

Curso: “Dosimetría personal externa”

UNIDAD 2. Detección de las Radiaciones

Conferencia No.2.2

**DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE:
FUNDAMENTOS Y CARACTERISTICAS**

Daniel Molina Pérez
MSc. Ing. Físico Nuclear



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

OBJETIVOS

01

Conocer los fundamentos físicos de la dosimetría termoluminiscente

02

Conocer las propiedades y característica de los dosímetros termoluminiscentes

03

Conocer los fundamentos básicos de Protección Radiológica Ocupacional

CONTENIDO

- Principio físico y mecanismo termoluminiscente
- Requisitos a los materiales termoluminiscentes
- Propiedades de los materiales termoluminiscentes.
- Ventajas y limitantes para su aplicación

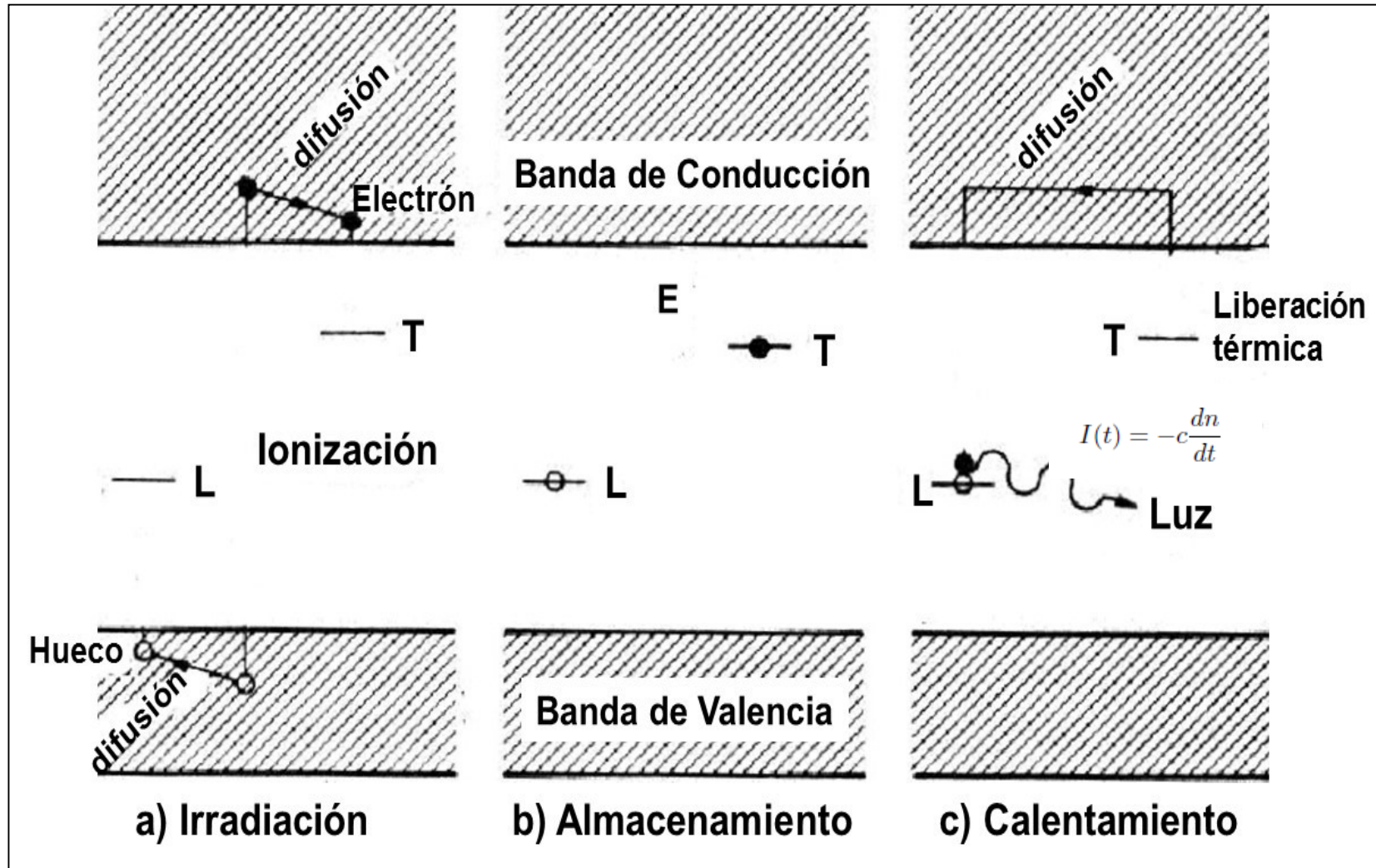
RESUMEN TEMA ANTERIOR

- ionización gaseosa,
- centelleo,
- semiconductores,
- fílmico,
- luminiscentes.

Principio Físico de la Dosimetría TL

- Cuando un fósforo TL es expuesto a la radiación a temperatura ambiente, se liberan muchos electrones que son atrapados en las imperfecciones de la red cristalina del sólido. Estos electrones pueden permanecer atrapados por largos períodos de tiempo mientras el cristal está almacenado a temperatura ambiente.
- Si la temperatura se incrementa, aumenta la probabilidad de que puedan liberarse de las trampas y luego retornar al estado de energía estable con la emisión de luz.
- Muchos materiales naturales y sintéticos presentan este fenómeno

Mecanismo TL Simplificado



Teoría de Randall-Wilkins

$$p = s \exp(-E/kT).$$

Probabilidad de liberación de cargas atrapadas

E (eV): energía de activación,

s(s-1): factor de frecuencia,

k la constante de Boltzmann's y

T(K) la temperatura absoluta [5].

aumenta a medida que la temperatura aumenta

$$I(t) = -c \frac{dn}{dt}$$

Emisión Termoluminiscente

- Ecuación de primer orden para la curva de brillo:

$$I = n_0 s \exp(-E/kT) \exp\left[-(s/\beta) \int_{T_0}^T \exp(-E/kT) dT\right]$$

- Ecuación de segundo orden para la curva de brillo:

$$I = n_0^2 s \exp(-E/kT) / N \left[1 + (n_0 s / N \beta) \int_{T_0}^T \exp(-E/kT) dT \right]^2$$

Intensidad de TL

$$I(t) = -c \frac{dn}{dt} = c n s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

