

## **Lección 3**

# **Monitorización de fotones en el lugar de trabajo**

# Objetivos de la monitorización

## Objetivos de la monitorización:

- medir la tasa del equivalente de dosis ambiental,  $H^*(10)$  en los puntos de interés;
- evaluar la intensidad de los campos de radiación en el lugar de trabajo para el cumplimiento regulatorio, y
- aplicar los valores de medición para el control de exposiciones externas.

# Contenido

- Técnicas de monitorización
- Equipos
- Calibración y verificación de funcionamiento
- Medición en la práctica
- Equipos especializados

# Técnicas de monitorización

# Técnicas de monitorización

- El proceso de monitorización implica en la colocación del punto de referencia de un monitor adecuado en el punto de monitorización.
- El punto de referencia debe estar lo más cerca posible del punto de medición previsto.
- En teoría, no hay necesidad de apuntar el equipo hacia una dirección particular, pero en la práctica ningún equipo es totalmente isotrópico en su respuesta.

# Técnicas de monitorización

- Además, el operador producirá un blindaje considerable para la radiación proveniente de la parte posterior del equipo. Por lo tanto, es importante identificar una dirección para cada punto de supervisión.
- Por esta razón, los monitores gamma fijos se deben instalar al nivel de la cabeza o superior.

# Técnicas de monitorización

- Monitorización especial -investigativa- es realizada:
  - en áreas donde las condiciones son desconocidas;
  - cuando hay problemas con el blindaje;
  - cuando hay búsquedas de fuentes, y
  - cuando es necesario medir las tasas de dosis en la superficie de un paquete.
- La monitorización es más fácil con equipos más sensibles.
- Se utilizan equipos portátiles auxiliados por el uso de la salida de audio.

# Técnicas de monitorización

- Los equipos instalados monitorean el lugar del trabajo continuamente.
- Las alarmas y los indicadores remotos son deseables.
- Debe seleccionarse la mejor posición para el equipo. Considere los escenarios de la tasa de dosis potencial. Asegúrese de que el equipo no esté blindado y que esté ubicado correctamente.



# Equipos

# Equipos

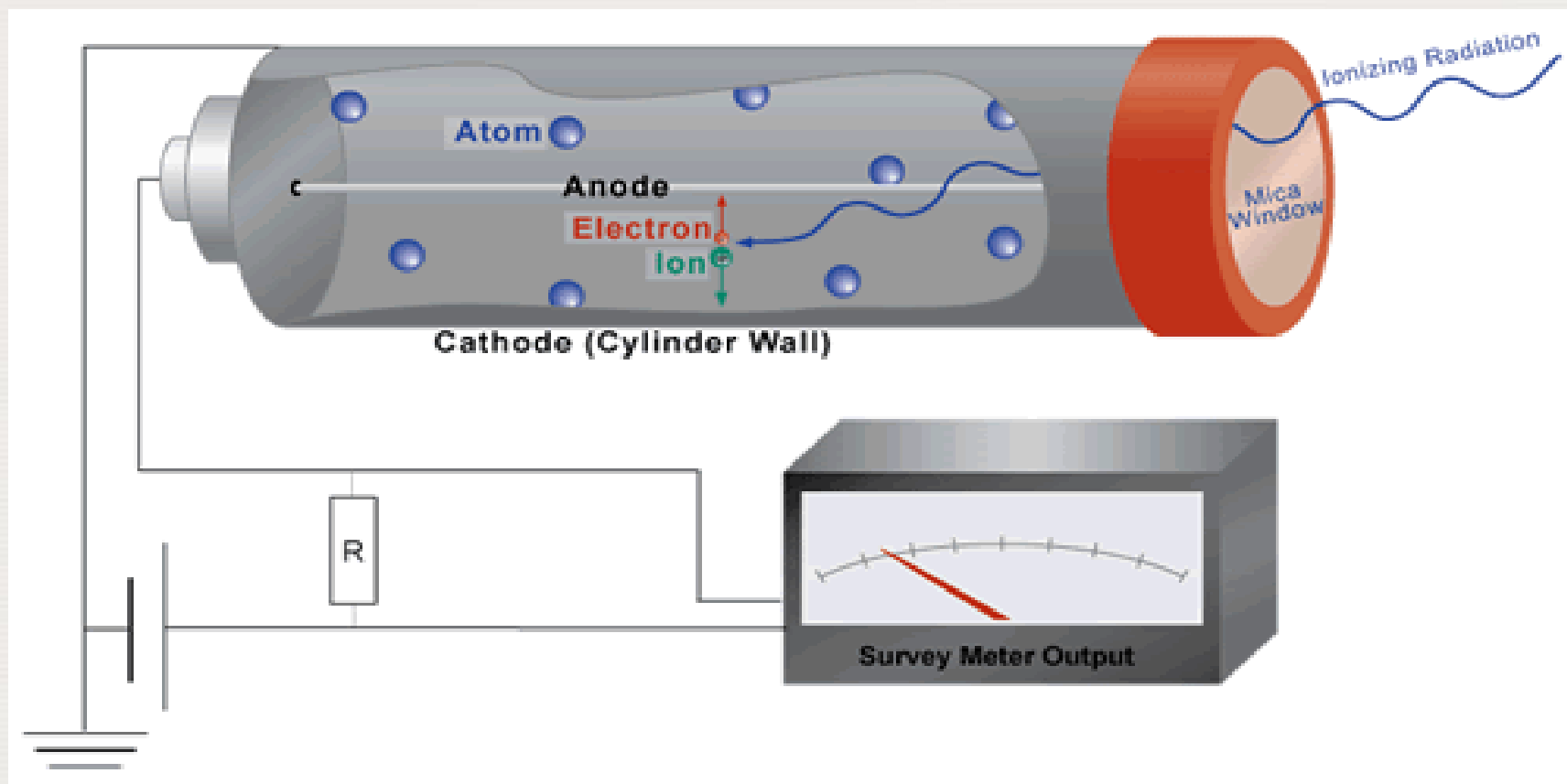
- El equipo adecuado se determina principalmente por el rango anticipado de las tasas de dosis y si hay presencia de radiación de energía relativamente baja.
- Es importante elegir el equipo que responda de modo adecuado a la tasa de dosis más baja, definida anteriormente por el profesional.
- Otro punto importante es si el campo de radiación tiene un componente significativo de baja energía (por debajo de 60 keV).

