

TEMA 4
DETECCION DE RADIACION IONIZANTE
Miguel Alcaraz Baños

Objetivos Generales

1. Explicar la detección como resultado de la interacción radiación-materia.
2. Explicar la dependencia del rendimiento de detección con la energía de los fotones y trazar una curva típica.
3. Explicar qué es la dosimetría.
4. Definir dosimetría ambiental o de área y dosimetría personal.
5. Explicar el fenómeno de la ionización en un detector de gas.
6. Explicar el fenómeno de la termoluminiscencia.
7. Discutir las ventajas e inconvenientes de la dosimetría de termoluminiscencia.
- 8.. Describir los efectos de la interacción de un haz sobre una emulsión fotográfica.
9. Enumerar algunos instrumentos utilizados como monitores de radiación y dosímetros ambientales
10. Enumerar algunos dosímetros personales, describiendo sus características.
11. Enumerar los dosímetros más utilizados en dosimetría al paciente.

TEMA 4

DETECCION DE LA RADIACION

Miguel Alcaraz Baños

4.1. PRINCIPIOS LA DETECCION DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

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

Al atravesar un medio material, la radiación interacciona cediéndole energía y provocando una serie de efectos a través de los cuales es posible su medida. Así utilizamos alguna de las propiedades físicas de la radiación que “produce” un efecto proporcional y que se puede cuantificar. Estos efectos son:

- ionización de gases: cámaras de ionización.
- disociación de la materia: ennegrecimiento fotográfico.
- excitación de luminiscencia de sólidos: dosímetros de termoluminiscencia
- alteraciones biológicas: aberraciones cromosómicas y micronúcleos.



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

Con la posibilidad de la detección de la radiación, surge el concepto de dosimetría. La dosimetría es el conjunto de medidas que se realizan para estimar las dosis bien de los trabajadores profesionalmente expuestos de una instalación (**dosimetría personal**), o bien de las áreas de trabajo y su entorno (**dosimetría ambiental o de área**).

4.2. DETECTORES GASEOSOS DE IONIZACION

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

En condiciones normales, dado que los gases son aislantes, 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 los portadores eléctricos generados en la interacción con 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 en consecuencia indica la llegada de radiación al detector (Figs 4.2 y Figs.3.1a y 3.1b; Fig.3.2a y 3.2b)

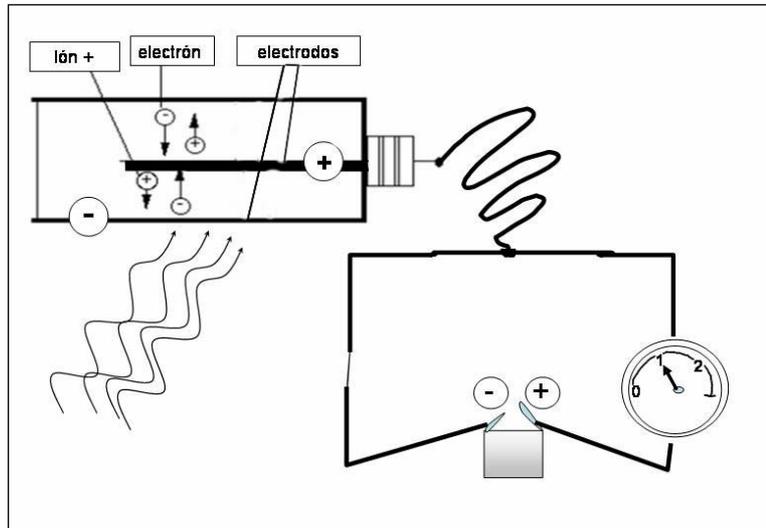


Fig.4.2.: Fundamentos de la detección de la radiación ionizante

Sin embargo, el comportamiento de los detectores gaseosos de ionización varía según la tensión de polarización que se establezca entre sus electrodos. 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 4.3. En ella se aprecian 5 regiones que afectan al resultado de las mediciones realizadas. Supongamos que tenemos que realizar una medida de radiación de un patrón conocido, en este caso según la tensión de polarización con la que funcione nuestro detector podremos encontrar diferentes medidas:

1.- **Región de ionización:** La medida que se realiza en los instrumentos que trabajan con una tensión de repolarización tan baja se explican teniendo en cuenta la acción de dos efectos antagónicos: por una parte, los iones y electrones formados en la ionización del gas por la radiación tienden a recombinarse y desaparecer; y, por otra, el campo eléctrico tiende al arrastre de estos pares hacia los electrodos de signo contrario. El predominio paulatinamente creciente de este último efecto tiene por consecuencia, el crecimiento observado en la respuesta medida por el aparato.