Dosimetría Termoluminiscente - TLD

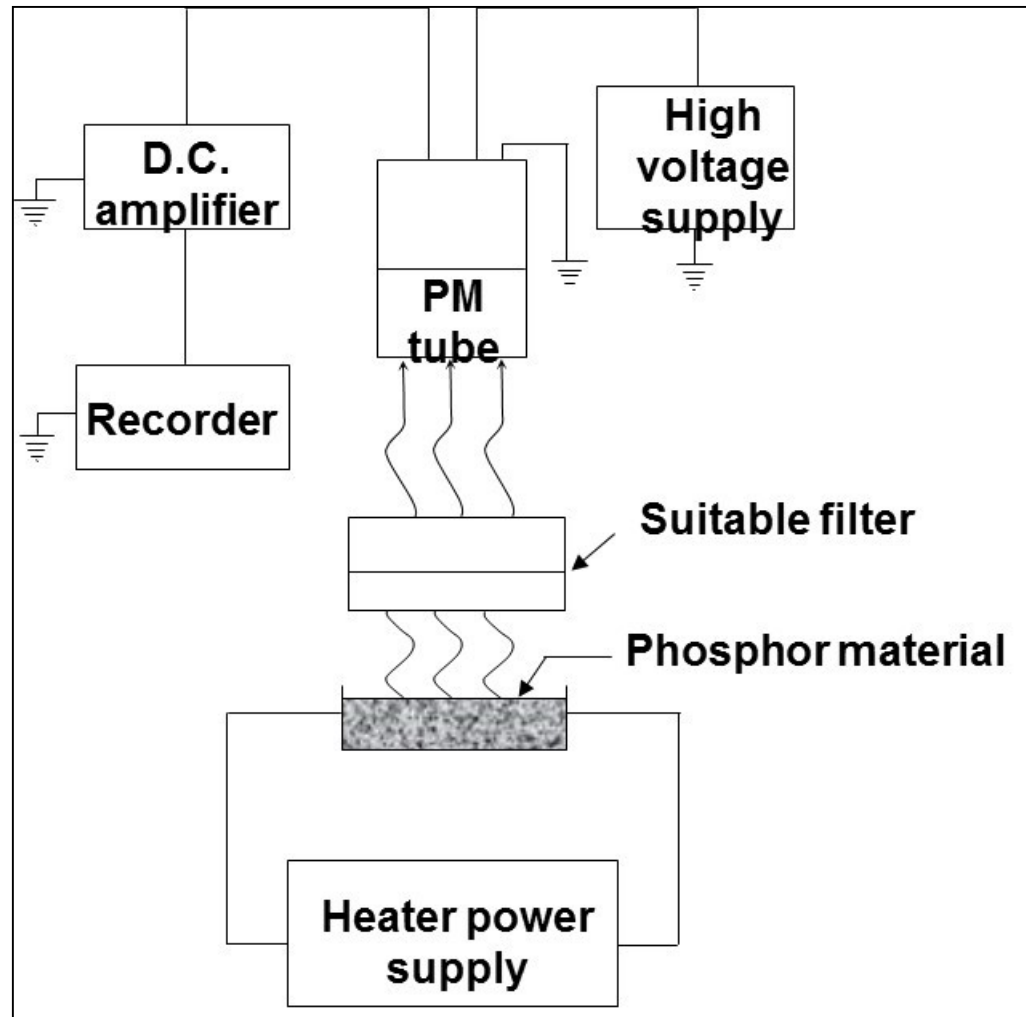
La dosimetría termoluminiscencia (TL) consiste de 2 etapas:

- a. Exposición a la radiación, donde se liberan los electrones que quedan atrapados en trampas metaestables.
- b. Lectura: consiste en el calentamiento controlado del TLD expuesto y la medición de la intensidad de luz que se emite.

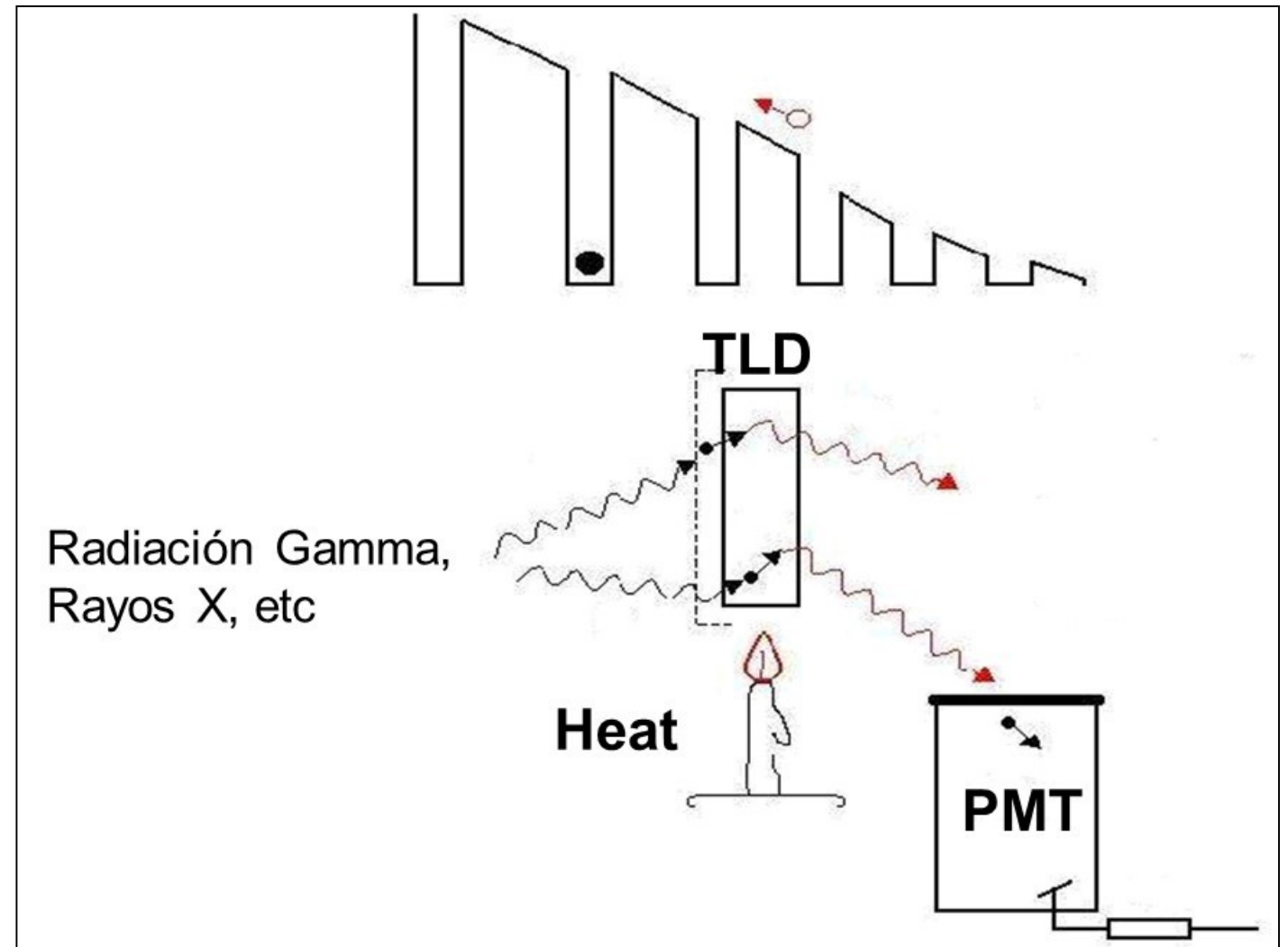
El calentamiento de un TLD puede hacerse por varias formas:

- Calentamiento eléctrico con un metal caliente
- Nitrógeno gaseoso

Diagrama Lector TLD

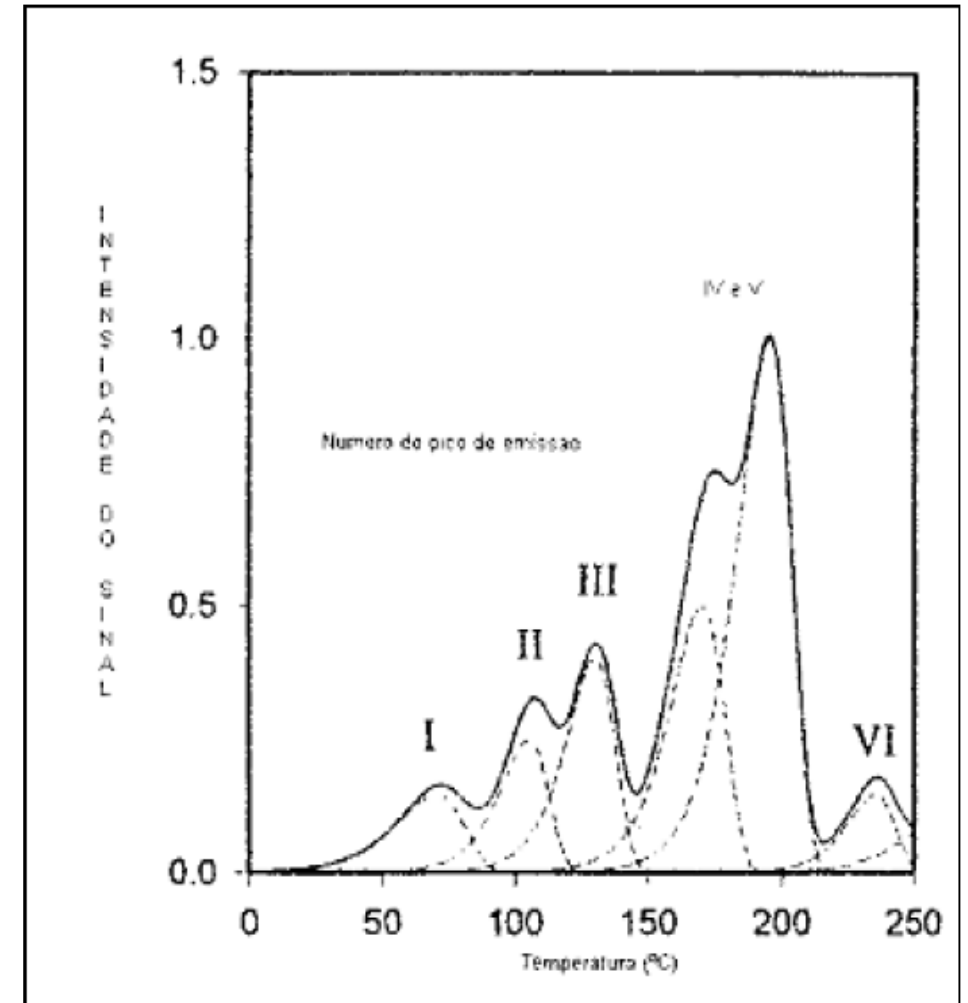


Modelo Dosimetria TLD



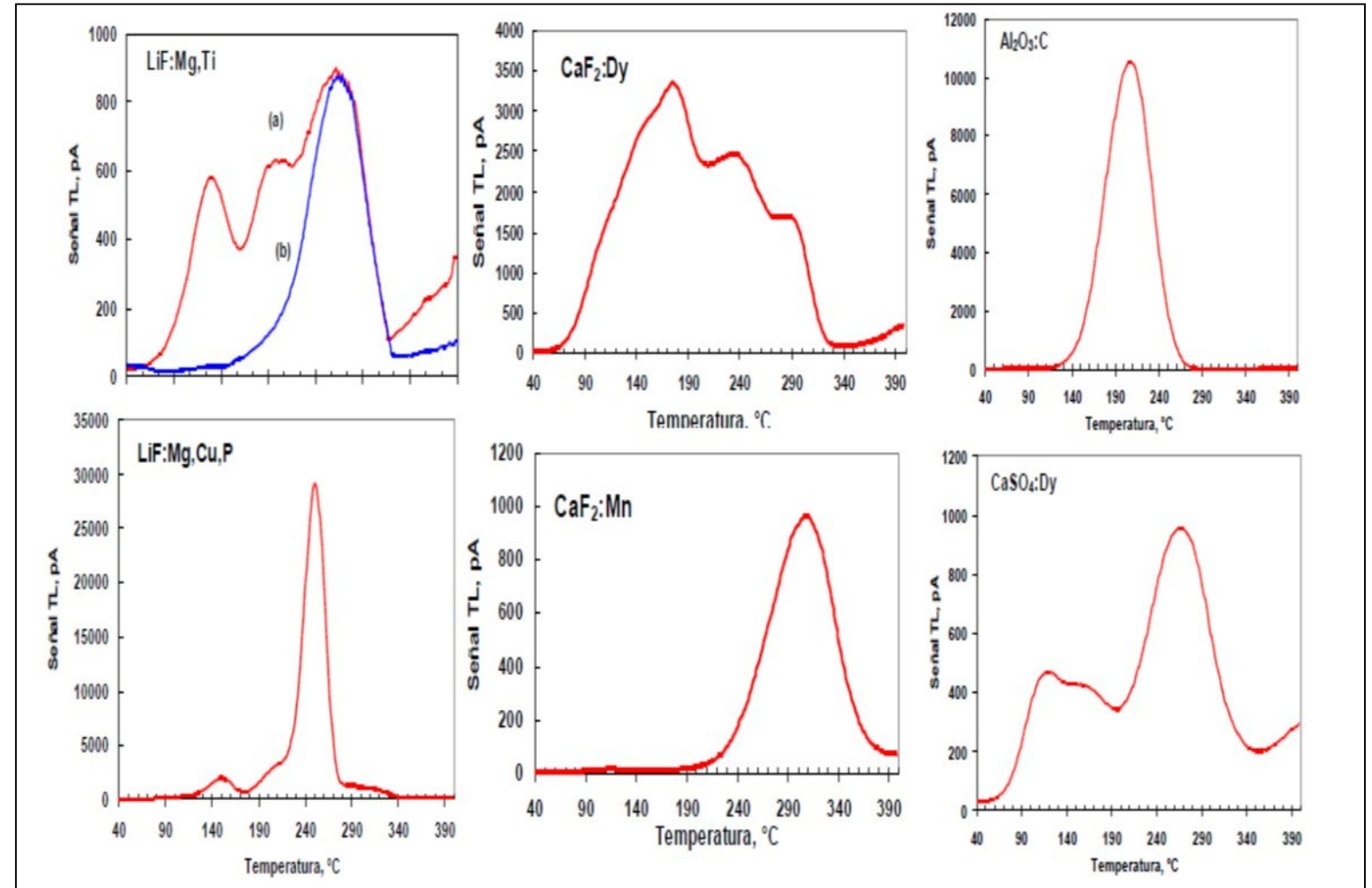
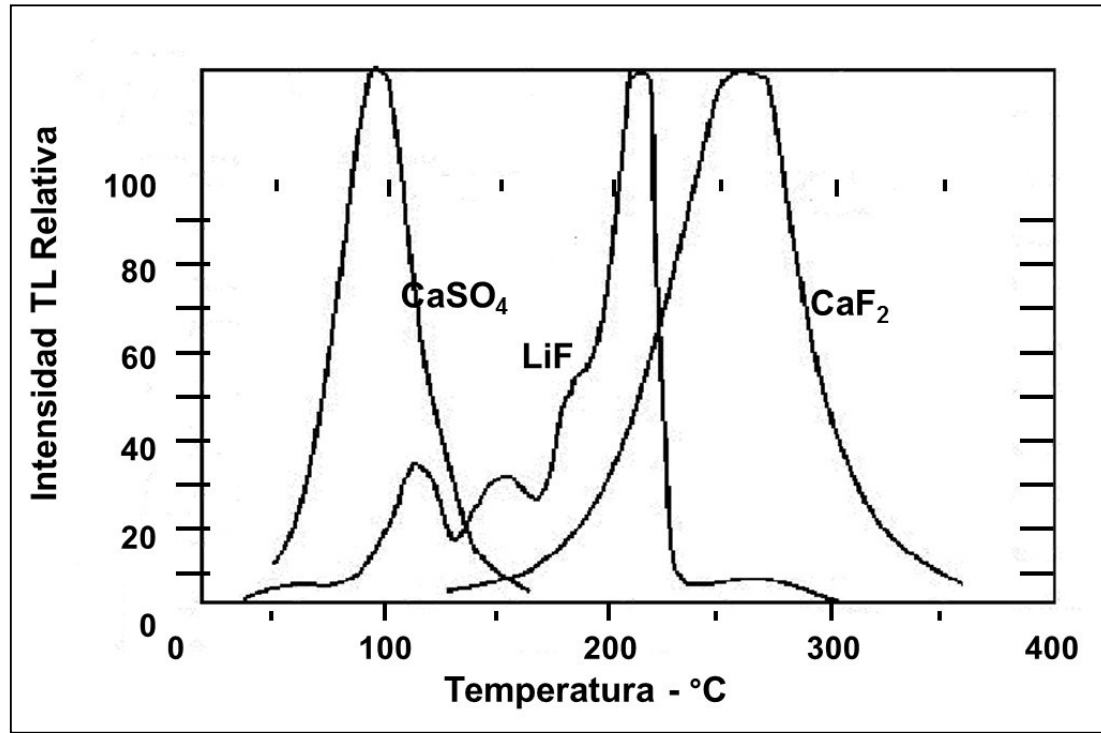
Curva de Emisión Termoluminiscente

- La gráfica que se obtiene al representar el Brillo Luminiscente vs. Temperatura, para una tasa de calentamiento constante se denomina “curva glow”.
- Un fotomultiplicador u otro dispositivo sensible a la luz se utiliza para la medición de la emisión TL durante la lectura.
- Se registra la curva glow total o la altura del pico de emisión.
- El área bajo la curva glow o la altura del pico de emisión se utilizan para medir la dosis.



Curva de Emisión Termoluminiscente

Muestra de algunas curva glow



La posición de los máximos (picos) depende la tasa de calentamiento

Requisitos para los materiales TL

- Alta concentración de trampas de electrones (o huecos) y alta eficiencia de la emisión de luz asociada al proceso de recombinación.
- Suficiente estabilidad del almacenamiento de los electrones atrapados, para evitar el desvanecimiento indeseado (fading), incluso para almacenamientos prolongados al ambiente (incluyendo temperaturas de los climas tropicales y desérticos).
- Espectro de luz emitida que pueda ser medida por el sistema de detección (fotomultiplicador).

Requisitos para los materiales TL

- El pico principal debe estar a una temperatura entre 180 y 250 ° C. A temperaturas superiores, la emisión infrarroja del elemento calentador o del portamuestra comienza a interferir.
- Distribución de trampas sencilla, que no complique el proceso de lectura debido a la presencia de picos a baja temperatura (fading) o a altas temperatura que dificulten el borrado. Es preferible que el proceso de lectura borre completamente el detector, sin cambios en la sensibilidad, la lectura de fondo y la linealidad.
- Resistencia a factores ambientales (luz, humedad, gases) que pueden afectar su respuesta.

Requisitos para los materiales TL

- Poca dependencia de la respuesta en función de la energía de la radiación incidente y una respuesta lineal en un amplio rango de dosis.
- El fósforo no debe ser muy costoso. Es más fácil y barato utilizar un dosímetro sencillo.
- El material TL no debe ser tóxico y no deteriorarse durante almacenamientos prolongados. Es ventajoso que el material TL pueda prepararse fácilmente de manera reproducible en un laboratorio químico estándar.

