

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA

DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"APLICACION DE DOSIMETROS TERMO  
LUMINISCENTES".

244

NORMA JIMENEZ LEE .

QUIMICA

1976



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. Tesis  
AÑO 1996  
FOLIO 104  
S. 249



QUIMICA

PRESIDENTE: CARLOS ROMO MEDRANO

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE VOCAL: JORGE A. CAMPOS ROBLES

SEGUN EL TEMA

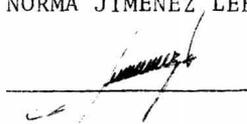
SECRETARIO: PEDRO VILLANUEVA GONZA  
LEZ

1er. SUPLENTE: BENJAMIN ORTIZ MENDO  
ZA.

2o. SUPLENTE: FRANCISCO YUZTE LOPEZ.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: FAC. DE QUIMICA DE LA UNAM.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE: NORMA JIMENEZ LEE



NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA: CARLOS ROMO MEDRANO



A MIS PADRES:

Rodolfo Jiménez Casados  
Esperanza L. de Jiménez .

Con profundo cariño y agradecimiento  
por su apoyo y comprensión .

## INDICE

### " APLICACION DE DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES "

#### CAPITULO I: INTRODUCCION

#### CAPITULO II: GENERALIDADES

##### 1) Dosimetría

- a) Antecedentes históricos
- b) Conceptos básicos y unidades
- c) Principales tipos de dosímetros

##### 2) Termoluminiscencia

- a) Principios de dosimetría de termoluminiscencia
- b) Mecanismo

##### 3) Dosímetros termoluminiscentes

- a) Fluoruro de litio
- b) Fluoruro de calcio

## INDICE

### " APLICACION DE DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES "

CAPITULO I: INTRODUCCION

CAPITULO II: GENERALIDADES

1) Dosimetría

a) Antecedentes históricos

b) Conceptos básicos y unidades

c) Principales tipos de dosímetros

2) Termoluminiscencia

a) Principios de dosimetría de termoluminiscencia

b) Mecanismo

3) Dosímetros termoluminiscentes

a) Fluoruro de litio

b) Fluoruro de calcio

c) Sulfato de calcio con manganeso

d) Sulfato de calcio con samario

- c) Sulfato de calcio con manganeso
- d) Sulfato de calcio con samario
- e) Borato de litio con manganeso
- f) Otras sustancias termoluminiscentes

CAPITULO III: USOS DE LA DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE

CAPITULO IV: BASES EXPERIMENTALES

CAPITULO V : CONCLUSIONES

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA.

## C A P I T U L O I

### I N T R O D U C C I O N

El motivo principal de este trabajo es realizar un estudio sobre las aplicaciones de la dosimetría muy especialmente la del tipo de termoluminiscencia, con el propósito de difundir más su uso dadas las ventajas y posibilidades que presenta en diferentes áreas científicas.

## C A P I T U L O I I

### G E N E R A L I D A D E S

#### 1).- D O S I M E T R I A

##### a).- Antecedentes Históricos.

El término dosis viene del griego *dôsis*, que significa dar o donar. En general, la dosimetría es la medición de la cantidad de radiación recibida por un cuerpo (1).

La medición de dosis de radiación ionizante requiere equipo adecuado, ya que el hombre no es capaz de percibirla sensorialmente. Por este motivo durante los años siguientes al descubrimiento de los rayos X se trató de protejer al personal expuesto a este tipo de radiaciones usando blindaje y tratando de conocer la cantidad que recibía al

exponerse a las radiaciones ionizantes. Para este efecto se crearon los primeros dosímetros biológicos (2): plantas, organismos unicelulares, parásitos y huevos; en los cuales se producían cambios específicos al someterlos a una dosis determinada. Los resultados fueron siempre inexactos debido a la variabilidad de los organismos.

Se comenzó entonces a tomar como referencia los efectos de la radiación en algunos compuestos químicos como las pastillas de platino-cianuro de bario( donde el elemento platino sólo enriquece al compuesto) que cambia de color verde al anaranjado, y el obscurecimiento de una placa fotográfica al ser expuesta, entre otros.

En 1925 se organizó el Primer Congreso Internacional de Radiología, con el propósito de servir a todos los grupos médicos y radiólogos del mundo enviándoles delegados de sociedades radiológicas y estableciendo la estandarización nacional de los laboratorios de cada país. Este Congreso creó

una organización conocida como Comisión Internacional de Unidades Radiológicas(ICRU) , cuya tarea es definir las unidades básicas de radiación. Creó también la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) (3), la cual publica recomendaciones para el manejo de material radiactivo en las diferentes áreas científicas, así como también dosis máximas permisibles.

Se crearon otras organizaciones como la Organización de la Salud Mundial (WHO), y el Comité Nacional de Protección de la Radiación (NCRP) en los Estados Unidos de Norteamérica, con el propósito de brindar ayuda técnica y eficaz protección, promoviéndose así la seguridad industrial en todos sus aspectos y fases.

b).- Conceptos Básicos y Unidades.

A continuación se mencionarán los conceptos y unidades que son de interés para este trabajo.

1.-Radiación Ionizante.- Es aquella emisión de

energía que consiste de partículas directamente ionizantes como los electrones, protones y partículas alfa, es decir car g a d a s; o indirectamente ionizantes como la radiación electro-magnética y los neutrones, es decir que carecen de carga; o bien mezcla de ambas(4).

2.- Exposición.- Es el cociente de  $\Delta Q/\Delta M$ , donde  $\Delta Q$  es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producidos en un volumen de aire de masa  $\Delta M$ .

3.- El Roentgen (R).- Es la unidad de dosis de ex po s i c i o n de radiación X ó gamma, y se define como " la can ti dad de radiación X ó gamma tal que los electrones secundarios asociados emitidos por un centímetro cúbico de aire en con di ci o ne s estándar de temperatura y presión producen en el aire iones que llevan una unidad electrostática de electricidad de cualquier signo, o sea, la equivalencia de  $2.58 \times 10^{-4}$  Coulombs de electricidad por kilogramo de aire.

Una dosis de exposición de un Roentgen en *cualquier*

punto corresponde a:  $8.38 \times 10^{-3}$  Joules absorbidos por kilogramo de aire; cerca de  $9.3$  a  $9.5 \times 10^{-3}$  Joules absorbidos por kilogramo de tejido vivo;  $1.61 \times 10^{15}$  pares de iones por kilogramo de aire y  $6.77 \times 10^{10}$  Mev absorbidos por metro cuadrado de aire a temperatura y presión estándar.

4.- Dosis Absorbida .- La dosis absorbida de cualquier radiación ionizante, es la energía impartida a la materia por la radiación ionizante en la unidad de masa irradiada, en el lugar de interés.

5.- El Rad (r).- Es la unidad de dosis absorbida. Se define como la absorción de  $10^{-2}$  Joules de energía de radiación por kilogramo de material.

#### Relación entre Roentgen y Rad.

La dosis absorbida en el aire cuando se expone a un roentgen de radiación, se puede calcular así:

$$R = \frac{\text{u. e. s.}}{0.001293 \text{ g}} \times 2.082 \times 10^9 \frac{\text{p.i.}}{\text{u.e.s.}} \times \frac{34 \text{ e.v.}}{\text{p.i.}} \times 1.602 \times 10^{-12}$$

$$\frac{\text{erg}}{\text{e.v.}} \times \frac{1 \text{ rad}}{100 \text{ erg}} = 0.87 \text{ rad.}$$

Dado que: 1 cm<sup>3</sup> de aire tiene 0.001293 g de peso en el cual se producen 2.083 x 10<sup>9</sup> pares iónicos(p.i.) por unidad electrostática ( u. e. s.), y cada p.i. producido consume 34 electronvoltios(e.v.). Cada e.v. equivale a 1.02 x 10<sup>-12</sup> ergs y cada 100 ergs absorbidos corresponde a un rad; todo lo cual hace que un roentgen sea igual a 0.87 rads en el aire.

6.- El Rem.- Es la abreviatura de las palabras roentgen equivalente hombre, y se define como "la dosis de cualquier radiación que produce el mismo efecto biológico que el producido por un roentgen de radiación X de alto voltaje".

Por lo tanto tenemos que: Dosis en rems=QF x dosis en rads.

Donde QF es el factor de calidad del tipo de radiación de que se trate y se define como "la relación de dosis absorbida(rads) de radiación gamma de energía especificada con la dosis absorbida de una radiación cualquiera necesaria

para producir el mismo efecto biológico".

7.- Actividad .- En una fuente radiactiva es "el número de transformaciones nucleares que ocurren en una cantidad dada de material por unidad de tiempo". La unidad de actividad es el Curie (Ci) , y es igual a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo.

8.- Intensidad de la radiación .- Es el número de fotones o partículas que pasan a través de una unidad de área perpendicular a la línea de propagación en el punto de interés por unidad de tiempo.

$$I = \frac{F}{t}$$

Donde F es el flujo de radiaciones en el tiempo t.

9.- Factor Gamma.- Es la constante específica de rayos gamma de un núclido emisor de gammas. Es el cociente de  $1^2 \frac{X}{t} \times A$  , donde  $\frac{X}{t}$  es la razón de exposición en  $Rh^{-1}Ci$ .

*Cada radionúclido emisor de gammas tiene esta constante y permite la transformación de Curies a Roentgens.*

Hasta aquí se han mencionado las unidades y conceptos básicos que caracterizan a las fuentes radiactivas. A continuación se verán algunos conceptos que describen los fenómenos que se presentan al interaccionar la radiación con la materia.

10.- Coeficiente de Absorción Lineal.- Es el decremento de la intensidad de la radiación por unidad y distancia recorrida. En la expresión  $I = I_0 e^{-\mu x}$ ;  $I_0$  es la intensidad inicial de la radiación,  $I$  la intensidad después de pasar a través de un material de grosor  $x$ , y  $\mu$  es el coeficiente de absorción lineal.

11.- Equilibrio Electrónico.- Para que pueda cuantificarse la energía que imparte la radiación a un cuerpo, es necesario que se cumpla una condición que se conoce como equilibrio electrónico y se define como " el equilibrio que existe en un elemento de volumen muy pequeño cuando por cada electrón

de cierta energía que penetre en ese volumen se cree un elec  
trón secundario de energía parecida" . Con los detectores de  
termoluminiscencia se ha logrado alcanzar esta condición ante  
poniendo un material de grosor específico llamado "build-up".

12.- Ionización.- Proceso por el cual un átomo o  
molécula neutra pierde o gana electrones, adquiriendo una car  
ga neta.

13.- Efecto Fotoeléctrico.- Los fotones de ener-  
gía menor de 0.1 megaelectronvolts (Mev) interaccionan con ma  
teriales que tienen número atómico elevado, y en los que el fo  
tón cede su energía a un electrón atómico, y éste sale expul-  
sado del átomo con una energía cinética que será igual a la di  
ferencia entre la energía del fotón (Ef) y la energía de enla  
ce del electrón (Es) :

$$E_e = E_f - E_s$$

El electrón expulsado de su órbita recibe el nom  
bre de fotoelectrón y su vacante será llenada por un electrón

de una capa exterior con una emisión característica de rayos X.

14.- Efecto Compton.- Predomina en fotones de energías entre 1 y 5 Mev en materiales de alto peso molecular. En este fenómeno un fotón interacciona con un electrón que puede estar débilmente unido o libre el cual es acelerado, y el fotón dispersado con menos energía. La energía y el momento del fotón incidente son compartidos por el fotón disperso y el electrón que sale.

15.- Producción de Pares.- Aquí se absorbe completamente el fotón en las cercanías del núcleo atómico, produciéndose dos partículas: un electrón y un positrón.

c).- Principales Tipos de Dosímetros.

Todos los métodos de detección se basan en la propiedad ionizante de la radiación, es decir que al interactuar ésta con átomos y moléculas neutras provoca pérdida o ganancia de electrones transformándolos en entidades cargadas de electricidad.

Métodos de Detección:

1.- Cuando la ionización ocurre en un medio gaseoso, el principio de detección es la captura de los iones formados por las radiaciones ionizantes y abarca gran parte de los equipos utilizados en dosimetría.

2.- Los detectores de centelleo se basan en el hecho de que cuando a ciertas sustancias se les transfiere energía de radiación responden reemitiendo esta energía en forma de luz visible. Este pulso de luz cuando es recogido por un tubo fotoelectrónico se transforma en un pulso eléctrico.

3.- Cuando la ionización ocurre en un sistema químico, la descomposición de éste provoca la formación de nuevos compuestos químicos o la alteración de las características químicas existentes antes de la irradiación.

4.- Los cambios físicos producidos por las radiaciones en los cristales de algunas sustancias se pueden utilizar en dosimetría, por ejemplo los cambios de coloración de algunos cristales y plásticos, la radiofotoluminiscencia de algunos cristales, la luminiscencia, fluorescencia y la termoluminiscencia.

