

# Tema 3

- Detección y medida de la radiación
- Límites de dosis

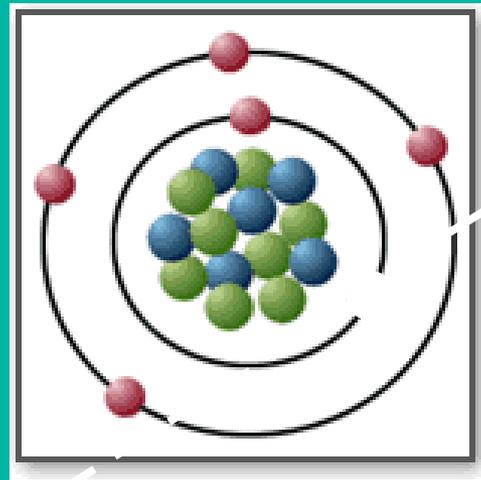
# Detección y medida de la radiación ionizante

- Cada clase de detector es sensible a cierto tipo de radiación y a cierto intervalo de energía. Así pues, *es de primordial importancia seleccionar el detector adecuado a la radiación que se desea medir. El no hacerlo puede conducir a errores graves.*

# Procesos principales de interacción en la detección de la radiación ionizante

- Ionización
- Excitación

# Fenómeno de Ionización



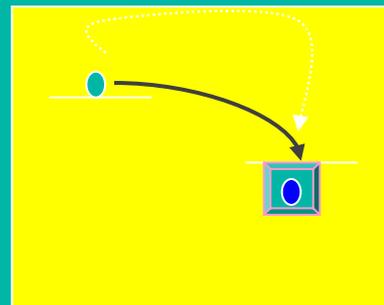
$e^-$

Ión +

Fotón de  
Rx



# Fenómeno de *Excitación-Desexcitación*



# Mecanismos usados para la detección de la radiación ionizante

- Ionización
- Centelleo
- Termoluminiscencia/optoluminiscencia
- Mecanismos químicos
- Mecanismos biológicos

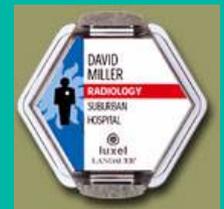
# IONIZACIÓN

- La ionización produce pares de iones (positivos y negativos).
- El número de pares de iones colectados está relacionado con la cantidad de radiación que causa la ionización.
- Se usa en: Monitores de radiación y dosímetros activos (electrónicos)



# Termoluminiscencia/Optoluminiscencia

- Una vez excitado, los electrones quedan atrapados en ese estado hasta que se aplica un estímulo externo (calor, láser) que los hace desexcitarse, emitiendo luz.
- La intensidad de la luz emitida está relacionada con la cantidad de radiación que causa la luminiscencia
- **Se usa en:** dosimetría personal



# Mecanismo químico

- Mediante el proceso de ionización se producen cambios químicos (cambio de color) en determinados materiales como las películas fotográficas.
- **Se usa en:** dosimetría personal



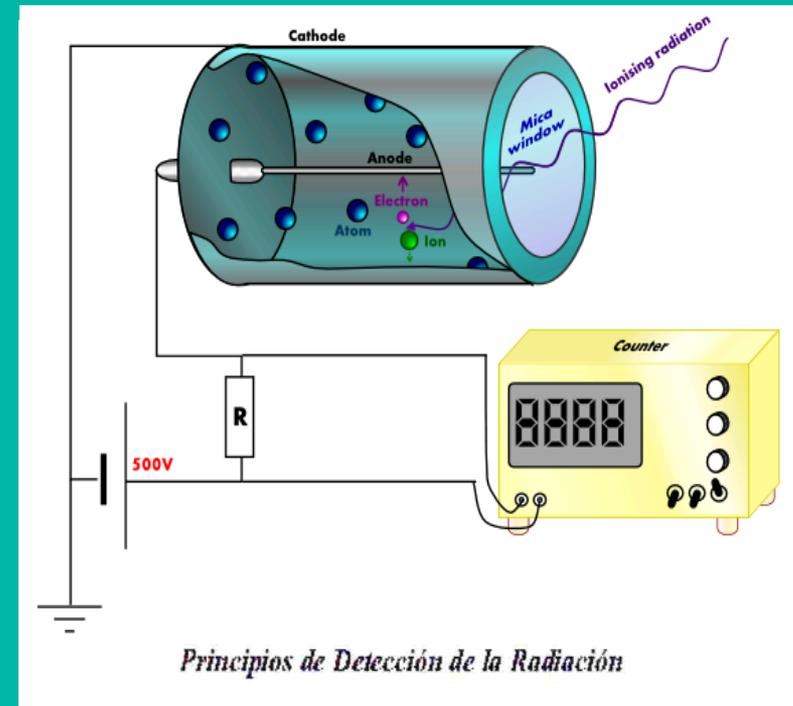
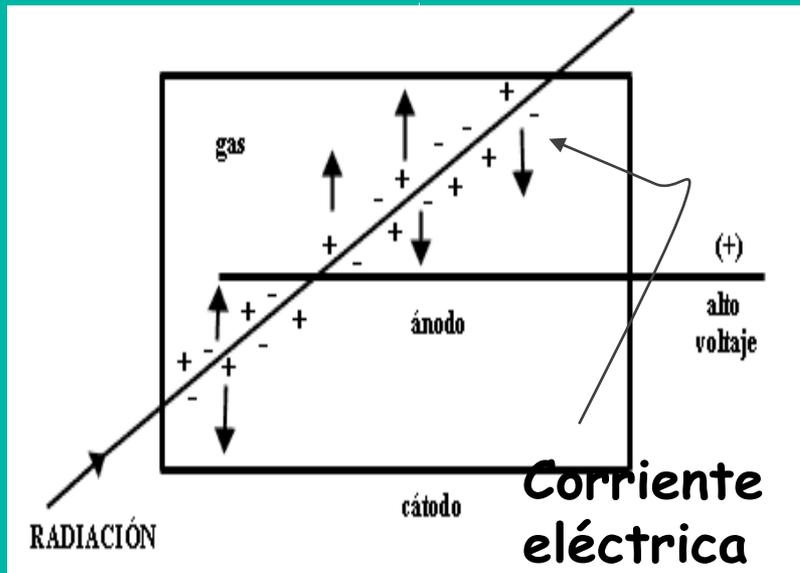
# DETECTORES BASADOS EN LA IONIZACIÓN DE UN GAS

