

TEMA 6

DETECCIÓN Y DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN

ÍNDICE:

1.- FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA DETECCIÓN

2.- DETECTORES DE IONIZACIÓN GASEOSA

2.1. Cámara de ionización

2.2. Contador proporcional

2.3. Contador Geiger

3.-DEFINICIÓN DE DOSIMETRÍA. DOSIMETRÍA AMBIENTAL Y PERSONAL

3.1. Dosímetros personales.

- Dosímetros termoluminiscentes
- Dosímetros de película
- Dosímetros electrónicos de lectura directa

3.2. Interpretación de un Informe Dosimétrico

4.- MONITORES PORTÁTILES DE RADIACIÓN UTILIZADOS EN RADIODIAGNÓSTICO

5.- MEDIDA DE LA DOSIS EN HAZ DIRECTO

1.-FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA DETECCIÓN

El organismo humano no puede percibir directamente muchos agentes físicos del mundo que le rodea; entre ellos figuran las radiaciones ionizantes.

Gran parte del desarrollo científico y técnico de la humanidad responde al deseo del hombre de remediar sus propias insuficiencias. Así, el ojo humano constituye un órgano maravilloso, pero no es capaz de ver todo lo que puede ser visto. Por ello fue inventado y perfeccionado el telescopio, que aumenta la distancia de visión millones de veces y también el microscopio óptico y el microscopio electrónico, que permiten ver objetos muchísimo más pequeños que los que puede distinguir el ojo desnudo.

Análogamente, el hombre ha ideado procedimientos y aparatos para detectar, medir y analizar las radiaciones ionizantes a fin de prevenir sus posibles efectos perjudiciales, y poder, en cambio, sacar ventaja de sus múltiples aplicaciones. Para ello se estudian las distintas formas de interacción de la radiación con la materia. Los principales efectos que produce la radiación al atravesar la materia son:

- a) Producción de carga (ej. : ionización de los gases)
- b) Excitación de luminiscencia en algunos sólidos.
- c) Disociación de la materia.

Como ya se ha dicho, cuando la radiación ionizante atraviesa un gas, provoca la ionización de una parte de sus átomos y, por consiguiente, la liberación de iones positivos y electrones negativos. Con ello, el gas, que primitivamente se comportaba como un aislante eléctrico, pasa a ser parcialmente conductor. Midiendo la corriente eléctrica que por él circula, en determinadas condiciones, puede deducirse la intensidad de la radiación que lo atraviesa.

De una manera parecida, la radiación provoca, al atravesar ciertos sólidos transparentes, la excitación de una fracción de los átomos de la sustancia atravesada, los cuales se desexcitan inmediatamente emitiendo fotones luminosos. La medida de la luz emitida permite medir y analizar la radiación ionizante que provocó la excitación.

Los efectos producidos por la cesión de energía de la radiación, pueden dar lugar a disociación, proceso en el que se rompen enlaces químicos produciendo alteraciones en la constitución de la materia. Un ejemplo de este fenómeno es el ennegrecimiento de placas fotográficas.

Las radiaciones ionizantes pueden atravesar la envoltura que protege de la luz ordinaria a una película fotográfica y ennegrecerla. Midiendo después la intensidad de dicho ennegrecimiento se puede deducir la dosis de radiación que ha alcanzado a la película fotográfica.

El efecto final de la interacción de la radiación en muchos tipos de detectores, es la aparición de carga eléctrica en el volumen activo del dispositivo. Esta suposición es cierta solamente en detectores de ionización (cámaras de ionización, contadores proporcionales, contadores Geiger) o detectores de semiconductor. Sin embargo es igualmente útil en otros detectores en los que la producción de la carga eléctrica es indirecta, como en los detectores de centelleo.

Al establecer un campo eléctrico suficientemente intenso al dispositivo, los iones positivos creados son captados por el electrodo negativo (cátodo) y los negativos por el electrodo positivo (ánodo), midiéndose una corriente cuya intensidad estará relacionada con la intensidad de la radiación ionizante que la ha producido.

En general, cualquiera de los tres procesos citados puede constituir el fundamento de un detector, dispositivo genérico que puede adoptar varias configuraciones específicas que permiten alcanzar una variada información, que puede ser por ejemplo, la mera información de llegada de radiación ionizante, el tipo de partícula, su energía, etc. En general, se suele distinguir entre **detectores**, meros contadores de partículas o fotones que alcanzan el dispositivo, o **espectrómetros**, donde además de la información de presencia que da el detector, se mide la energía de la radiación incidente.

Se debe tener en cuenta que los equipos detectores de la radiación ionizante pueden variar su respuesta en función del tipo y energía de la radiación, la tasa de emisión, la geometría y las condiciones ambientales en las que se realiza la medida.

2.- DETECTORES DE IONIZACIÓN GASEOSA

Los detectores de ionización tienen un recinto lleno de un gas a presión conveniente en el que se disponen dos electrodos a los que se les aplica una tensión de polarización, creando por tanto un campo eléctrico en el interior del volumen del detector **Figura 1**.