# Equipos

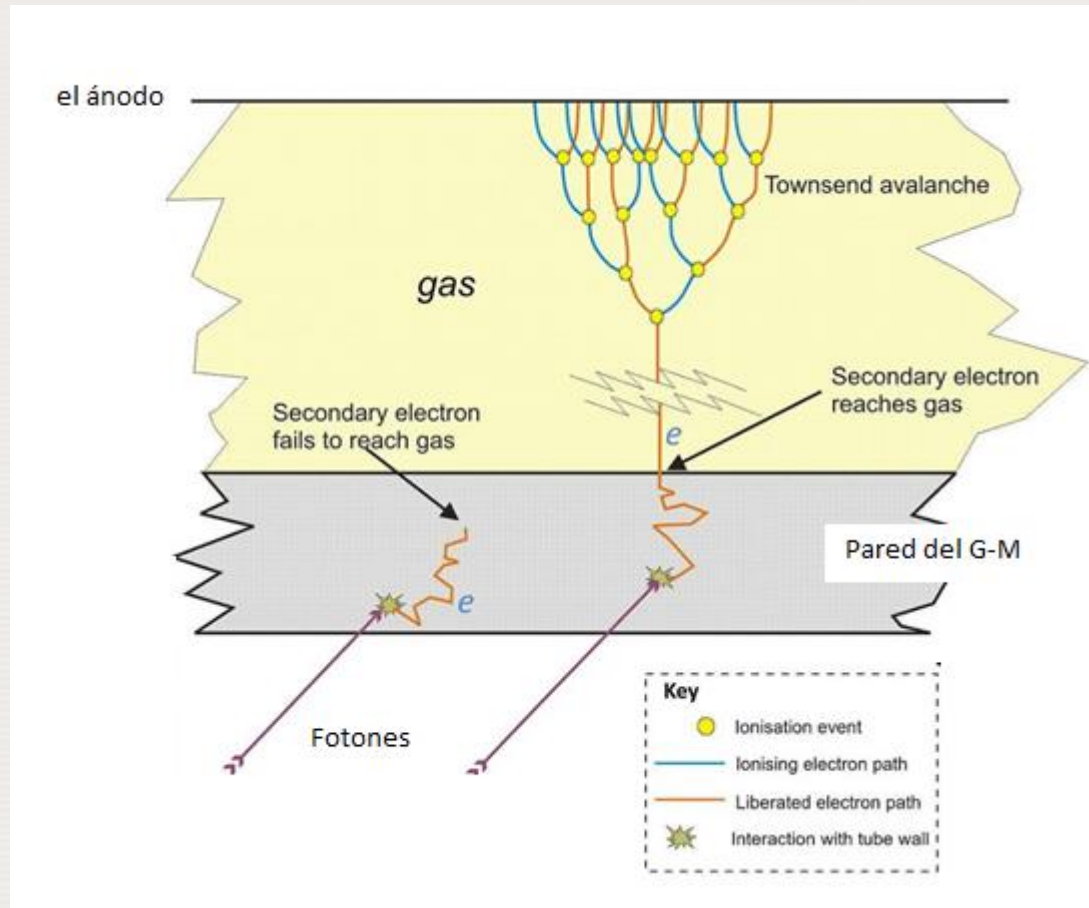
Se pueden emplear:

- contador G-M;
- cámaras de ionización;
- contadores proporcionales;
- centelladores plásticos, y
- detectores semiconductores.

# Diagrama esquemático del detector llenado de gas



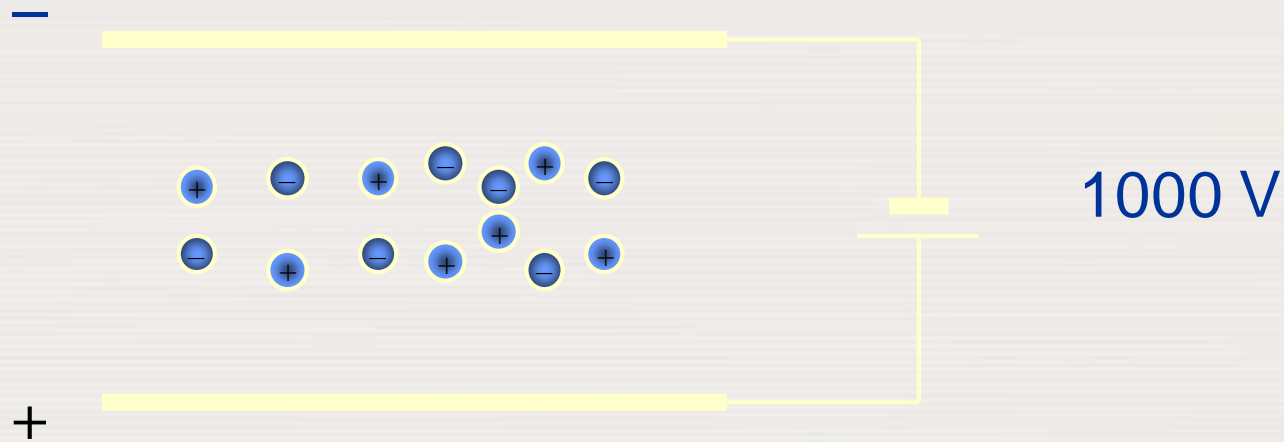
# Diagrama esquemático del detector llenado de gas



## Detección de fotones

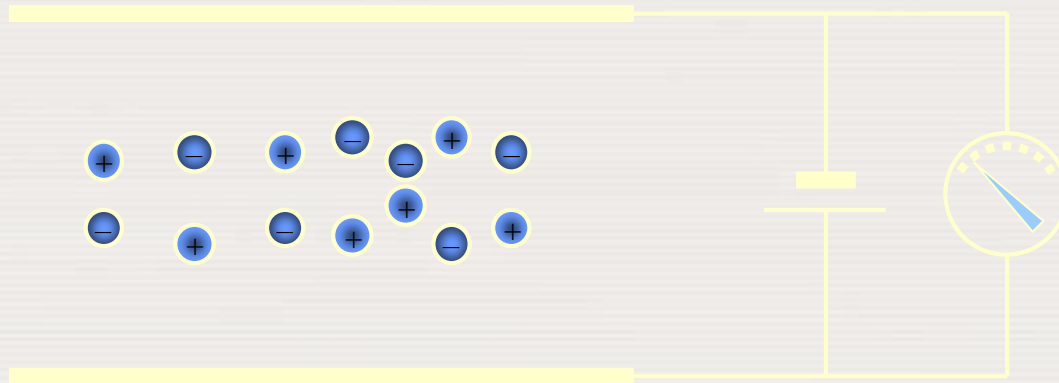
# Diagrama esquemático del detector llenado de gas

Comportamiento de las partículas cargadas en un campo eléctrico



# Diagrama esquemático del detector lleno de gas

La salida del detector es un pulso de carga cuando los iones son coleccionados en el electrodo.