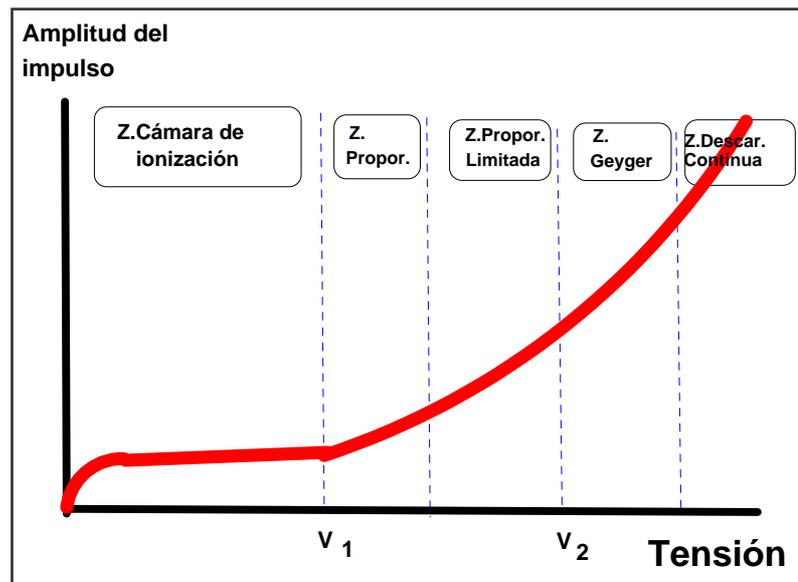


Fig.4.3.: Variación en la respuesta del impulso con la tensión del detector

2- **Región proporcional:** Si aumenta el potencial eléctrico se observa de nuevo que la medida comienza a crecer. Tal hecho, es debido a que en esta zona los electrones sometidos al campo eléctrico

son atraídos con mayor velocidad y producen ionizaciones secundarias en su choque con otras moléculas neutras del gas.

Así, aunque no todas las ionizaciones producidas por la radiación llegan a los electrodos, éste efecto queda proporcionalmente compensado con las ionizaciones secundarias producidas por los choques indirectos debidos a la radiación ionizante. Se dice que en este tramo el sistema trabaja en la zona de forma proporcional.

3.- **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. Variará según el tipo e intensidad de la radiación ionizante que lincida. Por ello el nombre de proporcionalidad limitada.

4.- **Región Geiger-Müller.** En ella, el campo eléctrico es tan intenso, que la producción de un sólo par ión-electrón provoca una avalancha de ionizaciones secundarias. En esta zona muy poca radiación produce medidas muy elevadas. Los instrumentos de medida que trabajan en esta zona no darán medidas precisa y reales, pero serán muy sensibles, ya que gracias a este efecto multiplicador serán capaces de poner de manifiesto cantidades muy pequeñas de radiación.

5- **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. El fondo radiactivo natural ya sería capaz de producir medidas continuas y elevadas, por lo que carecen de utilidad.

Por todo ello, en función de la tensión en la que trabajen los diferentes instrumentos de medida, se clasifican dentro de una de las zonas anteriores. Así, se podrá disponer de instrumentos muy sensibles y poco precisos (zona Geyger-Müller), o perder algo de sensibilidad para ganarlo en precisión en la medida (zona proporcional). Poer ello, 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: es el que hemos tomado como modelo
- b. Contadores proporcionales.
- c. Contadores de Geyger-Müller.

4.2.1. Cámaras de ionización.

Una cámara de ionización consiste en una sonda que es un recinto cerrado lleno de un gas que puede ser aire, y provisto de dos electrodos entre los que se aplica una tensión eléctrica. Cuando la radiación ionizante interacciona con el gas, provoca la ionización de parte de sus átomos y por consiguiente se liberan iones positivos y electrones. Con ello el gas, que primitivamente se comportaba como un aislante eléctrico, pasa a ser parcialmente conductor. Al aplicar entre los electrodos una tensión eléctrica circulará una corriente eléctrica que se puede medir y cuya intensidad es proporcional a la intensidad de la radiación incidente (Figura 4.4).

Las cámaras de ionización pueden ser planas o cilíndricas según estén dotadas de electrodos plano-paralelos o cilíndricos. La pared de la sonda debe ser fina a fin de que la radiación que se quiere detectar la atraviese con facilidad.

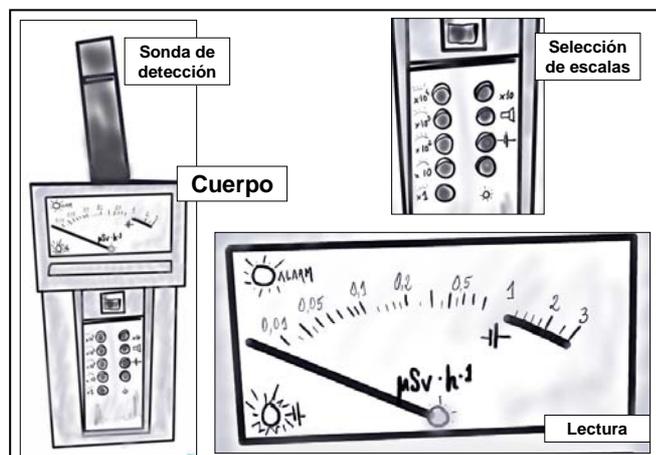


Figura 4.4. Detector de cámara de ionización.

