

**TEMA 4**  
**DETECCION DE RADIACION IONIZANTE**  
*Miguel Alcaraz Baños*

**Objetivos Generales**

1. Explicar la detección como resultado de la interacción radiación-materia.
2. Distinguir entre radiación directa e indirectamente ionizante.
3. Explicar la dependencia del rendimiento de detección con la energía de los fotones y trazar una curva típica.
4. Explicar cualitativamente qué se entiende por reproductibilidad, mediante ejemplos de factores que puedan influenciarla (temperatura, presión atmosférica, humedad, etc)).
5. Explicar qué es la dosimetría.
6. Definir dosimetría ambiental o de área y dosimetría personal.
7. Exponer la posibilidad de medir la radiación en función de la variación de conductividad de un medio gaseoso.
8. Justificar la necesidad de amplificar la señal de salida de una cámara de ionización.
9. Describir cualitativamente el fenómeno de multiplicación en un contador Geiger-Müller.
10. Enumerar algunos instrumentos utilizados como monitores de radiación y dosímetros ambientales y personales, describiendo sus características y condiciones de funcionamiento.
11. Explicar el fenómeno de la termoluminiscencia.
12. Discutir las ventajas e inconvenientes de la dosimetría de termoluminiscencia.
13. Describir los efectos de la interacción de un haz sobre una emulsión fotográfica.
14. Discutir las ventajas e inconvenientes de la dosimetría de película fotográfica.
15. Enumerar los dosímetros más utilizados en dosimetría al paciente.

# TEMA 4

## DETECCION DE LA RADIACION

*Miguel Alcaraz Baños*

### 4.1. INTRODUCCION. PRINCIPIOS FISICOS DE LA DETECCION

Los órganos o sentidos de que está dotado el ser humano no le permiten detectar la presencia de un campo de radiación ionizante. Debido a esta carencia, ha sido necesario recurrir a dispositivos que sean capaces de detectar la presencia de radiación ionizante y permitan trabajar con ella, disfrutando de una adecuada protección radiológica.

Al atravesar un medio material, la radiación interacciona con éste cediéndole energía, provocando una serie de efectos a través de los cuales es posible su medida. Estos efectos son:

- *ionización de gases*
- *ionización de la materia*
- *excitación de luminiscencia de sólidos*
- *alteraciones biológicas*

La ionización de gases da lugar a pares de cargas de distinto signo que en condiciones normales tienden a su recombinación. El detector debe de disponer de un campo eléctrico lo suficientemente fuerte que evite la recombinación a la vez que recoja estas cargas: *detectores de ionización gaseosa*.

La ionización de ciertos materiales da lugar a procesos irreversibles (ennegrecimiento) que posteriormente pueden ser medidos por métodos químicos: *dosímetros de película fotográfica*.

Las excitaciones provocadas por la radiación en ciertos materiales da lugar a fenómenos de luminiscencia que pueden ser medidos convirtiendo la luz en corriente eléctrica. El fenómeno de luminiscencia puede darse inmediatamente tras el paso de la radiación: *detectores de centelleo*, o bien queda diferida en el tiempo hasta que el material es activado térmicamente: *detectores de termoluminiscencia*.

La energía cedida por la radiación puede provocar alteraciones cromosómicas en linfocitos de sangre periférica que pueden ser detectadas: *test de aberraciones cromosómicas* y *test de micronúcleos*.

**Fundamentos del detector**

- Ionización de gases: ión-electrón**
- Excitación de luminiscencia: centelleo y térmicas**
- Disociación de la materia: ennegrecimiento fotográfico**
- Alteraciones biológicas: aberraciones cromosómicas y micronúcleos**

Fig.4.1.: Fundamentos de la detección de la radiación ionizante

## 4.2. CONCEPTO DE DOSIMETRIA

Se llama así al conjunto de medidas que se realizan para estimar las dosis bien de los trabajadores profesionalmente expuestos de un instalación, o bien de las áreas de trabajo y su entorno. Surge así, la dosimetría personal y la ambiental o de área respectivamente.

## 4.3. DETECTORES GASEOSOS DE IONIZACION

Los detectores de ionización están esencialmente constituidos por un recinto lleno de un gas a presión, en el que se disponen dos electrodos separados una cierta distancia, a los que se aplica una tensión de polarización.

En condiciones normales, el gas no es conductor, no circula corriente eléctrica entre ambos electrodos. Pero si una partícula ionizante alcanza el gas, se generan, por ionización, pares ión-electrón. El campo eléctrico existente hará que las cargas liberadas se muevan hacia el electrodo de signo contrario: los electrones hacia el ánodo (polo positivo) y los iones hacia el cátodo (polo negativo).