# Detectores G-M para MLT

<b>Ventana final</b>	La radiación entra en el volumen sensible del detector a través de una ventana de mica muy delgada ( $1,5-3 \text{ mg/cm}^2$ ). La protección de la ventana delgada es realizada por una malla. Los tubos G-M de ventanas finales pueden detectar alfa, beta y gamma.
<b>Ventana lateral</b>	Este detector tiene una placa metálica deslizante sobre la ventana. Las partículas beta (300 keV y superior) y los rayos gamma se pueden detectar con la ventana abierta. Cerrando la ventana se elimina la contribución beta.
<b>“Pancake”</b>	Un G-M tipo “pancake” es similar a la ventana final en que se utiliza una ventana de mica muy delgada. Su diseño ofrece una mayor área de detección que la sonda de la ventana final



# Contador G-M: ventajas

- Mayor sensibilidad en comparación con la cámara de ionización.
- Un tamaño pequeño es posible, debido a la mayor sensibilidad.
- Se puede operar en modo 'pulso' o 'corriente', dependiendo de la electrónica.
- Los G-Ms compensados por energía son adecuados para medir  $H^*(10)$ .
- Relativamente barato.

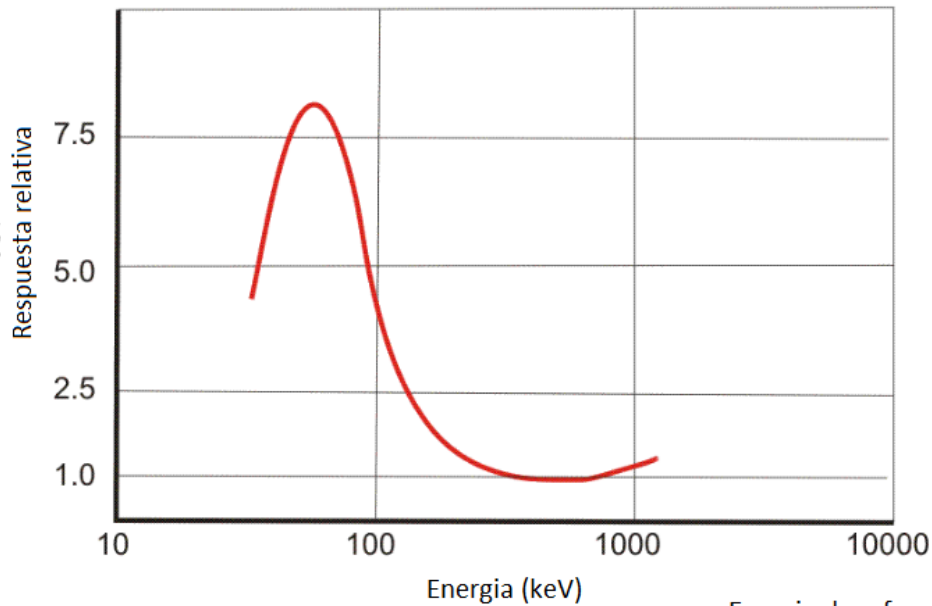
# Contador G-M - limitaciones

- El tiempo muerto es de aproximadamente 300  $\mu$ s.
- Se satura a altas tasas de dosis.
- No es posible detallar la energía o el tipo de la radiación.
- No se puede utilizar para medir la fuente de radiación pulsada de los aceleradores con precisión.
- Muestra dependencia energética, por lo tanto, se necesitan filtros metálicos alrededor del detector.