4.2.2. Contadores proporcionales.

Para tensiones superiores la respuesta presenta una fuerte pendiente debido a la multiplicación secundaria en la que las cargas eléctricas liberadas por la radiación que generan nuevos iones al chocar con los otros átomos o moléculas del gas. Ello es debido a que los electrones adquieren en su camino a través de la cámara una velocidad (energía) suficiente para ionizar por choque a otros átomos del gas. Los nuevos electrones libres son, a su vez acelerados y capaces de producir nuevos iones, formándose así una "avalancha" de cargas aumentando considerablemente la amplitud del impulso obtenido. Este fenómeno se caracteriza por el factor de multiplicación, que mide la relación entre las cargas inicialmente liberadas por la radiación, y las cargas totales que alcanzan el electrodo central. El factor de multiplicación depende de la tensión aplicada y puede llegar a valer entre 103 y 104, siendo la base de los contadores proporcionales.

Entre las características de los contadores proporcionales cabe resaltar:

1. Dan impulsos mayores que los de las cámaras de ionización.
2. Suelen tener simetría cilíndrica.
3. Tienen respuesta igual de rápida que las cámaras de ionización.

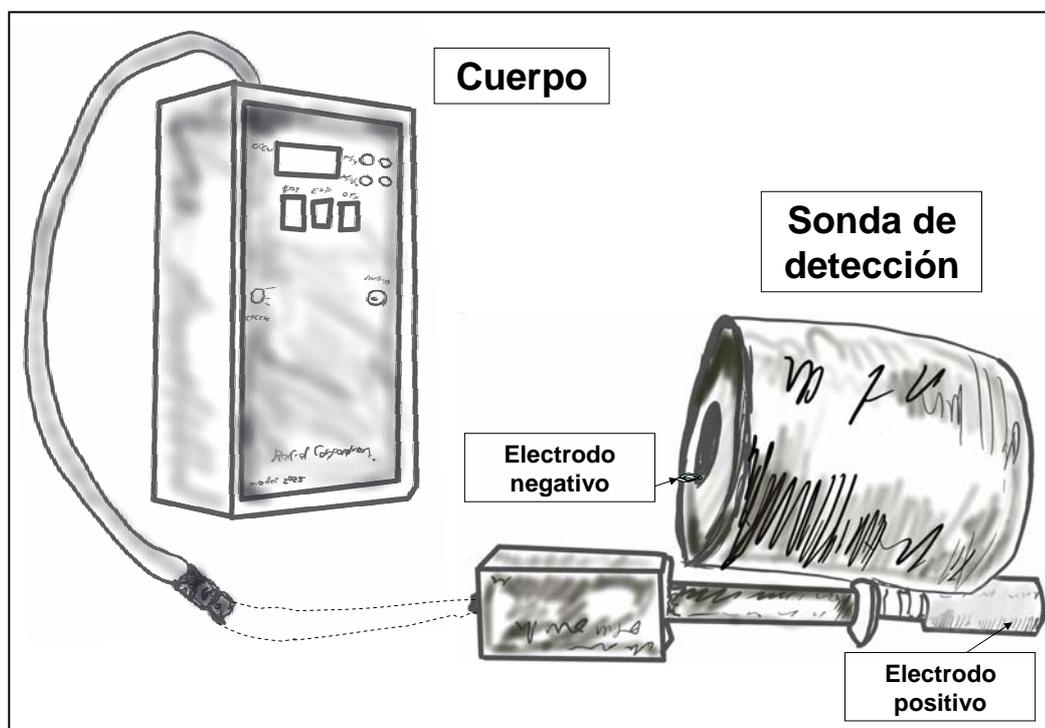


Figura 4.5. Detector RadCal.

4.2.3. Contadores Geyger-Müller.

Si se eleva suficientemente la tensión aplicada a un contador proporcional se supera la zona proporcional y se entra en la zona Geyger-Müller. Entramos así en una nueva zona de trabajo en la que operan los contadores Geyger-Müller (ver figura 4.6). Las características principales de éstos son:

1. Son siempre de simetría cilíndrica y reducidas dimensiones.
2. En ellos, la producción de electrones secundarios tiene lugar a lo largo del electrodo central y alcanzan factores de multiplicación muy elevados.

Sin embargo, éstos no se emplean en radiodiagnóstico médico porque se saturan rápidamente y no permiten realizar medida fiables. Sin embargo, son muy sensibles y detectan cantidades muy pequeñas de radiación gracias a ese factor multiplicador.

Como conclusión práctica de todo lo anterior cabe destacar también que cualquier tipo de medida comienza con la comprobación del estado de la batería, ya que así se confirma que el voltaje empleado es el correcto para el que está fabricado ese instrumento de medida. Si la carga de la batería es escasa, y no alcanza el mínimo exigible las medidas no son correctas. Todos los instrumentos incorporan un sistema para valorar el estado de la batería de funcionamiento en todo momento.

