

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**INFLUENCIA DE LA RADIACION GAMMA Y LA
TEMPERATURA SOBRE EL EFECTO QUIMICO
PRODUCIDO POR LA TRANSICION ISOMERICA
EN EL ACIDO TELURICO**

326

MANUEL MURIEL GARCIA

INGENIERO QUIMICO

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.

Tesis
ABR 1976
FECHA
PASC 1
316



JURADO:

PRESIDENTE ; MANUEL NAVARRETE TEJERO
VOCAL ; JUAN LARTIGUE GORDILLO
SECRETARIO ; CIELITA ARCHUNDIA DE LA ROSA
1er. SUPLENTE ; GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA
2do. SUPLENTE ; RAQUEL HERRERA DE HAZAS

Sitio donde se desarrolló el tema: Centro de Estudios -
Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México y -
Centro Nuclear de México.

Sustentante: Manuel Muriel García

Asesor: Cielita Archundia de la Rosa

El presente trabajo fué posible gracias a la ayuda económica del Instituto Nacional de Energía Nuclear y del Centro de Estudios Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México, y fue realizado en las instalaciones de dichas instituciones. La impresión de esta tesis fue subsidiada por el Instituto Nacional de Energía Nuclear.

Agradezco a la M.C. Silvia Bulbulian Jefe del Departamento de Química Nuclear del INEN, la ayuda y facilidades prestadas para la elaboración del presente trabajo.

Doy las gracias a todo el personal técnico del Laboratorio de Química Nuclear del INEN, al Ing. Fernando Iturbe, y así mismo al personal del CEN que de una manera u otra prestaron su colaboración.

Mi más sincero agradecimiento para la M.C. Cielita Archundia, Directora de esta tesis, por su valiosa ayuda y apoyo.

Con cariño para mi tía Socorro Muriel y mi padre José Muriel, quienes a través de los años han hecho posible que alcance a la presente situación.

A la memoria de la Sra. Mercedes Chavez de Muriel.

INTRODUCCION

I GENERALIDADES

1. Efectos químicos de las transformaciones nucleares (pag. 2)
2. Reacciones de reformation (pag.13)
3. Reparación de daños causados por las transformaciones nucleares (pag.18)

II TRANSICION ISOMERICA DE LOS RADIOISOTOPOS 121m, 127m, y 129m DEL TELURIO Y EFECTO QUIMICO ASOCIADO.

1. Propiedades del telurio (pag.29)
2. Transición isomérica del Te-121m, Te-127m, y Te-129m en ácido telúrico cristalino y efecto químico asociado (pag.34)
3. Recocido térmico y por irradiación gamma simultáneos de los fragmentos formados por la transición isomérica (pag.37)

III EXPERIMENTACION

1. Fundamentos (pag.38)
2. Materiales y equipo (pag. 44)
3. Experimentos (pag. 48)

IV RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1. Resultados (pág. 51)
2. Conclusiones (pág. 55)

INTRODUCCION

Las transformaciones nucleares se acompañan de "retrocesos"* de los núcleos residuales, que junto con el cambio en las propiedades nucleares y la emisión o absorción de partículas o fotones, pueden dar lugar a una perturbación del sistema electrónico del átomo. En esta forma se producen modificaciones químicas en la molécula en que se encuentra el átomo transformado. Este fenómeno fué notado por primera vez por L. Szilard y T. A. Chalmers en 1934⁽¹⁾, cuando al irradiar con neutrones térmicos el yoduro de etilo, la mayoría del yodo radiactivo I-128, formado por la reacción (n, γ) podía ser extraído del yoduro de etilo con agua, usando una pequeña cantidad de yodo como portador, reducido a Yodo - 1 y precipitado como yoduro de plata.

Efectos semejantes a los observados por L. Szilard y T. A. Chalmers acompañan a la emisión de una partícula o de un fotón en el transcurso de otras transformaciones nucleares, tales como la transición isomérica, las reacciones (n,p) , las desintegraciones por emisión beta, la fisión, etc.

La aplicación de este tipo de procesos ha sido usado para preparar radioisótopos de alta actividad específica, la separación de isómeros nucleares, y la fabricación de dosímetros de radiación.

El objetivo de este trabajo es hacer una medición experi

* La palabra "retrocesos" o "recule" se usa como el equivalente a la palabra "recoil" del idioma Inglés.

mental del efecto que tiene la temperatura controlada y dosis gamma conocidas sobre el cambio químico en la transición isomérica del isótopo 127m , en forma de ácido telurico cristalino.