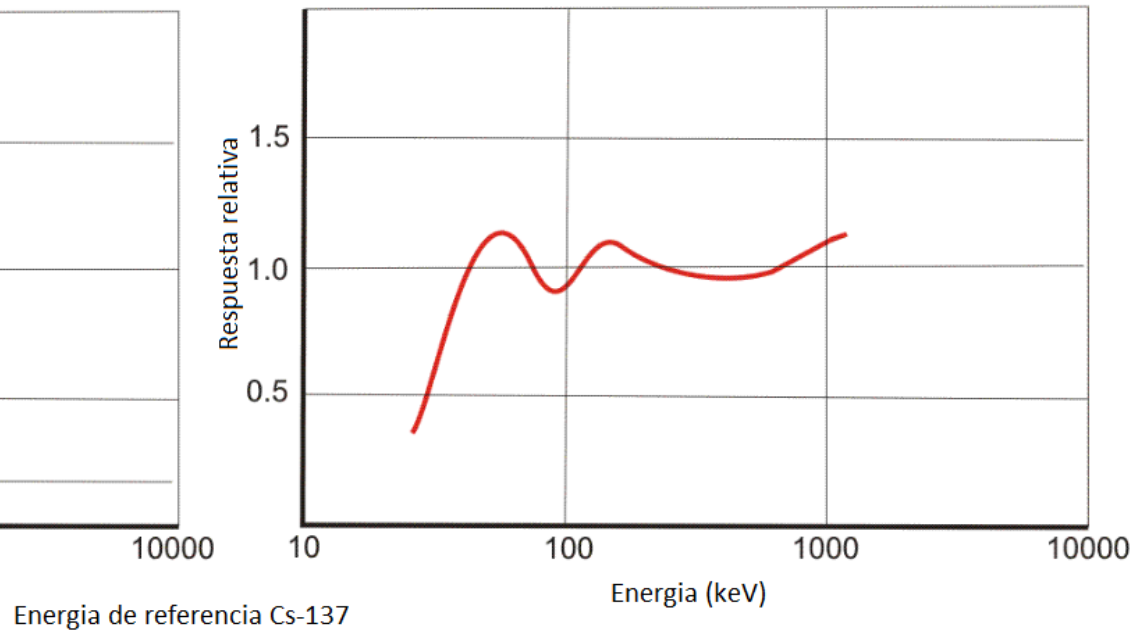
rodas

# Dependencia energética de los tubos G-M

Sin compensación de la energía



Con compensación de la energía



Energía de referencia Cs-137

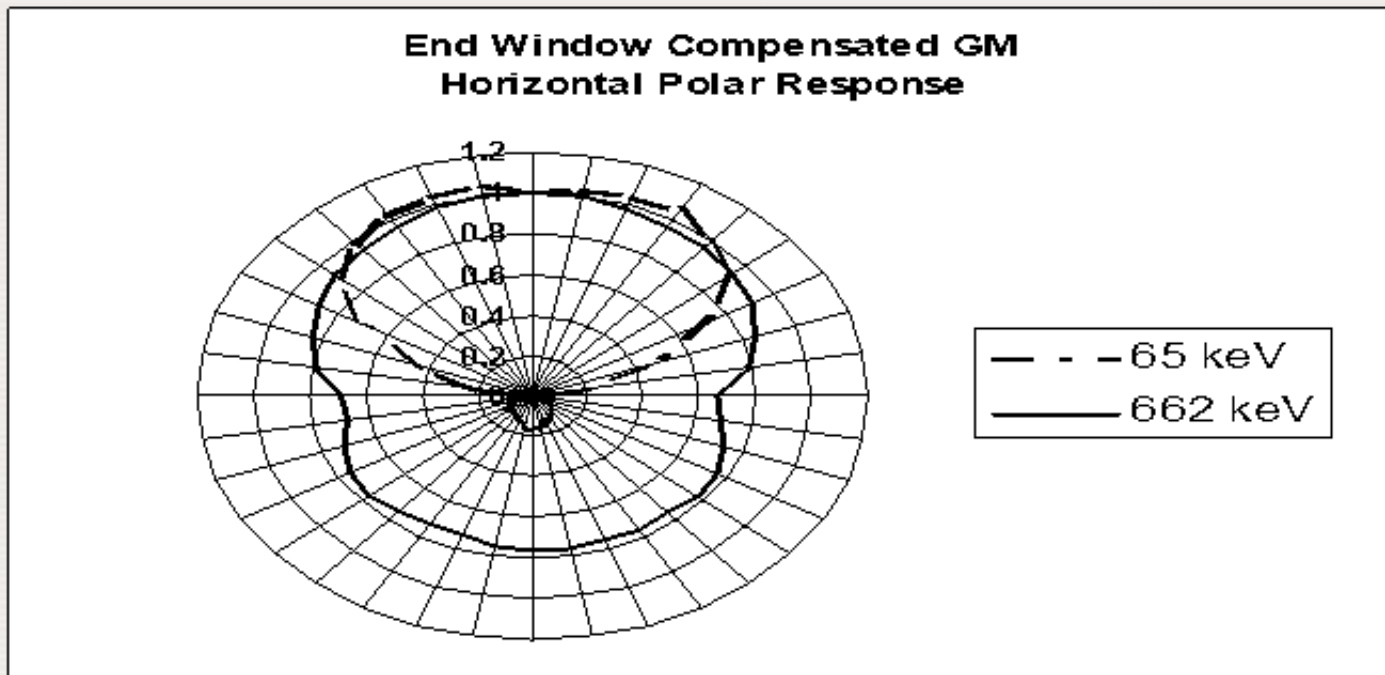
# Filtros metálicos alrededor del detector



Tubo G-M con paredes delgadas equipado con los anillos de compensación de energía. El montaje completo encaja en la carcasa de aluminio.

# Dependencia angular de los tubos G-M

El G-M cilíndrico típico tiene una baja dependencia angular



# Ejemplos típicos de detectores G-M



Tubos G-M miniatura



G-M ventana final



Tubos G-M “Pancake”

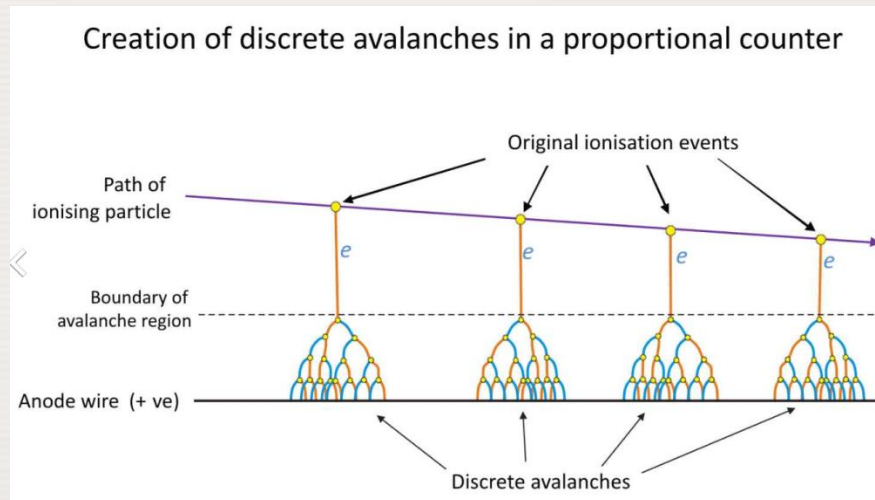


Tubo de ventana lateral

Cortesía: Canberra

# Contadores proporcionales

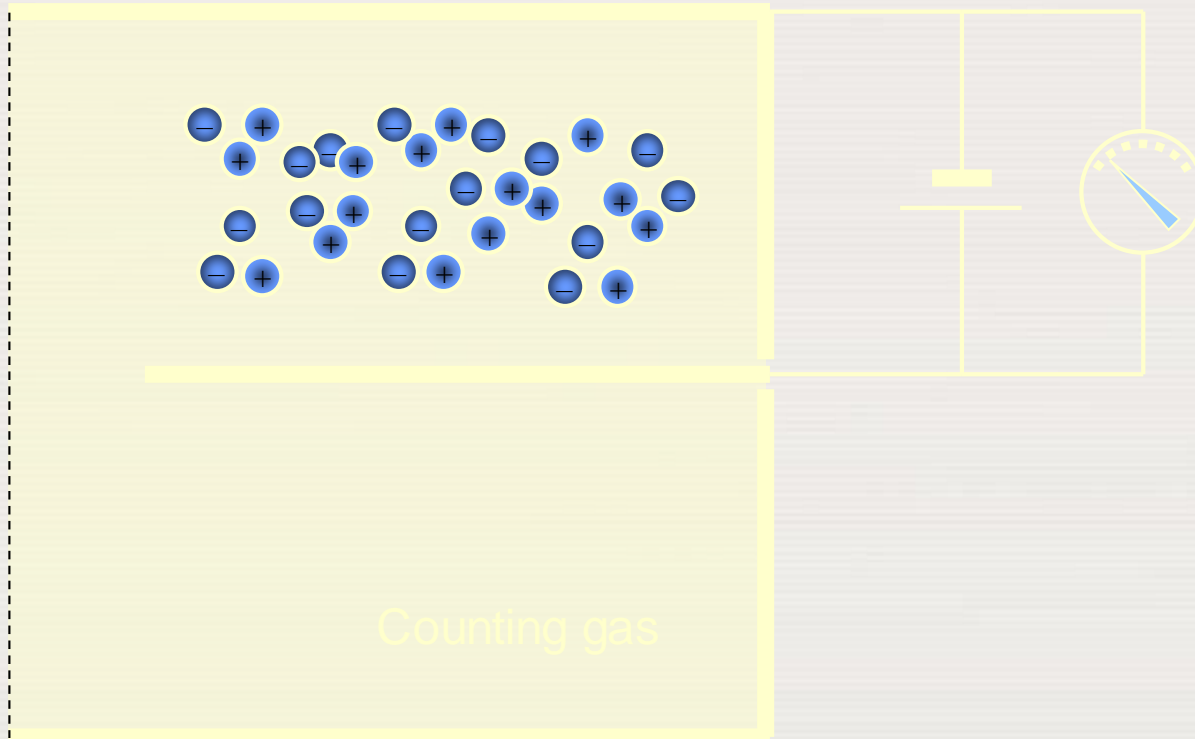
- Contadores proporcionales no se usan con frecuencia.
- Son más sensibles que las cámaras de ionización y adecuadas para mediciones en campos de radiación de baja intensidad.
- Requieren una fuente de alimentación muy estable.