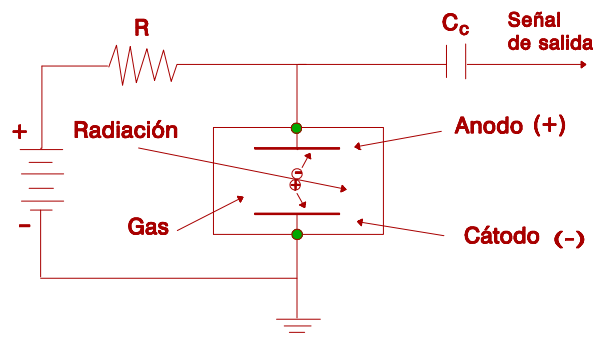


Figura 1. Detectores de ionización gaseosa.

En las circunstancias descritas, dado que los gases son aislantes, en condiciones normales no circula corriente eléctrica entre ambos electrodos. Pero si la radiación ionizante alcanza el espacio entre los electrodos, el campo eléctrico existente dará lugar a que las cargas eléctricas generadas por la interacción de la radiación, se muevan hacia los electrodos de signo contrario. De esta forma se origina en el circuito de detección un breve paso de corriente, o impulso de corriente, que puede ser medido y revela la llegada de la radiación al detector.

Al variar la tensión de polarización aplicada a los electrodos, varía la amplitud del impulso obtenido estableciéndose tres tipos de detectores de ionización gaseosa: cámara de ionización, contador proporcional y contador Geiger.

2.1. Cámara de ionización

En la cámara de ionización, la tensión de polarización aplicada produce un campo eléctrico suficiente para que sea posible la colección de toda la carga generada por la radiación incidente.

Las cámaras de ionización se clasifican, atendiendo a la forma de los electrodos, en planas o cilíndricas, según estén dotadas de electrodos plano-paralelos, o cilíndricos. Las últimas están formadas por un electrodo en forma de cilindro hueco, siendo el otro electrodo un alambre o varilla central (**figura 2**). La pared exterior de la cámara no debe ser muy gruesa a fin de que pueda ser atravesada por la radiación que se quiere detectar.

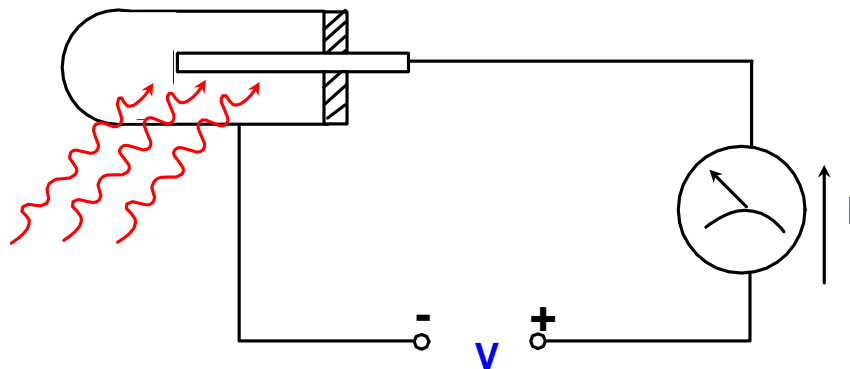


Figura 2.- Esquema de una cámara de ionización cilíndrica

Por su forma de operar, se dividen también en cámaras de corriente y cámaras de impulsos. Las cámaras de corriente detectan el efecto promedio que producen las radiaciones en su conjunto al interactuar con el gas que sirve de detector. Este efecto origina una corriente eléctrica que se relacionará con la magnitud dosimétrica apropiada.

Por otra parte, como la corriente generada en la cámara es muy pequeña, para que pueda ser medida por un instrumento ordinario se amplifica previamente mediante un circuito electrónico que constituye un amplificador lineal.

Las cámaras de corriente resultan muy adecuadas para medidas dosimétricas en las que no interesa conocer la energía de cada una de las radiaciones sino el efecto global que éstas producen. Es el modo de operación más común de las cámaras de ionización

En las cámaras de impulsos se mide cada suceso producido por la radiación individualmente. La altura de los impulsos proporciona además información sobre la energía de la radiación incidente.

Respecto al campo de utilización de las cámaras de ionización, debe decirse que se usan preferentemente para la **detección de fotones** (radiación X y gamma) y **partículas beta**.

2.2. Contador Proporcional

El esquema de un detector proporcional es análogo al de una cámara de ionización (Figura 2), siendo la tensión aplicada entre los electrodos, la diferencia fundamental entre ambos detectores.

Al aumentar la tensión de una cámara de ionización, se presenta un **fenómeno de multiplicación de carga** al unirse a la ionización primaria la secundaria, originada por los electrones que, acelerados hacia el ánodo, ganan energía suficiente para ionizar, por impacto, moléculas de gas neutras.

No todas las geometrías de electrodos son igualmente favorables. Por ejemplo, en un contador con electrodos plano-paralelos, la intensidad de campo eléctrico necesaria para llegar a la zona de multiplicación requiere una tensión de polarización muy alta, lo que eleva los riesgos de manejo y precisa de aislantes de alta calidad.

Por esta razón, tanto en contadores proporcionales como en contadores Geiger, se emplea por lo general una geometría coaxial, de cátodo cilíndrico y ánodo en forma de un hilo metálico muy fino. De esta forma, el campo eléctrico en las proximidades del hilo es ya suficientemente intenso para alcanzar las zonas Geiger o proporcional, aplicando una tensión de polarización del orden del kV.

El contador proporcional trabaja satisfactoriamente como espectrómetro, siempre que la partícula ionizante disipe la totalidad de su energía en el volumen sensible del detector. En la práctica, el contador proporcional encuentra un gran número de aplicaciones como, por ejemplo, medidas de actividades muy bajas en muestras ambientales o como detectores de partículas alfa, beta y neutrones.

