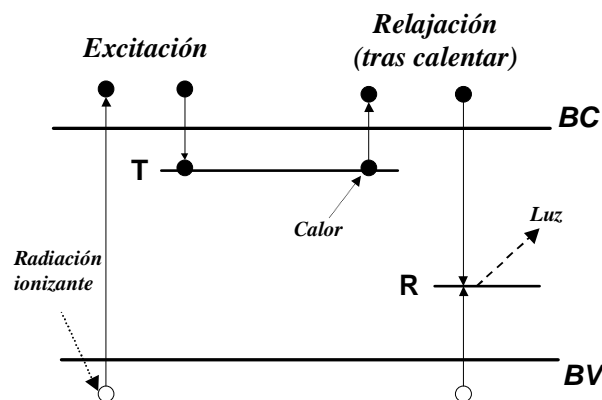


Figura 11: Modelo sencillo para la termoluminiscencia mostrando la excitación por la radiación ionizante incidente, y los fenómenos de relajación (recombinación directa y emisión de luz) tras la estimulación mediante calor.

En la etapa de excitación, la radiación ionizante incidente transfiere energía suficiente a electrones ligados en la BV, actuando desde ese momento como electrones libres en la BC. La mayoría de los electrones libres recién creados regresan inmediatamente a la BV (recombinación directa), pero algunos quedan atrapados en las trampas T situados en la banda prohibida aunque cerca de la BC. El detector queda en un estado metaestable donde la población de electrones atrapados en las trampas es proporcional a la dosis absorbida. En la BV se produce un fenómeno similar creándose 'huecos' cuya movilidad es mucho más reducida que la de los electrones en la BV. El detector permanece en este estado indefinidamente si bien se producen recombinaciones espontáneas que dependen fundamentalmente de la temperatura ambiente. Este efecto es común en todos los procesos activados térmicamente y se conoce como 'fading' o desvanecimiento y sus efectos deben ser considerados en las evaluaciones dosimétricas.

La relajación en los materiales TL se consigue mediante la aplicación de calor en el cual los electrones atrapados son devueltos nuevamente a la BC gracias a la energía térmica recibida. De nuevo la mayoría de los electrones en la BC tenderán a relajarse mediante recombinación directa, pero una fracción se recombinará en los niveles discretos (centros de recombinación R) situados en la banda prohibida pero próximos a la BV, produciéndose la emisión de luz cuya intensidad será proporcional a la dosis absorbida en el detector.

El gráfico de la intensidad de luz emitida como función de la temperatura durante la estimulación térmica se conoce como curva TL o 'glow curve' cuya forma y características son específicas del material TL. La mayoría de los materiales TL producen curvas TL que presentan varios picos que incluso se superponen y que revelan estructura de trampas-centros más o menos complejas. Ello requiere en algunos casos el empleo de tratamientos térmicos específicos que eliminen los picos menos estables (minimiza el efecto fading) y simplifiquen la curva TL. La Figura 12 presenta las curvas TL de los materiales más empleados en la dosimetría de las radiaciones ionizantes.