De estos cuatro métodos de detección se describirán sólo aquellos dosímetros que son más utilizados en la actualidad.

#### 1.- Dosímetros de bolsillo.

Este tipo de dosímetro es el que se utiliza normalmente cuando la ionización ocurre en el aire (medio gaseoso). Un dosímetro de bolsillo está constituido por una cámara

con dos electrodos (ver fig. 1 ), uno de ellos es de fibra de cuarzo y tiene movimiento desde su montura. Cuando ocurre ionización dentro de la cámara, las cargas que están depositadas en los dos electrodos y que los mantienen separados disminuyen considerablemente permitiendo el desplazamiento de la fibra a su posición original. La distancia recorrida es proporcional a la dosis recibida por la cámara. En el interior del instrumento existe un sistema óptico y una escala transparente. La fibra está fundida a un bastidos metálico y el microscopio enfoca una sección de ella. Esto facilita su lectura pues puede hacerse en cualquier momento con sólo mirar a través del ocular.

#### 11.- Dosimetría de Película.

El dosímetro de película es uno de los más utilizados y por si mismo podría mencionarse como método de detección a pesar de que involucra un cambio químico en su estructura.

La película está constituida por una emulsión a

base de gelatina y haluro de plata esparcido sobre una película de celulosa o de vidrio. El espesor de las emulsiones va desde unas cuantas micras hasta algunos cientos. La emulsión se cubre generalmente con una capa delgada de gelatina que es conocida con el nombre de capa T y tiene 0.5 micras de espesor. Existen diferentes clases de emulsiones; el haluro de plata más utilizado es el bromuro. Su funcionamiento es como sigue: La radiación impresiona una pequeña placa cuyo grado de transparencia es medido con normas fijas en un densitómetro adecuado después de ser revelada con un método prefijado. De las densidades obtenidas se deduce la radiación total recibida. La respuesta de la película varía con la energía de la radiación, es decir, es dependiente de ella. Este es un problema común, ya que a determinada energía se producen fenómenos de interacción con la materia que no aparecen en otras, lo que hace variar la sensibilidad y respuesta. También tienen una marcada dependencia del ángulo de incidencia de la

radiación. La sensibilidad de la película varía cuando la técnica de revelado sufre alguna modificación en el tiempo de revelado, tipo, calidad y temperatura del mismo.

### III.- Dosímetros con cambio de coloración.

Entre los numerosos cristales estudiados están los de fosfato de aluminio, de bario, de potasio, etc. activados con plata. La medición se hace después de la irradiación de una muestra. Con un espectrofotómetro de Ultravioleta se mide la densidad óptica del cristal. Estos cristales tienen la ventaja de que son dependientes de la energía.

### IV.- Fluorescencia Inducida.

Se produce en cristales de fosfatos activados con plata después de ser irradiado con luz ultravioleta(UV) de  $3650 \text{ \AA}$ . Este fenómeno permite dosis mucho más débiles que aquellas que se miden con los cambios de color, y también están menos sujetas al decaimiento.

### V.- Extinción de fluorescencia.

Se utiliza la propiedad inversa del tipo de dosímetros anterior. Estas sustancias normalmente fluorescentes decrecen en esta propiedad al ser sometidas a una irradiación.

#### VI.- Dosímetros de Termoluminiscencia.

Este tipo de dosímetros cumple todos los requisitos necesarios para ser práctico y preciso, es por eso que fue escogido para el desarrollo de este trabajo. En el capítulo siguiente se dará una mejor descripción de estos dosímetros. Por el momento sólo se mencionarán algunas de sus características más importantes.

Cuando las sustancias termoluminiscentes son expuestas a las radiaciones y posteriormente calentadas, emiten una cantidad de fotones proporcional a la intensidad de la radiación recibida, al tiempo que duró la exposición y a la sensibilidad del cristal. Este tipo de dosímetros están sustituyendo rápidamente a los dosímetros de película, ya que tienen ventaja por su tamaño pequeño, bajo costo, largo tiempo de uso,

amplio rango de respuesta lineal, y también algunos muestran independencia de la energía de la radiación. La única desventaja es que se requieren aparatos electrónicos para su lectura (5), (6), (7), (8), (9).

## 2) Termoluminiscencia.

La termoluminiscencia es el fenómeno que ocurre cuando una substancia es expuesta a las radiaciones y posteriormente calentada, emitiendo entonces una cierta cantidad de luz visible proporcional a la dosis de radiación que recibió.

Para comprender mejor el fenómeno termoluminiscente, se definirán algunos de los conceptos de más importancia en la física del estado sólido. (10).

Luminiscencia.- Es la emisión de luz visible por un cristal.

Fluorescencia.- Luminiscencia que termina en menos de  $10^{-8}$  segundos después que se quitó el mecanismo de la excitación.

Termoluminiscencia.- Luminiscencia inducida por la aplicación de calor después de quitar el mecanismo de excitación.

Radioluminiscencia.- Luminiscencia inducida por bombardeo con la radiación.

Fotoluminiscencia.- Luminiscencia que resulta de la acción de

la luz visible.

Triboluminiscencia.- Luminiscencia que ocurre como resultado de un mecanismo tensionante.

El **mecanismo** de excitación a que se hizo alusión en los conceptos anteriores son los fotones, electrones y neutrones. La palabra termoluminiscencia puede prestarse a confusiones en su significado real, ya que el prefijo termo debería indicar que el mecanismo de excitación es el calor según la lista anterior, pero esta se efectúa usualmente a temperatura ambiente por la radiación, la cual es seguida por un calentamiento posterior produciendo la termoluminiscencia.

γ a).- Principios de la dosimetria Termoluminiscente.

Desde 1904 Curie había observado ya que los rayos X y las radiaciones gamma tenían relación con la termoluminiscencia(TL) producida en ciertas substancias. Estas observaciones fueron corroboradas por otros investigadores como Leyman en 1905 y Wick en 1927. No fue sino hasta 1951 que se comenzó a

desarrollar la instrumentación adecuada para su uso en el campo de la dosimetría. Uno de los primeros en afrontar estos problemas fue Daniels quien junto con sus colaboradores desarrolló la tecnología necesaria para estos propósitos (E.U., 1951). Este grupo hizo mediciones de la radiación con cristales de TL después de efectuarse una prueba de bomba atómica; también se experimentó con la dosimetría en vivo haciendo deglutir un cristal de LiF (fluoruro de litio) a un paciente que se le había suministrado una dosis terapéutica de  $I^{131}$  radiactivo. Cuando se recobrara, ya había pasado a través del tracto digestivo y se medía la cantidad de radiación que había recibido por la TL que emitía el cristal. Se han desarrollado técnicas para varios compuestos químicos en diferentes partes del mundo, como el grupo de investigación que trabajaba para el Laboratorio Naval de Investigación de E.U. dirigido por Schulmanque, el cual trabajó con  $CaF_2:Mn$  (Fluoruro de calcio enriquecido con manganeso). En Bélgica un grupo de investiga-

dores denominado MBLE ha estudiado las posibilidades del Mn mineral; en la URSS, Alemania y algunos otros países europeos se dedicaron también a estos estudios.

El mecanismo real del fenómeno de la termoluminiscencia no se conoce completamente, pero se han elaborado hipótesis que los pueden explicar. A continuación se dará la hipótesis más aceptada para la explicación de este fenómeno.

✓ b).- Mecanismo de la Termoluminiscencia.

Cuando un cristal es expuesto a la radiación ionizante, un electrón de la banda de valencia es liberado hacia la banda de conducción dejando un hueco en el lugar de la banda de valencia donde estaba el electrón (ver fig. 2 ). Ambos, el electrón y el hueco viajan por el cristal hasta que se recombinan o hasta que son atrapados en un estado metaestable. Se cree que estos estados están asociados a defectos del cristal como impurezas. Existen entonces dos posibilidades de que se emita un fotón TL (4).

Cuando se calienta el cristal, el electrón adquiere la suficiente energía para regresar a la banda de conducción, donde puede viajar hasta que se recombina con el hueco atrapado. Entonces se emite el fotón TL. Puede ocurrir también que la trampa del hueco sea menos estable que la trampa del electrón, entonces el hueco adquiere la energía que le permite viajar hasta que se recombina con el electrón atrapado y es entonces cuando se emite el fotón TL. Para explicar mejor el fenómeno se considerará sólo la primera posibilidad en vista de que existe la misma probabilidad de que suceda cualquiera de los dos casos.

La energía  $E$  del hueco se relaciona con la temperatura que se necesita para liberar al electrón y producir TL. Hay muchos huecos y electrones liberados, y cuando se calienta el cristal se incrementa la posibilidad de sacar un electrón en particular, y a una determinada temperatura existe la certeza de que será sacado.

En la mayoría de los materiales TL hay cierto número de trampas, y la curva luminosa consiste en cierto número de picos. Si  $E$  es muy pequeño, la trampa será inestable a temperatura ambiente y sólo se puede observar manteniendo frío el cristal hasta antes de su lectura. Si es menor de 0.9 e.v. muchos electrones son liberados a temperatura ambiente y sólo se produce fosforescencia común. Se podría decir que la TL es fosforescencia congelada hasta que se calienta. A menudo se introducen átomos de algún elemento como impureza a los cristales TL con el objeto de activar el proceso. Este es el caso del  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (borato de litio),  $\text{CaF}_2$  (fluoruro de calcio) y  $\text{CaSO}_4$  (sulfato de calcio) en los que se introduce manganeso como impureza.

### ✓ 3).- Dosímetros Termoluminiscentes.

Los dosímetros termoluminiscentes, al igual que otros tipos de detectores, deben ser sometidos a una calibración antes de ser utilizados para medir dosis de radiación.

Es por esto que se efectúan irradiaciones con dosis diferentes, de esta forma se tiene referencia de la cantidad de termoluminiscencia producida por el cristal con una dosis conocida de radiación.

✕ a).- Curvas de luminiscencia.

Después que se expone el dosímetro TL a una irradiación se calienta para obtener la lectura en forma de termoluminiscencia, la cual corresponde a la dosis de radiación recibida por el dosímetro. Durante el proceso de lectura se puede graficar la cantidad de luz emitida durante el calentamiento, dando lugar a la llamada curva de luminiscencia, la cual se obtiene graficando TL contra tiempo o temperatura. La TL se dará en intensidad y la curva adquiere una forma diferente para cada tipo de cristal y por lo tanto es posible que sea una de sus mejores características. Por ejemplo, la presencia de picos sólo a bajas temperaturas indica que el dosímetro de TL pierde la señal de TL almacenada a través del

tiempo y que por lo tanto el cristal en estudio no sirve para almacenar la señal durante largo tiempo. Esta característica es importante cuando la medición de dosis debe efectuarse lejos del lugar en que pueden ser leídos los dosímetros porque entonces las lecturas obtenidas serán menores que la dosis recibida originalmente por el dosímetro. Lo ideal es que aparezca un solo pico alrededor de  $200^0$  (C) pues a esta temperatura se asegura la estabilidad de la señal almacenada en el cristal a temperatura ambiente; pero la posición del pico TL es afectado por el tipo de cristal de que se trate y por la razón de calentamiento del mismo.

b).- Sensibilidad.

La sensibilidad termoluminiscente puede ser de definida como "la cantidad de luz liberada por el cristal TL por unidad de exposición a la radiación". El límite más bajo de sensibilidad depende de las características del cristal y del aparato de lectura.

## c).- Curvas de Calibración.

La respuesta ideal de un dosímetro TL se incrementa linealmente a lo largo del rango de exposición a que se somete, lo que simplifica mucho su calibración y uso con tínuo. Cuando la linealidad se presenta sólo en una parte del rango da lugar a numerosos y serios inconvenientes en el uso de los dosímetros de que se trate.

## d).- Respuesta a la Energía.

Se dice que un dosímetro tiene una buena respuesta a la energía si su respuesta por Roentgen muestra sólo un pequeño cambio respecto a la energía del fotón de la radiación que se le hizo incidir; y si el cambio es grande, se dice que la respuesta es pobre. Existen dos formas para determinar las curvas de respuesta a la energía en los cristales de TL : usando valores determinados experimentalmente basados en los kev efectivos de varias fuentes radiactivas; o usando valores calculados teóricamente de coeficientes de absorción para va

rias energías de fotón. Los valores que se utilizan usualmente son los medidos experimentalmente con las condiciones más reales que se presentan en las irradiaciones experimentales.

e).- Estabilidad.