I GENERALIDADES

En este capítulo se tratan en forma cualitativa los diferentes procesos nucleares que pueden causar una ruptura de un enlace químico, la información referente a este tema fué tomada en su mayor parte de lo expuesto por A. G. Maddock y R. Wolfgang⁽²⁾. En seguida se presentan varias teorías para explicar la reparación de daños causados por las transformaciones nucleares, las cuales fueron tomadas de lo publicado por G. Harbottle y N. Sutin⁽³⁾.

1. Efectos químicos de las transformaciones nucleares

Las transformaciones nucleares pueden tener efectos químicos que no son sólo muy marcados sino también de características variadas. La energía liberada en las transformaciones nucleares se manifiesta en la energía cinética de la partícula formada, en radiación electromagnética, en ionización, y en excitación electrónica entre otras. La mayor parte de esta energía es disipada en los alrededores del medio produciendo cambios radiolíticos normales, además el ion o átomo que tienen incorporado el núcleo transformado es en sí una entidad altamente reactiva capaz de reaccionar interesante y novedosamente.

Por lo tanto, el interés primordial de este campo de estudio son estos efectos que determinan las propiedades finales del átomo sometido a la transformación.

Areas de desarrollo

Se pueden distinguir tres áreas diferentes en el estudio de los efectos químicos de las transformaciones nucleares:

1.- Reacciones de especies altamente excitadas. El retroceso que sigue a algunas transformaciones nucleares produce especies nucleogénicas en un estado de alta energía traslacional o interna lo cual sería difícil obtener por otros medios. El estudio del comportamiento de tales especies puede facilitar el entendimiento de ciertos mecanismos elementales de reacción, como es el caso de las reacciones químicas "calientes" que se presentan por encima del umbral de las reacciones térmicas normales.

2.- Reacciones atómicas. Por medio de los procesos nucleares se pueden producir entidades de alta reactividad intrínseca, las cuales no se pueden producir fácilmente por métodos químicos convencionales, y que pueden utilizarse para preparar cierto tipo de moléculas marcadas.

3.- Reacciones en sólidos. Las transformaciones nucleares se pueden emplear para producir cambios químicos en sólidos que representan una categoría especial de daños por radiación. Así se pueden introducir en la red cristalina toda clase de defectos, además de la ruptura y formación de enlaces. De hecho se pueden producir sólidos que son muy comparables a los sistemas que contienen radicales libres congelados. Aunque son muy importantes los factores que determinan estos defectos se ha puesto más atención en el comportamien-

Desde el punto de vista de los efectos químicos no hay una distinción útil entre decaimiento radiactivo y otras transformaciones nucleares. Se examinarán primero los procesos que presentan un cambio en Z junto con un retroceso mecánico considerable.

1.- Emisión y/o absorción de partículas cargadas, con retroceso considerable.

Los eventos nucleares iniciados por partículas pesadas cargadas o que las emiten, producen invariablemente un retroceso mecánico considerable, entre tales procesos se puede mencionar la emisión o decaimiento alfa.

El retroceso mecánico invariablemente es muy grande mayor de 1000 eV, comparado con los enlaces químicos, 1 a 5 eV, por lo tanto los átomos transformados deben ser expulsados de la molécula a la cual están ligados.

En el caso del decaimiento alfa el producto inmediato tendrá una carga de -2 , sin embargo varios procesos secundarios pueden causar también pérdidas de electrones:

a) la afinidad electrónica del átomo transformado no puede mantener una carga de -2 ó aún de -1 .

b) el cambio repentino del número atómico puede deslocar a los electrones orbitales. La velocidad de las partículas alfa que salen del núcleo es pequeña comparada con la de los electrones orbitales K y L del átomo que se desintegra, siendo la emisión adiabática en lo que se refiere a estos electrones, por lo tanto no hay excitación o ionización. No ocu-

rre lo mismo con los electrones externos, para los cuales la excitación es por "perturbación"*, efecto que es más probable en un decaimiento alfa debido a la gran carga de las partículas que en el decaimiento beta.

c) El movimiento de carga durante la emisión produce un disturbio electrostático, lo cual provoca ocasionalmente una emisión de electrones. La probabilidad de tales eventos, llamados "ionización por golpeo"** es solamente de 10^{-4} por partícula alfa.