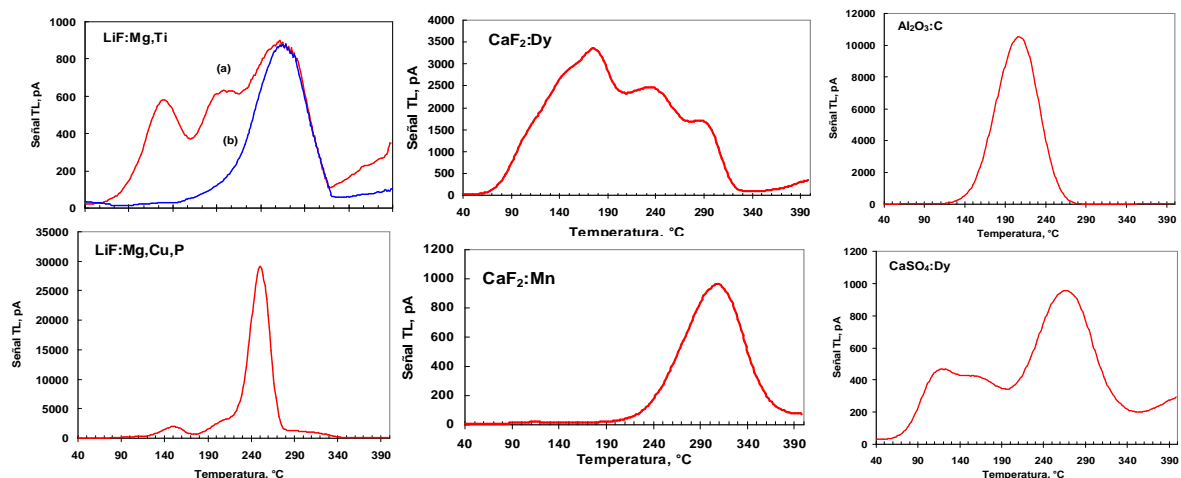


Figura 12: Curvas de emisión TL de los materiales más empleados en la dosimetría de las radiaciones ionizantes. En la figura superior izquierda se ilustra el efecto de los tratamientos térmicos en el LiF:Mg,Ti.

Durante el proceso de lectura de los detectores TL mediante su calentamiento en condiciones adecuadas, la estructura de bandas original por lo que en los detectores se elimina todo efecto relacionado con la última dosis recibida. Este proceso se efectúa en los lectores TLD, instrumentos de alta calidad y fiabilidad en los que es prácticamente imposible perder los datos de las lecturas de los detectores y que básicamente consisten en un sistema de calentamiento de los detectores (contacto, óptico, inyección de gas inerte) y un tubo fotomultiplicador que recoge la luz emitida y proporciona señales eléctricas en impulsos o corrientes eléctricas del orden de picoamperios (pA).

En general, los detectores TL son reutilizables inmediatamente después de su lectura, aunque en algunos materiales es recomendable emplear tratamientos térmicos adicionales que mejoren las características de medida del sistema. El número de reutilizaciones es en principio ilimitado, aunque en la práctica depende de las condiciones de operación del sistema dosimétrico TLD.

Los materiales más utilizados en TLD (LiF:Ti,Mg, LiF:Mg,Cu,P, CaF₂:Mn, CaF₂:Dy, Al₂O₃:C, CaSO₄:Dy, Li₂B₄O₇:Cu,Ag) son materiales sintéticos dopados con pequeñas cantidades de impurezas que aportan las trampas y centros de recombinación en la banda prohibida. La sensibilidad de estos materiales es proporcional a su número atómico efectivo que a su vez depende del coeficiente másico de absorción de energía $(\mu_{en}/\rho)_{TL}$ del material TL. La respuesta relativa del material TL con la energía de los fotones $S(E)_{ref}$ puede aproximarse como el cociente $(\mu_{en}/\rho)_{TL}$ dividido por el de un material de referencia $(\mu_{en}/\rho)_{ref}$, generalmente aire o tejido:

$$S(E)_{ref} = \frac{(\mu_{en}/\rho)_{TL}}{(\mu_{en}/\rho)_{ref}}$$

Resulta útil normalizar $S(E)_{ref}$ a un valor de la energía de los fotones tal como 662 keV (fuente de ¹³⁷Cs) o 1250 keV (energía efectiva de una fuente de ⁶⁰Co). La Figura 13 muestra los valores de $S(E)_{ref}$ normalizados a la emisión de ⁶⁰Co para distintos materiales TL y considerando distintos materiales de referencia (aire, músculo, hueso). La Figura 3 ilustra que existen materiales TL equivalentes a la mayoría de los materiales de interés dosimétrico y la importancia de elegir el material TL más adecuado para cada aplicación. Por ejemplo, el Borato de Litio es muy adecuado para la determinación de dosis en tejidos blandos pero ofrecería una importante subestimación en energías bajas si se desea estudiar la dosis absorbida en el hueso.