- Existen varios tipos:
  1. Cámara de Ionización
  2. Geiger Müller

Se usa en: Monitores de radiación y dosímetros activos (electrónicos)

# ¿Qué es un detector de gas?

- Gas encerrado en un recipiente de paredes tan delgadas como sea posible para no interferir con la radiación que llega.



# Tipos de detectores basados en la ionización gaseosa

❁ CÁMARA DE  
❁ IONIZACIÓN

❁ CONTADOR  
❁ GEIGER



# Contadores GM

☼ Monitores de radiación portátiles



Dosímetros personales de lectura directa (electrónicos)

## DETECTORES BASADOS EN EL MECANISMO QUÍMICO

- Estos detectores son los denominados Detectores de emulsión fotográfica, dentro de este grupo están los dosímetros de película (fílmicos)

# ¿Qué es un dosímetro fílmico?

- Es una película o film fotográfico encerrado en un porta dosímetro el cual tiene una serie de filtros que permiten distinguir entre la radiación  $\beta$  ,  $\gamma$  y RX



# ¿Cómo trabajan?

- Los dosímetros de película aprovechan el hecho de que la radiación oscurece las películas fotográficas, como sucede en las radiografías.
- El oscurecimiento se mide después con un densitómetro óptico y de allí se deduce la dosis recibida

# Dosímetro Fílmico



# FILTROS

- Como el oscurecimiento depende también del tipo y de la energía de la radiación recibida, en el porta dosímetro, que generalmente es un receptáculo de plástico, se incluyen filtros en forma de pequeñas placas de elementos absorbentes de radiación, ventana abierta (OW), aluminio (Al), cobre (Cu), plomo/estaño (Pb/Sn) y plástico (PI). Del ennegrecimiento relativo de las zonas con filtro y sin filtro se puede deducir las dosis

# Datos Técnicos del Dosímetro Fílmico ICN



- Película Kodak de doble emulsión
- Límite de detección: **0.04 mSv**
- Dosis mínima reportada: **0.1 mSv**
- Rango de dosis en que trabaja: **0.1 mSv a 5 Sv**
- Respuesta energética para fotones: **15 keV a 3 MeV**
- Respuesta energética para radiación beta: **energía promedio mayor 250 keV**

# DETECTORES BASADOS EN LA TERMOLUMINISCENCIA

- Estos los conocidos como dosímetros TLD o dosímetros Termoluminiscentes (termo de calor y luminiscente por la emisión de luz durante al desexcitación)