Por lo tanto el decaimiento alfa provoca invariablemente una ruptura, adquiriendo los fragmentos una energía cinética considerable pero neutros o con una pequeña carga positiva o negativa. Otras reacciones que pertenezcan a esta categoría deben dar resultados similares.

2.- Emisión y/o absorción de partículas cargadas sin retroceso considerable.

Las reacciones nucleares más comunes con cambio en Z , pero con recule relativamente pequeño, son el decaimiento beta y la captura de electrones orbitales. Los efectos producidos por estos procesos son lo suficientemente diferentes para que sean tratados por separado.

a) Decaimiento beta. El efecto inmediato del decaimiento beta es producir un átomo con carga de +1, pero existen otros procesos que pueden producir una ionización extra.

* La palabra perturbación se usa como el equivalente a la palabra "shake-off" del idioma Inglés.

** El término "ionización por golpeo" se usa como el equivalente a "Knock-on ionization" del idioma Inglés.

El electrón que sale del núcleo generalmente tiene una velocidad mucho más alta que los electrones K o L del átomo que se desintegra, tal que el proceso de decaimiento se lleva a cabo en una forma no adiabática. Bajo estas circunstancias se dispone de una cantidad de energía para la excitación del átomo hijo igual a la diferencia de energías entre el decaimiento adiabático y no adiabático.

Aunque el retroceso asociado al decaimiento beta es mucho menor que en el caso de las partículas cargadas, puede ser importante particularmente para algunos átomos ligeros. El retroceso de la partícula beta está dado por:

$$E_r = 536E_\beta(E_\beta + 1.02)/M \quad (1)$$

donde E_r es la energía de retroceso en electrónvolts, E_β es la energía del rayo beta en millones de electrón-volts y M la masa del átomo que decae en unidades de masa. Si el rayo beta emitido tiene una energía menor que la energía máxima, habrá un retroceso debido al neutrino, esta cantidad es:

$$E'_r = 536 E_\nu^2/M \quad (2)$$

donde E_ν es la energía del neutrino, este término será relativamente pequeño.

El retroceso máximo para H-3 es de 3.6 eV, para He-6 es de 1.418 MeV, y para una masa de 100 y una beta máxima de 0.5

MeV habrá un retroceso no mayor de 4 eV, como éste es valor máximo obtenible y no toda la energía está disponible para la ruptura del enlace, se puede concluir que una gran parte de las moléculas que sufren el decaimiento beta sobrevivirán al retroceso sin ruptura de los enlaces.

b) Captura de un electrón orbital. El proceso de rearrglo que sigue a una captura electrónica puede ser bastante extenso. El espacio vacío dejado por el electrón capturado es llenado en la mayoría de los casos por un electrón de una capa superior. Si un electrón de la capa L cae a la capa K, la diferencia de energías de ligadura entre la capa K y L puede ser emitida como un rayo X característico o puede ser usada en un proceso fotoeléctrico interno, en el cual es emitido un electrón extranuclear adicional de la capa K, L u otra, con una energía cinética igual a la energía del rayo X característico menos la energía de ligadura del propio electrón, tales electrones son llamados electrones Auger. El proceso total de reajuste en un átomo de número atómico elevado puede consistir de varias emisiones de rayos X y/o electrones Auger (el efecto Auger es algunas veces llamado autoionización). El producto inmediato de una captura electrónica debe ser neutro aunque altamente excitado ya que existe un espacio vacío en la capa K o L. El cambio en Z debe dar lugar a una perturbación en la capa electrónica, pero este efecto no será de importancia comparado con la ionización resultante de la cascada Auger. Por lo tanto en un conjunto de átomos -

el resultado será una distribución de especies con carga más o menos alta, ésto es semejante a lo que sucede después de la transición isomérica.

En moléculas, esta ionización estará distribuida entre los átomos constituyentes produciendo, por lo tanto, una fragmentación por repulsión electrostática y esta descomposición más o menos explosiva producirá una variedad de fragmentos cargados positivamente. A menos que la emisión de rayos X compita apreciablemente con la cascada Auger, prácticamente todas las moléculas serán fragmentadas debido a la captura electrónica de uno de sus átomos.

Hay también un pequeño retroceso después de la captura electrónica debido a la emisión de un neutrino, ec. (2). Aunque tales retrocesos son lo suficientemente grandes para producir un cambio químico, la situación es dominada por el efecto Auger.

B - Procesos sin cambio en Z

Desde el punto de vista químico las transformaciones sin cambio en Z son más interesantes, debido a que el producto tiene la posibilidad de formar un compuesto similar al reactante.