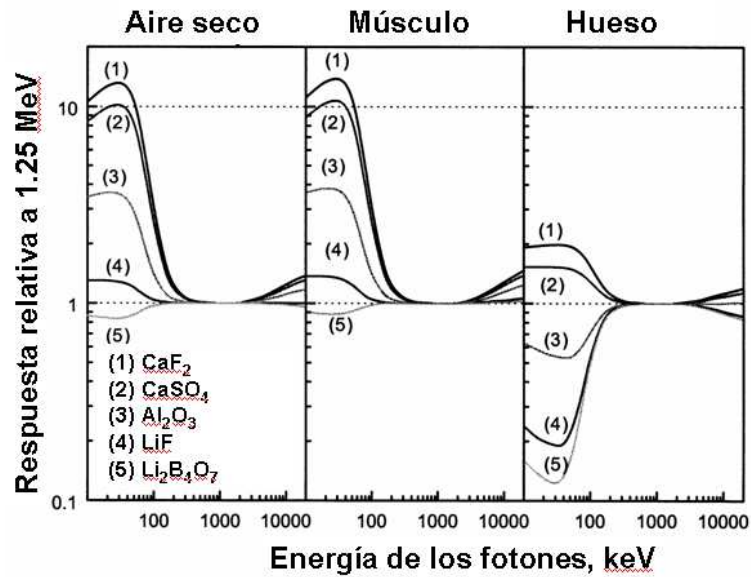


Figura 13: Respuesta relativa de los materiales TL con la energía de los fotones considerando como referencia tres materiales de interés dosimétrico y normalizadas a la energía de 1.25 MeV.

En su aplicación a la dosimetría personal, en general se disponen varios detectores TL en forma de discos, cristales, polvo o polvo sinterizado (prensado) en portadosímetros que les protegen del exterior y además les proporcionan el espesor de pared necesario para tener condiciones de equilibrio electrónico. Además, en algunos diseños se añaden filtros de distintos materiales y espesores de modo que en un solo dosímetro se dispone de información suficiente para evaluar la dosis recibida aplicando algoritmos basados en las funciones respuesta de cada detector TL y su filtración adicional. Los detectores TL son especialmente adecuados para la dosimetría de extremidades (dedos, manos, pies, cristalino) ya que pueden configurarse en pequeño tamaño y equivalente al órgano o tejido donde se necesite evaluar la dosis. En la figura 14 se presentan algunos ejemplos de dosímetros personales TL.



Figura14: Ejemplos de dosímetros personales TL, incluyendo a la derecha un dosímetro de anillo diseñado para la medida de dosis localizada en los dedos.

Los dosímetros TLD presentan una respuesta lineal con la dosis en un amplio rango (1 μ Gy - 1 kGy), siendo además independiente de la tasa de dosis. Su límite de detección en su

aplicación a la dosimetría personal mensual es del orden de 0.05 μSv y la incertidumbre global se estima en un 10%. Debido a estas características así como a otras ventajas desde el punto de vista operativo, en los últimos años los TLD se han impuesto como los detectores más adecuados y empleados para la dosimetría oficial.

5.1.2 Dosímetros fotográficos

La sensibilidad a la radiación electromagnética de las sales de plata, es la propiedad utilizada en este sistema dosimétrico. Estos dosímetros se basan en la exposición de una emulsión fotográfica a la radiación, seguido del revelado de la placa, y evaluación del grado de ennegrecimiento mediante un densitómetro, lo que permite evaluar la dosis absorbida, tras un calibrado previo.

Los dosímetros fotográficos constan de una película especial envuelta en una funda de papel opaco, montada en un soporte provisto de una pinza, que permite llevar el instrumento sobre ropa de trabajo. El bastidor del soporte está dotado de una serie de ventanas y filtros, que permiten la determinación simultánea de una serie de datos que permiten discriminar el tipo de radiación y su energía.