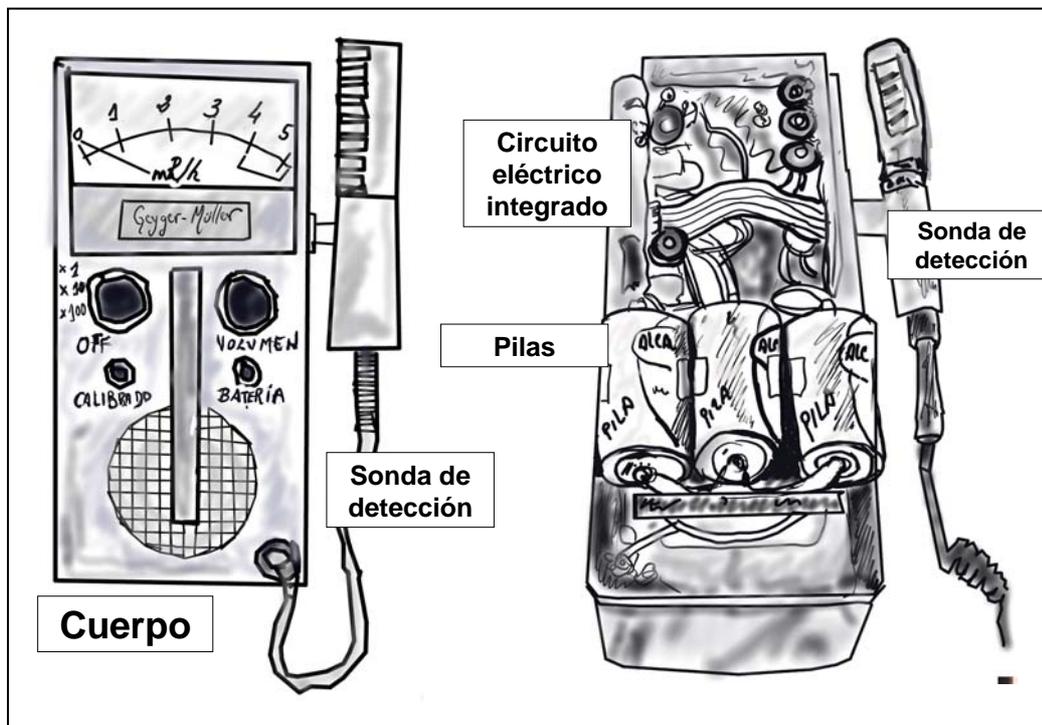


Figura 4.6. Detector Geyger-Müller.

4.3. Elementos integrantes de un monitor de radiación ambiental de cámara de ionización.

Existen detectores para dosimetría ambiental basados en cámaras de ionización que reciben el nombre de **monitores de radiación**. Dichos monitores constan de la cámara de ionización unida a un cuerpo que contiene la electrónica asociada, el instrumento de medida y las pilas o baterías de alimentación. A continuación describiremos cada uno de los elementos (Fig. 4.7):

1. Las baterías alimentan un circuito transistorizado que proporciona varios centenares de voltios necesarios para que la cámara funcione adecuadamente (Fig.4.7.a)
2. Como la corriente generada por la cámara es muy pequeña para ser medida directamente por un instrumento ordinario es necesario amplificarla mediante un circuito electrónico alimentado por las mismas baterías (Fig.4.7.b).
3. El instrumento de medida suele ser un microamperímetro graduado directamente en R/h o en Gy/h que da la medida de tasa de exposición o tasa de dosis. El equipo debe estar bien calibrado y repetirse la calibración siempre que el monitor haya sufrido alguna reparación o modificación importantes (Fig.4.7.c).
4. Estos monitores suelen suministrarse con una cubierta separable que cubre la pared de la cámara de ionización. La cubierta equivale, por sus características, a los primeros milímetros de tejido humano (piel) por lo que el detector recibirá, cuando está colocada la cubierta, la radiación más penetrante que llega al interior del organismo. Esta radiación se denomina dosis profunda y es casi siempre inferior al valor que se obtiene cuando se retira la cubierta pues en ese momento llega al detector toda la radiación y se obtiene la dosis piel o superficial (Fig.4.7.d).

5. Para evitar lecturas erróneas por carga insuficiente de la batería, todos los monitores tienen una posición que permite verificar el buen estado de las pilas. Los equipos digitales suelen disponer de una alarma visual que advierte de su agotamiento (Fig.4.7.e).
6. Estos equipos tienen además la posibilidad de ajustar el cero, es decir, la indicación del medidor cuando la cámara no recibe ningún tipo de radiación. Esto permite corregir posibles desajustes que darían como resultado una indicación de dosis aún sin llegar radiación al detector (Fig.4.7.f).