# ¿Qué es un dosímetro TLD?

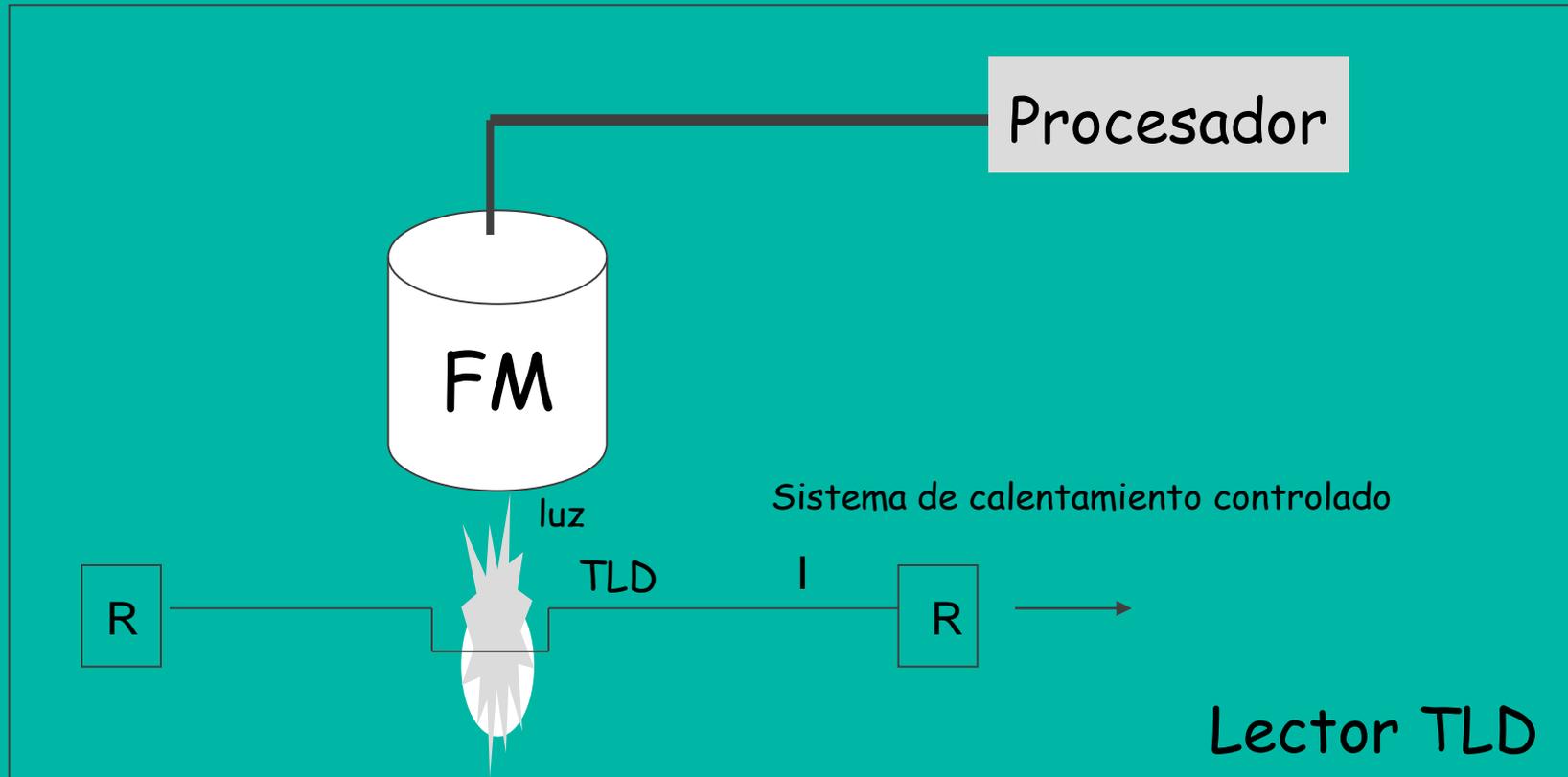


- Consiste en una pastilla de un material con propiedades luminiscentes, tales como el LiF (floruro de litio) o el  $\text{CaF}_2, \text{Mn}$  (floruro de calcio con manganeso) o el  $\text{CaSO}_4, \text{Dy}$  (sulfato de calcio con dysprosio)

# ¿Cómo trabajan?

- Cuando la radiación incide sobre estos materiales algunos de sus electrones se excitan quedando retenidos en ese estado en una especie de trampa.
- Cuando posteriormente son calentados estos cristales, los electrones atrapados vuelven a caer a sus estados originales, al mismo tiempo emitiendo luz (de allí el nombre de termoluminiscencia). La cantidad de luz emitida es proporcional a la dosis acumulada desde la última vez que se calentó. Se mide con un lector termoluminiscente que cuenta con fotomultiplicador.