# Diagrama esquemático del detector proporcional

El número de iones formados es proporcional a la energía de la radiación.



# Ejemplo de un contador proporcional



Cortesía: Berthold

Baja dependencia energética y bajo límite de detección,  
más caro.

# Cámaras de ionización

- El detector funciona en modo corriente con aire como gas de llenado.
- No se requiere amplificación de gas para el funcionamiento.
- Ideal para mediciones de la tasa de exposición; puede medir niveles de radiación muy altos prácticamente sin tiempo muerto.
- No hay dependencia de energía por encima de 100 keV.

# Cámaras de ionización - ventajas

- Dependencia energética y angular baja.
- Más confiable que tubos G-M en áreas con tasa de dosis alta, y por lo tanto instalada con el fin de monitorizar continuamente altas tasas de dosis.
- Puede ser utilizada en campos de radiación pulsados.
- Se puede utilizar para medir campos de radiación beta si se proporciona una tapa de ventana.
- Estándar de oro para mediciones de exposición.

# Cámaras de Ionización – limitaciones

- Mayor costo y tamaño en comparación con el tubo G-M de la misma sensibilidad.
- Tiene un alto índice de fluctuaciones en los niveles de fondo debido a la baja sensibilidad y la respuesta es lenta.
- Sensible a las condiciones de temperatura, presión y humedad.
- El detector tiene una corriente de fuga; la mayoría de los diseños requieren un ajuste del "cero".
- Área de promedio grande.

# Cámaras de ionización y MLT



Cortesía: Mirion

Cámara de ionización portátil.  
Rango: 1  $\mu\text{Sv/h}$  a 1 Sv/h  
volumen del detector: 350 cm<sup>3</sup>.

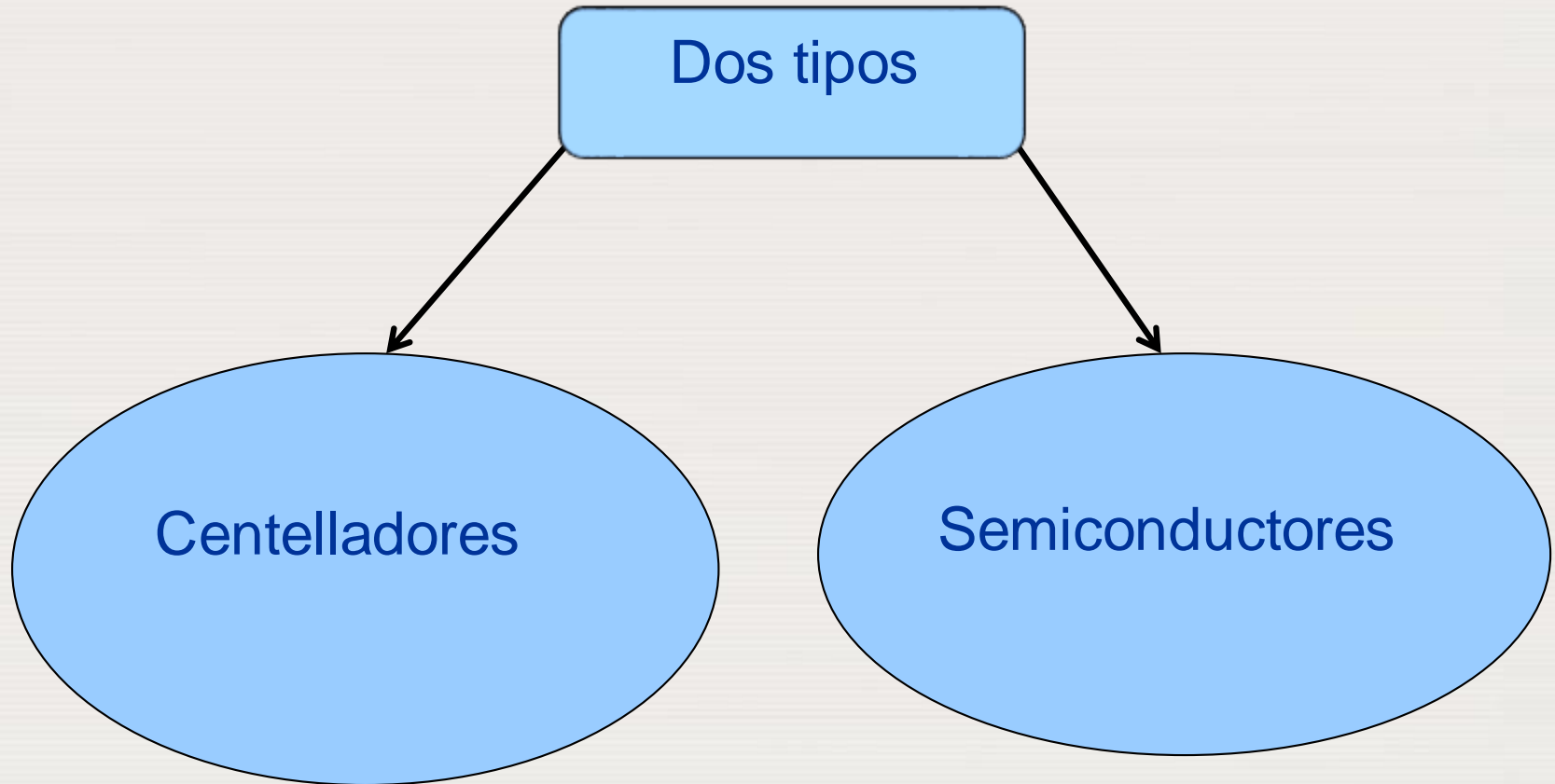


Cámara de ionización fijo.  
Rango: 1  $\mu\text{Sv/h}$  a 1 Sv/h.