La termoluminiscencia es la liberación de la energía absorbida en una previa irradiación. La razón en que esta energía es liberada depende de la temperatura del cristal y se incrementa notablemente con las altas temperaturas. Cuando se alcanzan éstas generalmente aparece lo que se llama "pico luminoso" y es el pico más alto que aparecerá en la gráfica, localizándose fácilmente siempre en el mismo cristal a la misma temperatura. Cuando se almacena un cristal irradiado a temperatura ambiente y el decaimiento de la señal es insignificante, se dice que tiene buena estabilidad.

Algunos cristales TL tienen trampas en su red cristalina en las que bastan temperaturas bajas para que se desprenda TL, es por esto que en algunos casos se someten a

un precalentamiento antes de la lectura eliminando así los picos de bajas temperaturas y quedando sólo los estables.

Otro punto de importancia que debe ser señalado es el hecho de que el dosímetro debe ser expuesto con una cantidad suficiente de material "build-up" para obtener equilibrio electrónico, de lo contrario la lectura del dosímetro sería errónea. Esto debe atribuirse al concepto de equilibrio electrónico ya explicado al principio de este trabajo e involucra directamente la energía del fotón y la penetración que sufre el material irradiado. El grosor de material requerido para obtener el equilibrio se llama "build-up" y el error que se presenta en la lectura de un dosímetro sin este material consiste en que algunos fotones tendrán la suficiente energía como para atravesarlo sin que se registre ningún cambio en la red cristalina, por lo que será difícil tener una información correcta. La cantidad de material "build-up" requerido depende directamente de la energía de fotón y usual

mente se expresa en unidades de masa y área ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ). Los materiales que se utilizan para estos propósitos generalmente son el teflón, lucita y nylon.

#### 1.- Fluoruro de Litio (LiF) .

Este material ha sido investigado exhaustivamente y se ha encontrado que en su forma más pura exhibe relativamente poca termoluminiscencia, mientras que la presencia de impurezas parece ser necesaria para el incremento de la misma. Por esta razón se ha desarrollado diferentes tipos de dosímetros de LiF en los que se mezclan los isotopos del litio: TLD 100, 600 y 700.

Se ha comprobado experimentalmente que la diferencia entre estos tipos está en que los dos primeros tienen una gran sección eficaz (probabilidad para interactuar) con los neutrones térmicos de gran energía, y el TLD 700 no responde a los mismos pero sí a la radiación gamma.

Curva Luminosa del LiF.

La fig. 3 muestra la curva típica de TLD 100.

Después de la irradiación los picos del 1 al5 decaen un poco con la temperatura ambiente; se les ha asignado vidas medias de 5 minutos, 10 horas, 0.5 años, 7 años y 80 años respectivamente. De estos datos se puede deducir que los más útiles para dosimetría son los últimos tres picos por ser los más estables, y para que los picos 1 y 2 no interfieran en la lectura se eliminan con un proceso de calentamiento antes de la irradiación que generalmente consiste en someter al cristal a  $80^{\circ}$  durante 24 horas. Lógicamente varía la estructura de la curva (12).

El TLD 100 tiene la suficiente sensibilidad como para emitir TL apreciable a simple vista cuando se exponen 50 mg de muestra a 1 Roentgen. Este dosímetro muestra respuesta lineal hasta  $10^3$  Roentgens y arriba de esta dosis es supralineal, es decir, se aleja por arriba de la linealidad hasta  $5 \times 10^5$  R, decreciendo después de esta dosis. El TLD

700 muestra una respuesta parecida mientras que el TLD 600 no ha sido estudiado lo suficiente como para obtener su curva de respuesta a esta dosis de gammas.

A través de los experimentos realizados con el LiF se ha visto que presenta ventajas sobre otros tipos de dosímetros pues tiene una clara y pronunciada respuesta a las radiaciones de baja energía; no tiene dependencia de la razón (o relación) de dosis; presenta una buena estabilidad en la señal almacenada en el cristal a temperatura ambiente (sólo decae 5% al año); y puede utilizarse todas las veces que sea necesario sólo borrando la información de la dosimetría anterior. Las principales características de la dosimetría con el LiF se han comparado con las de otros cristales y se ha visto la superioridad de este tipo de dosímetros.

## 2.- Fluoruro de Calcio ( $\text{CaF}_2$ ).

### a).- *Natural.*

El fluoruro de calcio natural se encuentra en la

naturaleza como fluorita. Seleccionando muestras de este mi  
neral y purificándolas se pueden obtener dosímetros de calidad  
bastante aceptable.

Estos dosímetros tienen una curva luminosa que  
extiende sus picos desde  $70^{\circ}$  hasta  $600^{\circ}$  (ver fig. 4); los  
más útiles están localizados entre  $250^{\circ}$  y  $300^{\circ}$  pues los de  
temperaturas más altas son difíciles de medir sin dañar el  
cristal a causa del calor que se le debe proporcionar para  
efectuar la lectura. Como la única desexcitación que funciona  
es a  $450^{\circ}$  en este caso, se corre el riesgo de dañar el cris  
tal por lo que se lee toda la curva y se toma en cuenta que  
el 75% de la información se encuentra en el pico 111 y 111'.  
Se encontró que la saturación ocurría en un rango de  $10^4$  y  
 $10^5$  R y también que es muy sensible a la luz Ultravioleta.

b).- Fluoruro de Calcio con Manganeso.

Tratando de encontrar un sustituto sintético  
del  $\text{CaF}_2$  natural que mejorara las características de éste,

se llegó al estudio del Fluoruro de calcio con manganeso como impureza. Estos cristales tienen una sensibilidad muy alta y una distribución bastante uniforme de las trampas del cristal además de ser éstas muy estables. La curva luminosa de este material tiene un sólo pico que aparece a  $260^{\circ}$  como se muestra en la fig. 5. La aparición de este pico a temperatura relativamente alta implica la existencia de trampas profundas y estables, por lo cual no debe decaer la señal almacenada a temperatura ambiente; sin embargo dentro del primer mes se encontró un decaimiento de 10% de la señal, lo que le coloca en desventaja con el  $\text{CaF}_2$  natural que no decae aún en largos períodos de tiempo.

La sensibilidad del  $\text{CaF}_2.\text{Mn}$  (donde el Mn es sólo impureza) es diez veces la del LiF, lo que le hace muy propio para medir dosis muy bajas. Presenta una respuesta lineal hasta  $10^5$  R, no tiene dependencia de la relación de dosis sino hasta arriba de  $10^{10}$  rads por segundo, y muestra

una gran dependencia de la energía en el rango de 0 a 300 kev. Por ejemplo con fotones de 40 kev la respuesta por R es cerca de 13 veces mayor que a las gammas de  $\text{Co}^{60}$ . Esto representa un grave problema sobre todo cuando se miden radiaciones mezcladas.

### 3.- Sulfato de Calcio con Manganeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Mn}$ )

Esta sustancia es una de las más estudiadas. Sus propiedades termoluminiscentes se conocen desde hace tiempo y se ha visto que funcionan perfectamente para mediciones de radiación ultravioleta; también se ha notado que es uno de los materiales más sensibles de los conocidos hasta la fecha, pero se coloca en desventaja respecto a otros materiales TL debido al rápido decaimiento de la señal almacenada. La curva luminosa tiene un sólo pico que aparece a  $118^\circ$  esta temperatura depende del calentamiento a que se somete el cristal para obtener la termoluminiscencia. En diferentes experimentos se ha sometido a estos cristales a calentamientos

que van desde  $32^{\circ}$  por minuto hasta  $240^{\circ}$  por minuto; y el pico TL apareció entre  $100^{\circ}$  y  $160^{\circ}$ . Tienen una magnífica respuesta lineal aún para las dosis muy bajas como se puede apreciar en la fig. 6.

La respuesta del  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Mn}$  a la curva de calibración se puede apreciar en la fig. 7.. En ella se ve que el cristal se satura cuando se somete a dosis arriba de  $5 \times 10^4$  R. La baja temperatura del pico luminoso implica un considerable decaimiento de la señal almacenada. Esta señal decrece inicialmente 7% cada hora, pero en el curso de 10 horas disminuye hasta 1% por hora. Esta gran inestabilidad limita las aplicaciones del dosímetro de este tipo. Otra desventaja es su gran sensibilidad a la luz con la que produce una señal de 15 miliroentgens por minuto de exposición.

#### 4.- Sulfato de Calcio con Samario ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Sm}$ ).

Esta substancia difiere de la anterior en que su pico luminoso aparece en los  $400^{\circ}\text{C}$  y debido a este factor

la radiación infrarroja no permite hacer mediciones menores de 1 R. Las demás características son bastantes parecidas a la substancia anterior.

5.- Borato de Litio con Manganeso ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot\text{Mn}$ ).

El dosímetro más eficaz de los que tienen en su composición Litio parece ser en primer lugar el LiF, y en segundo el  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot\text{Mn}$ . Esta substancia puede ser preparada en los laboratorios con materiales de uso común, ya que el método de preparación es relativamente simple. La curva luminosa se puede apreciar en la fig. 8. En ella se ve el pico principal a  $200^\circ$  y otro a  $80^\circ$ , éste tiene un rápido decaimiento que logró leerse a diferentes tiempos: a).-Habían transcurrido 3.5 minutos, b).- 8.6 minutos, c).- 27.3 minutos, d).- 69.2 minutos, y e).- 960 minutos. La posición del pico principal varía con la exposición: Si la dosis es menor de  $10^3\text{R}$  el pico aparece a  $180^\circ$ , si es de  $10^4\text{R}$  aparece a  $210^\circ$ , y para exposiciones de  $10^6\text{R}$  aparece nuevamente en

180°.

Las preparaciones de  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot\text{Mn}$  que se han estudiado tienen aproximadamente la décima parte de la sensibilidad que tiene el LiF. Presenta una buena respuesta lineal hasta  $3 \times 10^5$  R, de donde comienza a decaer. Para eliminar esta supralinealidad se hicieron algunas irradiaciones de  $10^5$  R de exposición a gammas y se desexcitó después sometiendo a los cristales a 300°C durante 15 minutos. La respuesta obtenida se presentó cuatro veces mayor que cuando no se había sensibilizado (ver fig. 9).

#### 6.- Otras sustancias termoluminiscentes.

Se han investigado muchas otras sustancias para ver si es posible encontrarles propiedades TL que puedan ser utilizadas en dosimetría. Las más importantes son las siguientes:

a).- El Oxido de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ha sido estudiado en detalle y se ha comprobado que tiene una gran sen

sibilidad casi igual a la del LiF, además de ser barato y fácil de obtener. La curva luminosa tiene dos picos muy anchos y la mayoría de la TL se encuentra en los de baja temperatura; sólo la tercera parte de la información está en el pico que aparece a  $220^{\circ}$ . El pico de baja temperatura es inestable a temperatura ambiente y ambos son bastante sensibles a la luz visible. Tiene la desventaja de que no se pueden hacer mediciones de menos de 10 R debido a la pequeña cantidad de radiación que permanece almacenada. Su curva de respuesta a diferentes dosis no es lineal y el límite de sensibilidad aún no se ha reportado.

b).- El Oxido de Berilio ( $\text{BeO}$ ) tiene también una gran sensibilidad, pero no puede detectar neutrones térmicos. En las exposiciones bajas muestra un pico en su curva luminosa de  $180^{\circ}$ , y para altas el pico aparece a  $220^{\circ}$ . La curva de respuesta es supralineal y se satura a  $10^5 \text{R}$ . No se ha observado decaimiento en la señal almacenada y aunque se

considera peligroso si se inhala, es seguro en forma sólida.

c).- El Sulfuro de Estroncio activado con Samario y Europio ( $\text{SrS.Eu,Sm}$ ) tiene una curva luminosa con un pico luminoso que aparece a  $235^{\circ}$ . Decae de 15% a 40% en el primer día posterior a la irradiación, es dependiente de la dosis de exposición y a bajas energías (110 kev) la respuesta es 40 veces más alta que con altas energías. Su curva de respuesta a diferentes dosis es lineal abajo de  $5 \times 10^3 \text{R}$ .

Todos los materiales mencionados anteriormente pueden ser utilizados en diferentes formas como : polvo, grandes cristales de estas substancias utilizados en forma individual, material encapsulado o cualquier otra modalidad que demuestre su utilidad en dosimetría.

## CAPITULO III

USOS DE LA DOSIMETRIA  
TERMOLUMINISCENTE .

Debido a la gran variedad de materiales ra  
diactivos que se utilizan en la industria ha sido necesario  
tomar medidas de protección tales como cuantificar la radia  
ción ionizante con dosímetros apropiados.

1.- Aplicaciones clínicas de la dosimetría Ter  
moluminiscente.

Cuando se aplica la terapia con radiaciones se  
presenta una serie de problemas de dosimetría que pueden ser  
resuelto con dosímetros de termoluminiscencia. Su tamaño pe  
queño, gran rango de dosis y medición directa de la misma ha

cen posible efectuar dosimetría donde otros tipos de detectores no tienen aplicación práctica.