La condición necesaria para que un evento ionizante pueda ser detectado, es que la partícula o fotón correspondiente llegue hasta el volumen sensible del detector. Para ello, los contadores de partículas suelen estar provistos de ventanas suficientemente finas, a través de las cuales se detecta la radiación emitida por fuentes externas. En los casos de emisores alfa y beta de baja energía la absorción en la ventana reduce drásticamente el rendimiento de detección, por lo que la medida de estos tipos de radiación requiere de diseños especiales como sucede con los contadores proporcionales de flujo continuo de gas, en los que la muestra se introduce dentro del propio detector.

2.3. Contador Geiger

En la práctica se suelen utilizar frecuentemente los contadores Geiger. Son meros contadores de las partículas ionizantes que alcanzan el volumen sensible del detector. La tensión de polarización es tal que los impulsos medidos alcanzan todos la misma amplitud, independientemente de la ionización primaria producida por la radiación, por lo que no dan información sobre la naturaleza de la radiación incidente o de la energía de ésta.

La amplitud del impulso es suficiente para activar directamente sistemas electrónicos de registro, sin necesidad de amplificación previa. Esta circunstancia, que abarata considerablemente la cadena electrónica, constituye la cualidad más apreciada en este tipo de detector.

Los equipos detectores de radiación basados en tubos Geiger resultan así mucho más sensibles que los basados en cámaras de ionización y más adecuados, por tanto, para medir niveles de radiación muy bajos.

El rendimiento de detección, definido como el número de partículas detectadas por cada 100 partículas incidentes, se aproxima al 100% para partículas alfa y beta que alcancen el volumen sensible de la cámara. En cambio para fotones sólo se logran rendimientos del orden del 1%.

4.- DEFINICIÓN DE DOSIMETRÍA. DOSIMETRÍA AMBIENTAL Y PERSONAL

La Dosimetría de las radiaciones ionizantes es la rama de la ciencia que se ocupa de la medida de la dosis absorbida por un material o tejido como consecuencia de su exposición a las radiaciones ionizantes presentes en un campo de radiación. La dosis absorbida se define como la energía absorbida por unidad de masa y depende de la naturaleza y características del campo de radiación, del material o tejido irradiado y de los complejos procesos de interacción materia-radiación.

El objetivo de la dosimetría de radiaciones ionizantes es prevenir o limitar la aparición de efectos nocivos producidos por la radiación. Según el método empleado para conseguir ese objetivo, podemos distinguir:

- Dosimetría ambiental

Determinación de la dosis equivalente ambiental, $H^*(10)$, en las zonas accesibles para el público. Se realiza para las medidas de dosis de radiación dentro de los planes de vigilancia radiológica ambiental establecidos alrededor de centrales nucleares o de instalaciones de alto impacto.

- Dosimetría de área

Determinación de la dosis equivalente ambiental, $H^*(10)$, en las zonas vigiladas y controladas, es decir, en zonas de trabajo ocupadas por trabajadores expuestos. Se emplea para la clasificación y control de las zonas radiológicas y para la vigilancia dosimétrica de trabajadores de categoría B.

- Dosimetría personal

La dosimetría personal comprende dos modalidades complementarias pero claramente diferenciadas: la dosimetría de la radiación externa y la dosimetría de la radiación interna.

La Dosimetría Personal Externa contempla aquellas situaciones en las que la irradiación se produce por fuentes externas al organismo humano y se realiza, de forma práctica, mediante el uso de dosímetros personales capaces de evaluar la dosis equivalente personal, $H_p(d)$. Aunque sólo es obligatoria para trabajadores de categoría A, en la práctica también se emplea frecuentemente en la determinación de las dosis recibidas por los trabajadores de categoría B

La Dosimetría Personal Interna proporciona soluciones tecnológicas para situaciones que exigen la evaluación de la Dosis Efectiva recibida por personas que han incorporado material radiactivo al organismo vía inhalación, ingestión, inyección, a través de heridas o de la piel. La medida de la actividad incorporada se realiza mediante

métodos directos (contador de radiactividad corporal) o indirecta (bioeliminación en excretas). La evaluación de la dosis efectiva a partir de la actividad incorporada en un método complejo que requiere el uso de modelos biocinéticos y coeficientes de dosis recomendados por ICRP.

En este tema se estudiarán las técnicas relativas a la dosimetría externa: ambiental, de área y personal.

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

- a) Vigilancia radiológica del ambiente 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) Medida periódica de las dosis acumuladas por cada individuo durante su trabajo.

El primer tipo de medidas es el objetivo de la dosimetría ambiental o de área, dependiendo si el objetivo a proteger es el público o los trabajadores expuestos. Para ello se utilizan monitores de radiación que registran las dosis o las tasas de dosis en puntos claves de la instalación radiactiva. También es necesario para cumplir el requisito de vigilancia radiológica del ambiente de trabajo utilizar monitores de contaminación que evalúen la actividad o concentración de actividad.