La recogida de estas cargas es tratada por la electrónica del detector, bien midiendo la corriente media que se está generando en el detector debido a la interacción de varias partículas: cámaras que operan en **modo corriente** o bien formando un pulso con cada golpe de carga que recogen los electrodos: cámara que opera en **modo impulso**.

A fin de globalizar el comportamiento de los detectores de ionización, se va a examinar el funcionamiento de uno de ellos, variando a voluntad la tensión de polarización entre sus placas, a la vez que registramos mediante un amperímetro la corriente que circula entre ellas debida a la acción ionizante (partículas alfa y beta) de una fuente de radiación, de intensidad constante, situada a una distancia fija del detector. Al ir aumentando desde cero la tensión aplicada entre los electrodos del detector, y medir la amplitud del impulso de corriente, se obtiene una curva como la que observamos en la Figura 1. En ella se aprecian las siguientes regiones:

- **Región de ionización:** El crecimiento del tamaño del impulso con la tensión, se explica teniendo en cuenta la acción de dos efectos antagónicos: por una parte los iones y electrones formados tienden a recombinarse y, por otra, el campo eléctrico tiende al arrastre de estos pares. El predominio paulatinamente creciente de este último efecto tiene por consecuencia, el crecimiento observado de ambas curvas, hasta observar un efecto de saturación, derivado de la total captación de los pares creados por la ionización primaria de la partícula.

- **Región proporcional:** Si aumenta el potencial eléctrico por encima de  $V_1$  se observa de nuevo que ambas curvas comienzan a crecer, manteniendo como en la región de ionización, un curso paralelo. Tal hecho, es debido a que en esta zona los electrones adquieren tal energía, que producen ionizaciones secundarias en su choque con moléculas neutras del gas. Por ser el tamaño de impulso proporcional a la energía disipada por la partícula en el detector, se dice que en este tramo de curva el sistema trabaja en la zona proporcional.

- **Región de proporcionalidad limitada:** En esta zona, el tamaño del impulso sigue aumentando con la tensión de polarización. Sin embargo, el crecimiento deja de ser lineal, pues pasa a depender también de la intensidad de la radiación, con el resultado de que ambas curvas presenten trayectorias convergentes, de ahí el nombre de proporcionalidad limitada.

- **Región Geiger-Müller:** En ella, el campo eléctrico es tan intenso, que la producción de un sólo par ión-electrón, por ionización primaria, provoca una avalancha de ionizaciones secundarias. Es independiente de la energía y naturaleza de la partícula.

- **Región de descarga continua:** Supone que el detector alcanza la zona en la que el dispositivo puede dañarse irreversiblemente si se mantiene en operación cierto tiempo. Esta área no es útil como detector.

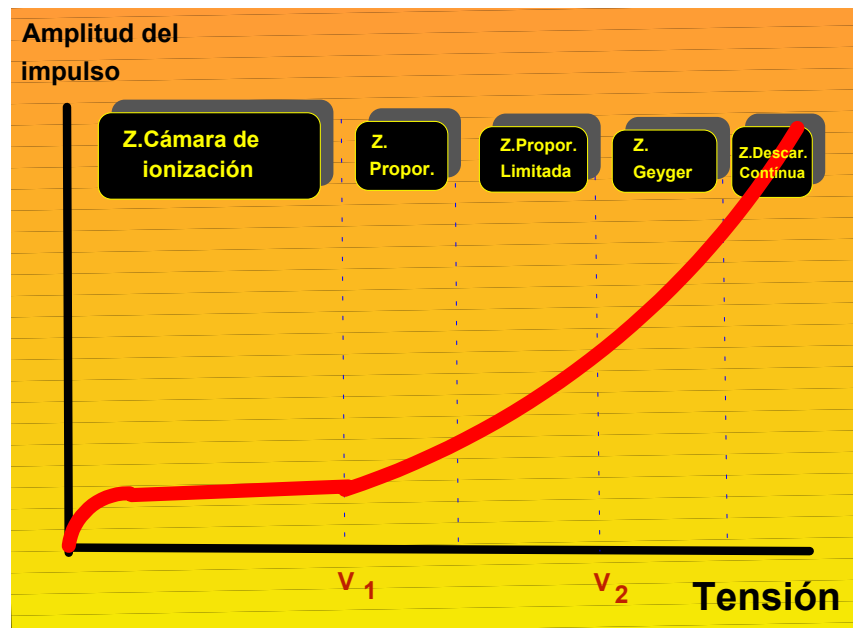


Fig.4.2.: Variación en la respuesta del impulso con la tensión del detector

Los detectores de ionización gaseosa operan en una de las tres regiones útiles y toman el nombre de la región en que operan:

- a. Cámaras de ionización.
- b. Contadores proporcionales.
- c. Contadores de Geiger-Müller.