Monitoreo de dosis en pacientes: Un dosímetro de TL de pequeño tamaño y con el material apropiado de build-up puede ser colocado en el centro de un campo de irradiaciones terapéuticas durante cada sesión de radioterapia para registrar la cantidad de radiación a la que fué expuesto el paciente. Este es un excelente medio para comprobar la calibración de la unidad terapéutica. Es de singular importancia la medición de dosis en las gónadas durante procedimientos de diagnóstico y los dosímetros de TL ofrecen las mejores características para realizar esta tarea.

## 2.- Profundidad de Dosis.

Algunas de las aplicaciones más conocidas de la dosimetría de TL son las determinaciones de profundidad y distribución de la radiación en sustancias tales como el agua, cera y plásticos equivalentes al tejido llamados fan-

tasmas. Los dosímetros de pequeño diámetro se colocan en los huecos del material por irradiar, y después de efectuada esta irradiación los dosímetros son leídos. La distribución se hace en tre dimensiones y se obtiene un mapeado en detalle de la zona en estudio; esta técnica es muy utilizada para las zonas irregulares del cuerpo humano donde la exposición a la radiación es variable. Algunos dosímetros TL son especialmente apropiados para mediciones en fantasmas como el  $\text{LiF}$  y el  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Mn cuya buena respuesta a fónones de baja energía minimiza el error que puede causar la dispersión de la radiación de baja energía que se produce por el paso en un medio dispersante.

Monitoreo de dosis en cavidades del cuerpo humano.- El pequeño tamaño de los dosímetros de TL permite la medición de dosis en muchos lugares dentro del cuerpo humano como por ejemplo la boca, esófago, estómago, vejiga, recto, etc. Estas mediciones se han hecho para radiaciones externas y pa

ra fuentes colocadas dentro de las cavidades.

#### Medición de electrones de alta energía y Rayos

X.- Se han hecho mediciones intercomparativas de radiación de betatrones (electrones acelerados) con diferentes tipos de dosímetros y se ha encontrado que el LiF, entre otros, es dependiente de la energía; la causa de esto no se entiende bien todavía. Las dosis de rayos X medidas con dosímetros TL están muy bien checadas con cámaras de ionización.

Aplicaciones varias.- Se ha podido medir la dosis que se recibe dentro de una cámara de oxígeno de alta presión, pues el dosímetro TL no cambia su respuesta con 30 psi.

Para medir la dosis que recibe un tumor se insertan varias agujas con dosímetros muy pequeños para efectuar directamente la medición. El pequeño tamaño es uno de los principales factores que permiten *efectuar este tipo de trabajos*.

La dosimetría TL se usa también para la calibración e intercomparación de máquinas terapéuticas.

Se han hecho cámaras de ionización pequeñas, pero por razones prácticas no pueden llegar a hacerse con un volúmen total de  $1\text{cm}^3$  o menos. Se necesitó cristales de TL de  $2\text{mm}^3$  de volúmen para medir la distribución de la radiación de una fuente de radio. Los cristales se colocaron en posiciones diferentes con respecto a la fuente en un aparato diseñado para este propósito. Se sumergió éste en el agua para que la medición representara la distribución en el tejido. Las mediciones confirmaron la necesidad de ciertas correcciones en las tablas que se usaban comunmente para la relación exposición-tiempo dadas para fuentes de radio lineales.

Los cristales pueden usarse también en animales. Como dato curioso algunos de los investigadores han reportado trabajos en los que han efectuado dosimetría "personal"

para insectos.

Se utiliza también para elaborar mapas de los niveles de energía en el cuarto de irradiación del acelerador de electrones situado en Stanford, entre otros. Se distribuyeron los cristales alrededor del cuarto y de esta forma se determinó el nivel de irradiación producido en cada punto.

La independencia de la energía es importante en ciertas mediciones clínicas, y la pronunciada dependencia de ella en otros cristales de TL tiene ventajas en otros tipos de aplicaciones. Una técnica para medir la calidad de la radiación utiliza estos dos recursos uniéndolos en un campo de irradiación.

### 3.- Aplicaciones en Arqueología y Geología.

La composición de rocas y minerales generalmente incluye trazas de algunos elementos naturalmente radiactivos; por esta razón se encontró termoluminiscencia al calentar estas rocas. Utilizando este fenómeno midieron la TL

que se había acumulado en rocas cercanas a intrusiones de lava para determinar la edad del flujo de ésta. Esto se explica de la siguiente forma: la lava caliente removi6 la informaci6n de radiaci6n anterior registrada por la roca, por lo que la lava deberia tener la misma fecha de creaci6n que la TL almacenada hasta el momento de la lectura. En este procedimiento se debe tener en cuenta el nivel de radiactividad natural y la sensibilidad TL de la roca. Los resultados obtenidos han estado de acuerdo con otras t6cnicas de fechado. Un m6todo semejante puede utilizarse para fechar cer6mica y otros artefactos arqueol6gicos que fueron calentados cuando se produjeron.

4.- Dosimetría Personal.- En el nivel de exposici6n de miliroentges se utiliza mucho la dosimetría TL para protecci6n del personal. Con ella se puede llevar un control minucioso de la radiaci6n que recibe por ejemplo, un trabajador que maneja combustibles para reactor, o cualquier

otro material radiactivo. En algunas ocasiones se utilizan pequeñas bolsas de plástico conteniendo polvo TL que se colocan entre la yema de los dedos y el objeto que se maneja.

Sirve también para saber la dosis recibida por un trabajador cuando se maneja material de energía desconocida. Se colocan pequeñas cantidades de material TL cerca del objetivo durante un tiempo conocido y se obtiene la razón de dosis.

Los dosímetros TL han encontrado aplicación especial dentro del programa espacial de los Estados Unidos. Sus cualidades hacen posible su uso en satélites recuperables y otros tipos de sondeo espacial.

## C A P I T U L O I V

## B A S E S E X P E R I M E N T A L E S .

1.- Uno de los experimentos que se llevaron a cabo para la investigación de la dependencia de la razón o relación dosis-tiempo de los dosímetros TL, consistió en un estudio comparativo de éstos con dosímetros de película. Se colocaron en idénticas condiciones un dosímetro de película, un cristal TL variable en cada experimento, y un cristal de LiF permanente debido a su invariabilidad ante este factor. Se sometieron los tres dosímetros a razones de dosis que iban desde  $10^4$  rad/seg. hasta  $10^{10}$  rad/seg.; y se encontró que el dosímetro de película empezó a bajar su respuesta desde  $10^8$

rad/ seg., mientras que los otros siguieron indefinidamente su linealidad de respuesta, como se puede apreciar en la figura 10, que es una gráfica obtenida con los datos de este experimento que se le atribuye a Cameron y su grupo de investigadores en la Universidad de Wisconsin, E.U.

II.- También hicieron mediciones de dosis con diferentes energías de fotón. Los dosímetros utilizados fueron: 1)  $\text{CaSO}_4$ , 2).-  $\text{CaF}_2$ , 3).-  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4).-  $\text{LiF}$ , 5).-  $\text{CaCO}_3$ , 6).-  $\text{SiO}_2$ , y 7).-  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Las energías de fotón se variaron de 10 a  $10^4$  kev, y la gráfica se hizo con la razón de los valores de las respuestas experimentales a la energía depositada en el tejido con el objeto de obtener valores útiles en terapia, (ver fig. 11). Para propósitos generales la comparación hubiera sido con referencia al aire; de todas formas la respuesta es proporcional entre los dosímetros.

III.- El espectro de emisión de la TL de algunos dosímetros se muestra a continuación (fig. 12). La curva A

corresponde a la emisión de la termoluminiscencia del  $\text{CaSO}_4$  con manganeso, B.-  $\text{LiF(TLD 100)}$ , C.-  $\text{CaF}_2$  natural, D.-  $\text{CaF}_2$ . Mn.

Para este experimento se utilizó un tubo fotomultiplicador con respuesta espectral S-11.

IV.- Con el objeto de demostrar la superioridad del dosímetro TL sobre el de película, se sometieron ambos a diferentes energías de fotón, encontrándose que la película tiene una notable variación en su respuesta cuando se somete a energías menores de 300 kev. (ver fig. 13).

V.- Se hizo una exposición de  $\text{CaF}_2$ . Mn y se guardó en la obscuridad. El decaimiento encontrado en los cristales bajo estas circunstancias muestra generalmente un decaimiento de 10% en el primer mes y 1% en los siguientes. (fig. 14).

VI.- Desexcitaciones antes de la irradiación.-  
Se hicieron estudios para dar una forma más práctica y fácil de manejar a las curvas de termoluminiscencia de algunos do

símetros. Se sometieron los dosímetros a calentamientos de  $80^{\circ}\text{C}$ ,  $125^{\circ}$ ,  $145^{\circ}$ ,  $175^{\circ}$ ,  $400^{\circ}$  y  $600^{\circ}$ . Se encontró que la al tura absoluta y relativa de los picos TL puede cambiarse con ciertas temperaturas, y debido a que este tratamiento tiene lugar antes de la irradiación estos cambios no son causados porque los electrones vuelvan a las trampas, sino que repre sentan ya sea un cambio en el número de trampas relacionadas con un pico, o un cambio en la eficiencia de conversión de los electrones atrapados a fotones.

Inicialmente se desexcitó polvo de LiF TL durante 1 h a  $400^{\circ}$  en una cápsula de porcelana. Se colocó en una placa de asbesto y se enfrió en forma reproducible; el polvo se dividió en porciones de 120 mg y se colocó en placas de plata que también sufrieron el tratamiento anterior. Las porciones de polvo se irradiaron con 100 R de gammas de  $\text{Cs}^{137}$  y leídas 12.5 minutos después de la irradiación. La figura 15 muestra el cambio en la curva luminosa como función del tiem

po de de desexcitación para una temperatura de  $80^{\circ}$ . Después de 24 h los picos 4 y 5 de la curva luminosa del LiF se reducen en altura un 5%, y los picos de baja temperatura 1, 2 y 3 son casi eliminados. Debe observarse que estas gráficas están en tercera dimensión con el objeto de facilitar su interpretación. Este procedimiento de desexcitación de  $80^{\circ}$  durante 24 h. es entonces el que más favorece una estructura final de un sólo pico en la curva luminosa, configuración que favorece una lectura sencilla y confiable.

La figura 16 muestra el efecto de la curva luminosa con igual tipo de desexcitación pero ahora a  $125^{\circ}$ . El pico 2 decrece regularmente en la primera hora. En cuatro horas el pico 1 crece en un 50% la altura del pico 2; el pico 5 es removido completamente en 7 horas, y los picos 3 y 4 se integran al 5. De lo anterior se concluye que una desexcitación de  $125^{\circ}$  en ningún momento nos simplificaría la curva luminosa.

Si se desexcita a  $145^{\circ}$ ,  $175^{\circ}$ ,  $280^{\circ}$  o  $400^{\circ}$ , el fenómeno del caso anterior se repite.

Después de cualquiera de las desexcitaciones anteriores se puede regresar a la forma original de la curva calentando 1h a  $400^{\circ}$ . Cuando este calentamiento se prolonga más de 24 h, se reducen irreversiblemente los picos 4 y 5 (fig. 17).

De los reportes anteriores concluyeron que la temperatura de desexcitación que mejor borra los picos de bajas temperaturas es de  $80^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.

#### VII.- Razón de enfriamiento de la desexcitación.

Se ha descubierto que con diferentes razones de enfriamiento- tiempo se influye en la sensibilidad del pico 5 y 2 de la forma en que se aprecia en la fig. 18. Algunos autores sugieren que al enfriarse rápidamente después de la lectura a temperatura ambiente se puede "congelar" el equilibrio de la distribución de las impurezas o trampas del pi

co 2. Es por esto que aqui se nota el crecimiento del pico 2, que está a baja temperatura con lo que disminuye la razón del pico 5 al 2 (13).

## C A P I T U L O V

## C O N C L U S I O N E S.

I.- Cameron y colaboradores concluyeron que los dosímetros en general no dependen en absoluto de la relación de dosis a la que se someten. Esto significa que si se irradian algunos tipos de dosímetros exponiéndolos a diferentes intensidades de radiación por unidad de tiempo, los de termoluminiscencia siguen teniendo una respuesta lineal a dosis progresivas. Sin embargo el de película varía su respuesta a las radiaciones si se somete a una dosis mayor de  $10^8$  rad/segundo.

La ventaja de la independencia a la relación de dosis estriba en su utilidad cuando se debe hacer dosimetría

de fuentes o medios donde la intensidad de la radiación es desconocida, ya que se tiene la seguridad de que la respuesta del dosímetro corresponderá a la dosis recibida.