# Proceso de lectura del TLD



# Lector de dosímetro termoluminiscente



# Lector de dosímetro termoluminiscente



# Datos Técnicos del Dosímetro de Anillo ICN

- TLD de Fluoruro de Litio
- Límite de detección: **0.06 mSv**
- Dosis mínima reportada: **0.2 mSv**
- Rango de dosis en que trabaja: **0.2 mSv a 10 Sv**
- Respuesta energética para fotones: **15 keV a 3 MeV**
- Respuesta energética para radiación beta: **150 keV a 5MeV**



# Ventajas principales de los dosímetros personales TLD

1. Bajo costo (uso más amplio)
2. Menos frágiles (menos cuidados)
3. No requieren entrenamiento adicional para su operación (uso más simple)
4. Su número atómico es similar al tejido humano
5. Gran exactitud en la medición de la dosis  $\pm 3\%$
6. Insensible a agentes ambientales tales como humedad, luz, etc
7. Permite medición de campos mixtos  $\gamma$ , RX y  $\beta$
8. Permiten medir la dosis de cuerpo entero y la de extremidades
9. Son reusables cientos de veces

# Desventajas principales de los dosímetros personales TLD

1. Demora en la evaluación
2. Pérdida de información (fading), que es alrededor de un 5% al año
3. Pérdida de la información una vez leído, si por algún motivo como por ejemplo el mal funcionamiento de FM, la lectura no es recibida por el procesador, la lectura de ese dosímetro se pierde
4. No distingue entre exposiciones estáticas o dinámicas

# Dosímetros personales TLD

TLD para cuerpo entero



TLD para extremidades (dedos)



# DETECTORES BASADOS EN LA OPTOLUMINISCENCIA

- Estos los conocidos como dosímetros LOE o dosímetros Luminiscentes opticamente estimulados (opto de láser y luminiscente por la emisión de luz durante al desexcitación)

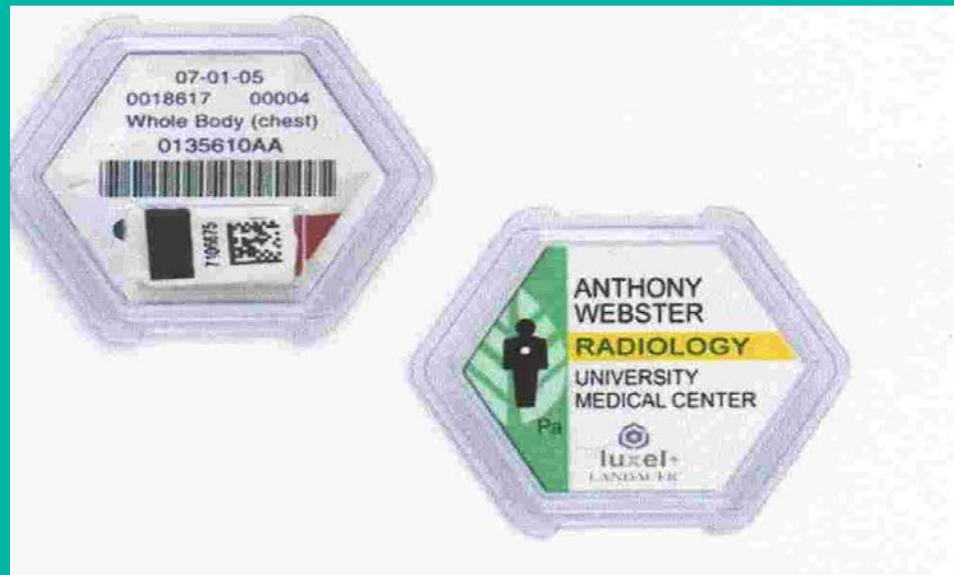
# ¿Qué es un dosímetro LOE?

- Consiste en una película de óxido de aluminio  $Al_2O_3$ , material con propiedades luminiscentes.