#### 4.3.1. CAMARA DE IONIZACION

Como se ha dicho anteriormente, la cámara de ionización está constituida por un recipiente lleno de gas, en el que se disponen dos electrodos separados una cierta distancia y sometidos a una diferencia de potencial.

Estos monitores suelen suministrarse con una doble cubierta, es decir, además de la pared de la cámara, tienen una cubierta suplementaria separable del detector. La cubierta separable, equivale por sus características a los primeros milímetros de tejido humano (piel), por lo que el detector recibirá, con este aditivo colocado, sólo la radiación más penetrante que llega a la profundidad del organismo, obteniéndose la llamada **DOSIS PROFUNDA**. Esta dosis es casi siempre inferior al valor que se mide cuando la cubierta equivalente a la piel se retira, pues en ese momento llega al detector toda la radiación y se habla de la obtención de la **DOSIS PIEL O SUPERFICIAL**.

Las cámaras de ionización se clasifican, atendiendo a la forma de los electrodos, en planas o cilíndricas, según estén dotadas de electrodos planos-paralelos, o cilíndricos (formados por un electrodo en forma de cilindro hueco y el otro, un alambre o varilla en disposición coaxial).

Para el llenado de las cámaras se usan varios tipos de gases, desde aire a la presión atmosférica, hasta gases nobles, en especial argón.

La corriente generada en la cámara es generalmente muy pequeña, por lo que necesita de una posterior amplificación antes de su medida, utilizando para ello un circuito electrónico alimentado por las propias baterías de la cámara.

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. La detección de partículas beta se alcanza a través de ventanas suficientemente delgadas.

El rendimiento (fracción de radiación que detecta respecto del total que atraviesa el volumen útil del detector) de detección se aproxima al 100% para partículas alfa y beta. En cambio, para fotones sólo se logran rendimientos del 1%. La visualización de la medida se realiza en un microamperímetro o en una pantalla digital de cristal líquido, dando en ambos casos las lecturas en unidades de tasa de dosis ó de dosis integrada. Los visualizadores digitales llevan incorporados un indicador del estado de las baterías. Es obvio indicar que la comprobación del estado de las baterías, es un paso previo para llevar a

cabo cualquier medida.

Igualmente se debe ajustar, antes de realizar cualquier medida el cero de la escala. Para ello, los monitores disponen de un mando de ajuste del cero de la escala de medida. Los monitores suelen ir acompañados de una o dos fuentes encapsuladas de radionúclidos que ubicados adecuadamente delante de la cámara del detector deben de dar una tasa de dosis conocida. Esto nos sirve para comprobar el adecuado funcionamiento de la cámara y de la electrónica asociada, y no como calibración de ésta, ya que esto se debe llevar a cabo en laboratorios debidamente preparados para ello.

### **4.3.2. CONTADORES PROPORCIONALES**

Como ya se ha visto, al aumentar la tensión de una cámara de ionización por encima del límite superior de la zona de saturación, 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.

Tanto en contadores proporcionales como en Geiger, se emplea por lo general una geometría coaxial, de cátodo cilíndrico y ánodo en forma de 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 de KV.

El factor de multiplicación gaseosa depende de la tensión de polarización, pudiendo variar en el intervalo entre 1 y  $10^7$ .

El orden de magnitud de los impulsos de tensión generados por un contador proporcional es de 0.1 voltio, que aunque mucho mayor que en la cámara de ionización, requiere como en esta una amplificación de la señal.

El contador proporcional trabaja satisfactoriamente como espectrómetro (detector de partículas o fotones, y además, mide la energía de los eventos ionizantes), siempre que la partícula ionizante disipe la totalidad de su energía en el volumen sensible del detector.

La resolución en energía, debido a fluctuaciones en el factor de multiplicación, es sensiblemente inferior a la de la cámara de ionización.

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 neutrones.

### **4.3.3. CONTADOR GEIGER-MULLER**

Como se ha mencionado, al elevar la tensión de polarización por encima de la zona de proporcionalidad limitada, los impulsos resultantes alcanzan todos la misma amplitud, independientemente de la ionización primaria debida a la partícula detectada. Se dice entonces que la modalidad de funcionamiento del contador corresponde a la zona Geiger. En esta zona se presenta un fenómeno peculiar consistente en la propagación de la descarga lo largo del hilo. Este fenómeno se debe a que en los procesos atómicos de desexcitación se emiten fotones ultravioleta, que por efecto fotoeléctrico, liberan en zonas vecinas nuevos electrones, capaces de cebar avalanchas adicionales.