11.- Se observó que la energía de fotón influye en la respuesta de todos los dosímetros, y que los menos afectados son el borato y el fluoruro de litio, por lo que pueden ser utilizados para medir radiaciones desconocidas. También son de utilidad cuando la radiación a que se exponga sea de diferentes tipos y comprenda un amplio rango de energías de fotón.

111.- La señal termoluminiscente puede registrarse en un espectrofotómetro en su respectiva longitud de onda. Esta propiedad podría utilizarse en la identificación de materiales TL.

IV.- Se ha observado que el LiF en especial presenta poco decaimiento en su TL almacenada. La ventaja de esta característica es que estos cristales pueden utilizarse

se para monitorear lugares lejanos del sitio en que deben leerse.

V.- El  $\text{CaF}_2\text{.Mn}$  tiene un decaimiento de señal muy pronunciado (10% el primer mes), por lo tanto su uso como dosímetro está limitado por factores tales como prontitud en su lectura o estandarización de condiciones para todos los procesos de lectura.

VI.- Como las curvas que se producen al graficar la TL contra tiempo de lectura o incremento de temperatura casi siempre presentan picos en los primeros segundos de esta temperatura ascendente, la configuración de la curva tiende a cambiar porque la temperatura del medio ambiente hace que desaparezcan los picos ya mencionados. Para evitar que la variación en el tiempo de almacenaje influyera en la señal guardada por los dosímetros, se hicieron varios tratamientos térmicos y se comprobó que sometiendo a los cristales durante 24 h. a una temperatura constante de  $80^{\circ}$ , se obtenía una cur

va constante y de fácil interpretación. Este tratamiento borra los picos de bajas temperaturas y uniformiza las respuestas de los dosímetros.

VII.- Después de la desexcitación los dosímetros pueden someterse a diferentes velocidades de enfriamiento, pero el más adecuado es aquél en que se haga más evidente el pico 5 y disminuya el 2. El enfriamiento de  $50^{\circ}/\text{min}$ . proporcionó los mejores resultados. Estos estudios dan la pauta para que otros investigadores obtengan las mejores condiciones de lectura e interpretación de otros dosímetros de termoluminiscencia que aún no han sido suficientemente estudiados.

## C A P I T U L O V I

## B I B L I O G R A F I A.

1.- Ed Clark George L.

Encyclopedia of X rays and gamma rays.

Cherman Hall

London 1968.

2.- Casarett Allison P.

Radiation Biology

Prentice Hall

New Jersey 1962.

3.- Hanson Blatz

Radiation Hygiene Handbook

Mc. Graw-Hill Book Company

New York 1959

4.- Report of the International Commission on  
Radiological Units and Measurements (ICRU)  
1959. National Bureau Standards Handbook  
78 (1960).

5.- R.M. Halland, C.N. Wright

A comparison of lithium fluoride and films  
for personnel dosimetry. Health Phys. Perga  
mon Press Vol. 14(1968).

6.- N. Suntharalingam, J.R. Cameron

Fadin characteristics of *thermoluminescent*  
lithium fluoride. Phys. Med. Biol. Vol. 13 Nov.(1968).

7.- John P. Cusimano and Foster V. Clipperley

Personnel Dosimetry using thermoluminescent  
dosimeters. Health Phys. Pergamon Press. Vol. 14(1968).

8.- N. Suntharalingam, J.R. Cameron.

A comparison of TLD and film for personnel dosimetry  
Health Phys. Pergamon Press. Vol. 12 (1966).

9.- J.R. Cameron, N. Suntharalingam, G.M. Kenney.

Thermoluminescent dosimetry.

The University of Wisconsin Press(1968).

10.- D.E. Raeside. Photon dosimetry by Luminescent

Methods. AJP Vol. 41-539 (1973).

11.- F.H. Attix, C. Roesch, E. Tochilin. *Radiation*

Dosimetry Vol. 11. 2.Ed. Academic Press (1968).

12.- D.W. Zimmerman, C.R. Rhywer and J.R. Cameron.

Thermal Annealing Effects on Thermoluminescence

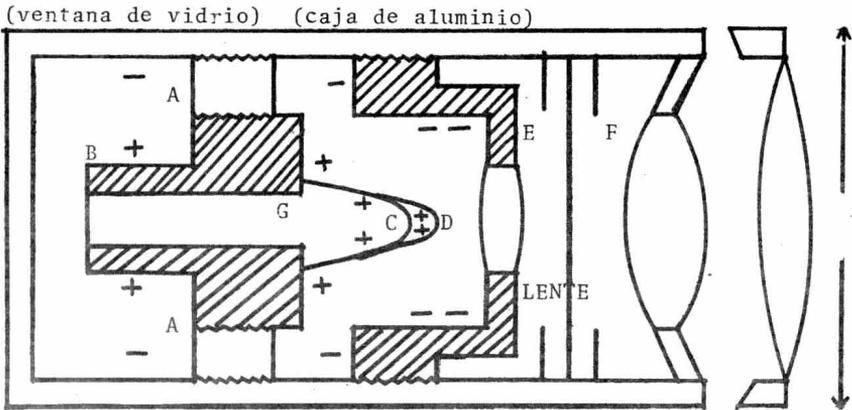
of LiF. Health Phys. Pergamon Press. Vol. 12 (1966).

13.- A. Dhar, L.A. Dewerd and T.G. Stobe. Effects on

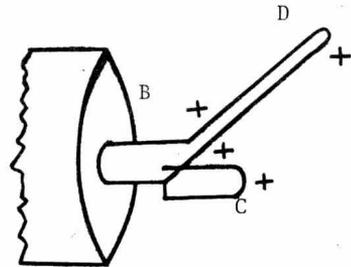
annealing and cooling processes on thermolumines

cense. Vol. 25 (1973).

ELECTROSCOPIO DOSIMETRICO DE BOLSILLO



- A.-ANILLO AISLANTE
- B.-BARRA CARGADORA
- C.-FIBRA DE CUARZO FIJA
- D.-FIBRA DE CUARZO MOVIL
- E.-CILINDRO METALICO
- F.-ESCALA TRANSPARENTE
- G.-SOPORTE METALICO PARA LAS FIBRAS