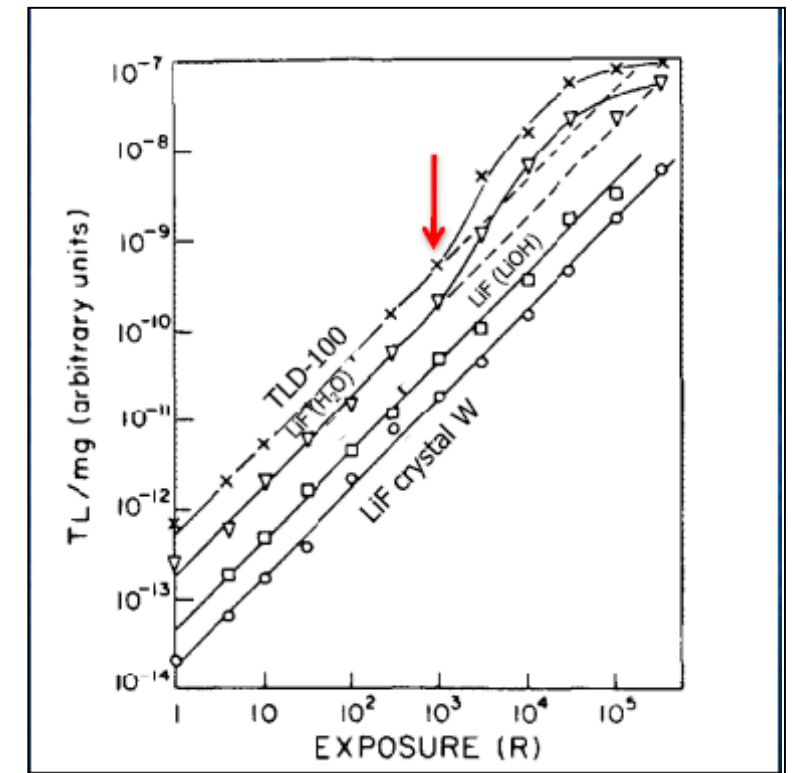
Características Generales de Algunos Dosímetros Termoluminiscentes Comercializados

TLD type	Effective atomic number Z_{eff}	Main peak (°C)	Emission maximum (nm)	Relative sensitivity	Fading (at 25 °C)
LiF:Ti,Mg	8.3	200	400	1	5%/year
LiF:Na,Mg	8.3	200	400	1	5%/year
LiF:Mg,Cu,P	8.3	210	400	25	5%/year
Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn	7.3	220	605	0.20	4%/month
Li ₂ B ₄ O ₇ :Cu	7.3	205	368	2	10%/2 months
MgB ₄ O ₇ :Dy	8.4	190	490	10	4%/month
BeO	7.1	190	200-400	0.20	8%/2 months
CaSO ₄ :Dy	14.5	220	480-570	30	1%/2 months
CaSO ₄ :Tm	14.5	220	452	30	1-2%/2 months
CaF ₂ :Mn	16.3	260	500	5	16%/2 weeks
CaF ₂ (natural)	16.3	260	380	23	very slight
CaF ₂ :Dy	16.3	215	480-570	15	8%/ months
Al ₂ O ₃	10.2	360	699	4	5%/2 weeks

Propiedades de los materiales TL

Respuesta en función de la dosis F(D)

- Definida como la dependencia funcional de la señal TL emitida con respecto a la dosis absorbida.
- El material dosimétrico ideal debe tener una respuesta lineal en un amplio rango de dosis.
- En la práctica la mayoría de los materiales TL muestran varios efectos no lineales.
- Frecuentemente la respuesta es lineal, supralineal y luego sublineal a medida que la dosis aumenta.



Propiedades de los materiales TL

Respuesta en función de la dosis F(D)

- Se define la función de respuesta normalizada (o índice de supralinealidad) $f(D)$ como:

$$f(D) = \frac{F(D) / D}{F(D_1) / D_1}$$

$F(D)$ respuesta para la dosis D ,

D_1 es una dosis baja a la cual la respuesta es lineal.

- $f(D) = 1$, lineal, rango limitado, hasta algunos Gy.
- $f(D) > 1$, supralineal, hasta 10^3 Gy
- $f(D) < 1$, sublineal, a partir de 10^3 Gy, saturación

Propiedades de los materiales TL

Sensibilidad

- Formalmente se define sensibilidad de un material TL particular como la intensidad de la señal TL por unidad de dosis.
- **Definir este parámetro de manera absoluta, es difícil ya que depende del sistema TL de lectura: filtros ópticos, tasa de calentamiento, método para medir la señal TL (usualmente el área de la curva glow entre 2 temperaturas o la altura de un pico TL específico).**
- Se define la sensibilidad relativa con respecto al LiF (TLD-100):

$$S(D) = \frac{F(D)_{material}}{F(D)_{TLD-100}}$$

Propiedades de los materiales TL

Nivel mínimo de detección (LLD)

- LLD (o la dosis mínima medible) se define como 2 veces la desviación estándar de las mediciones de dosímetros no irradiados.
- Esta definición se aplica al sistema TL completo: material TL, detector (tamaño y forma), caseta, filtros, lector.

Propiedades de los materiales TL

Respuesta energética

- Es la variación de la señal TL detectada, para una dosis dada, en función de la energía de la radiación incidente.
- Esta variación proviene de la dependencia del coeficiente de absorción del material con la energía de la radiación. Para irradiaciones a fotones esto se define en términos del coeficiente másico de absorción de energía del material (μ_{en}/ρ).

$$S(E)_{ref} = \frac{(\mu_{en} / \rho)_{TL}}{(\mu_{en} / \rho)_{ref}}$$

- El proceso de interacción no solo depende de la energía de la radiación incidente, si no también del número atómico efectivo Z_{eff} .