# ¿Cómo trabajan?

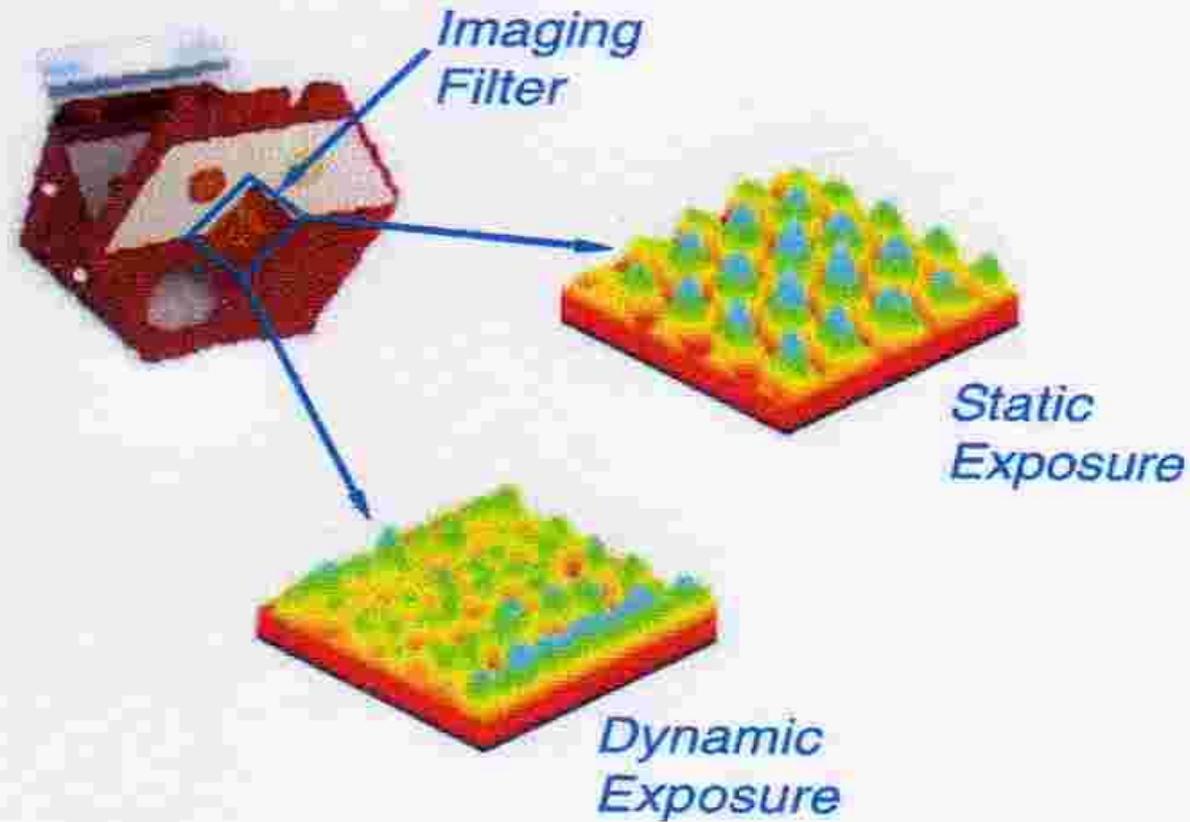
- Igual que el TLD pero en el proceso de lectura la desexcitación se realiza mediante láser



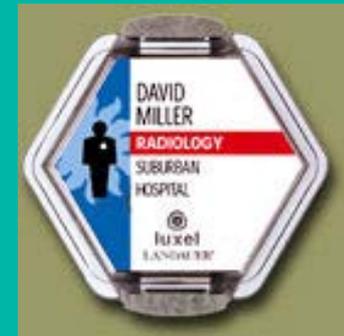
# Dosímetro LOE



# Dosímetro LOE



# Datos Técnicos del Dosímetro LOE de Landauer



- Detector lámina de óxido de aluminio
- Límite de detección: **0.01 mSv**
- Dosis mínima reportable: **0.01 mSv**
- Rango de dosis en que trabaja: **0.1 mSv a 10 Sv**
- Respuesta energética para fotones: **5 keV a 40 MeV**
- Respuesta energética para radiación beta: **energía promedio mayor 150 keV**

# Límites de Dosis Anuales

Magnitud	Exposición ocupacional	Exposición del público
Dosis Efectiva	20 mSv	1 mSv
Dosis equivalente		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	50 mSv

# Vigilancia radiológica

❁ Dos tipos:

❁ 1- Vigilancia radiológica personal (dosimetría personal)

❁ Usa: -Dosímetros pasivos (TLD o LOE)

-Dosímetros activos (electrónicos)

❁ 2- Vigilancia radiológica ambiental (dosimetría ambiental)

❁ Usa: -monitores de radiación portátiles y de área (tasa de dosis)

-dosímetros de área (TLD o LOE)



# Objetivos de la Vigilancia Radiológica Individual

- ❁ Verificación del cumplimiento de límites de dosis
- ❁ Optimización de procedimientos de operación
- ❁ Evaluación de la exposición en situaciones de accidentes radiológicos

# Vigilancia radiológica individual

- La evaluación de la dosis es un aspecto importante de la protección radiológica
- Es muy importante que los TOE devuelvan los dosímetros a tiempo para su posterior evaluación
- El retraso en la evaluación del dosímetro puede conllevar a la pérdida de su información
- Los Encargados de PR deben esforzarse por recobrar cual dosímetro extraviado

# Dosímetros personales pasivos

## Normas de uso:

- ✓ El trabajador **lo debe llevar** en el pecho **cuando esté expuesto** a las radiaciones, incluyendo cuando transporta un gammógrafo
- ✓ El resto del tiempo lo debe guardar en un lugar alejado de fuentes de radiación, de mucho calor y de luz solar directa porque daría una falsa indicación de la dosis recibida por el trabajador
- ✓ Si el TLD se irradia **accidentalmente**, se debe enviar al SDP para lectura inmediata, comunicando lo que ha ocurrido

78



# Dosímetros personales de lectura directa (electrónicos)

- ✓ Tiene dos funciones principales: medir la dosis acumulada y dar una alarma acústica de tasa de dosis