VISTA LATERAL

FIG. 1

DIAGRAMA DEL MECANISMO DE TERMOLUMINISCENCIA

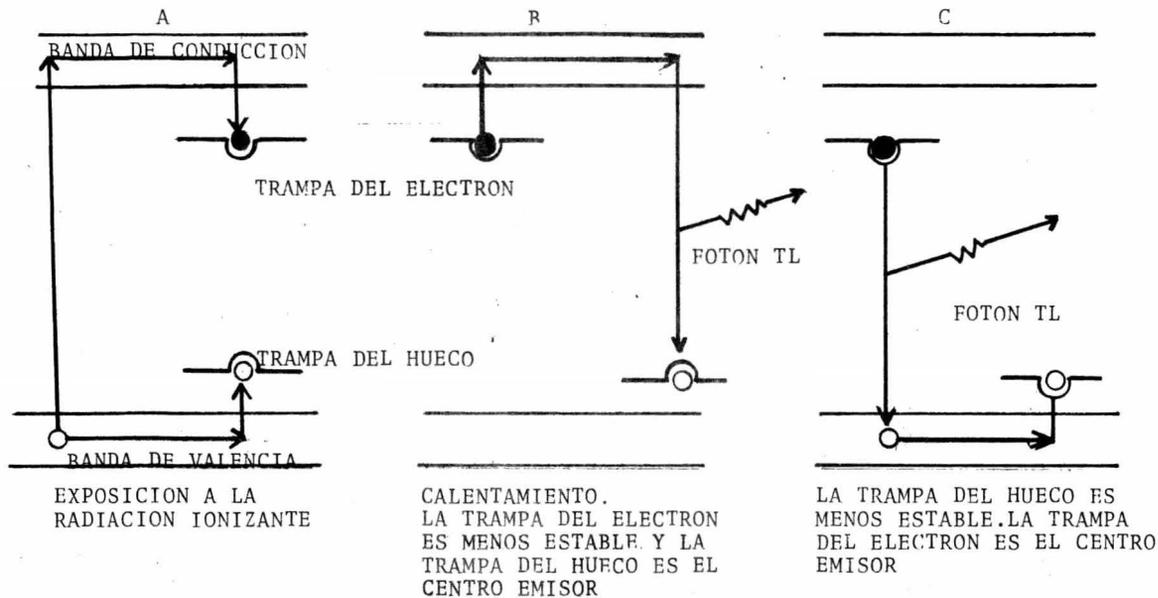


FIG. 2

CURVA LUMINOSA TÍPICA DEL LiF TL

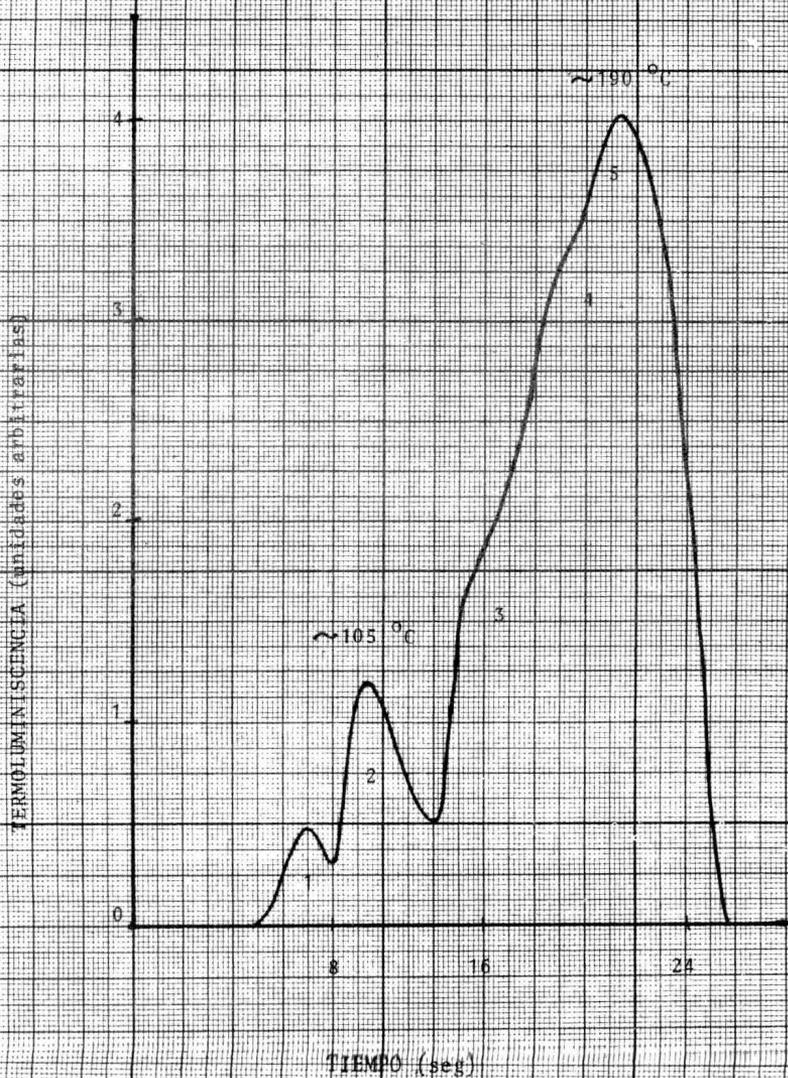


FIG. 3

CURVAS LUMINOSAS DE VARIAS MUESTRAS DE  $CaF_2$  NATURAL

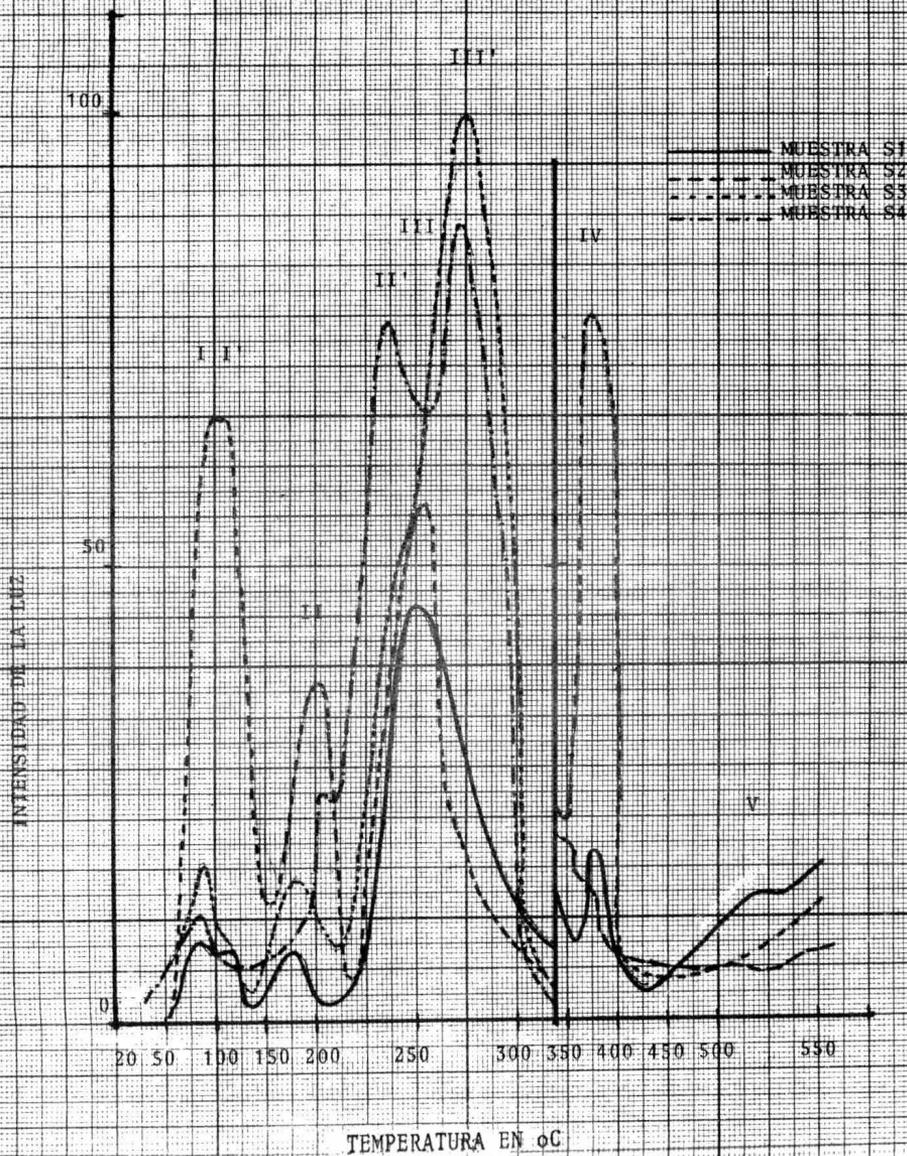


FIG. 4

CURVA TÍPICA DE  $\text{CaF}_2$

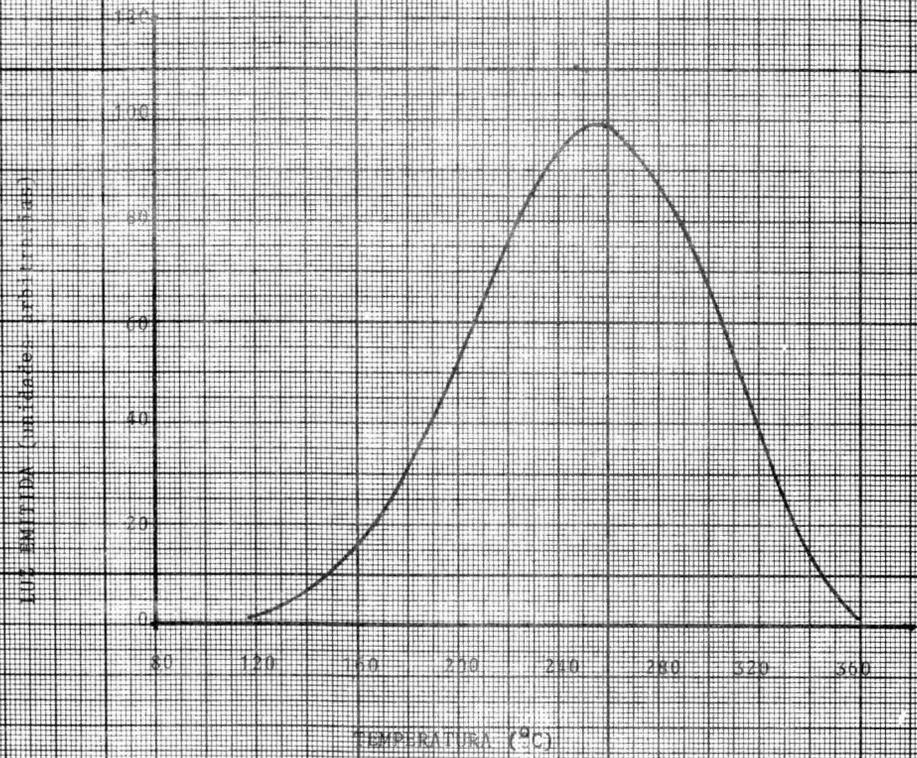


FIG. 5

CURVA DE RESPUESTA DE  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Mn}$  EN LA REGION DE MILIROENTGENS

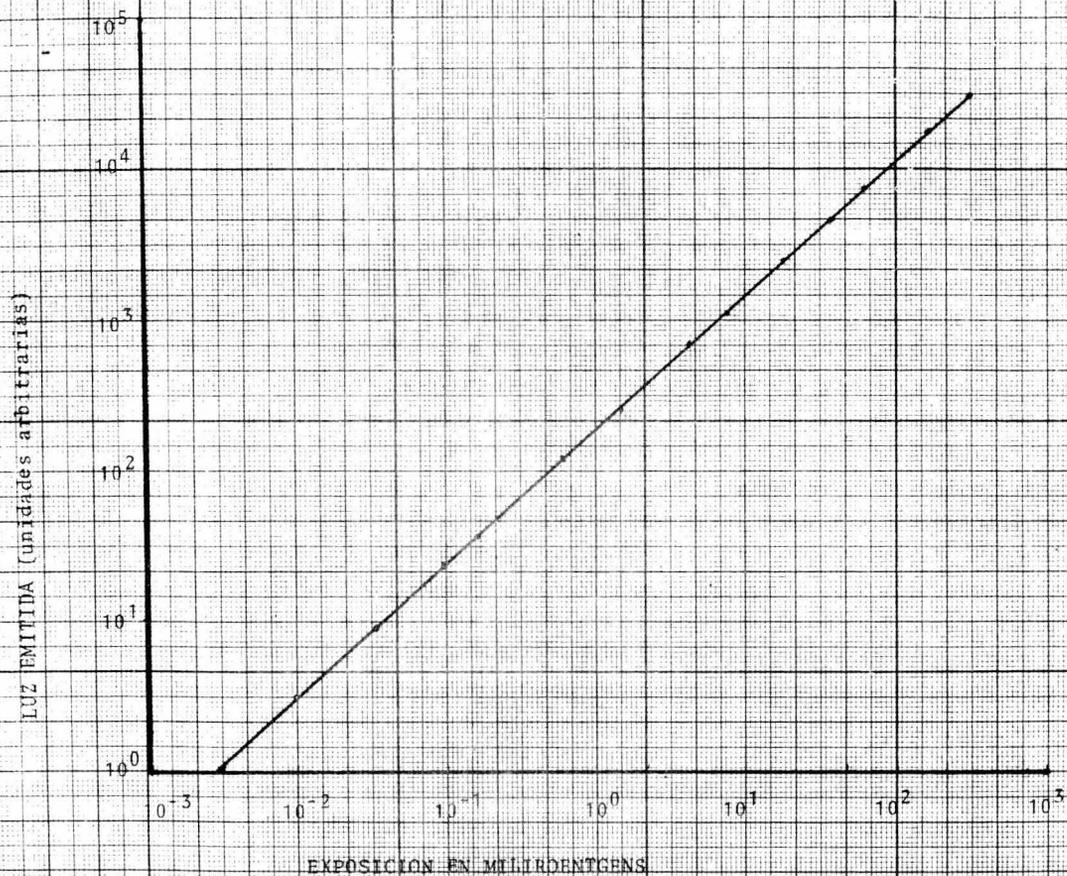
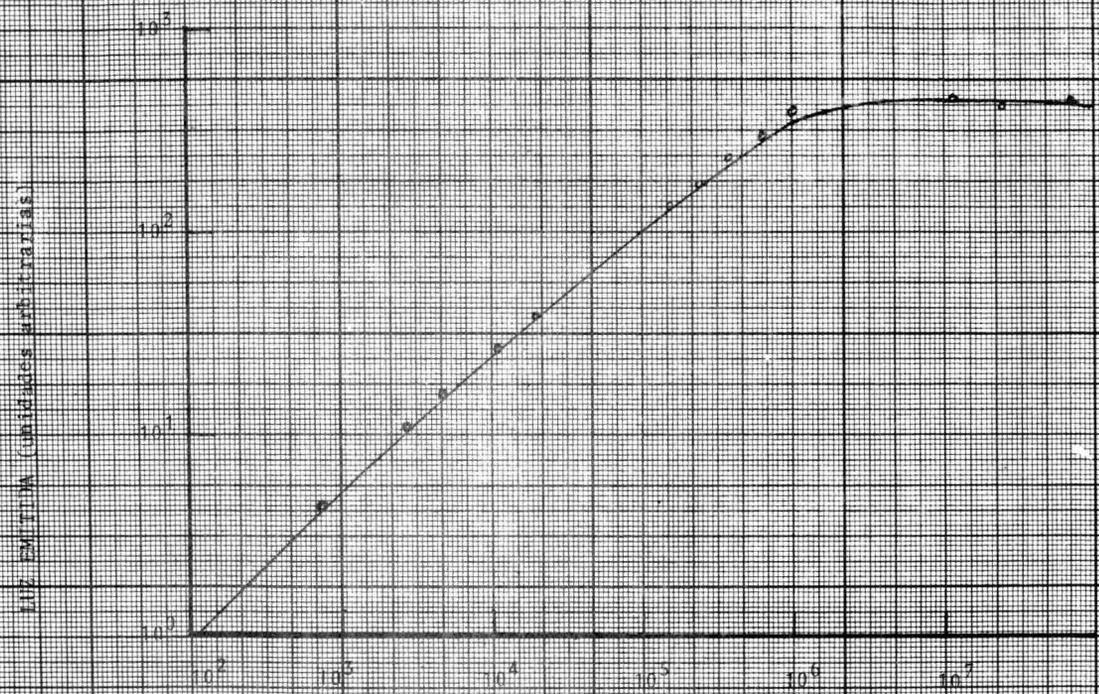