El segundo tipo de medidas es el objetivo de la dosimetría personal. La dosimetría personal externa se realiza de forma práctica mediante el uso de dosímetros personales. Un dosímetro es un dispositivo que exhibe unas propiedades físicas diferentes a las normales cuando es sometido a la exposición a radiaciones ionizantes. Esta variación en sus propiedades es detectable y cuantificable y sirve para la medida de la dosis de radiación, una vez que el dosímetro es calibrado adecuadamente. Los dosímetros personales deben ser de tamaño reducido para poder ser portados con comodidad durante el trabajo, pero en realidad incluyen una considerable complejidad de diseño ya que deben ser capaces de estimar con garantía, a través de la medida en un solo punto, una magnitud que representa los efectos de la radiación en los múltiples tejidos y órganos del cuerpo humano.

4.1. Dosímetros personales

Los dosímetros personales pueden dividirse en dosímetros *activos* y *pasivos* según necesiten o no de una fuente de alimentación para su funcionamiento. Esta característica condiciona sus propiedades dosimétricas y su empleo en operación.

Los dosímetros pasivos integran la dosis durante su exposición sin necesidad de estar conectados a los instrumentos de medida y su evaluación se realiza en laboratorios especializados al finalizar el período de exposición. Ejemplos de dosímetros pasivos son: las películas fotográficas, los

dosímetros termoluminiscentes, las emulsiones nucleares o dosímetros de trazas, los dosímetros fotoluminiscentes, las emulsiones sobrecalentadas o dosímetros de burbuja, los de almacenamiento directo de iones (DIS). Los más comúnmente empleados en Dosimetría Personal son los basados en detectores termoluminiscentes y en películas fotográficas.

Los dosímetros activos necesitan de una fuente de alimentación para su funcionamiento. Presentan una respuesta inmediata y continua durante su operación y proporcionan, en tiempo real, información sobre la dosis acumulada, la tasa de dosis y las condiciones de exposición. Además, presentan la posibilidad de emitir alarmas que permiten una aplicación más eficiente de los criterios ALARA. Habitualmente están basados en detectores de ionización gaseosa y en detectores de semiconductor. Se utilizan habitualmente como dosímetros operacionales

- **Dosímetros termoluminiscentes (TLDs)**

Básicamente, la termoluminiscencia es la emisión de luz cuando un material que ha sido expuesto a radiación ionizante es calentado. Los materiales termoluminiscentes son sólidos aislantes o semiconductores en los que la radiación ionizante induce la creación de pares electrón-hueco que permanecen atrapados en defectos de la red cristalina hasta que el material expuesto es calentado posteriormente.

El mecanismo de la termoluminiscencia puede ser explicado mediante el diagrama de bandas de energía de los materiales cristalinos que se presenta en la Figura 3. La presencia de defectos o impurezas (denominados dopantes o activadores) en la red cristalina introduce niveles discretos de energía dentro de la zona prohibida constituyendo lo que se conoce como estructura de trampas del material.

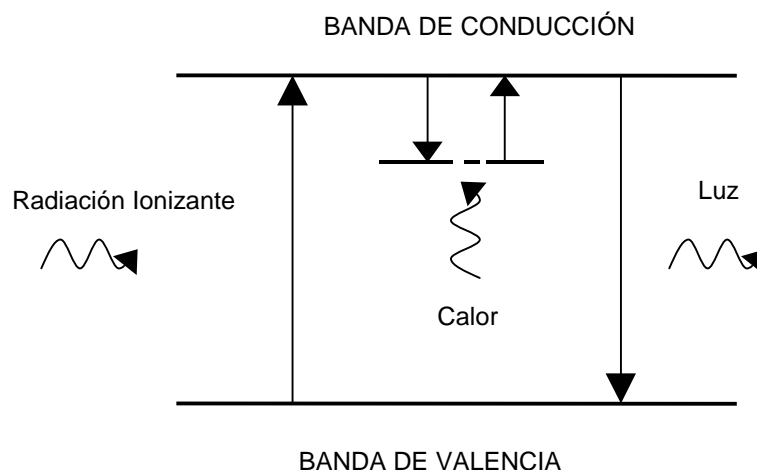


Figura 3: Esquema del mecanismo de la termoluminiscencia

La representación gráfica de la luz emitida por el dosímetro termoluminiscente (TLD) en función de la temperatura de calentamiento del material se denomina curva de luz (Figura 4).

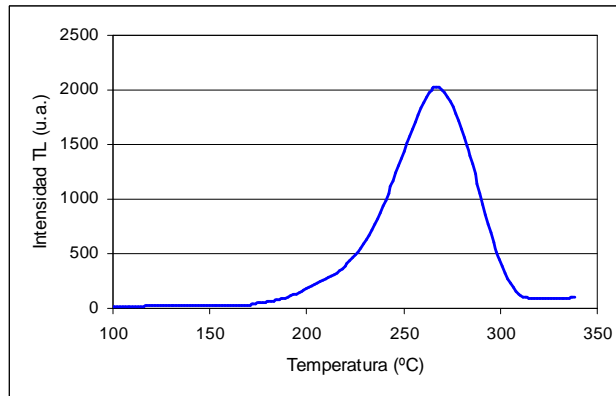


Figura 4: Curva de luz de un material TL (LiF:Mg,Ti) sometido a tratamientos térmicos

El empleo de la luminiscencia en dosimetría requiere que la luz emitida por el material termoluminiscente (TL) durante el proceso de lectura sea recogida por un tubo fotomultiplicador. El conjunto del sistema de calentamiento del material, el tubo fotomultiplicador y la electrónica asociada conforma el lector de dosímetros TL. El lector debe estar conectado a un sistema informático en el que se capture y almacene la información de la lectura dosimétrica.