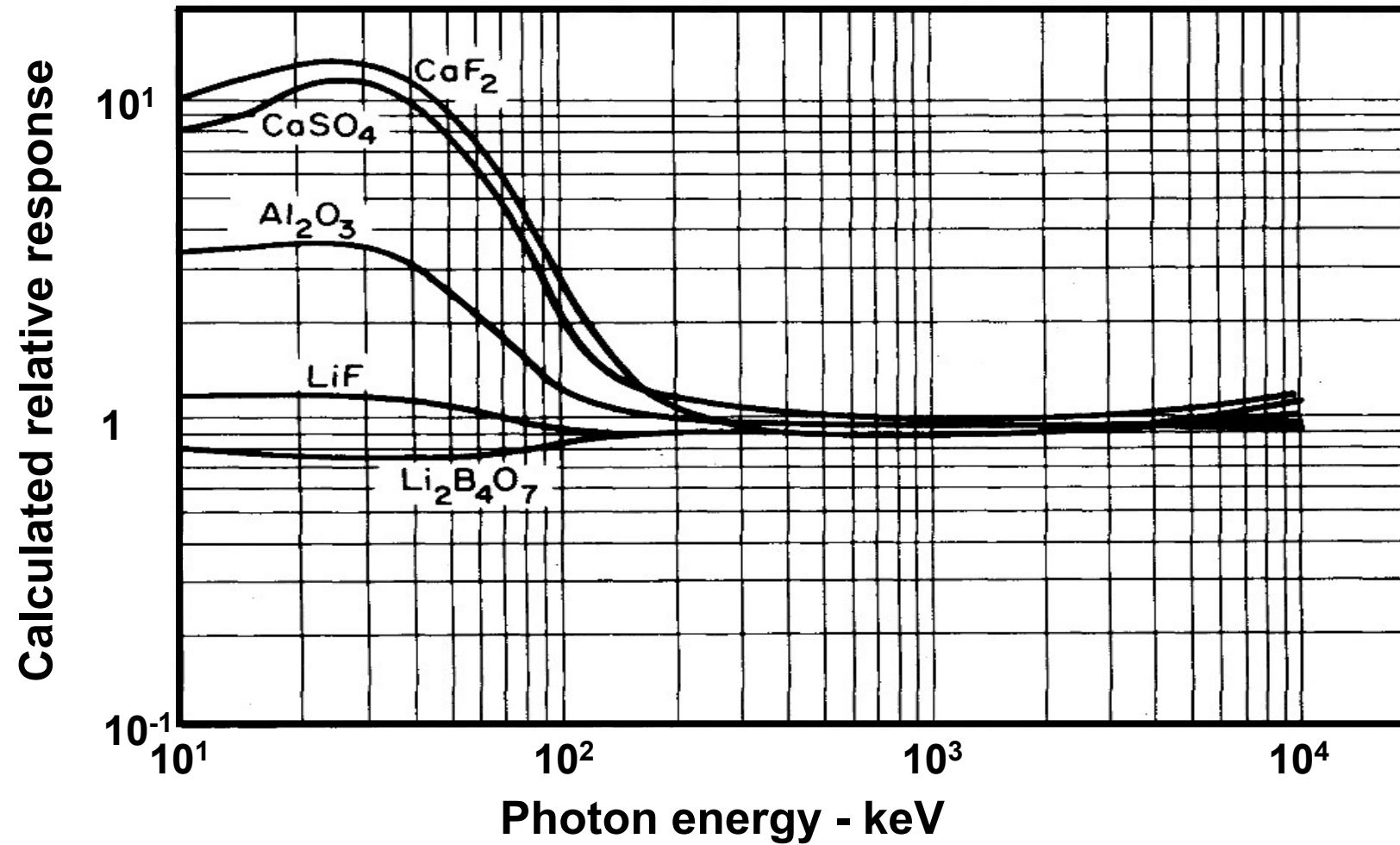
Propiedades de los materiales TL

Respuesta energética

- Es preferible que la respuesta sea plana, por eso son preferibles los materiales con un Z_{eff} bajo.
- Dado que el propósito de la mayoría de las aplicaciones es determinar la dosis absorbida por el tejido humano, es deseable disponer de materiales TL equivalentes al tejido ($Z_{\text{eff}} = 7.4$).
- El LiF es casi tejido equivalente ($Z_{\text{eff}} = 8.14$).
- Resulta útil normalizar $S(E)_{\text{ref}}$ a un valor de la energía de los fotones tal como 662 keV (fuente de ^{137}Cs) o 1250 keV (energía efectiva de una fuente de ^{60}Co).