FIG. 6

CURVA DE CALIBRACION DE  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

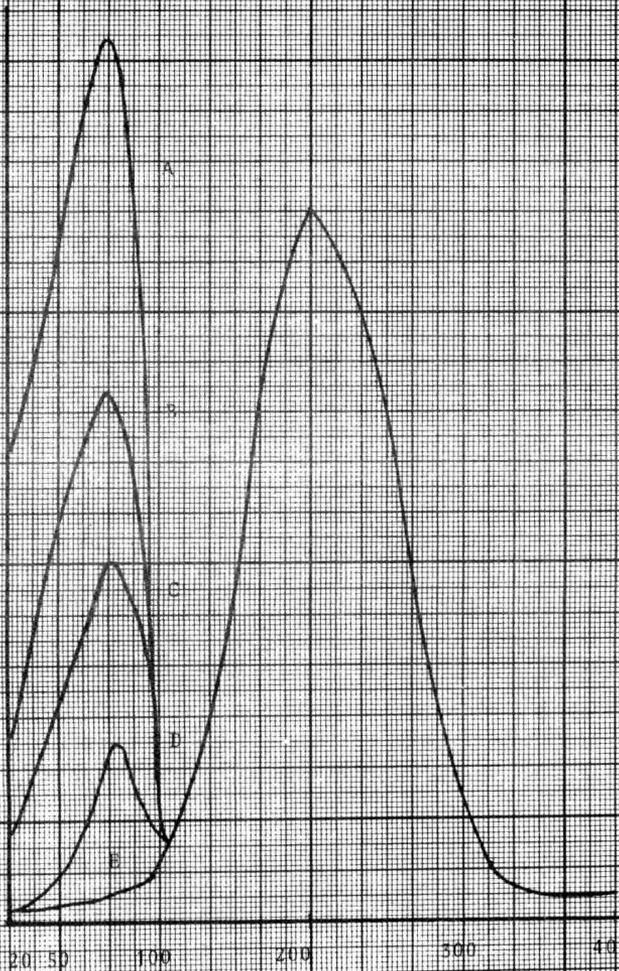


EXPOSICION EN HORAS

FIG. 7

CURVA LUMINOSA DE  $Li_2B_4O_7$  :Mn A DIFERENTES TIEMPOS

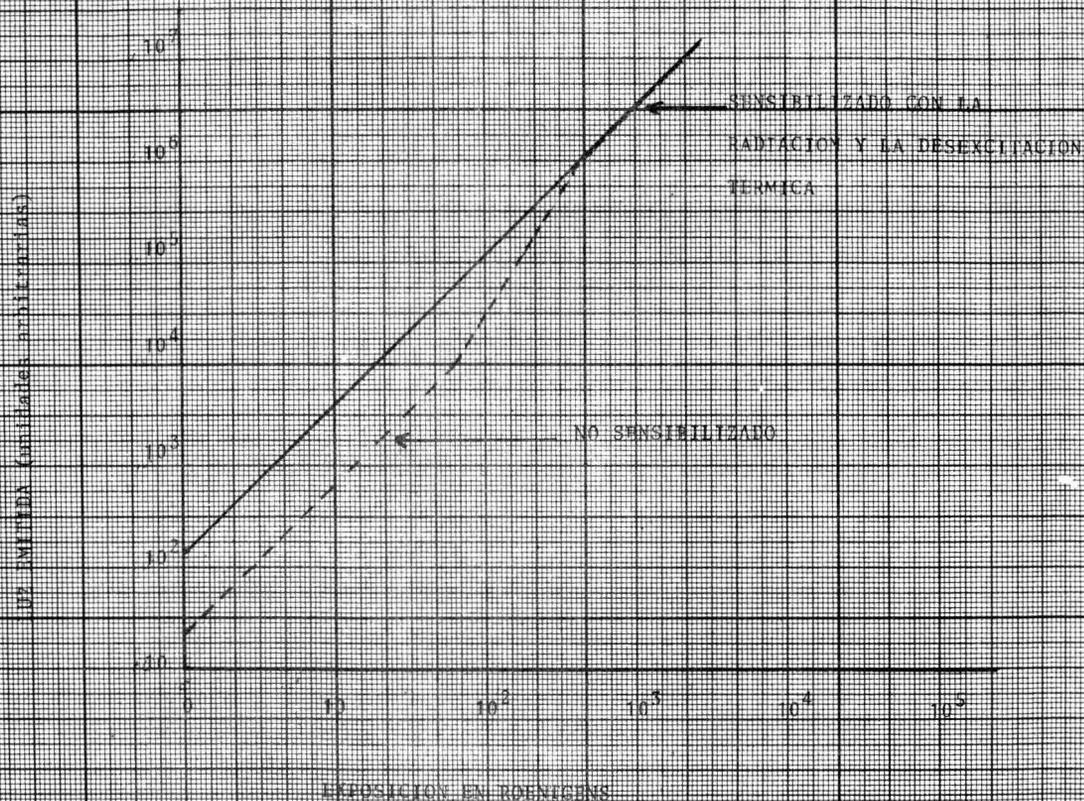
LUF EMITIDA (unidades arbitrarias)



TEMPERATURA IN  $^{\circ}C$

FIG. 8

SENSIBILIZACION DE  $U_2P_2O_7$  EN



EXPOSICION EN ROENTGENS

FIG. 3

RESPUESTA A LA RAZON DE DOSIS DE DIFERENTES DOSIMETROS TL COMPARADOS  
CON EL DE PELICULA

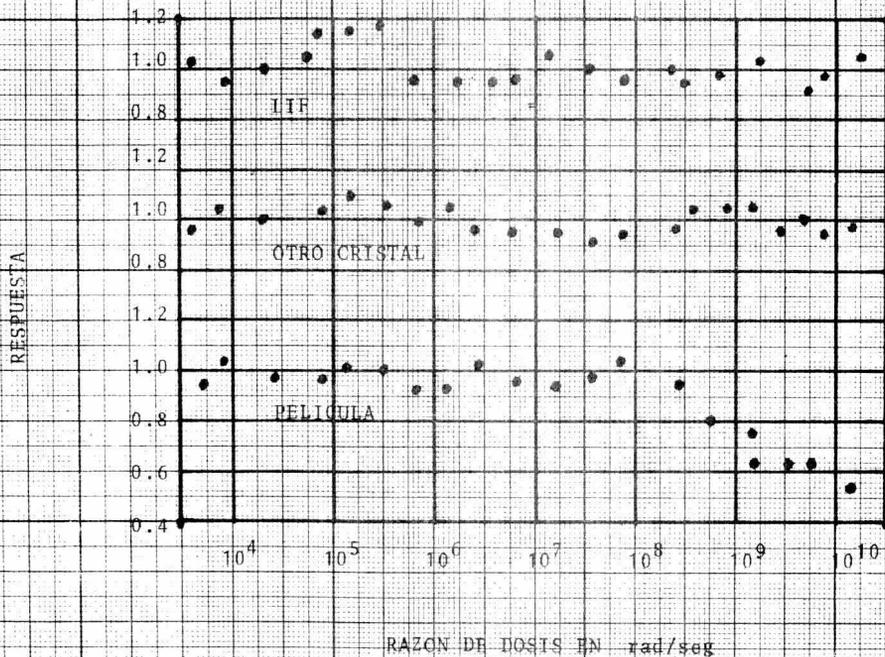
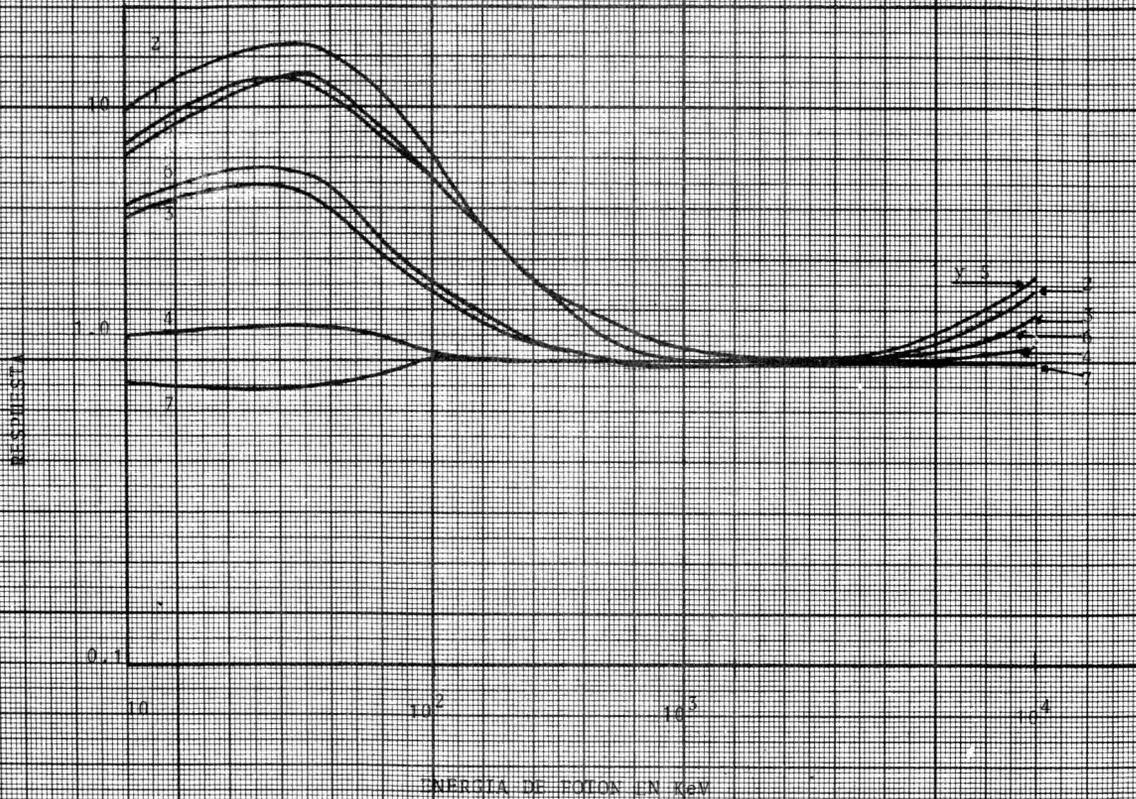