Los materiales TL más utilizados en dosimetría personal son LiF:Mg,Ti (TLD-100), LiF:Mg,Cu,P (GR-200), $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu}$ y $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$.

Los dosímetros TL empleados en dosimetría personal (Figura 5) combinan varios detectores de uno o varios materiales TL, de propiedades dosimétricas complementarias, alojados bajo filtros de materiales de espesor y composición adecuados. Ello permite la aplicación de algoritmos de cálculo de dosis, basados en la relación entre la lectura individual de cada detector, de forma que se aporte información adicional sobre el campo de radiación para una más correcta evaluación de la dosis equivalente personal. El conjunto se introduce en un chasis que constituye una protección frente a distintos agentes que pudieran alterar las propiedades dosimétricas de los detectores (polvo, humedad, luz, etc.).



Figura 5: Ejemplos de dosímetros termoluminiscentes

Ventajas:

- ✓ Reutilizables.
- ✓ Linealidad en un amplio margen de energía (ej. LiF:Mg,Ti: 100 μ Sv- 5 Sv)
- ✓ Permiten la evaluación de dosis en campos mixtos mediante la combinación de distintos materiales y el empleo de filtros adecuados
- ✓ Equivalente a tejido. Fácil manejo. Barato.
- ✓ Bajo nivel intrínseco de pérdida de información.
- ✓ Bajo peso y tamaño reducido: óptimos para dosimetría de extremidades
- ✓ No necesitan baterías
- ✓ Proceso de lectura fácil de informatizar

Desventajas:

- ✓ La información almacenada se destruye en el proceso de lectura, aunque la curva de luz emitida puede conservarse de forma permanente.
- ✓ Desvanecimiento o “fading” de la señal por estimulación óptica o térmica
- ✓ Estructura compleja de la curva de luz

▪ Dosímetros de película

El dosímetro de película consta de una película fotográfica colocada en el interior de una carcasa protectora que contiene los filtros apropiados para el tipo de radiación a detectar (Figura 6).



Figura 6: Dosímetro personal de película: aspecto externo y filtros en el interior del portadosímetro

Las películas fotográficas que se emplean en dosimetría de radiaciones consisten en una emulsión compuesta por cristales microscópicos de AgBr suspendidos en un medio gelatinoso. Una fina capa de esta emulsión se deposita sobre una delgada base de material plástico que actúa de soporte. El conjunto se envuelve en un sobre opaco para protegerlo de la luz ya que tanto la radiación ionizante como la luz visible o el calor pueden producir una “imagen latente” al incidir sobre los granos de la emulsión. En el proceso de revelado de la película, los iones de plata se reducen a plata metálica en la imagen latente produciendo un ennegrecimiento permanente de la

placa. Mediante los procesos de fijado y lavado se eliminan las partículas de AgBr que no han sido afectadas por la radiación. Posteriormente, se mide con un densitómetro la densidad óptica o ennegrecimiento de las distintas zonas de la película revelada y es dicha magnitud la que se relaciona con la dosis de radiación mediante el proceso de calibrado. La densidad óptica depende del tipo de película y del proceso de revelado así como del tipo y energía de la radiación incidente.

Las emulsiones fotográficas se utilizan principalmente en la determinación de la dosis personal debida a radiación gamma, beta y neutrónica en el rango térmico.

La dosimetría fotográfica es una técnica laboriosa y compleja en la que las operaciones de extracción de la película del sobre protector, revelado, fijado, lavado deben realizarse en condiciones de iluminación adecuadas. Ello supone la necesidad de dotar al laboratorio dosimétrico con una cámara oscura e implementar las necesarias medidas de seguridad para evitar el velado indeseado de las películas.

La emulsión fotográfica presenta problemas de saturación para dosis superiores a los 50 mSv y es un proceso difícil de automatizar que, excepto en muy escasos servicios, continúa efectuándose casi manualmente. Si se añade que el umbral de detección es del orden de 0.20 mSv (superior al nivel de registro establecido en España), se comprende la tendencia actual a sustituir la dosimetría de película por otras técnicas que presenten mejores características operativas, como son las basadas en la luminiscencia o en los detectores de semiconductor.

Ventajas:

- ✓ Permiten una evaluación selectiva en campos mixtos.
- ✓ La película revelada aporta información sobre el tipo y energía de la radiación
- ✓ La película revelada constituye un registro permanente
- ✓ Permiten reevaluar la dosis
- ✓ Bajo peso
- ✓ No necesitan baterías

Desventajas:

- ✓ No son reutilizables
- ✓ El proceso de revelado y la evaluación de dosis son complejos y difíciles de automatizar
- ✓ El límite inferior de detección es demasiado elevado
- ✓ Presentan problemas de saturación a dosis altas
- ✓ El proceso de revelado debe hacerse en condiciones de práctica oscuridad
- ✓ El material fotográfico es inestable frente numerosos factores ambientales: luz, calor, humedad, etc.

▪ **Dosímetros electrónicos de lectura directa**

Los dosímetros electrónicos que se emplean en dosimetría personal están basados en dos tipos de detectores: tubos Geiger-Müller y diodos de Si.

En los primeros, se mide la ionización producida en el volumen activo del contador por lo que en estos dispositivos el tamaño viene determinado por el volumen de gas necesario para detectar la radiación.