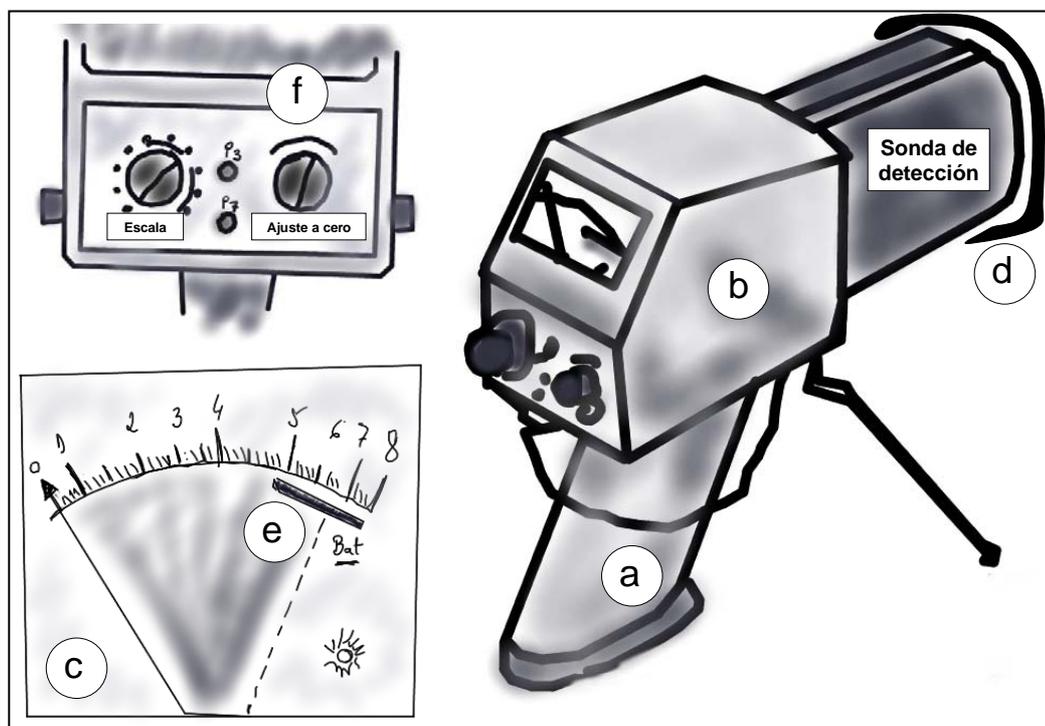


Figura 4.7. Detector BabyLine.

4.4. DOSIMETRIA PERSONAL

4.4.1. DOSIMETRIA PERSONAL BASADA EN CAMARAS DE IONIZACION

Los dosímetros de cámara de ionización tienen la forma y dimensiones de una pluma estilográfica (Fig.4.8.1) y están constituidos por una pequeña cámara de ionización llena de aire, un electrómetro de hilo de cuarzo y un microscopio elemental para observar la posición del hilo de cuarzo proyectado sobre una escala graduada en mR (Fig.4.8.4). 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 exterior que permite traspasar la energía eléctrica de una pila al interior del dosímetro (Fig.4.8.4)..

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

La dosis de radiación recibida desde que fue cargada por última vez se lee al trasluz, por transparencia o mirando a través del microscopio (Fig.4.8.3) y viendo la posición del hilo del electrómetro sobre la escala graduada. Al cabo de varias horas, la cámara es leída y recargada registrándose los valores obtenidos. La ventaja de estos dosímetros es que pueden ser leídos directamente por el propio interesado. Por otro lado presentan el inconveniente de ser muy sensibles a la temperatura y a la humedad por lo que deben ser ajustados con mucha frecuencia.