FIG. 10

RESPUESTA DE ALGUNOS DETECTORES A DIFERENTES ENERGÍAS DE RADIACION



ENERGIA DE FOTON EN KeV

FIG. 11

ESPECTRO DE EMISION DE LA TL DE DIFERENTES SUBSTANCIAS

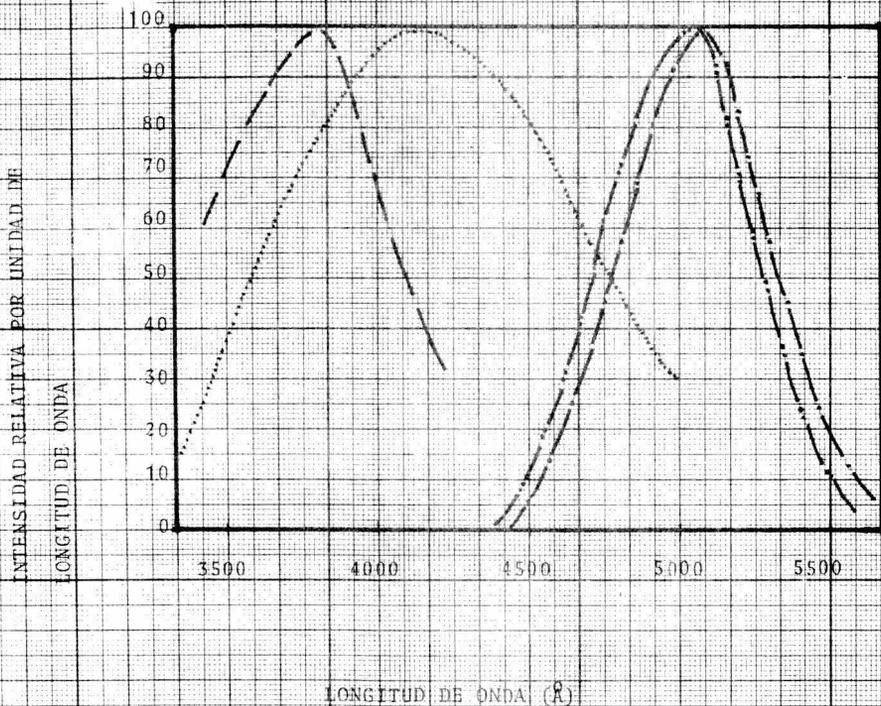


FIG. 12

DEPENDENCIA DE LA ENERGIA DEL LIF Y EL DOSIMETRO DE PELICULA

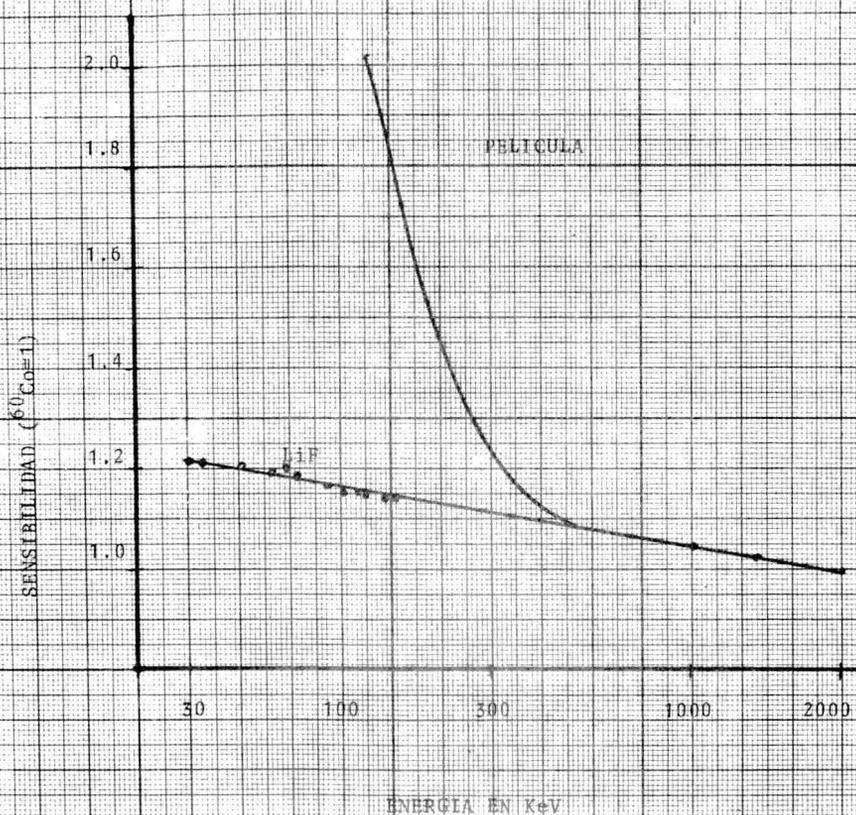


FIG. 13

DECADIMIENTO DE LA TL DE  $\text{CaF}_2$  Mn

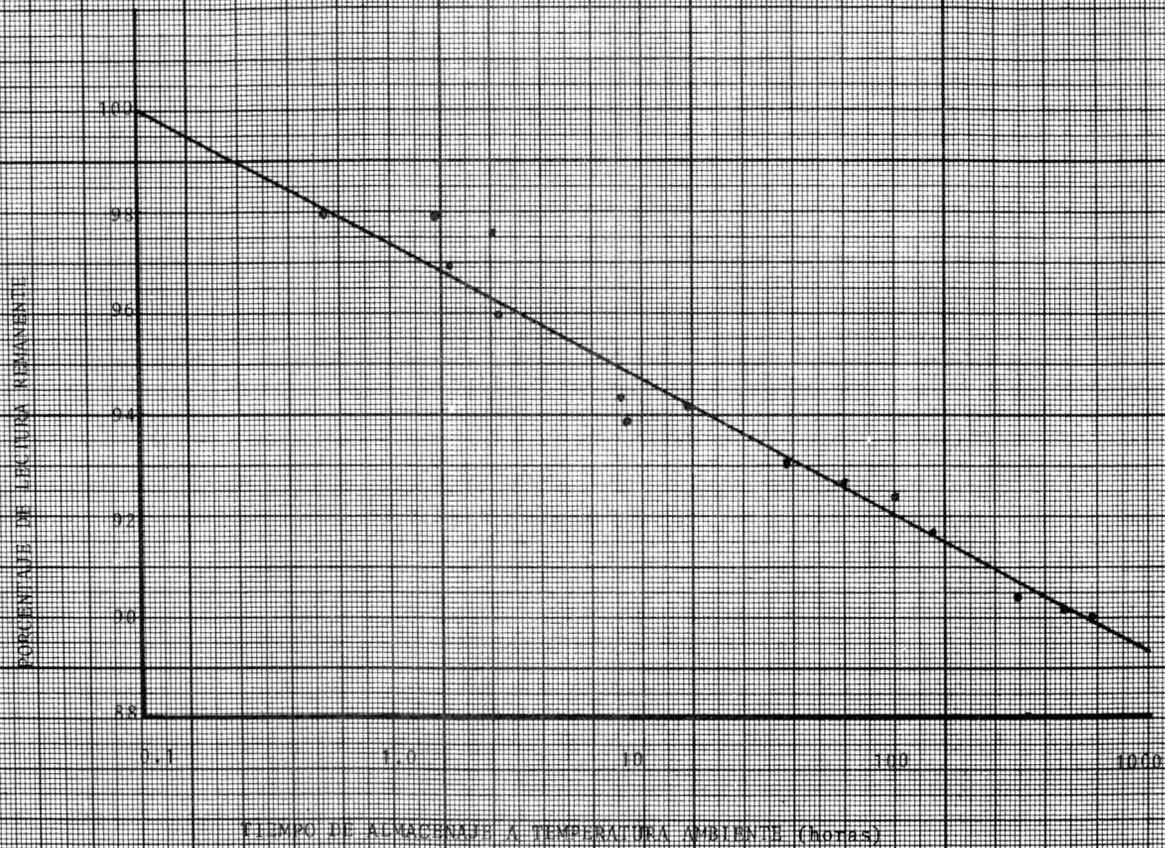


FIG. 14

EXCITACION A 80 °C

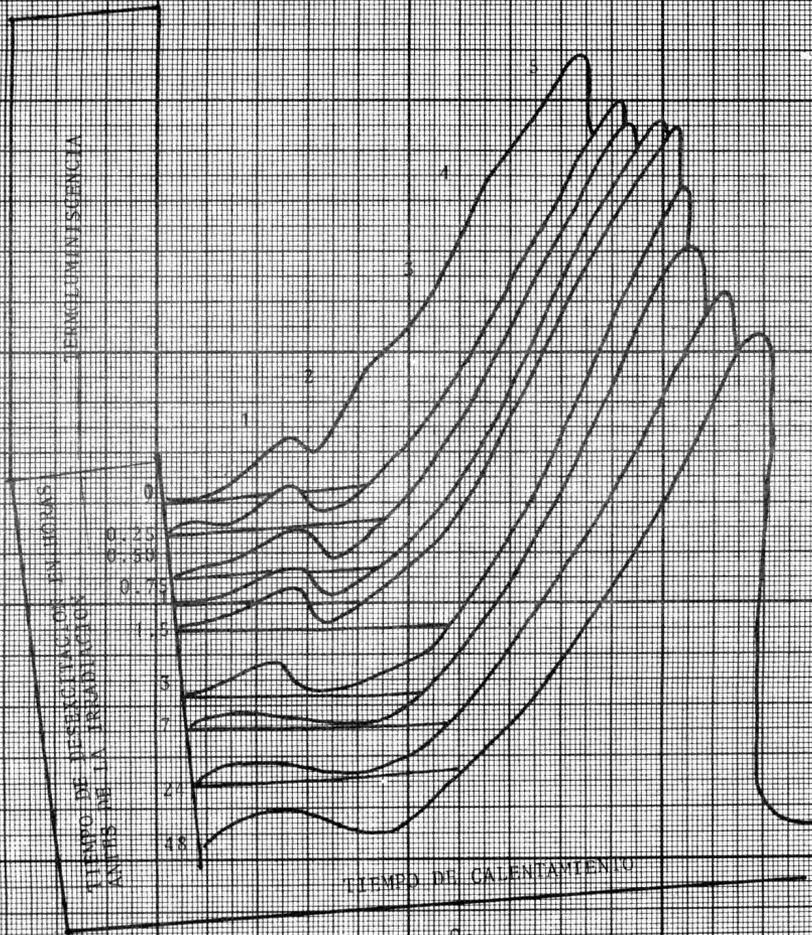


FIG. 15

DESEXCITACION A 125°C

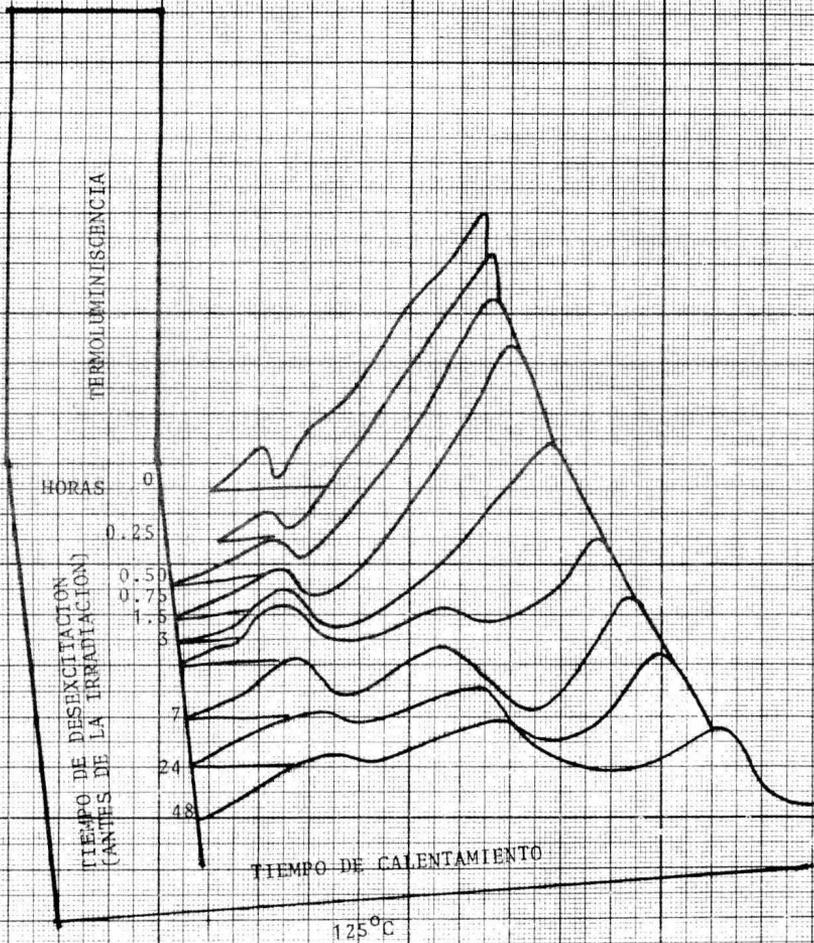
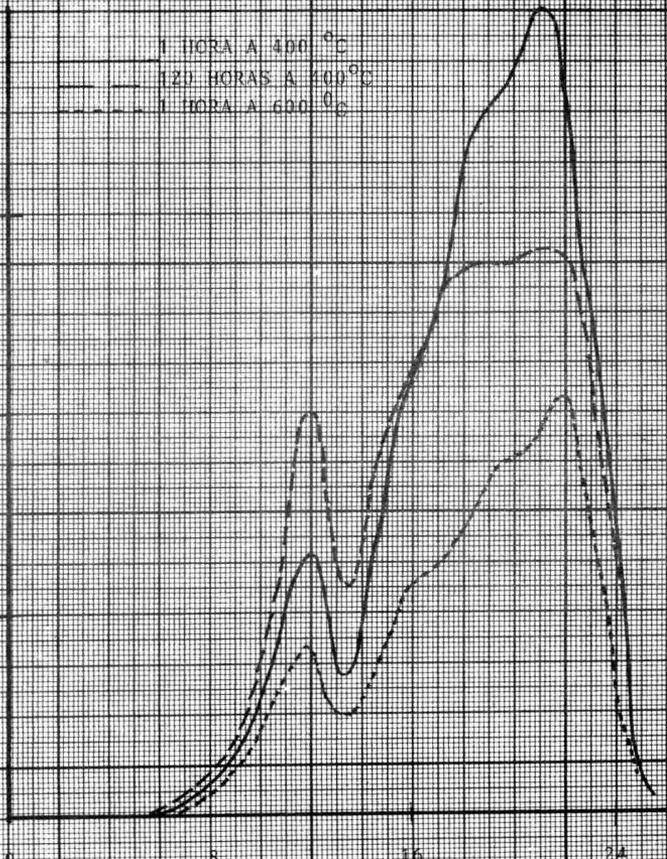


FIG 16

DESEXCITACION A 400 °C

INTENSIDAD (en unidades arbitrarias)



TIEMPO EN SEGUNDOS

FIG. 17

INFLUENCIA DE LA RAZON DE ENFRIAMIENTO EN LA CURVA LUMINOSA

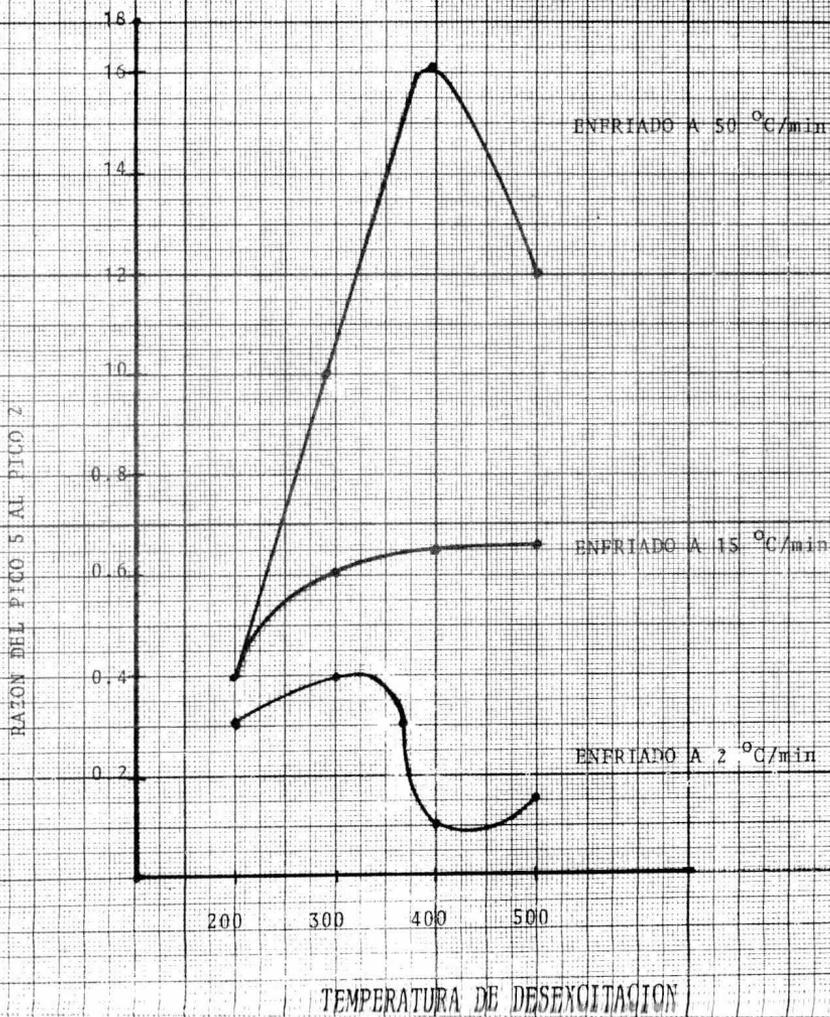


FIG. 18