Una vez finalizada la descarga, los electrones liberados son capturados, en un tiempo corto, por el hilo central. Los iones, que son mucho más lentos por su mayor masa, quedan momentáneamente formando una vaina positiva alrededor del hilo, lo cual hace disminuir el campo eléctrico en la vecindad del ánodo. El gas de llenado de un Geiger suele estar constituido por una mezcla de argón y otro gas, llamado extintor, que suele ser cloro o bromo. La necesidad de incorporar un gas extintor se debe, a que los iones de argón, al llegar al cátodo y neutralizarse, quedan en estado excitado. La energía de excitación sólo se libera en forma de fotones ultravioleta, que al propagarse y absorberse en el gas o paredes del contador producen fotoelectrones capaces de cebar nuevas avalanchas. Así, en un contador que funcione con argón puro, cada impulso genuino vendrá seguido de un tren de impulsos espúreos. Esta circunstancias resulta indeseable, ya que el número total de cuentas registrado será erróneo.



Fig.4.3.: Detector BERTHOLD LB-130-1B .



Fig.4.4.: Detector BERTHOLD LB-130-1B .  
Detalle zona de lectura



Fig.4.5.: Detector GEIGER-MÜLLER



Fig.4.6.: Detector RADCAL 2025AXC



Fig.4.7.: Sonda para radiacion dispersa para el RADCAL 2025AXC



Fig.4.8.: Detector PMX



Fig.4.9.: Detector KETHLEY



Fig.4.10.: Detector KETHLEY Detalle.



Fig.4.11.: Detector PSD-602A



Fig.4.12.: Dosimetro de Camara de ionización Tipo pluma .



Fig.4.13.:Unidad Stephen



Fig.4.14.: Monitor de alarma personal AMCOR X-ALERT

La presencia de moléculas de gas extintor evita este comportamiento, ya que en su camino hacia el cátodo, los iones colisionan con el extintor. En el choque se produce transferencia de ionización evitando la emisión de fotoelectrones.

En la zona Geiger, la amplitud de los impulsos crece con la tensión aplicada, debido a la intensidad creciente de las descargas. El factor de multiplicación, que varía entre  $10^8$  y  $10^{10}$ , explica que la amplitud de los impulsos producidos puede llegar a unos 10 V, amplitud suficiente para activar directamente sistemas electrónicos de registro, sin necesidad de amplificación previa. Tal circunstancia, que abarata considerablemente la cadena electrónica, constituye la cualidad más apreciada de este tipo de detector.

En cambio, un sistema Geiger, no supone más que un contador de partículas ionizantes que alcanzan su volumen sensible, y por ello no suministra dato alguno acerca de la naturaleza o energía de las partículas detectadas.

En el campo de aplicaciones, los contadores Geiger se usan preferentemente para la detección de radiación gamma o partículas beta. En el caso de la radiación gamma, los contadores están provistos de paredes metálicas o de vidrio teniendo en cuenta el gran poder de penetración de esta radiación; con radiación gamma blanda o X, los contadores deben tener una pared suficientemente delgada, a fin de que la atenuación de la radiación incidente no reduzca el rendimiento a un valor intolerablemente bajo.

#### **4.4. DOSIMETRIA PERSONAL**

##### **4.4.1. DOSIMETRIA PERSONAL BASADA EN CAMARAS DE IONIZACION**

Son cámaras de ionización de bolsillo, también denominados dosímetros de pluma por su apariencia externa de pluma estilográfica, que basan su funcionamiento en el efecto condensador. No sirven para dosimetría personal en los profesionalmente expuestos. Se usan para obtener, de manera inmediata, el valor de la exposición a la que se ha estado sometido.

Estos dosímetros están constituidos por una pequeña cámara de ionización llena de aire, un electrómetro de hilo de cuarzo y un microscopio elemental que permitirá observar la posición del hilo de cuarzo proyectado sobre una escala graduada en mR. En la parte inferior poseen un cierre elástico provisto de una clavija de carga que al ser presionada, permite cargar la cámara-condensador a una determinada diferencia de potencial mediante una fuente de tensión externa (unidad de carga Stephen).

El hilo del electrómetro se desplaza proporcionalmente a la diferencia de potencial a la que se halla cargada la cámara. Esta diferencia de potencial va disminuyendo a medida que la cámara se descarga por la corriente de ionización que provoca la radiación incidente.

La lectura de dosis se realiza directamente observando a través del microscopio la posición de la fibra de cuarzo proyectada sobre la escala.

La ventaja de estos dosímetros es que son sencillos y de fácil lectura por el propio interesado. Presenta, sin embargo, grandes inconvenientes para su uso como dosímetros personales en el trabajo habitual. En primer lugar, no se pueden usar durante periodos largos de tiempo, puesto que las imperfecciones en los aislantes de la cámara dan lugar a una descarga lenta de ésta, aunque no esté sometida a ningún campo de radiación ionizante. En segundo lugar son sensibles a la humedad, temperatura y golpes mecánicos. Y, en tercer lugar, el intervalo de exposición que pueden medir es muy limitado, del orden de 0 a 200 mR. Por las razones anteriormente expuestas su uso debe limitarse a periodos muy cortos de tiempo y tomando precaución de calibrarlos individualmente con cierta periodicidad.