TIPOS DE FILTRO

- 1- Ventana
- 2- Plástico, 50 mg/cm^2
- 3- Plástico, 300 mg/cm^2
- 4- Dural, 0,1 mm
- 5- 0,7 mm de cadmio + 0,3 mm de plomo
- 6- 0,7 mm de estaño + 0,3 mm de plomo
- 7- 0,7 mm de plomo (blindaje de bordes)
- 8- 0,4 g de indio
- 9- Película

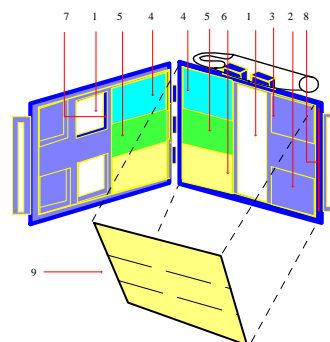


Figura 15: Diseño de un dosímetro personal basado en película fotográfica.

El manejo de dosímetros fotográficos es complejo y delicado y además la evaluación de las dosis es más complicada porque la relación de la densidad óptica con la dosis no es lineal. Además, el detector es obviamente no reutilizable, aunque esto pueda suponer una ventaja al permanecer la placa como un registro permanente de la medida. Las características de medida son limitadas y en la actualidad este tipo de detector está siendo reemplazado por los TLD, aunque en algunos países se emplean ambos métodos para la dosimetría oficial por razones legales.

5.2 Dosímetros activos

En algunas ocasiones donde la tasa de dosis en una instalación sea importante o varíe mucho tanto en el tiempo como en el espacio, además de los monitores de vigilancia de área, es necesario disponer de medidas dosimétricas individuales en tiempo real que permitan asegurar que las dosis recibidas por las personas sean aceptables desde el punto

de vista de la protección radiológica. Este tipo de vigilancia se denomina operacional y aporta información adicional para la evaluación dosimétrica oficial que normalmente se basa en la lectura de dosímetros personales pasivos. En general los dosímetros operacionales son instrumentos activos ya que necesitan alimentación eléctrica para su funcionamiento.

Los primeros dosímetros activos fueron los dosímetros de pluma que se basaban en la medida de la descarga producida por la radiación ionizante en un filamento de cuarzo que se cargaba electrostáticamente antes de su uso. En la actualidad existen numerosos equipos de medida que aúnan el desarrollo de detectores dosimétricos activos de pequeño tamaño (principalmente diodos de Si y detectores de centelleo) y las capacidades de la electrónica digital. En la Figura 16 se muestran algunos ejemplos de este tipo de dosímetro.



Figura 16: Dosímetros activos de lectura directa. De izquierda a derecha: Dosímetro de pluma basado en detector de cuarzo. Dosímetro Thermo y Dosicard basados en detectores de diodo de Si. Dosímetro Interceptor con capacidad espectrométrica basado en varios detectores de centelleo.

Los dosímetros activos actuales son de pequeño tamaño y ligeros, siendo muy aceptados como dosímetros operacionales en el acceso a instalaciones radiactivas y nucleares. En el diseño de los dosímetros activos se debe considerar la corrección de la respuesta con la energía de los fotones mediante el uso de varios detectores y filtros de compensación. El desarrollo de la microelectrónica ha aportado características de funcionamiento muy interesantes en la práctica diaria como la lectura inmediata de las dosis, la posibilidad de fijar niveles de alarma, el registro de dosis acumuladas, la comunicación con bases de datos centralizadas, etc. Todo ello indica que estos dispositivos aúnan las ventajas de los instrumentos activos y los dosímetros pasivos. Sin embargo, todavía persisten algunos aspectos operativos que deben ser mejorados antes de poder ser considerados en España como dosímetros oficiales.

6. DOSIMETRÍA DE NEUTRONES

La detección de neutrones es más complicada ya que al carecer de carga eléctrica no ionizan directamente la materia y al no ser desviados por los campos eléctricos de núcleos o electrones, son capaces en general de atravesar muchos centímetros de materia sin sufrir interacciones y siendo invisibles a los detectores de tamaños habituales.