Cortesía: Canberra

# Detectores de estado sólido

# Detectores de estado sólido

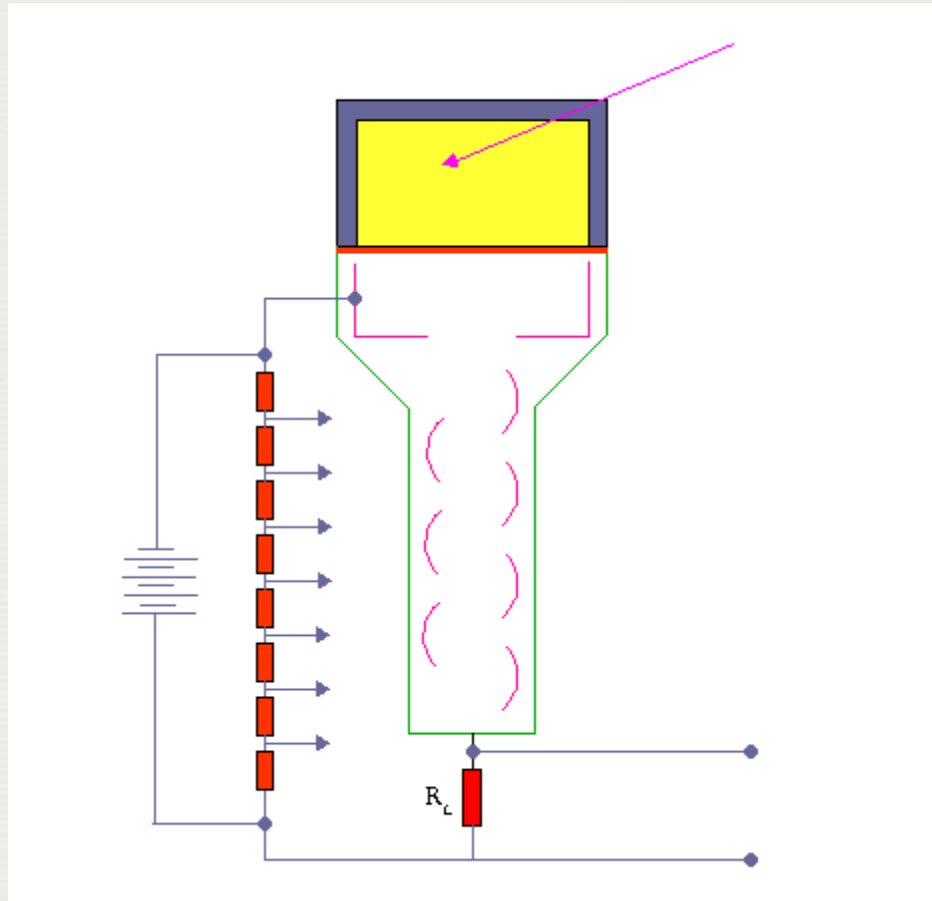




# Centelladores

- El centelleo es el proceso a través del cual la radiación ionizante se convierte en fotones de luz visible.
- El centelleo puede proporcionar información sobre la energía de la radiación y por lo tanto puede ser útil en espectroscopia nuclear.
- La detección ocurre en la escala de tiempo de nanosegundos.
- Se utilizan plásticos y NaI(Tl), CsI(Tl) o LaBr:Ce<sup>3+</sup>.

# Diagrama esquemático del detector de centelleo.



# Centelleadores - características

- Centelleadores inorgánicos - alto número atómico y por lo tanto, alta eficiencia para la radiación gamma.
- La sensibilidad es de  $10^3$  a  $10^4$  veces mayor que los detectores de gas dependiendo del material.
- La intensidad de la luz es proporcional a la energía de radiación.
- Puede utilizarse a temperatura ambiente.

# Centelladores y MLT

- Los centelleadores NaI(Tl) se utilizan como monitores fijos y los equipos portátiles.
- Equipos con centelladores plásticos con rangos de tasa de dosis de  $0,01 \mu\text{Sv/h}$  a  $10 \text{ Sv/h}$  están disponibles en el mercado.
- Algunos equipos también proporcionan información sobre el espectro energético del campo de radiación.

# Ejemplos de centellectores



Cortesía: Canberra

Equipo fijo:  
Rango: 0,1  $\mu\text{Sv/h}$  a 100 mSv/h.



Cortesía: Nucleonix

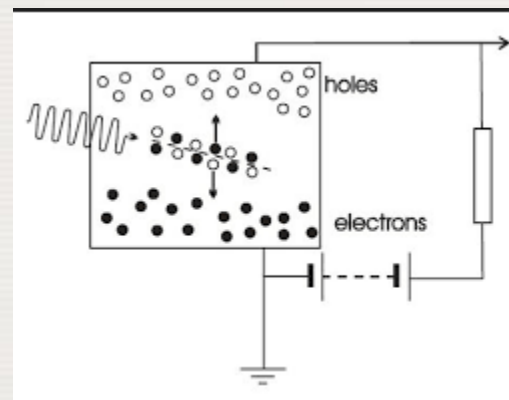
Equipo portátil  
Rango: 0,01 a 100 mSv/hr.



Centellectores plásticos portátiles  
Rango: 10 nSv/h a 100  $\mu\text{Sv/h}$ .

# Semiconductores

- Tipos: diodo de silicio (Si) y Cadmio-Zinc-Telurio (CdZnTe).
- De tamaño pequeño - tamaño de una tarjeta de crédito.
- Detectores portátiles HPGe están disponibles para espectroscopia de alta resolución.