##### **4.4.2. DOSIMETROS DE TERMOLUMINISCENCIA (TLD)**

Los fenómenos luminiscentes ya fueron observados desde hace muchos años. En particular la emisión de luz por efecto de estimulación térmica, o termoluminiscencia, fue observada por Sir Robert Boyle en 1663; pero no fue hasta 1883, en que Becquerel descubrió el fenómeno de la luminiscencia, siendo posteriormente estudiada por multitud de científicos

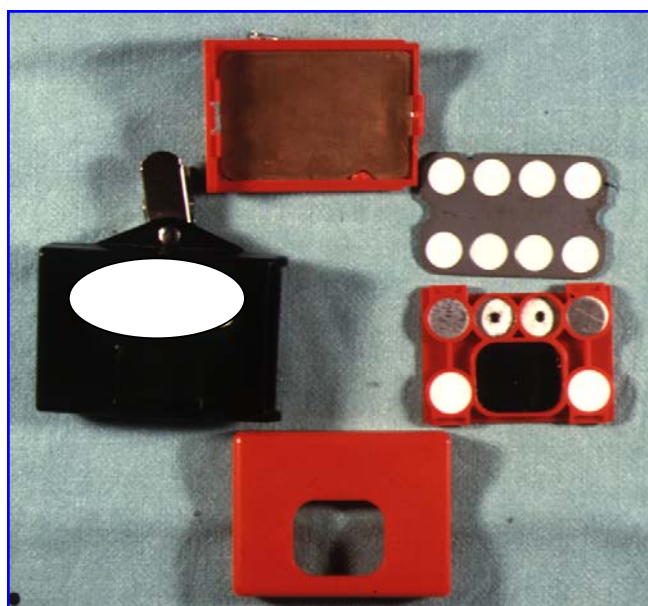


Fig.4.1.: Dosímetro de termoluminiscencia

Los materiales termoluminiscentes se caracterizan por ser capaces de ceder en forma de energía luminosa, parte de la energía que absorben cuando son irradiados por radiación ionizante. Esta emisión de luz se producirá al calentarlos, con posterioridad a la irradiación.

La intensidad de la luz emitida está directamente relacionada con la dosis de radiación recibida por el material, por lo que dichos materiales son utilizados como dosímetros.

Existen diferentes tipos de material termoluminiscentes. Todos constan en esencia de un material base dopado con impurezas de ciertos átomos. Los más usados son los de Fluoruro de Litio dopado con magnesio y titanio y los de Sulfato de Calcio activado con disprosio. Estas impurezas en el material base, dan lugar a la existencia de ciertos niveles energéticos, denominados pozos o trampas, en los cuales quedan atrapados los electrones liberados por el paso de la radiación. Cuando se calienta el material, estos electrones regresan a sus estados energéticos originales en la estructura cristalina, emitiendo luz en el proceso.

	Elemento fluorescente			
	Fluoruro de litio	Borato de litio	Fluoruro de calcio	Sulfato de calcio
Composición	LIF	$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$	$\text{CaF}_2:\text{Mn}$	$\text{CaSO}_4:\text{Dy}$
Densidad x $10^3(\text{Kg}/\text{m}^3)$	2,64	2,4	3,18	2,61
Nº atómico efectivo	8,2	7,4	16,3	15,3
Tª del pico principal (°C)	195	200	260	220
Utilización principal	Medida de dosis de pacientes y personal	Investigación	Control ambiental	Control ambiental

Las características que debe reunir un material termoluminiscente para su aplicación en dosimetría son:



1. Mantener la retención de portadores capturados tiempos suficientemente largos, a la temperatura existente en los puntos de medida.
2. Alta intensidad de emisión de luz termoluminiscente.
3. Respuesta lineal en un amplio intervalo de dosis.
4. Puesta a cero completa, para facilitar el uso repetitivo.
5. N° atómico(Z) efectivo análogo al tejido biológico.

Para realizar la lectura de un dosímetro de TLD, se somete a calentamiento en condiciones controladas. Mediante un sistema de filtros ópticos y un fotomultiplicador se mide la curva de emisión luminiscente, calculando la dosis absorbida a partir de la luz emitida o del área de alguno de los picos más característicos. La puesta a cero de un dosímetro ya leído, se realiza mediante un postcalentamiento controlado, que libera completamente las trampas ocupadas remanentes.