1.- Procesos con retroceso nuclear considerable.

Los procesos $(n, 2n)$ y (γ, n) pertenecen a esta categoría. En cualquier caso la energía de retroceso es mucho mayor que la energía de enlace y debe producir la ruptura de

éste. Si el átomo en retroceso tiene suficiente energía cinética, puede ionizarse al colisionar con el medio y aunque esto ocurra, colisiones posteriores harán que en la mayor parte del medio, como sucede en gases, líquidos y sólidos moleculares, la carga se neutralice antes que la energía se degrade a un valor de magnitudes químicas. Sin embargo, en los metales y posiblemente en algunas sales, la especie en retroceso llegará al reposo como ion. Desde este punto de vista los átomos que son producto de las transformaciones nucleares son " átomos calientes ". Esta denominación de átomos calientes se debe a que la temperatura correspondiente a su energía cinética es de varios miles de grados. La temperatura correspondiente a 1 eV es 1.16049×10^4 grados Kelvin.

2.- Conversión interna.

Hay dos transformaciones nucleares comunes que producen un retroceso muy pequeño: la transición isomérica y la captura de los neutrones térmicos. Se aplica el mismo mecanismo de ruptura molecular en ambos casos, pero su importancia relativa es diferente.

Transición Isomérica. En este tipo de decaimiento compiten dos mecanismos: la pérdida de la energía de excitación del isómero nuclear por emisión de un fotón y la conversión interna de uno o más fotones con emisión de un electrón con producción de un hueco en las capas K, L, o posiblemente M.

El retroceso que sigue a la emisión del electrón está dado por la ecuación (1) y el que sigue a la emisión de un

fotón está dado por la ecuación (2). Así, para un átomo de masa 100 y un fotón de 0.5 MeV habrá un retroceso de aproximadamente 1 eV. Como la energía de excitación de los isómeros nucleares de vida media larga es del orden o menor que 0.5 MeV, el retroceso generalmente no causa una ruptura del enlace.

La proporción de decaimientos que producen conversión interna está indicada por el coeficiente de conversión interna, que es la relación del número de electrones expulsados entre el número de fotones emitidos. Para este tipo de eventos el espacio vacío en las capas internas da lugar a una cascada Auger, la cual como se mencionó antes es muy efectiva en producir fragmentación molecular por repulsión electrostática de las especies cargadas. En muchos casos de transición isomérica el espectro del fotón es muy simple y tanto las energías como los coeficientes de conversión interna son conocidos, de tal manera que se puede hacer una estimación precisa de la proporción de eventos que causan la ruptura del enlace. Como el retroceso del fotón y del electrón son muy pequeños, la proporción de moléculas desintegradas debe ser igual al número de eventos que producen la conversión interna.

3.- Captura de neutrones térmicos.

La captura de neutrones térmicos en si no causa cambios apreciables en la molécula en que se encuentra el átomo que captura. La ruptura de la molécula debe atribuirse entonces a la cascada de fotones gamma que se desprende del núcleo de

bido al estado excitado en que queda éste. Los mecanismos de ruptura son esencialmente los mismos que para la transición isomérica, sólo que el espectro gamma es generalmente de mayor energía y más complicado.

La energía total disipada está comprendida normalmente entre 5 y 8 MeV, cada fotón produce un retroceso determinado por la ecuación (2). Como existen varios estados excitados entre el estado de nivel energético más alto y el estado base, la pérdida de energía de excitación se lleva a cabo en varios pasos. Si estos estados tienen vidas medias del orden de 10^{-14} segundos o menores, como sucede en la mayoría de los casos, cuando existan retrocesos sucesivos sucederán en un tiempo menor al periodo de vibración del enlace de la molécula, 10^{-13} s, produciéndose la cancelación de los momentos de los retrocesos individuales y es conveniente considerar la resultante de la suma vectorial de los retrocesos individuales. Por lo general, la energía del retroceso resultante es mayor que la correspondiente a los enlaces más energéticos. Por otro lado, si los intervalos entre retrocesos son mayores que el periodo de vibración de la molécula, cada retroceso por separado será efectivo. De hecho los estados nucleares excitados que emiten fotones suficientemente energéticos para producir un retroceso considerable, mayor de 0.5 MeV, tienen una vida media lo bastante pequeña para que se considere válida la adición de vectores.

2.- Reacciones de reformación.