La dosimetría de neutrones se basa fundamentalmente en el empleo de detectores de neutrones térmicos ($E < 0.5\text{eV}$) asociados a detectores de ionización o de centelleo, por lo que en general será necesario emplear un medio moderador de tamaño y geometría adecuados para disminuir la velocidad de los neutrones más energéticos. Dado que la energía media cedida por el neutrón al núcleo será tanto mayor cuanto más semejantes en masa sean ambas partículas, la máxima transferencia media de energía por colisión tendrá lugar al chocar un neutrón con un núcleo de H, que se convierte a su vez en un protón de retroceso. Por esta la razón los detectores se rodean con capas de espesor de hasta 10 cm de materiales hidrogenados como el polietileno, resultando que los monitores de neutrones para la vigilancia de área suelen ser cilindros o esferas que mantienen la isotropía requerida por las magnitudes $H^*(d)$ y $H'(d)$ pero que resultan voluminosos y pesados como los que se muestran en la Figura 17.



Figura 17: Monitores de área para neutrones. Izquierda: Moderador cilíndrico (tipo Anderson-Braun) y detector de centelleo de BF_3 . Derecha: Moderador esférico (tipo Leake) con lámina de Cd y contador proporcional de ^3He .

También existen dosímetros personales específicamente diseñados para la detección de neutrones (Figura 18). Los dosímetros pasivos emplean materiales TL con presencia del isótopo ^6Li sensible a neutrones y bajo diversos filtros, configurando lo que se denomina 'dosímetro albedo'. Otro dosímetro pasivo se basa en materiales plásticos especiales como el CR-39 que son capaces de registrar las trazas producidas por la interacción de los neutrones. Los dosímetros activos emplean detectores de semiconductor, con presencia de medios ricos en H y en ^{10}B o ^6Li para dar a lugar a partículas cargadas que son las que realmente se detectan en el material semiconductor. Por último y a medio camino entre ambos tipos de dosímetros están los detectores de burbuja, que ofrecen interesantes características pero cuyo uso es algo delicado.

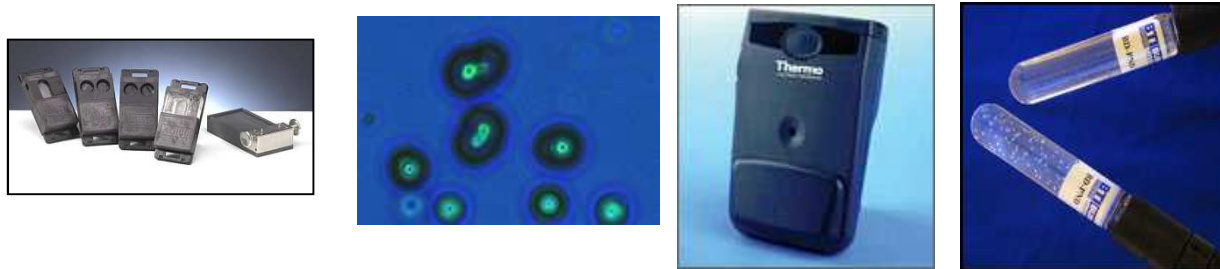


Figura 18: Dosímetros personales para la detección de neutrones. De Izquierda a derecha: TLD albedo. Imagen de las trazas en un detector CR-39. Dosímetro electrónico para neutrones. Detectores de burbuja.

7. INTERPRETACIÓN DE LECTURAS DOSIMÉTRICAS

Según el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RD 781/2001), la dosimetría individual, tanto externa como interna, será realizada por entidades o instituciones (servicios de dosimetría) expresamente autorizadas y supervisadas por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Estos Servicios de Dosimetría deben informar al titular de la instalación de las dosis recibidas por los trabajadores expuestos. En el cómputo de la dosis **no** se incluirán las dosis debidas al fondo radiactivo natural, las derivadas de exámenes o tratamientos médicos (como pacientes), ni las recibidas individualmente como miembros del público.

El titular de la instalación debe registrar dichas dosis en forma de un historial dosimétrico individual que estará, en todo momento, a disposición del propio trabajador. En el historial dosimétrico correspondiente a trabajadores de la categoría A, el registro de las dosis debe incluir las dosis mensuales y las dosis acumuladas durante cada período de doce meses y cinco años. En el caso de trabajadores de la categoría B, se registrarán las dosis anuales determinadas o estimadas.