Se dispone de dos tipos de dosímetros:

- **Dosímetros de solapa:** se usan para la estimación de las dosis equivalentes profunda y superficial, utilizándose ambos tipos de material termoluminiscente con filtros para corrección energética.

- **Dosímetros de muñeca:** se usan para la estimación de la dosis en extremidades. El material termoluminiscente utilizado es Fluoruro de Litio sin filtros, pues serían incómodos con filtros en un dosímetro de muñeca.

Las principales ventajas de estos dosímetros son:

- El umbral de medida puede ser inferior a 10 microGy con un límite superior que puede sobrepasar 10 Gy.
- La dependencia de las condiciones ambientales es muy inferior a los dosímetros de película.
- Un adecuado tratamiento térmico permite su reuso en un número de veces fácilmente superior a cincuenta.
- Son fácilmente manipulables por lo que es factible su procesamiento automatizado en grandes cantidades.

<b>DETECCION DE LA RADIACION</b>	<b>Dosímetro de TLD: Inconvenientes</b>
<b>Dosímetro de TLD: Ventajas</b>	<b>Fading: pérdida de información (1-2%)</b>
) Relación lineal dosis/respuesta	<b>Cuidado con calor y UV</b>
) Amplio rango de dosis (0,1 mrad-10 rad)	<b>Lectura irrepetible: problema legal</b>
) Pequeño tamaño (3x3x1 mm)	
) Reutilizable: económico (50 veces)	
) Lectura fácil y rápida. Automatización	
) Seguridad: error < 1%	
) N° atómico igual a piel	
) Puede medir neutrones	

Fig.4.16.: Dosímetro de termoluminiscencia: Ventajas e inconvenientes

Una desventaja de este dosímetro, común sin embargo a otros muchos sistemas, es la variación de la respuesta en función de la energía, debido a que los cristales de TLD contienen elementos de número atómico relativamente alto.

#### 4.4.3. DOSIMETROS DE PELICULA FOTOGRAFICA

El principio en el que se basan los dosímetros fotográficos, es que la exposición de una emulsión fotográfica por radiación, seguido del revelado, provoca un ennegrecimiento que medido mediante un microdensitómetro es proporcional a la dosis de radiación a la que hayan estado sometidas.

Los dosímetros fotográficos constan de una película especial, envuelta en una funda de papel opaca, montada en un soporte provisto de una pinza que permita llevar el instrumento sobre la bata o 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 radiológicos de interés.

Este tipo de dosimetría personal presenta como principales ventajas:

- Las películas reveladas, constituyen una prueba documental permanente y pueden archivar para formar parte del historial dosimétrico del trabajador. Esto permite posteriores lecturas de comprobación.
- Posibilidad de determinar la dirección del haz incidente de radiación sobre el dosímetro, por la imagen proyectada por los filtros sobre la película fotográfica.
- En el caso de instalaciones en que se pueda dar contaminación por radionúclidos, se puede investigar la existencia de contaminaciones superficiales, por las manchas de ennegrecimiento que produce en la zona de la película más próxima a donde se produjo ésta.

Los principales inconvenientes que se pueden reseñar son:

- El umbral de detección y la sensibilidad hacen que no sea el sistema idóneo para medir dosis muy bajas o muy elevadas, incluso utilizando película de doble emulsión.
- La dependencia energética hace que sean necesarios los filtros para corregir la medida.
- La manipulación de gran número de dosímetros es engorrosa.
- No son de material equivalente a tejido biológico.

<b>DETECCION DE LA RADIACION</b> <b>Dosímetro fotográfico: Ventajas</b>	<b>Dosímetro fotográfico:</b> <b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>) <b>Relación lineal dosis/respuesta</b></li><li>) <b>Posibilidad de determinar dirección del haz</b></li><li>) <b>Puede ser archivado: información permanente</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li><b>No reutilizable: caro</b></li><li><b>No sirve para dosis bajas</b></li><li><b>Revelado húmedo</b></li><li><b>Sensible a altas temperaturas y humedad</b></li><li><b>No mide neutrones</b></li></ul>

Fig.4.17.: Dosímetro de película fotográfico: Ventajas e inconvenientes

En el manejo de dosímetros fotográficos deben tenerse en cuenta ciertas precauciones. Por ejemplo, las placas fotográficas presentan un proceso de envejecimiento con el tiempo de almacenamiento, que sesga por exceso los valores de dosis registrados. Si la película experimenta los efectos de temperaturas elevadas o la acción de ciertos vapores, puede sufrir sensibilización espúrea, que conduce a ennegrecimiento incontrolado en el revelado, y consecuentemente error por exceso en las medidas.

#### 4.5. DETECTORES DE SEMICONDUCTOR

Están basados en la aplicación de electrodos metálicos en las caras opuestas de un cristal semiconductor entre los que se ha establecido una diferencia de potencial.