Los detectores de semiconductor utilizan los pares electrón-hueco generados por la radiación en la zona activa del detector. Debido a que el detector está polarizado, se crea un campo eléctrico que conduce las cargas creadas hacia un circuito externo, que consta de un electrómetro y que permite medir la carga colectada. Por lo tanto, un semiconductor opera como si se tratase de una cámara de ionización en la que el gas ha sido sustituido por un sólido, incrementándose de esta forma la sensibilidad del detector.

La aplicación de los detectores de semiconductor a la dosimetría personal (Figura 7) sólo ha sido posible tras el desarrollo de microprocesadores y la miniaturización de circuitos, lo que ha permitido el diseño de instrumentos de pequeño tamaño y poco peso. Actualmente, los dosímetros incorporan más de un detector en su diseño, ampliando de esta forma tanto la capacidad del instrumento para medir la dosis equivalente personal como el tipo de radiaciones detectables: fotones, radiación beta y, en los últimos desarrollos, incluso radiación neutrónica.



Figura 7: Ejemplo de dosímetros personales electrónicos

Al estar basados en detectores activos, los dosímetros electrónicos proporcionan una medida instantánea tanto de la tasa de dosis como de la dosis integrada; por este motivo, también se denominan como dosímetros de lectura directa ya que permiten al usuario tener una estimación inmediata de la dosis recibida.

Además, los dosímetros electrónicos incorporan la posibilidad de emitir alarmas, tanto luminosas como sonoras, que pueden ser programadas en función de los valores deseados de dosis o tasa de dosis permitiendo así la obtención de información muy conveniente para la aplicación de los criterios ALARA.

Otras de las ventajas son su sencilla conexión con ordenadores personales y la incorporación de dispositivos de memoria no volátil que permiten almacenar, y posteriormente transmitir al sistema informático, los datos relativos al historial de registros dosimétricos del dosímetro, a la calibración, a la identificación del usuario y otras informaciones relevantes.

Aunque su uso está muy extendido, sobre todo en el ámbito de las instalaciones nucleares, su aplicación más frecuente es la de dosímetro operacional o de alarma y tan solo en algunos países como Eslovenia, Alemania o el Reino Unido, son considerados como dosímetros personales oficiales.

Algunas de las razones que se aluden en contra del uso de dosímetros electrónicos como dosímetros oficiales son los fallos mecánicos, la duración de las baterías y su precio elevado.

Ventajas:

- ✓ Estimación de dosis y tasa de dosis en tiempo real
- ✓ Emisión y programación de alarmas sonoras y acústicas
- ✓ Fácil conexión a medios informáticos
- ✓ Incorporación de memorias no volátiles

Desventajas:

- ✓ Necesidad de baterías
- ✓ Precio elevado
- ✓ Peso elevado
- ✓ Necesidad de calibración individual

4.2. Interpretación de un Informe Dosimétrico

El actual “Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes” (RD 783/2001, de 6 de Julio) establece las bases legales para el ejercicio de la dosimetría personal en España. En él se definen las magnitudes adecuadas para estimar la dosis por exposición externa, se señalan los límites anuales de dosis tanto para trabajadores profesionalmente expuestos como para personas en formación, estudiantes y público en general y se establece la sistemática aplicable a la vigilancia individual.

El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, en adelante RPSCRI, especifica que la magnitud operacional para la radiación externa recomendada en la vigilancia individual es la dosis equivalente personal $H_p(d)$. Para la radiación fuertemente penetrante se recomienda una profundidad $d = 10$ mm, mientras que para las radiaciones débilmente penetrantes se recomienda una profundidad $d = 0.07$ mm para la piel y $d = 3$ mm para el cristalino de los ojos (Anexo II).

En el RPSCRI se estipula que las dosis recibidas por los trabajadores expuestos deberán determinarse con una periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa y que la dosimetría individual será efectuada por los Servicios de Dosimetría Personal expresamente autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear (en adelante, CSN) (Artículo 27).

En relación con el historial dosimétrico el RPSCRI indica la obligatoriedad de registrar todas las dosis recibidas durante la vida laboral de los trabajadores expuestos en un historial dosimétrico individual que estará, en todo momento, a disposición del propio trabajador (Artículo 34). En el historial dosimétrico correspondiente a trabajadores de la categoría A, se registrarán las dosis mensuales, las dosis acumuladas cada año oficial y las dosis acumuladas durante cada período de 5 años oficiales consecutivos. En el caso de trabajadores de la categoría B, se registrarán las dosis anuales determinadas o estimadas (Artículo 35).

En la Figura 8 se muestra un modelo de Informe de Dosimetría Externa. La mayoría de los datos son autoexplicativos pero, con objeto de proporcionar los conceptos básicos para una correcta interpretación del informe, a continuación se explicarán en detalle los términos más relevantes contenidos en él:

- Magnitudes operacionales:

Hp(10) o dosis profunda (DP) expresados en mSv y correspondientes a la evaluación de dosis mediante el dosímetro corporal

Hp(0.07) o dosis superficial (DS) expresados en mSv y correspondientes a la evaluación de dosis en piel mediante el dosímetro corporal

Hp(0.07) en extremidades (manos, normalmente) o dosis localizada (DL) expresados en mSv y correspondientes a la evaluación de dosis mediante el dosímetro localizado (anillo o muñeca).

- Dosis de fondo:

Según el RPSCRI, en el cómputo de las dosis de los trabajadores expuestos no debe incluirse la dosis debida al fondo radiactivo natural. Por lo tanto, según recomendación del CSN, la sustracción del fondo ambiental se efectúa a partir de la lectura de un número de dosímetros no inferior a 10 situados en el Servicio de Dosimetría Personal en lugares no influenciados por fuentes de radiación.