Propiedades Dosimétricas de los TLD

Respuesta energética a fotones de varios TLD



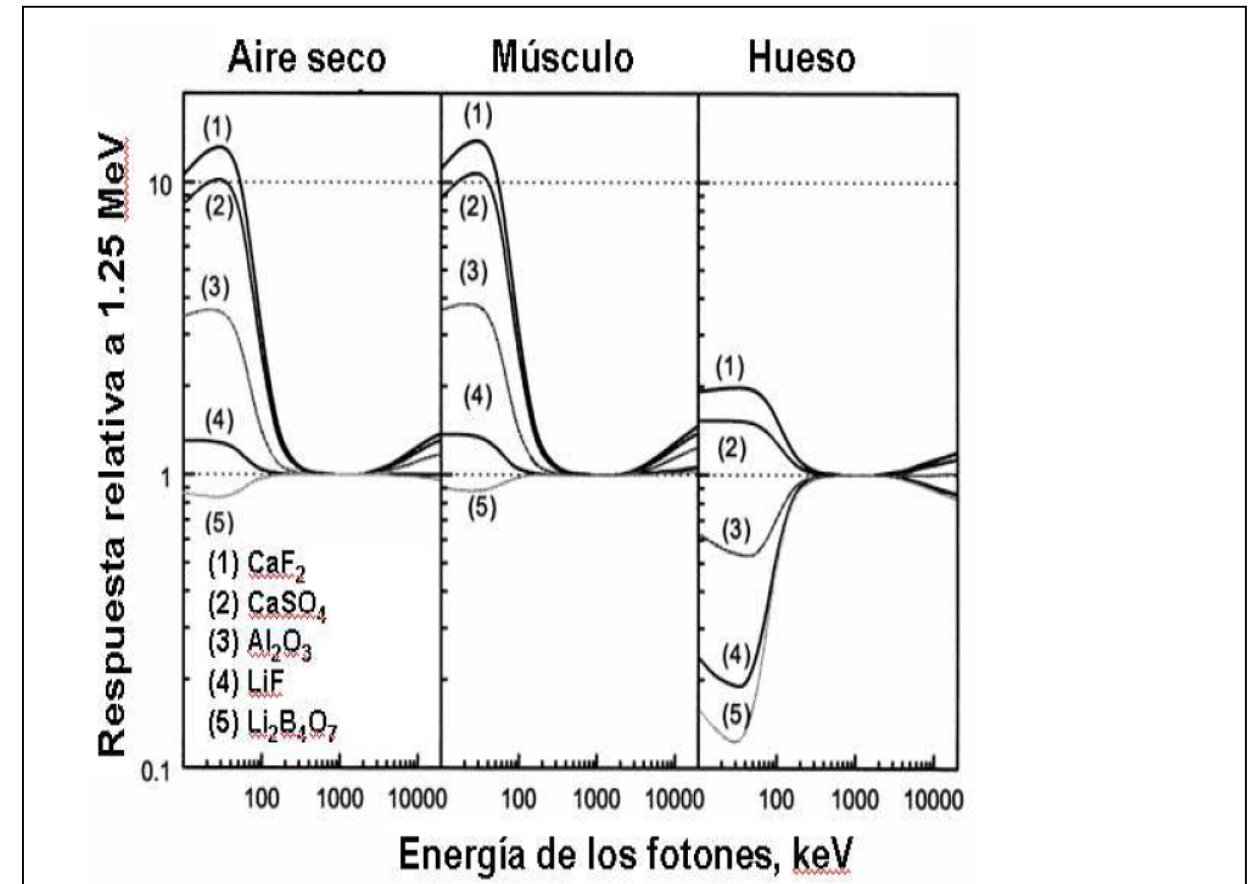
Propiedades Dosimétricas de los TLD

Respuesta energética a fotones de varios TLD

Valores de $S(E)_{ref}$ normalizados a la emisión de ^{60}Co para distintos materiales TL y considerando distintos materiales de referencia (aire, músculo, hueso).

Existen materiales TL equivalentes a la mayoría de los materiales de interés dosimétrico y la importancia de elegir el material TL más adecuado para cada aplicación.

Por ejemplo, el Borato de Litio es muy adecuado para la determinación de dosis en tejidos blandos pero ofrecería una importante subestimación en energías bajas si se desea estudiar la dosis absorbida en el hueso.



Importante para la dosimetría clínica y estimación de dosis absorbida

Propiedades Dosimétricas de los TLD

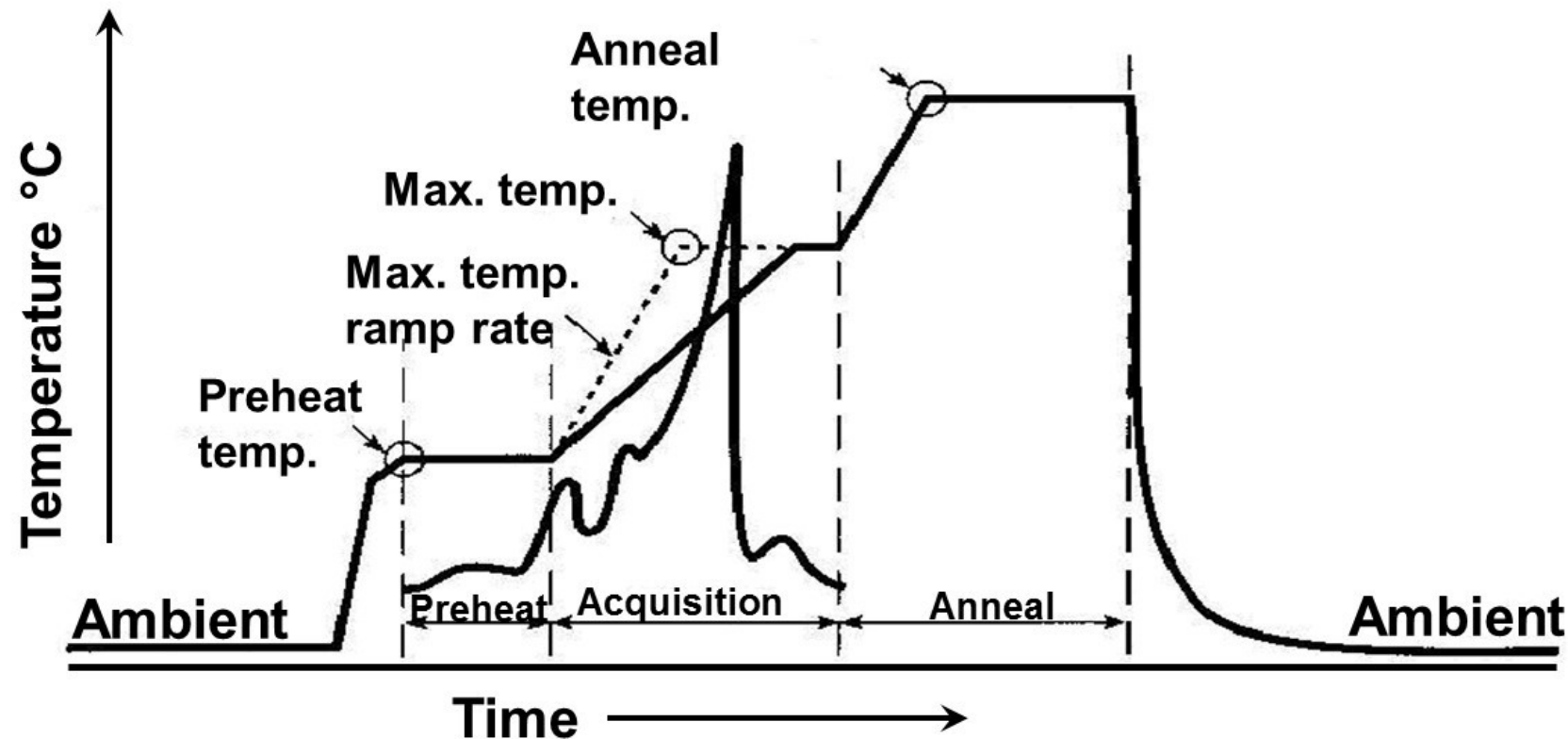
Condiciones de borrado (annealing)

- **El re-uso fiable de los materiales TLD a menudo requiere el uso de procedimientos térmicos de borrado.**
- **El annealing normalmente consiste en un tratamiento térmico específico previo a la irradiación (a una temperatura y tiempo dadas).**
- **Muchas veces, es recomendable un tratamiento térmico posterior a la irradiación.**

Propiedades Dosimétricas de los TLD

Condiciones de borrado (annealing)

- Annealing pre-irradiación: restablecer la sensibilidad original del material, vaciando las trampas profundas, mediante un calentamiento a altas temperaturas.



Seleccionar incorrectamente la temperatura y el tiempo del annealing puede ocasionar el efecto contrario al deseado.

La tasa de enfriamiento es un factor crucial: puede provocar variaciones en la sensibilidad del material.