El semiconductor (cristal de silicio o de germanio puros) evoluciona al paso de la radiación como una cámara de ionización en la que la carga eléctrica se transporta por medio de la creación de abundantes pares electrón-hueco. Un hueco consiste en la falta de un electrón en los enlaces interatómicos de la estructura del cristal, pudiendo desplazarse por el volumen de éste, y sus propiedades se asemejan a un ión positivo. Mediante la recogida de estos portadores de carga puede detectarse el paso de las partículas o fotones y en determinadas condiciones medir su energía.

Estos detectores presentan para ciertas aplicaciones ventajas notables frente a los considerados anteriormente. En primer término, y por la mayor densidad del material, las partículas ionizantes pierden toda su energía en un recorrido muy corto. Se puede conseguir por tanto una gran eficiencia de detección por unidad de volumen del detector.

Por otra parte, para producir un par electrón-hueco se necesita consumir tan sólo una energía de 3,5 eV en silicio y 2,8 eV en germanio. Estos valores son unas ocho veces menores que los necesarios, por término, para ionizar un átomo de un gas. Por tanto, para una misma energía de las partículas ionizantes se liberarán en un detector de semiconductor un número de cargas eléctricas notablemente mayor que en un detector de ionización. Esto da lugar, a una mayor precisión en la medida de la energía de las partículas o fotones. Finalmente, la movilidad de electrones y huecos es elevada lo que unido a las pequeñas dimensiones del detector, ocasiona un tiempo de colección de cargas muy corto que puede llegar a ser del orden del nanosegundo.

Todo lo anterior exige que en el detector no existan más huecos y electrones libres que los que formen las radiaciones que se tratade detectar, por lo que el germanio o silicio empleados deben de ser de altísima pureza y operar a bajas temperaturas.

Si sobre una de estas uniones incide radiación X, ésta produce rotura de enlaces con liberación de electrones y, su difusión hacia las proximidades de la unión, puede modificar la diferencia de potencial de contacto. Igualmente, la corriente generada por estas roturas de enlace (del orden de 1 nA por cada R/min) puede ser medida en el exterior y relacionada con la tasa de dosis absorbida.

Para dosimetría se recomienda trabajar cortocircuitando el diodo con un electrómetro que mida la corriente generada, cuya dependencia con la tasa de exposición o dosis es lineal.

En otras aplicaciones, se mide la diferencia de potencial de contacto, proporcional al logaritmo de la tasa a altas tasas de exposición, resultando proporcional a la tasa a bajas tasas de exposición.

Empleando dos diodos puede determinarse de modo instantáneo la calidad de un haz de rayos X y con uno aislado puede conocerse la forma de onda, de tanto interés en control de calidad de equipos de radiodiagnóstico.

#### 4.6. INSTRUMENTOS DE DETECCION PARA DOSIMETRIA AL PACIENTE.

Las magnitudes de interés en la dosimetría del paciente son la dosis en piel y dosis por área.

La estimación de la dosis en piel se puede realizar utilizando cámaras de ionización, o bien, dosímetros de termoluminiscencia.

La diferencia fundamental radica en que los TLD al ser pequeños permiten la colocación directa sobre el cuerpo del paciente midiendo la totalidad de la radiación difusa, ofreciendo así una información diagnóstica adecuada. Sin embargo, las cámaras de ionización, al ser más voluminosas, no se colocan lo suficientemente próximas a la piel del paciente para asegurar la medida completa de la radiación difusa, interfiriendo la calidad de la radiografía.

Estas diferencias no hacen aconsejable el uso de las cámaras de ionización para la determinación de la dosis piel en los pacientes, siendo el método más utilizado el uso de dosímetros TLD de fluoruro de

litio.

La dosis por área se determina por medio de cámaras de transmisión, que básicamente consiste en una cámara de ionización de placas plano-paralelas de gran superficie conectadas a electrómetros adecuados. La respuesta en términos de carga acumulada es proporcional al área de la cámara que está expuesta al haz primario de rayos X y a la dosis.

La cámara se coloca de manera perpendicular y centrada al eje del haz de rayos X, teniendo la precaución de que el área del haz no supere el área de la cámara, en el alojamiento del diafragma donde no interfiere con la exploración y con una incidencia de la radiación difusa no significativa.



Fig.4.18.: Dosímetros de termoluminiscencia utilizados para estudios de dosis en pacientes.

La respuesta es proporcional al producto del área del haz y la dosis, que es el mismo para todos los planos perpendiculares al eje del haz. Así la cámara se puede montar alejada del paciente y cerca del foco del equipo, donde el área del haz de rayos X es relativamente pequeña y la dosis es alta.