Efectos en fase condensada. Sólidos.

En el estado sólido se presentan algunos fenómenos que no se presentan en gases y líquidos, así los últimos 100 ó - 200 eV de la energía de retroceso que en el caso de la reacción (n, γ) es toda la energía, se depositan en una pequeña región de la red cristalina, produciéndose fragmentos de moléculas. La temperatura de este pequeño volumen se considera mayor que 1000 °K, obviamente superior a la temperatura de fusión del sólido, de este modo se llevan al cabo reacciones en la zona fundida antes que se solidifique.

Una reacción completa se efectúa en 10^{-10} segundos aproximadamente y la solidificación se realiza posiblemente en 10^{-11} segundos. Por lo tanto después de la irradiación, el sólido contiene un gran número de zonas afectadas aisladas, cada una de las cuales puede contener entidades de reacciones congeladas, átomos o radicales libres. Es esta situación la que evita que los átomos radiactivos participen en más reacciones.

Retención. Al analizar una sustancia irradiada con neutrones o que ha sufrido una transformación nuclear que puede causar la fragmentación de la molécula o compuesto original, se encuentra sólo una proporción de los átomos radiactivos en la forma de la molécula original. Aparentemente la ruptura molecular es seguida por reacciones que reforman una proporción del compuesto original. Al porcentaje de átomos radiactivos que aparecen en la forma química original después

de la transformación nuclear se le llama "retención". Las reacciones que generalmente producen ya sea directamente o indirectamente la reincorporación del átomo radiactivo en una molécula del material original, se llaman reacciones de reformación.

Se han elaborado algunas teorías para explicar las reacciones de reformación, a continuación se exponen brevemente algunas de ellas ⁽³⁾:

Modelo de la colisión elástica o de la bola de billar.- El átomo en retroceso pierde su energía principalmente por colisiones similares a las de una bola de billar, con los átomos de las moléculas que lo rodean. Si en una colisión a un átomo se le transfiere suficiente energía, la molécula que contiene a este átomo se disociará en radicales libres. Si el átomo en retroceso después de la colisión tiene una energía cinética menor que una cantidad crítica, quedará atrapado en una "jaula de reacción" y reaccionará con un radical libre atrapado en la misma jaula, si no es así, el átomo escapará de la jaula. Se considera que en tales procesos la forma química obtenida por el átomo radiactivo no se separa nuevamente. Este modelo puede explicar cualitativamente la retención como la presencia del compuesto padre en los haluros de alquilo, pero no puede explicar la presencia de grandes cantidades de productos radiactivos resultantes de la sustitución de hidrógenos y de la ruptura de enlaces carbono-carbono.

Modelo de la colisión elástica-inelástica.- Este modelo es una modificación de la teoría de la colisión elástica propuesta por Libby. También aquí la retención se explica como el reemplazo de un átomo inactivo por el átomo en retroceso en una colisión elástica, como se describió antes, esto ocurre cuando el átomo en recule todavía se mueve con una energía cinética de aproximadamente 100 eV. Pero ahora Libby propone que en una región de energía menor, el átomo en retroceso puede chocar inelásticamente con una molécula como un todo y provocar diferentes rupturas de enlace. Tales procesos suponen la formación de diferentes productos por sustitución y síntesis, los cuales probablemente ocurren en una región de energía de 10 eV, designándoseles "reacciones epitérmicas". Este modelo no explica la distribución que resulta de reacciones en algunos medios líquidos.

Modelo de la reacción epitérmica. Este modelo propone que todos los átomos en retroceso forman un complejo excitado intermedio con el medio diluyente y que este complejo se descompone posteriormente de diferentes modos produciendo varios productos. En este enfoque la distribución de productos está basada en la competencia entre reacciones químicas en la región epitérmica y por consiguiente el concepto de colisión elástica entre átomos puede descartarse.

Modelo de la fragmentación caótica o al azar.- En este modelo se señala que las moléculas en fase condensada no están aisladas, no justificándose las colisiones elásticas entre átomos. Por lo tanto se propone que el átomo en retroceso -

pierde su energía por colisiones inelásticas con las moléculas que lo rodean, rompiendo enlaces de un modo indiscriminado. Cuando su energía ha sido reducida a un valor menor que la energía necesaria para romper el enlace, se puede combinar ya sea con radicales en su vecindad inmediata, o con radicales que se encuentre durante su difusión en el medio.