- Nivel de registro:

Se denomina nivel de registro al mínimo valor de la dosis que se informa como distinto de cero. En España, el nivel de registro está establecido por el CSN en 0.1 mSv/mes. Por lo tanto, dosis mensuales inferiores a 0.1 mSv, una vez restada la dosis de fondo, aparecerán como 0.00 en el Informe de Dosimetría Externa.

- Dosis recibidas en el último período de medida:

Los valores de dosis reflejados en el Informe de Dosimetría Externa se obtienen tras sustraer la dosis de fondo normalizada al periodo de uso y serán distintos de 0.00 cuando superen el nivel de registro.

- Dosis acumuladas en años oficiales:

En este apartado aparecen las dosis profunda, superficial y localizada acumuladas durante el año oficial y la dosis profunda acumulada en un período de cinco años consecutivos.

- Superación del límite de dosis:

En el Informe de Dosimetría Externa aparecen señalados con un asterisco para su rápida identificación aquellos registros que supongan una superación de alguno de los límites de dosis establecidos en el RPSCRI.

SDP Externa

INFORME DE DOSIMETRÍA EXTERNA

dd/mm/aaaa
CIEMAT/SDPE/SDPE_LEC_003/nn/aaaa

EMPRESA: DENOMINACIÓN
DIRECCIÓN
POBLACIÓN
CODIGO POSTAL – PROVINCIA
RESPONSABLE TÉCNICO: Nombre y apellidos

Fecha de lectura: dd/mm/aaaa DP=H_p(10) DS=H_p(0,07) DL=H_p(0,07) en manos
Dosis de fondo (mSv/mes): n,nn

M.D.	Apellidos y Nombre	TLD	(1)	(2)	DOSIS RECIBIDAS ULTIMO PERIODO DE MEDIDA				DOSIS ACUMULADAS					
					PERIODO MEDIDA		DP (mSv)	DS (mSv)	DL (mSv)	NOTAS	AÑO OFICIAL			CINCO ÚLTIMOS AÑOS
					DESDE	HASTA					DP (mSv)	DS (mSv)	DL (mSv)	
nnnn	Apellidos y Nombre	nnnn	C.R.	R.L.	dd/mm/aa	dd/mm/aa	n,nn	n,nn			n,nn	n,nn		n,nn
nnnn	Apellidos y Nombre	nnnn	C.R.	R.L.	dd/mm/aa	dd/mm/aa			n,nn				n,nn	
nnnn	Apellidos y Nombre	nnnn	C.R.	R.L.	dd/mm/aa	dd/mm/aa	n,nn			@	n,nn	desde (dd/mm/aaaa)		

RESUMEN DE DOSIMETRÍA EXTERNA	ULTIMO PERIODO DE MEDIDA		
	DP	DS	DL
Número de personas controladas	n	n	n
Número de dosímetros perdidos	n	n	n
Número de extensiones de uso	n	n	n
Dosis Colectiva, DC (mSv.persona)	n	n	n
Dosis media, Dm (mSv)	n	n	n
Dosis máxima, DM (mSv)	n	n	n

Los valores de dosis de este informe se han obtenido tras sustraer la Dosis de Fondo normalizada al período de uso

@ DOSÍMETRO DE ABDOMEN
+ SOBREPASA 20 mSv EN EL AÑO OFICIAL
* SOBREPASA LÍMITE APLICABLE
- DATO NO DISPONIBLE

(1) CATEGORÍA COMO PROFESIONALMENTE EXPUESTO (A/B)
(2) RELACIÓN LABORAL CON LA EMPRESA:

P PERSONAL PROPIO
A PERSONAL AJENO
F PERSONAL EN FORMACIÓN
C PERSONAL AJENO CON S.M. CIEMAT

Figura 8: Ejemplo de la información dosimétrica suministrada por un SDPE

5.- MONITORES PORTÁTILES DE RADIACIÓN UTILIZADOS EN RADIODIAGNÓSTICO.

El tipo de radiación predominante en un servicio de radiodiagnóstico es el proveniente de equipos de rayos X en un amplio rango energético que va desde los rayos X más blandos, provenientes por ejemplo de los mamógrafos, hasta espectros más duros obtenidos con tensiones de hasta 150 kV. Los monitores portátiles de radiación más utilizados en estos servicios son los basados en ionización de gases que se han estudiado previamente: cámara de ionización, contador proporcional y contador Geiger y, principalmente, este último.

Cuando la radiación ionizante atraviesa un gas provoca la ionización de una parte de sus átomos y por consiguiente la liberación de iones positivos y electrones. Con ello, el gas que previamente se comportaba como un aislante eléctrico, pasa a ser parcialmente conductor. Midiendo la corriente eléctrica que por él circula puede deducirse, en determinadas condiciones, la intensidad de la radiación que lo atraviesa.

La vigilancia radiológica de áreas de trabajo en las zonas en las que exista riesgo de exposición a radiaciones ionizantes, se realiza mediante monitores de radiación que miden la exposición, la dosis absorbida o las respectivas tasas en zonas determinadas. Estos instrumentos suelen llevar como órgano detector una cámara de ionización o un contador Geiger (Figura 9) y suelen ir provistos de ventanas de pared delgada, oculta por pantallas absorbentes desplazables, con objeto de medir, bien el efecto conjunto de radiación beta y gamma (ventana abierta) o sólo la componente gamma (ventana cerrada). Tienen la posibilidad de modificar el rango de medida adecuándolo al campo de radiación de interés.