La alarma de tasa de dosis solo la puede fijar el supervisor, en 5 mSv/h

La **alarma de tasa de dosis es imprescindible** para proteger al operador en los momentos en que no puede estar atendiendo a su monitor portátil. En esos momentos pueden producirse altas tasas de dosis, bien por un fallo no previsto o porque estén trabajando en la zona otros equipos de radiografía. Por tanto, es una función de **protección complementaria** a la que da el monitor portátil

77



# Dosímetros personales: Normas de uso

## Normas de uso en radiografía móvil:

- ✓ Debe colocarse junto al cuerpo, preferiblemente junto al TLD, porque ambos son equipos para vigilancia radiológica personal
- ✓ Su uso es obligatorio para ambos, operador y ayudante. Por ello, al recogerlo, previo a su uso, se debe comprobar el nivel de baterías y que está operativo
- ✓ Si estando en obra se pierde, avería o queda fuera de escala, los trabajos deberán interrumpirse inmediatamente hasta que sea reemplazado
- ✓ Las dosis acumuladas al final de la jornada, del operador y del ayudante, deben anotarse en el Diario de operación del equipo.





## Aspectos especiales de la Vigilancia radiológica individual

- En caso de pérdida del dosímetro, la dosis se puede estimar:
  - Del historial de dosis reciente
  - De la dosis los TOE de su equipo de trabajo
  - De la dosis del dosímetro de área
- El Laboratorio que brinda el servicio de dosimetría debe estar aprobado por la autoridad reguladora

# Niveles de investigación

- La autoridad reguladora de cada país establece valores de dosis que de superarlos requiere de investigación, denominados niveles de investigación
- En Costa Rica se toman los límites derivados mensuales de la dosis efectiva 1,67mSv y de la dosis equivalente para las extremidades 41,7mSv
- La investigación se hace con miras a eliminar las causas y/o optimizar el procedimiento



## MAGNITUDES OPERACIONALES (I)

### MAGNITUDES OPERACIONALES PARA LA RADIACIÓN EXTERNA

- $H_T$  y  $E$  (magnitudes limitadoras vigentes) son imposibles de medir.
- Las “Magnitudes Operacionales” sirven para ESTIMAR de manera razonablemente conservadora a las “magnitudes limitadoras” .
- Las magnitudes relacionadas con la vigilancia radiológica de los TOE actualmente vigentes en nuestra legislación son:

**Equivalente de Dosis Ambiental  $H^*(d)$**

**Equivalente de Dosis Personal  $H_p(d)$**

Valores distintos de “d” sirven para distinguir dosis equivalente debida a radiación débilmente penetrante y fuertemente penetrante.

- $H_p(d)$  medible con un detector que se lleva en la superficie del cuerpo (dosímetro) y cubierto con espesores apropiados de material equivalente a tejido.

## • MAGNITUDES OPERACIONALES(II)

- Para distintos valores de la profundidad “d” tenemos:
  - Para radiación débilmente penetrante se recomienda una profundidad de:
    - $d=0.07$  mm. para la piel  $H^* (0,07)$
    - $d=3$  mm. para el cristalino  $H^* (3)$
  - Para radiación fuertemente penetrante se recomienda una profundidad de:
    - $d=10$  mm.  $H^*(10)$



# Reporte de dosis de Landauer

IMAGENES MED.  
SAN JOSE  
APDO. 1679-7050  
CARTAGO  
SAN JOSE  
COSTA RICA

## LANDAUER®

Landauer, Inc. 2 Science Road Glenwood, Illinois 60425-1586 USA  
Telephone: (708)755-7000 Facsimile: (708)755-7016  
www.landauerinc.com

### RADIATION DOSIMETRY REPORT



ACCOUNT NO.	SERIES CODE	ANALYTICAL WORK ORDER	REPORT DATE DD/MM/YY	RECEIVED DATE DD/MM/YY	REPORT TIME IN WORK DAYS	PAGE NO.
174390	RAD	0307650099	21/03/03	17/03/03	4	1 OF 1