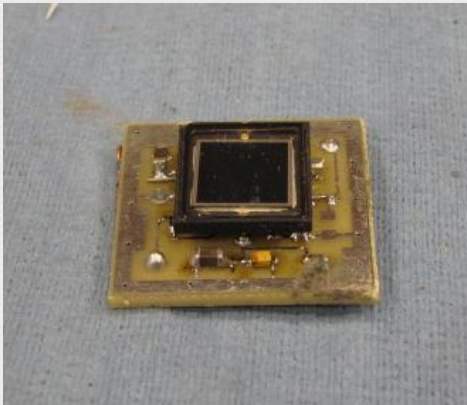


# Ejemplos de semiconductores



Cortesía: Fuji electric

Detector: diodo de silicio  
Rango: 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  a 100 mSv/h.



# Calibración y verificación



# Calibración

La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un equipo de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

*Factor de calibración:*

Es el valor verdadero convencional de la magnitud que el equipo tiene la intención de medir,  $H$ , dividido por la indicación,  $M$ , tal cual es indicado por el equipo.

# Calibración

- La calibración debe utilizar cualidades de radiación definidas en (ISO 4037-3:  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{241}\text{Am}$ ).
- La calibración se realiza a tasas de dosis que representan entre  $1/3$  y  $2/3$  de cada escala de medida.
- Un factor de calibración entre  $\pm 1,2$  es un factor de calibración aceptable.

# Calibración

- Todas las escalas no calibradas deben identificarse en el equipo.
- La calibración debe realizarse al menos a cada año o a una frecuencia indicada por la autoridad reguladora.
- La calibración de monitores instalados es realizada por el fabricante. Después, el equipo se prueba en comparación con un equipo portátil calibrado o con una fuente, incluyendo:
  - verificación de funcionamiento y indicación de fondo, y
  - prueba de la alarma (incluyendo la respuesta a las tasas de dosis altas y bajas).

# Verificación de funcionamiento

Para un equipo fijo, se incluirá:

- verificación de funcionamiento;
- comprobar si las luces de la alarma están funcionando;
- comprobación visual de la condición física;
- verifique la indicación de medición, y
- indicación de fondo.

# Verificación de funcionamiento

Para un equipo portátil se debe incluir:

- comprobación visual de la condición física, cable, sonda, etc.;
- validez de la calibración;
- la batería;
- indicación de fondo;
- indicación de la fuente de control, y
- funcionamiento de la alarma.

# Monitorización de la tasa de dosis en la práctica

# Monitorización de la tasa de dosis en la práctica

1



1. Fuente sellada de la alta actividad; mantener la distancia.

2



2. Monitorización de la contaminación superficial.

3



3. Radiografía gamma la verificación de la posición de la fuente.

4



4. Equipo fijo de monitorización.

# Monitorización de la tasa de dosis en la práctica

- El equipo debe ser apropiado para el tipo, la energía y la intensidad de la radiación y para la magnitud de interés.
- Realizar la verificación del funcionamiento.
- Verificar la validez del certificado de calibración.
- Verificar los niveles de la alarma para la tarea (tasas de dosis y dosis integrada).
- Realizar el monitorización del campo de radiación.



# Monitorización de la tasa de dosis en la práctica

- En el lugar de monitorización, mueva el monitor para obtener la tasa de dosis más alta.
- Tenga cuidado con la posibilidad de un haz colimado.
- Cuando se mida una tasa de dosis alta o baja inesperada, actúe inmediatamente.
- Esperar a que la lectura del detector se estabilice.
- Los contadores G-M no se deben utilizar en campos de radiación pulsados.

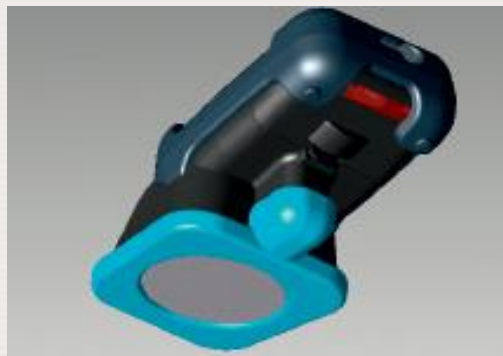
# Monitorización de la tasa de dosis en la práctica

- Utilice detectores telescópicos para altas tasas de dosis.
- Utilizar señal de audio y/o baliza luminosa giratoria.
- Minimizar el tiempo en el campo de radiación.
- Cubra la sonda para evitar contaminar el equipo.
- Apague el equipo cuando no esté en uso.
- No balancee la sonda por el cable.