#### 4.7. DOSIMETRIA BIOLÓGICA.

Desde hace años se busca un indicador biológico de las lesiones producidas por radiación ionizante que presente una relación proporcional con las dosis absorbidas. Uno de los test mayoritariamente aceptado es el análisis de las aberraciones cromosómicas en linfocitos de sangre periférica, pero el tiempo necesario para su realización, así como la necesidad de contar con personal especializado, lo hace prácticamente irrealizable.

Por ello, durante los últimos años se ha desarrollado el test de determinación de micronúcleos en linfocitos de sangre periférica, sobre todo tras apreciar relaciones proporcionales en curvas dosis-respuesta en trabajos experimentales realizados.

## DETECCION DE LA RADIACION

### Dosímetros biológicos

) **Aberraciones cromosómicas**

) **Micronúcleos:**

- **Medula ósea: eritroblastos policromatófilos**

- **Sangre periférica: linfocitos bloqueados**

Fig.4.19.: Dosimetría biológica: Procedimientos de detección.

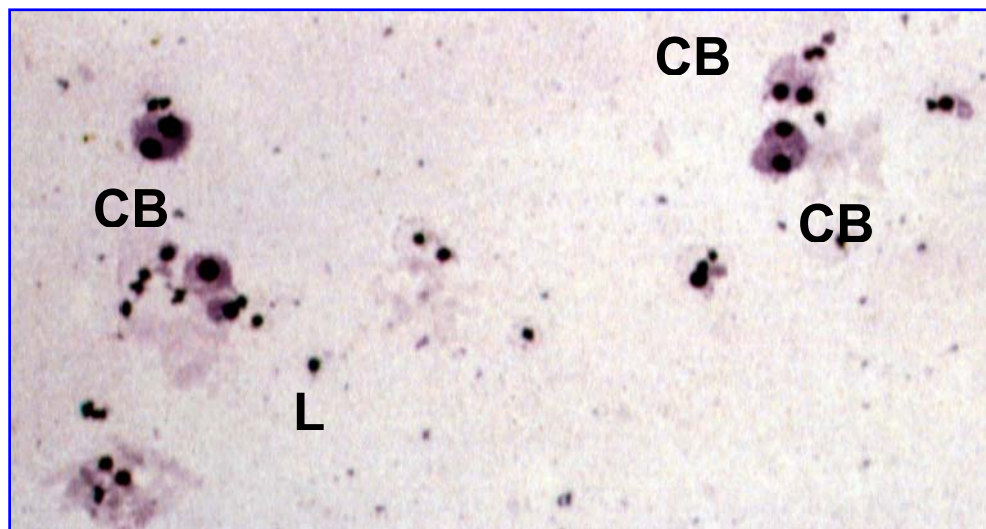


Fig.4.20.: Imagen microscópica de un frotis de cultivo de linfocitos con bloqueo citogenético para el análisis de micronúcleos en pacientes irradiados en exploraciones de radiodiagnóstico (L,linfocito; CB , linfocito con bloqueo en su primera división en el cultivo celular).

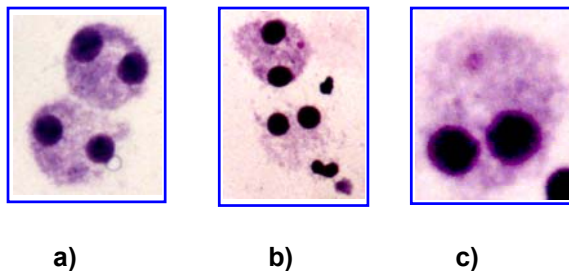


Fig.4.21.:Linfocitos con bloqueo citogenético para el análisis de micronúcleos ; a) Linocitos sin micronúcleos en su citoplasma; b) y c) Linfocitos con un micronúcleo en su citoplasma.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

INSTITUTO ESTATAL NORUEGO DE RADIOHIGIENE (1984). *Manual de Radiohigiene*. Akal-  
- Universitaria, Madrid (pp. 103-114).

-

MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO (1988). Protección radiológica. Parte I: Conceptos Generales.  
Secretaría General Técnica, Madrid (pp. 74-80).

-

ORTEGA ARAMBURU X. y JORBA BISBAL J. (1997). Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos  
- (I). Ed. UPC, Barcelona (pp. 247-339).

-

BUSHONG, S.C. Manual de radiología para tecnólogos. Ed. Mosby, 5ª Edición. Madrid 1993.

GOMEZ MORAGA. A., ALCARAZ BAÑOS,A., TOBARRA GONZALEZ,B.,CANTERAS JORDANA,M. y  
GENOVES GARCIA,J.L.- (1996).- Inducción de micronúcleos en linfocitos humanos irradiados".

**Radioprotección,13 (4): 7-15**