PARTICIPANT NUMBER	NAME			DOSIMETER	USE	RADIATION QUALITY	DOSE EQUIVALENT (mSv) FOR PERIODS SHOWN BELOW			QUARTERLY ACCUMULATED DOSE EQUIVALENT (mSv)			YEAR TO DATE DOSE EQUIVALENT (mSv)			LIFETIME DOSE EQUIVALENT (mSv)			RECORDS FOR YEAR	INCEPTION DATE (MM/YY)
	ID NUMBER	BIRTH DATE DD/MM/YY	SEX				DEEP DDE	EYE LDE	SHALLOW SDE	DEEP DDE	EYE LDE	SHALLOW SDE	DEEP DDE	EYE LDE	SHALLOW SDE	DEEP DDE	EYE LDE	SHALLOW SDE		
FOR MONITORING PERIOD:							01/04/02 - 30/04/02		QTR 2			2002								
00007	SANCHEZ-R.	ANA		P	WHBODY	*PH	1.32	1.32	1.32	1.34	1.34	1.35	1.38	1.38	1.43	1.38	1.38	1.43	10	03/02
FOR MONITORING PERIOD:							01/02/03 - 28/02/03		QTR 1			2003								
00RAD	CONTROL			P	CNTRL		M	M	M										2	03/02
00001	VILLALOBOS-CHACON	INGRID		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	0.35	0.35	0.36	2	03/02
00003	GONZALEZ-HERRERA	OLGER		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	0.41	0.42	0.43	2	03/02
00004	GARITA-BRENES	JACKELINE		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	0.04	0.04	0.07	2	03/02
00005	CASTRO-VARGAS	ILIANA		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	2	03/02
00006	AVILA-ALFARO	FERNANDO		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	2	03/02
00007	SANCHEZ-R.	ANA		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	1.38	1.38	1.43	2	03/02
00008	MEDINA-MORA	ALEJANDRO		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	0.42	0.42	0.45	2	03/02
00009	BRENES-GARITA	ANDREA		P	WHBODY		M	M	M	M	M	M	M	M	M	0.02	0.02	0.03	2	03/02
00010	MEJIA	FREDDY		P	WHBODY		M	M	M	M	0.02	0.02	M	0.02	0.02	0.40	0.42	0.43	2	06/02

M: MINIMAL REPORTING SERVICE OF .01 MSV

QUALITY CONTROL RELEASE: DRB

1 - PR 7693 - R253 - N1 H

- 07699

\* - NO CONTROL SUBTRACTED

ELECTRONIC MEDIA TO FOLLOW THIS REPORT





# Monitores de radiación portátil

## Funciones:

- ✓ Se usa para realizar la vigilancia radiológica ambiental en el entorno del operador
- ✓ Proporciona una lectura inmediata de las tasas de exposición o de dosis que existen en su entorno



# Objetivos de la Vigilancia Radiológica de Área

- ❁ Verificación del cumplimiento de los niveles de dosis en las áreas de trabajo o público. Se hace de modo rutinario o tras cambios introducidos por remodelaciones o mantenimiento correctivos
- ❁ Optimización de procedimientos de operación
- ❁ Detección a tiempo de situaciones de exposición anormal



## Vigilancia Radiológica de Area (monitoreo portátiles)

- Un monitoreo inicial debe ser realizado inmediatamente después de la instalación de un nuevo equipamiento.
- Uno anual de rutina para constatar que se mantiene la hermeticidad del blindaje.
- Todos los monitores deben ser calibrados

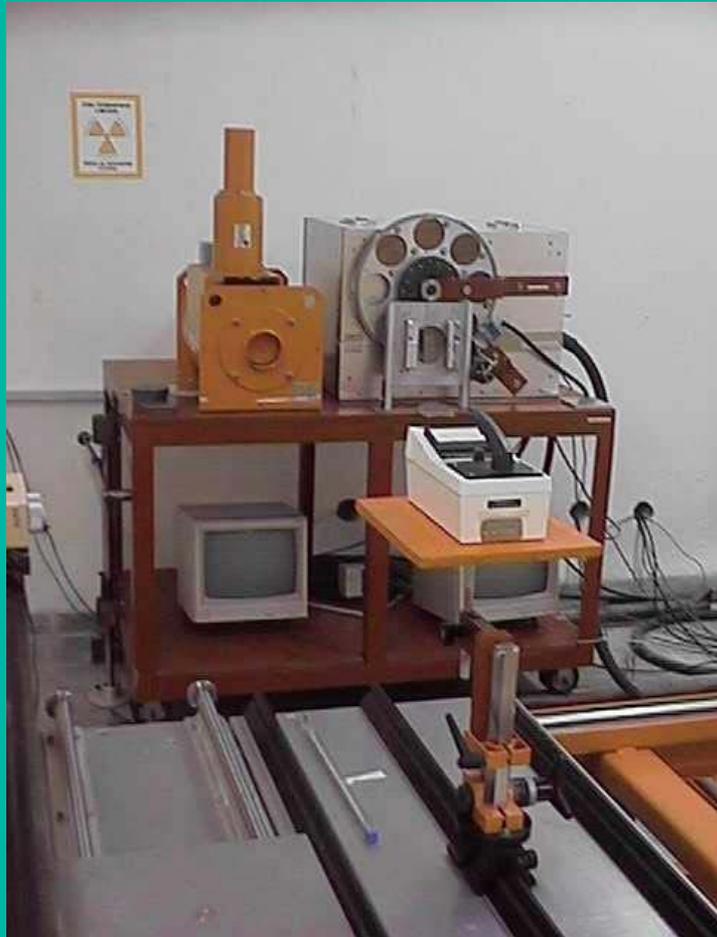
# Monitores de radiación portátil: normas de uso