# Ejemplos de equipos especializados

# G-M “pancake” con compensación energética

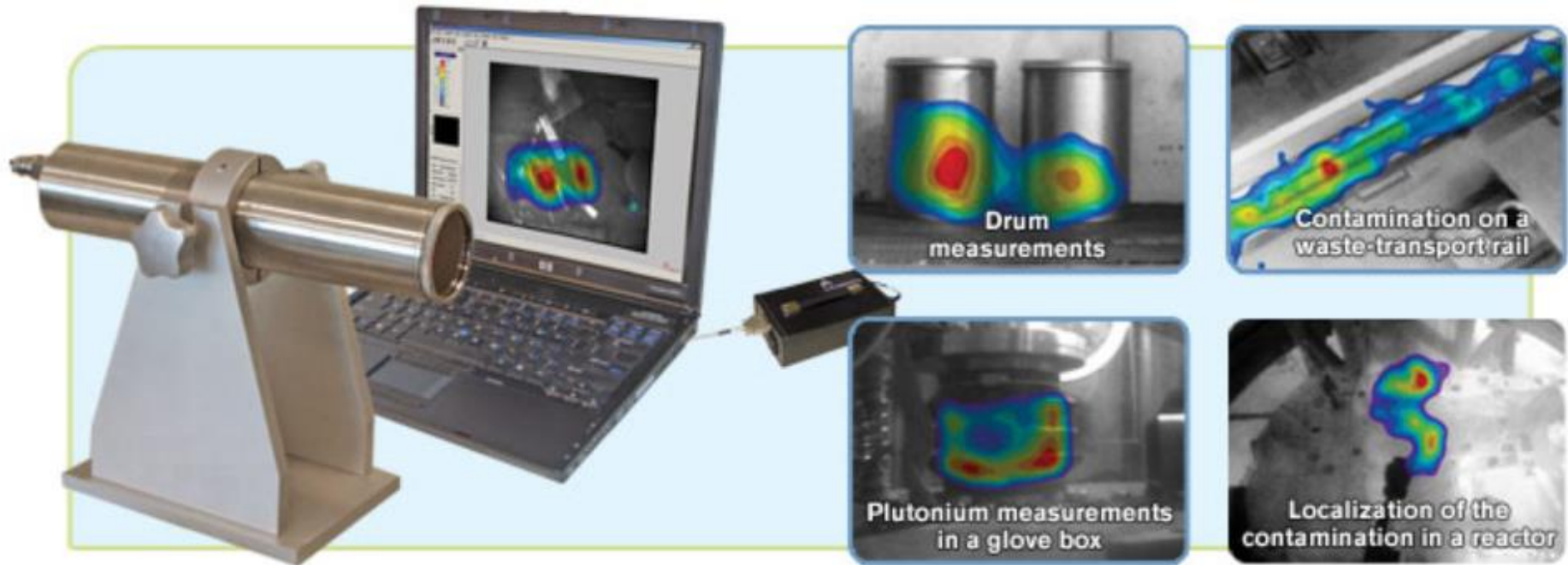
Cortesía: Thermo-Fisher



## Especificación:

- Ventana de mica - 1,8 a 2,2 mg/cm<sup>2</sup> .
- Diámetro efectivo de 28 o 45 mm.
- Buena eficiencia para las radiaciones alfa, beta y gamma.
- Tasa de dosis máxima: 2 mSv/h.
- Intervalo de energía: 17 keV a 1,3 MeV.

# Gammacámara



Gammacámara empleada para detectar la contaminación



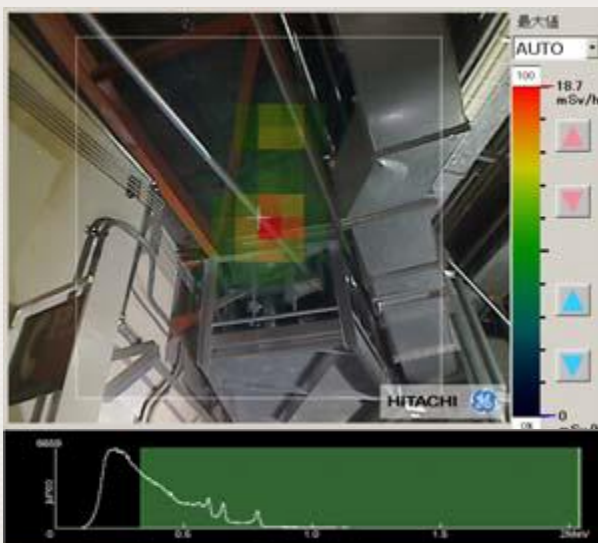
# Gammacámara empleada en Fukushima



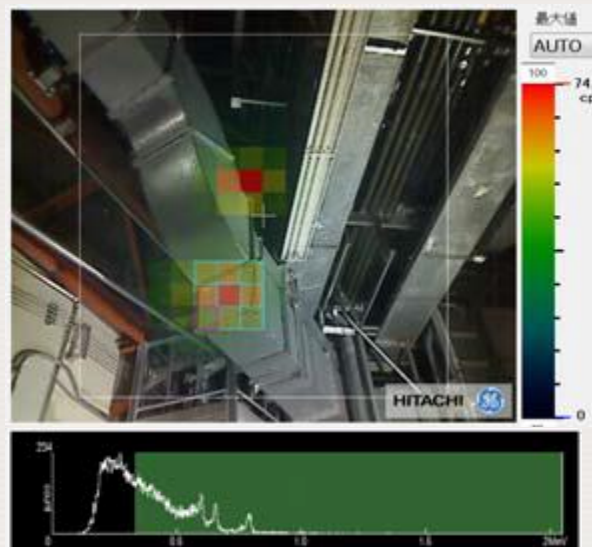
Cortesía: Toshiba

# Gammacámara empleada en Fukushima

## P1A



## P2A



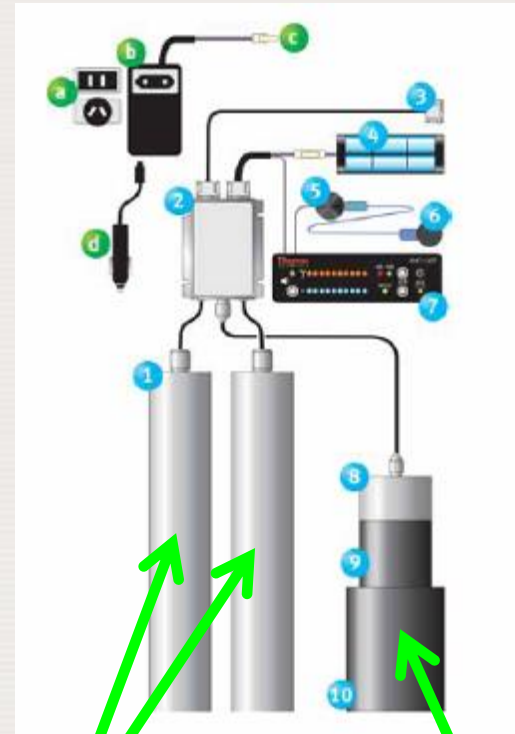
Visualización de “hotspots” en el edificio del reactor de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi. P1-A y P2-A son imágenes de las mismas penetraciones de la pared observados desde diferentes ubicaciones con la gamma cámara construida con CdZnTe.

Ref: *Progress in Nuclear Science and Technology*, Volume 4 (2014) pp. 14-17

# Mochila para la búsqueda de fuentes

Alarma configurada al +20% de radiación de fondo.

Intervalo de energía: 50 keV a 3 MeV.



Detectores de neutrones con  $\text{BF}_3$

Centelleador plástico para gamma



# Detectores recientes

## Especificación



Cortesía :Thermo fisher

- Detector de neutrones y gamma, tamaño bolsillo.
- Puede distinguir entre el material NORM y no NORM.
- Compensación energética para radiación gamma.
- No hay falsas alarmas de neutrones al medir fuentes gamma de alta actividad.
- Útil para policías y trabajadores de emergencia.
- Eficiencia gamma: 900 cps por  $\mu\text{Sv/h}$   $^{241}\text{Am}$ .
- Eficiencia neutrones: 4,3 cps/20.000 n/s  $^{252}\text{Cf}$ .

# Detectores de radiación muy pequeños



Reloj G-M



Teléfonos celulares con aplicación



ghostbusters

# Resumen

- Siempre ejecute las mediciones con mucho cuidado.
- Nunca tome el desempeño de la instrumentación para garantizado.
- Compruebe regularmente el equipo.
- Asegure la calibración periódica.
- Mantenga su dosis ALARA.

Muchas gracias por  
vuestra atención y...

**SE ABRE EL DEBATE**