- Annealing post-irradiación: remover los picos a baja temperatura no deseados

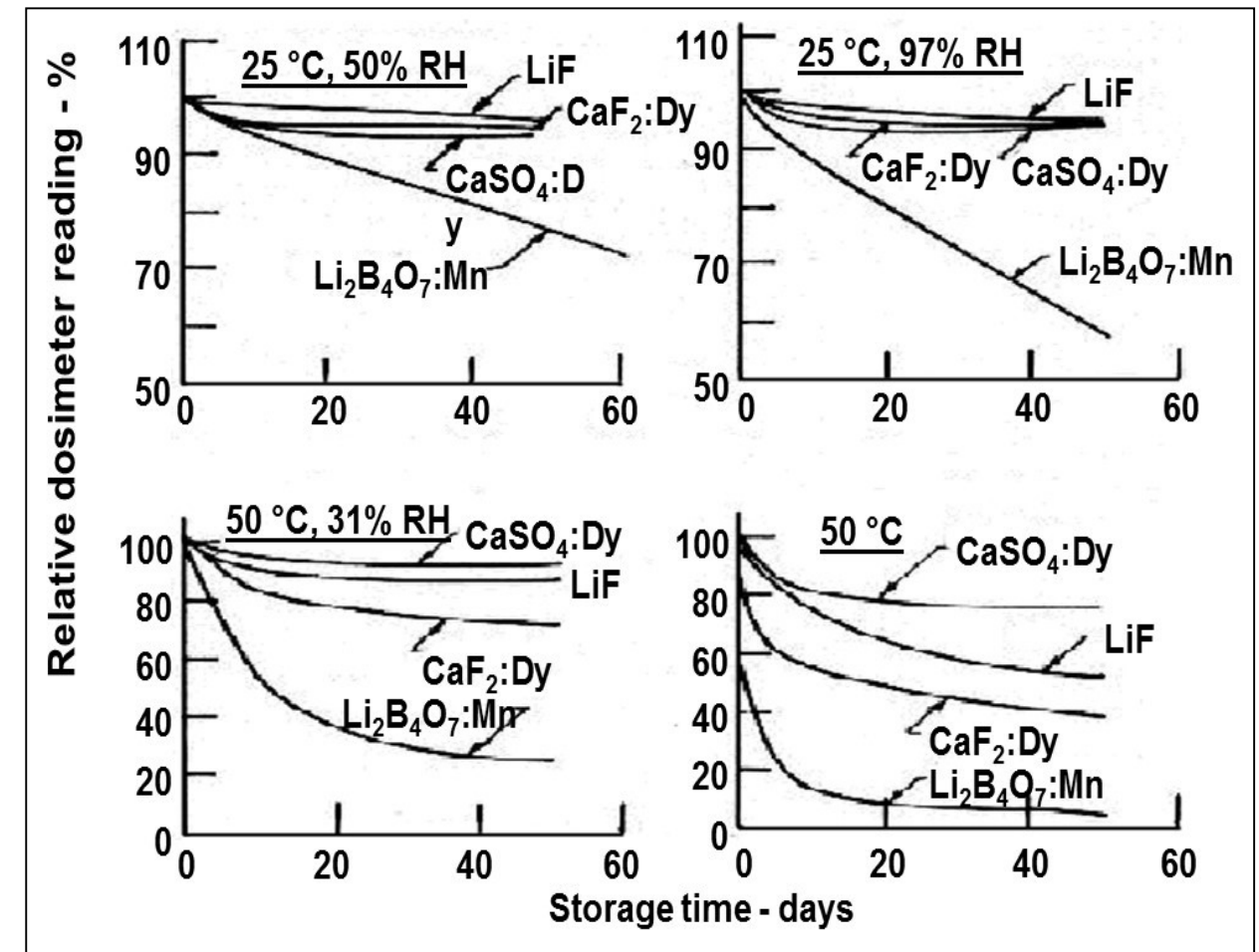
Propiedades Dosimétricas de los TLD

Desvanecimiento TL (fading)

- La liberación espontánea de los electrones atrapados antes de la lectura se denomina fading.
- El fading puede ser producido por varias causas, pero el más relevante es el fading térmico.

Sensibilidad a la luz

- El fading no deseado puede ocurrir también por la excitación óptica.
- El fading óptico (dependencia de la luz) se presenta en algunos materiales TL, pero debe ser caracterizado y sometido a prueba. óptica.



Propiedades de los TLD que los hacen atractivos para la dosimetría

- **Disponibilidad de detectores TL en forma de polvo o sólidos, con una gran variedad de formas y tamaños.**
- **La respuesta de los materiales TL es prácticamente independiente de la tasa de dosis de la radiación incidente.**
- **Existencia de materiales termoluminiscentes aproximadamente equivalentes al tejido, que eliminan la necesidad de aplicar correcciones por energía.**
- **La respuesta de los detectores TL es prácticamente independiente del ángulo de incidencia de la radiación.**
- **Los detectores TL proporcionan una alta sensibilidad y una exactitud, límite inferior de detección y linealidad apropiadas para la vigilancia radiológica.**

Propiedades de los TLD que los hacen atractivos para la dosimetría

- **Idoneidad para la dosimetría beta de la piel y extremidades.**
- **Los dosímetros TL tienen una excelente estabilidad a largo plazo.**
- **El proceso de evaluación es sencillo y rápido y los dosímetros son reutilizables.**
- **Es posible la reevaluación de las dosis mediante la técnica de PTTL: irradiación con luz U.V y lectura de los picos de alta temperatura.**
- **Posibilidad de lectura y evaluación automatizada y computarizada que lo hacen apropiado para servicios de dosimetría de gran escala.**

Propiedades Dosimétricas de los TLD

Algunas limitantes

- Los dosímetros TLD utilizados actualmente para la dosimetría de la radiación beta presentan problemas en su respuesta energética debido a que el detector es demasiado grueso o no equivalente al tejido.
- El método de dosímetros multi-elementos es complejo y puede ser inexacto.

REFERENCIAS

Oberhoffer, M. and Scharmann, A. *Applied Thermoluminescence Dosimetry*. (Adam Hilger, Bristol) (1981).

Horowitz, Y.S., (ed). *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. Vols 1-3 (CRC Press, Boca Raton) (1983).

McKeever, S.W.S. *Thermoluminescence of solids*. (Cambridge University Press) (1985).

Mahesh, K. Weng, P. S. and Furetta, C. *Thermoluminescence in Solids and its Applications*. (Nuclear Technology Publishing) (1989).

Azorin Nieto, J. *Luminescence Dosimetry: Theory and Applications*. (Ediciones Técnico Científicas SA de CV, Tlalpan) (1990).

McKeever, S.W.S. *Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses*. (Nuclear Technology Publishing) (1995).