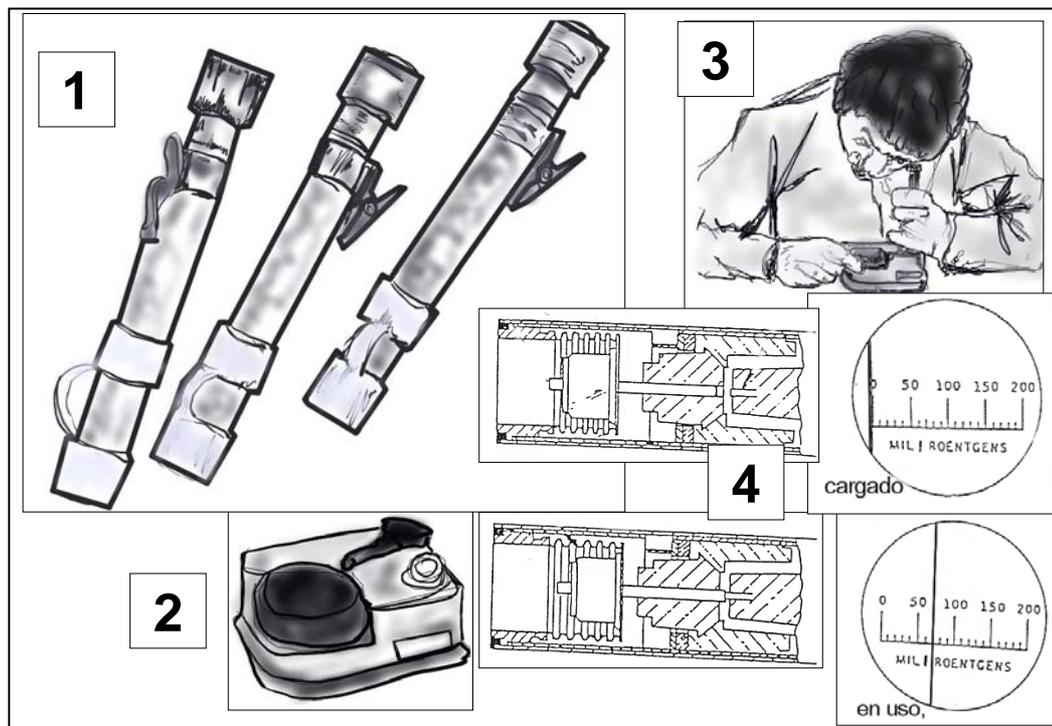


Figura 4.8. Dosímetro tipo Pluma de cámara de ionización.

4.4.2. DOSÍMETROS DE PELÍCULA RADIOGRÁFICA.

El principio en el que se basan los dosímetros fotográficos es la exposición de una emulsión fotográfica a la radiación, seguido del revelado de la placa y evaluación del grado de ennegrecimiento mediante un microdensitómetro. Este último dato permite evaluar la dosis absorbida tras un calibrado previo para cada tipo de película: cuanto más ennegrecimiento presenta la película radiográfica, mayor dosis de radiación le habra alcanzado.

Los dosímetros fotográficos constan de una película especial envuelta en una funda de papel opaca, montada en un soporte o chasis provisto de una pinza que permite 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.

Estos dosímetros poseen una serie de filtros absorbentes de diversos materiales (plástico, aluminio, cobre, cadmio, plomo, etc.,) que permiten la identificación de las características físicas de la radiación. En estos momentos ya no se utilizan para la dosimetría de los trabajadores expuestos a radiación ionizante en nuestro país.

4.4.3. DOSIMETROS DE TERMOLUMINISCENCIA (TLDs).

Se llama termoluminiscencia a la emisión de luz que exhiben ciertas sustancias al ser calentadas, si previamente han sido expuestas a la acción de las radiaciones ionizantes. La radiación ionizante al atravesar ciertos materiales, ceden parte de su energía produciendo fenómenos de excitación. En los materiales utilizados en la dosimetría por termoluminiscencia, también llamada TLD, la desexcitación no se produce de forma inmediata, sino que necesita un aporte energético en forma de calor para que tenga lugar, pues los electrones excitados quedan atrapados y no pueden recombinarse espontáneamente. La intensidad de luz emitida en la desexcitación está directamente relacionada con la dosis de radiación recibida por el material, lo que constituye la base de la dosimetría TLD (Fig.4.9).

Los materiales más adecuados para TLD son ciertos cristales entre los que se encuentran el fluoruro de litio (LiF) y el fluoruro de calcio (CaF₂). Estos cristales, prensados, suelen ir alojados en un portadosímetros que se sujeta a la ropa de trabajo o se coloca en la zona de la que se desee obtener información dosimétrica.

Los dosímetros de termoluminiscencia son más precisos que los de película fotográfica, además pueden ser borrados y utilizados de nuevo repetidas veces, por lo que su uso está muy extendido.