Para comprobar el correcto funcionamiento de estos instrumentos cada equipo viene provisto de una fuente de verificación beta o gamma, que debe producir una irradiación determinada al situar la muestra en un punto previsto del detector. Así mismo, en todos los monitores existe un sistema de comprobación del estado de las baterías, en la cual la aguja del instrumento debe situarse en una zona identificada con un trazo o sector sombreado, en la carátula del instrumento de medida.

Los monitores portátiles provistos de cámara de ionización suelen tener un volumen sensible del orden de 0,5 litros y como gas de llenado usan aire a presión atmosférica. El rango de medida suele ser de 1 a 1.000 mR/h (0,01-10 mSv/h).

Los sistemas provistos de contador Geiger son bastante más sensibles que los de cámara de ionización, y suelen tener el detector en el extremo de una sonda conectada al detector por un cable de hasta varios metros de longitud, o con un sistema de extensión telescópica facilitando así las medidas en zonas de alta actividad o en espacios restringidos.

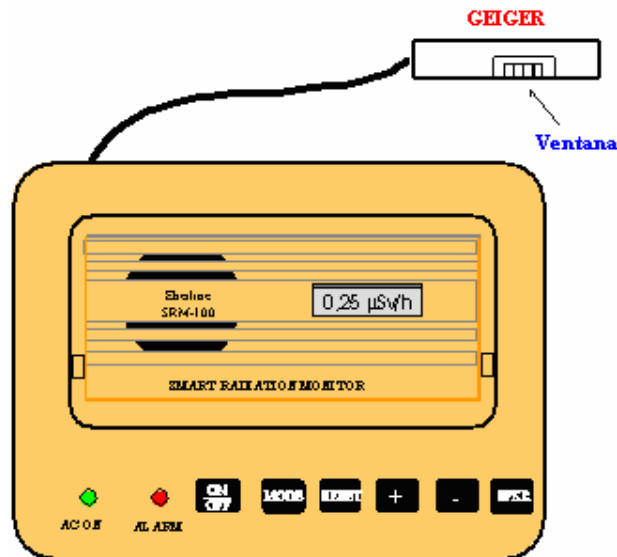


Figura 9. Detector portátil de radiación de área

El contador Geiger, que ofrece la importante ventaja de alcanzar rendimientos de detección próximos al 100% para partículas beta y alfa, tiene en cambio una eficiencia de alrededor del 1% para radiación gamma.

6.- MEDIDA DE LA DOSIS EN HAZ DIRECTO

En el campo de la radiología diagnóstica se realizan medidas de dosis en haz directo para estimar la dosis recibida por los pacientes. Estas medidas se realizan fundamentalmente por dos motivos. Primeramente, para establecer y comprobar los procedimientos de buenas prácticas que permiten la optimización de la protección del paciente. En segundo lugar, para determinar los riesgos de forma que las técnicas diagnósticas puedan ser adecuadamente justificadas y los casos de sobreexposición accidental, investigados.

Los rayos X ionizan el aire a su paso, principalmente debido a los efectos fotoeléctrico y Compton, de forma que las magnitudes físicas kerma en aire y dosis absorbida en aire, pueden medirse en cualquier punto del haz de radiación.

Para la medida de dosis en el haz directo se utilizan fundamentalmente cámaras de ionización de diseño apropiado y dosímetros termoluminiscentes. Las medidas realizadas en aire se suelen hacer con cámaras de ionización mientras que las realizadas en la superficie del paciente se efectúan con dosímetros TL ya que producen menos artefactos en la imagen y, además, tienen en cuenta la radiación retrodispersada por el propio paciente.

Las magnitudes *producto dosis-área* (PDA) y *dosis piel a la entrada* (DPE) son directamente medibles y proporcionan una forma adecuada de monitorizar la dosis que reciben los pacientes.

- La magnitud PDA se define como la integral de la dosis absorbida en aire sobre un área, A , perpendicular al haz de rayos X. Esta magnitud, que excluye la retrodispersión del paciente, tiene la ventaja de ser invariante con la distancia al foco del tubo, por lo que

puede ser medida en cualquier punto del haz situado entre el diafragma del tubo de rayos X y el paciente. A partir del PDA y utilizando los factores de conversión adecuados, se puede obtener la dosis a paciente en distintos estudios radiodiagnósticos. La medida del PDA se realiza utilizando una cámara de ionización de placas cuadradas plano-paralelas que se sitúa en el diafragma del tubo perpendicularmente al eje del haz. La cámara suele ser transparente a la luz visible de forma que deje pasar el haz de luz que se utiliza para fijar el tamaño de campo. El electrómetro y la pantalla de la cámara se conectan a la cámara mediante un cable largo para poder situarlos en un lugar de más fácil acceso.

- La magnitud DPE es la dosis absorbida en aire medida sobre el eje del haz de rayos X en el punto donde el haz penetra en el paciente (o en el maniquí). Incluye la contribución de la radiación retrodispersada por el paciente (o maniquí). La medida de la DPE se realizan con dosímetros termoluminiscentes que se colocan directamente sobre el paciente (o maniquí) ya que, por su reducido tamaño y poco peso, no perturban la movilidad del paciente y prácticamente no perturban la imagen.