Los límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos que aparecen en el citado Reglamento hacen referencia a la magnitud "dosis efectiva" en Sieverts. Como esta magnitud no es directamente medible, en el caso de exposición externa, los límites de dosis se consideran respetados si la dosis equivalente profunda no sobrepasa el límite de dosis fijado para la exposición global, si la dosis equivalente superficial no sobrepasa el límite de dosis fijado para la piel y si se respetan los límites de dosis para cristalino, manos y demás localizaciones. En el caso de exposición interna, los límites de dosis se consideran respetados si la dosis efectiva comprometida no sobrepasa el límite de dosis fijado para la exposición total.

Todo lo expuesto hasta ahora en este apartado hace referencia a la legislación actual en materia de dosimetría y servirá para interpretar la información dosimétrica suministrada por un Servicio de Dosimetría Externa (SDE) autorizado por el CSN. En la Figura 19 se muestra un

ejemplo típico de la información dosimétrica suministrada por un SDE mensualmente a los trabajadores expuestos (Los datos sobre identificación y fechas son autoexplicativos):

- **Dosis Profunda (mSv):** Es la dosis equivalente profunda Hp(10) evaluada con el dosímetro personal corporal una vez sustraída la dosis correspondiente al fondo natural normalizada al período de uso.
- **Dosis Superficial (mSv):** Es la dosis equivalente superficial Hp(0,07) evaluada con el dosímetro personal corporal una vez sustraída la dosis correspondiente al fondo natural normalizada al período de uso.
- **Dosis Localizada (mSv):** Es la dosis equivalente superficial Hp(0,07) evaluada con el dosímetro personal localizado una vez sustraída la dosis correspondiente al fondo natural normalizada al período de uso.
- **NOTAS:** En este campo aparece un código para identificar cualquier posible anomalía en el uso del dosímetro o en la evaluación de la dosis.
- **SUPERACIÓN DEL LÍMITE DE DOSIS:** Se señala de modo especial.
- **DOSIS ACUMULADAS:** Se informa sobre las dosis registradas en el año oficial de la medida y en los últimos cinco años oficiales.

Para una correcta interpretación de las lecturas dosimétricas es necesario saber que el CSN recomienda que la estimación del fondo natural se haga mediante la lectura de un número mínimo de 10 dosímetros situados en el Servicio de Dosimetría en lugares no influenciados por fuentes de irradiación. Este valor suele estar en torno a los 0.06 mSv/mes. Además, el CSN establece un nivel de registro en 0.10 mSv, lo que supone que se registrarán como cero los valores de dosis inferiores a dicho valor.

SERVICIO DE DOSIMETRÍA PERSONAL EXTERNA		10/12/2009
D/D Nombre Apellido:		
Departamento:		
<u>Resultados de la evaluación de los dosímetros personales asignados</u>		
<u>Período de uso: 01/11 a 01/12 (Mes: 11/2009)</u>		<u>NOTAS</u>
Dosímetro corporal nº: 0012345	DOSIS PROFUNDA (mSv):	0.00
	DOSIS SUPERFICIAL (mSv):	0.00
Dosímetro localizado nº: 0123	DOSIS LOCALIZADA (mSv):	NO

<u>Dosis acumuladas</u>	<u>Año oficial 2009</u>	<u>Años oficiales 2005-2009</u>
DOSIS PROFUNDA (mSv):	0,00	0.00
DOSIS SUPERFICIAL (mSv):	0,00	0.00
DOSIS LOCALIZADA (mSv):	NO	0.00
* Sobrepasa el límite aplicable		
- Dato no disponible		

Figura 19: Ejemplo de la información dosimétrica suministrada por un SDE.

Los Servicios de Dosimetría de la exposición externa (SDE) y de la exposición interna (SDI) deben de tener implantado un sistema de calidad que garantice la fiabilidad de los resultados de dosis de los trabajadores expuestos. Por ello el CSN recomienda que los SDE y SDI autorizados por el CSN o que soliciten autorización, estén acreditados o en proceso de acreditación por ENAC de acuerdo a la Norma ISO 17025.

Se recomienda además que los SDE implementen las recomendaciones técnicas en dosimetría externa indicadas en el documento de referencia de la Comisión Europea Report RP160 "Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation" (2009).