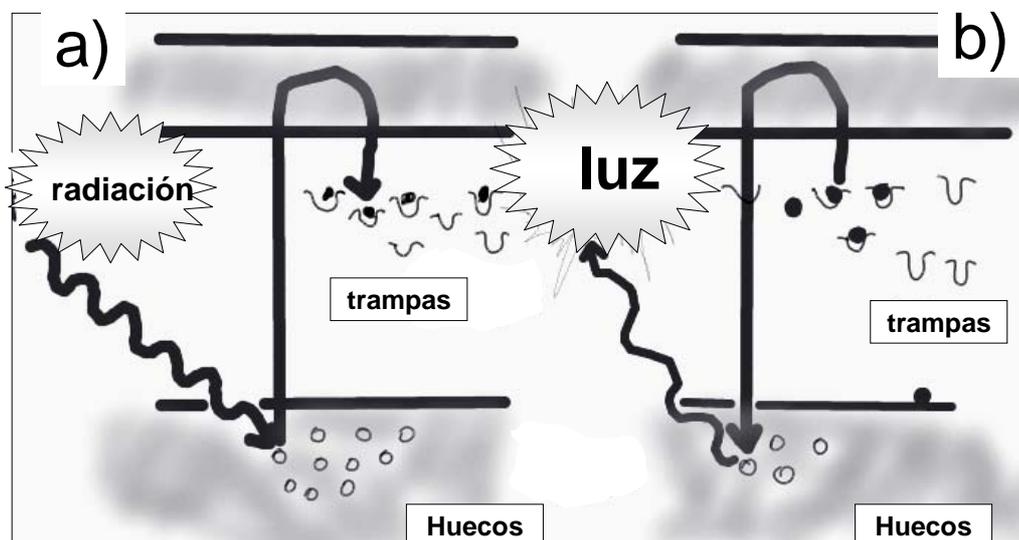


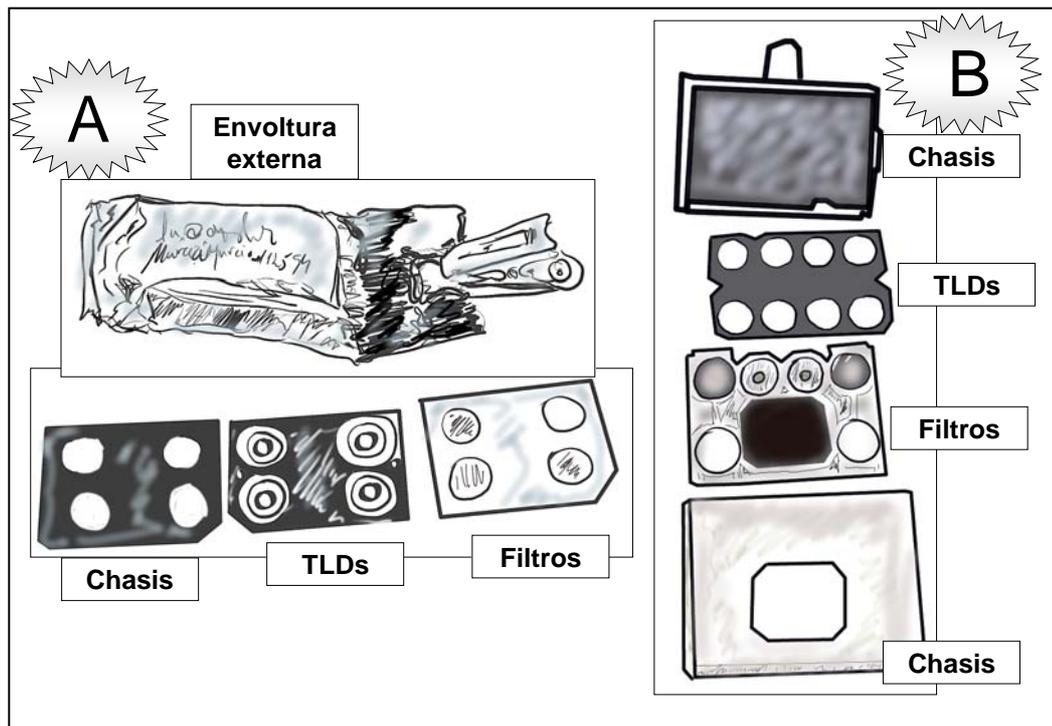
Figura 4.9. Fundamento de la termoluminiscencia

La intensidad de la luz emitida al ser calentados en un horno especial, está directamente relacionada con la dosis de radiación recibida por el material. En esta proporcionalidad está la base de su utilización como dosímetros.

Existen diferentes tipos de material termoluminiscentes (Tabla 4.1). Todos constan en esencia de un material base dopado con impurezas de ciertos átomos que actúan como trampas electrónicas. 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.

Tabla 4.1.:Elemento fluorescente

	Fluoruro de litio	Borato de litio	Fluoruro de calcio	Sulfato de calcio
Composición	LiF	Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn	CaF ₂ :Mn	CaSO ₄ :Dy
Densidad x 10 ³ (Kg/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



4.10.: Dos modelos de dosímetros de termoluminiscencia utilizados por el personal profesionalmente expuestos

Se dispone de diferentes modelos y tipos de dosímetros, aunque resaltan por su utilización en radiodiagnóstico 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.

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.
- Un adecuado tratamiento térmico permite su reutilización en un número de veces superior a cincuenta.
- Son fácilmente manipulables por lo que es factible su procesamiento automatizado en grandes cantidades.

DETECCION DE LA RADIACION Dosímetro de TLD: Ventajas	DETECCION DE LA RADIACION Dosímetro de TLD: Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none">) Relación lineal dosis/respuesta) Amplio rango de dosis (0,1 mrad-10 rad)) Pequeño tamaño (3x3x1 mm)) Reutilizable: económico (50 veces)) Lectura fácil y rápida. Automatización) Seguridad: error < 1%) Nº atómico igual a piel) Puede medir neutrones 	<ul style="list-style-type: none">) Fading: pérdida de información (1-2%)) Cuidado con calor y UV) Lectura irrepetible: problema legal

Fig.4.11.: Dosímetro de termoluminiscencia: Ventajas e inconvenientes

Hoy día, éste es el dosímetro empleado en Dosimetría Personal de los Profesionales expuestos a radiación ionizante en España.

4.4.3. INSTRUMENTOS DE DETECCION PARA DOSIMETRIA AL PACIENTE.

Para el paciente, fundamentalmente hay dos magnitudes de interés en la dosimetría del paciente son la **dosis en piel** y producto **dosis por área**:

a). La estimación de la dosis en piel se puede realizar utilizando cámaras de ionización o utilizando dosímetros de termoluminiscencia (TLD).