## Normas de uso en radiografía móvil:

- ✓ Su uso es **obligatorio para el operador en cualquier caso y para el ayudante, en función de la planificación de la operación a llevar a cabo.** Por ello, al recogerlo debe comprobar el nivel de baterías y que está operativo. Es una buena práctica ponerlo en contacto en la zona de mayor exposición de un gammágrafo y comprobar su lectura.
- ✓ Si estando en obra se pierde, avería o queda fuera de escala, los trabajos deberán interrumpirse inmediatamente hasta que sea reemplazado
- ✓ En función de la planificación de la operación a llevar a cabo, durante la exposición se debe **comprobar** que las **tasas de dosis** fuera de la zona acotada son **menores de 20  $\mu\text{Sv/h}$**  (GS-5.14) y que en la posición del operador son menores al valor máximo establecido en el Reglamento de funcionamiento.
- ✓ Inmediatamente tras finalizar una exposición, el operador se acercará al gammágrafo, llevando el monitor portátil siempre en su mano y atendiendo a los valores mostrados en su escala, con objeto de asegurarse que la fuente radiactiva ha vuelto a su posición de blindaje o, si se usa un equipo de rayos X, que ha dejado de emitir radiación.

80

# Principio de calibración de los instrumentos



- ✓ Deben calibrarse al menos cada 2 años
- ✓ Ser calibrados en laboratorios de reconocida competencia, denominados Laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica (LSCD)
- ✓ Calibrar estos instrumentos significa medir su de respuesta en haces conocidos, comparando la lectura del instrumento contra el valor real

# Certificado de calibración



## Calibration Report

107796-4/20/2006  
As Calibrated

Date: 04/20/06  
 Probe Model Number: 06-526  
 Probe Manufacturer: Invision Radiation Measurements, LLC  
 Probe Serial Number: 107796  
 Probe Description: Exposure Meter  
 Customer Name: PROTECCION RADIOLOGICA  
 Customer Address: N/A  
 Customer P.O.: N/A  
 Condition as Received: Op "In" = Inoperable, "Op" = Operable  
 ROWOSO #: 173428  
 Received: 04/18/06  
 Technique: M80, HVL = 2.97 mm Al  
 Distance: 110 cm  
 Pass/Fail: Pass  
 Chamber Sensivity (R/C): 5.56E+07 or 17.97 nC/R  
 Notes:

### Calibration Data

As Calibrated

Calibration Data: F Temperature (C): 20.8  
 Humidity (%): 42 Pressure (mm Hg): 734.1

Exposure (R)	Reading (R)	% Error	Min % Error	Max % Error	Pass/Fail
1.841	1.840	0.0%	-10.0%	10.0%	Pass
1.842	1.842	0.0%	-10.0%	10.0%	Pass
	Average:	0.0%	-10.0%	10.0%	Pass

Rate (R/min)	Reading (R/min)	% Error	Min % Error	Max % Error	% Error
1.39	1.39	-0.1%	-10.0%	10.0%	Pass
1.39	1.39	-0.1%	-10.0%	10.0%	Pass
	Average:	-0.1%	-10.0%	10.0%	Pass

Tolerance: The % Error must be below 10%.

During calibration the meter is placed perpendicular to the radiation beam, with the flux field penetrating through the top of the meter.  
 The internal procedure for this calibration is CAL-06-526, Revision B.  
 The calibration of this instrument is traceable to the National Institute of Standards and Technology.  
 The uncertainty of the calibration is 4.5%, of which 3.8% is assigned to the uncertainty of the beam. The overall uncertainty was obtained using IEC guidelines.  
 The calibration is warranted to be within specified accuracy limits, at the time of calibration. In the event of a calibration error, our liability is limited to standard re-calibration cost. We cannot be responsible for injury or damages resulting from improper use.  
 The suggested re-calibration date on the dosimeter is only a suggestion. The actual frequency of re-calibration may vary depending on Federal, State, or Local requirements.  
 Proper function and reliability of the instrument described in this document are highly dependent upon handling and use. It is recommended the user establish a technique to monitor the constancy of the instrument response before and after its return to the manufacturer.  
 This certificate shall not be reproduced except in full, without the written approval of the manufacturer. If there are any problems with the calibration of the instrument, please contact the calibration laboratory manager.

Authorized Calibration and Service  
 Victorens®  
 Nuclear Associates  
 Ketchley RMD  
 Division  
 Calibration Programs  
 ISO 17025  
 ANSI Z540  
 Metrology MESA  
 NIST & PTB Traceable  
 CNIC  
 Quality Programs  
 ISO 9001:2000  
 ISO 13485:1996  
 FDA/CFR  
 NRC/Part 50  
 Appendix B/Part 21

Calibration Performed by: KRT Date: 20-APR-06  
 Technical review by: RA Date: 4/20/06  
 The suggested re-calibration date is: 4/20/2007