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 la información diagnóstica adecuada (Fig.4.12). 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.

b). El producto 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 y junto a la salida del haz de radiación en el tubo de rayos X.

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. 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.

4.6.. 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 ensayos mayoritariamente aceptados es el análisis de las aberraciones cromosómicas analizadas en linfocitos de sangre periférica que ya se ha aceptado como un test válido en aquellos casos en los que no ha sido posible conocer la dosis de radiación por algún procedimiento físico. Actualmente 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, y que posiblemente sea aceptado para su utilización con los mismos objetivos (Fig.4.12).

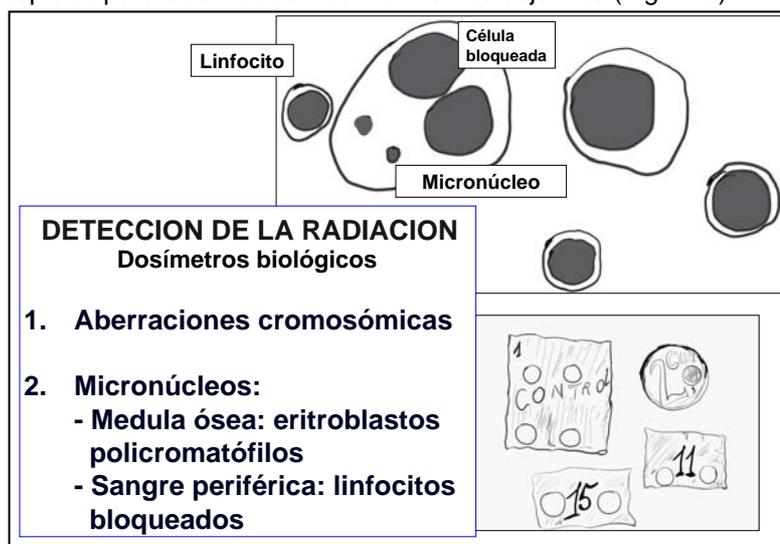


Fig.4.13.: Dosimetría del paciente: TLDs y efectos biológicos.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALCARAZ BAÑOS, M. (2002).- **Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico**. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia, (pp. 21-36).

ALCARAZ BAÑOS, M., y GENOVÉS GARCIA, J.L. (1996).- **Protección Radiológica en Radiodiagnóstico**. Diego Marín (ICE-Universidad de Murcia), Colección Texto-Guía, Barcelona.

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

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**

ALCARAZ, M.; Gómez-Moraga, A.; Dato, M.J.; Navarro, J.L. y Canteras, M. (2002)- Efecto genotóxico inducido por la exposición a rayos X durante exploraciones complejas de radiodiagnóstico médico. **Oncología 25 (3): 159-168 (2002)**

ALCARAZ, M.; ROSA, B; NAVARRO, J.L.; DATO, M.J, ACEVEDO, C. and CANTERAS, M (2001).- Cytokinesis block micronucleus in human lymphocytes effect of low dose radiation in vascular radiology. **INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE RADIOLOGICAL PROTECTION OF PATIENTS**, International Atomic Energy Agency, Torremolinos (Malaga), p. 803-805, 26-30 March 2001

ALCARAZ, M.; GOMEZ-MORAGA, A.; ROSA, B.; VICENTE, V. y CANTERAS, M (2002).- Micronucleus assay in human lymphocytes irradiated during medical radiodiagnostic exploration. **Annual Meeting RADIATION RESEARCH 2000 and Grantholders Meeting of Committee on Cancer Research** ; University West England, Bristol, Reino Unido, p.34, 10-12 April 2000.

ALCARAZ, M.; FONSECA, G.; ACEVEDO, C.; NAVARRO, J.L.; ARMERO, D.; LOPEZ SABATER, J. ; VICENTE, V. y CANTERAS ; M. (2001).- Efecto genotóxico de diferentes procedimientos médicos inducidos por radiación ionizante.: **II Taller Internacional de Mutagénesis y Carcinogénesis y V Reunión Nacional**, 12-16 de Diciembre, La Habana (Cuba), p.: 20

ALCARAZ, M; NAVARRO. J.L; ROSA, B; ACEVEDO, C; DATO, M.J; VICENTE, V; CANTERAS, M y CLAVER A. (2000).- Efecto de la Terapia con I 131 sobre la Inducción de Micronúcleos en Linfocitos de Pacientes Irradiados por Carcinoma de Tiroides.: **Congreso Iberoamericano de Medicina Nuclear . VIII SPMN-XVII ALASBIMN** ; 17-21 Octubre 2000, Oporto (Portugal), p.: 70

GARCIA-VERA, M.C.; ARMERO, D.; CAMPOS, P.; BRAVO, L.A. y ALCARAZ, M. (2001).- Protección radiológica en Odontología Infantil.: **IV Congreso Nacional de Enfermería de la Infancia y XIII Jornadas Nacionales de Enfermería de la Infancia**, 4-6 de Octubre, Sevilla. p.186.