Modelo de la zona caliente. Basado en los conceptos de daños por radiación en sólidos, Harbottle y Sutin proponen el modelo de la zona caliente. La parte más importante de este modelo es que la energía del átomo en retroceso es disipada en producir átomos desplazados y calentar una pequeña región del cristal. Esta zona caliente puede comprender cerca de 1000 átomos los cuales permanecen por encima de la temperatura de fusión del cristal por un tiempo aproximado de 10^{-11} segundos; durante este tiempo las reacciones químicas tienen una oportunidad razonable para que ocurran. Tales reacciones probablemente no tienen el tiempo suficiente para completarse y son detenidas por el enfriamiento de la zona caliente. Un subsecuente calentamiento o recocido de los cristales puede dar a esas reacciones una oportunidad para completarse, a estos efectos generalmente se les llama reacciones de recocido térmico. El concepto de reacciones químicas durante la permanencia de la zona caliente es similar al concepto de reacción epitérmica.

Es necesario indicar que, como señala Stöcklin⁽⁴⁾, los diversos modelos teóricos propuestos para interpretar tanto

la formación de los diferentes productos de reacción como la retención, son muy útiles como hipótesis de trabajo, así como para comprender los fenómenos que se presentan en los compuestos sólidos. Pero los modelos más antiguos ya no permiten la interpretación de los resultados recientemente encontrados en los sólidos minerales, como es el caso del modelo de la bola de billar de Libby.

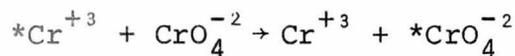
Por otro lado, nuestro conocimiento de las reacciones químicas consecutivas a los procesos nucleares en los sólidos minerales todavía es escaso y si a lo anterior agregamos el hecho de que durante las investigaciones químicas, los sólidos irradiados sufren una perturbación al solubilizarlos, puesto que se destruyen los productos intermedios; ésto significa que el producto radiactivo final no proporciona una indicación precisa sobre la especie de retroceso o recule inicialmente presente en el compuesto sólido.

Por consiguiente, este campo requiere todavía de mayor información experimental que justifique o modifique muchos de los modelos propuestos.

3. Reparación de daños causados por las transformaciones nucleares ⁽³⁾.

Los cambios químicos existentes en los sistemas que contienen radicales libres congelados y/u otras entidades reactivas, pueden generalmente ser invertidas parcial o totalmente por un tratamiento adecuado del sólido en el cual ha sucedido una transformación nuclear. Así generalmente la retención se incrementa si el compuesto que ha sufrido la transformación nuclear es sometido antes del análisis a factores tales como calentamiento, irradiación gamma o luz ultravioleta y trituración de los cristales en el caso de los sólidos. Tales procesos que corresponden a la eliminación de defectos y a la reconstitución de una estructura organizada y que reparan el daño químico iniciado por el evento nuclear, se llaman reacciones de "recocido" o de "reparación" †. Gran parte de los sólidos bajo la influencia de una transformación nuclear se les puede tratar de esta forma aún cuando la molécula original sea muy complicada.

Es necesario asegurarse que el proceso es una reacción de reparación y no simplemente una reacción de intercambio en la fase sólida, como en el ejemplo siguiente, donde el elemento con asterisco representa al átomo radiactivo:



† Las palabras recocido y reparación se usan como el equivalente a la palabra "annealing" del idioma Inglés.

Puede parecer a primera vista que tales reacciones de intercambio sean improbables en lo que se refiere a sustancias complejas, sin embargo se ha demostrado que hay intercambios cuando se calienta, pero la temperatura necesaria para ésto es mayor que la requerida para el recocido, por lo tanto las reacciones de intercambio intervienen en sólo una pequeña parte del recocido.*

Recocido térmico.

La cinética del recocido térmico de los fragmentos que se recombinan al ser calentados isotérmicamente sigue un patrón muy parecido en la mayoría de los cristales. Al principio la retención aumenta rápidamente y luego crece lentamente hasta alcanzar una región de cambio muy lento o pseudo meseta, como se indica en la figura 1. También se ha observado que mientras mayor es la temperatura mayor es la retención obtenida.

Las isoterma de recocido no son dependientes de la actividad específica del compuesto, por lo tanto el evento de recocido sólo comprende los fragmentos de un evento de transformación, esto es, reaccionan entidades correlacionadas. Durante el estudio de la cinética del proceso de recocido se encontró la misma curva de comportamiento cuando el proceso

* Interpretaciones recientes⁽⁵⁾ de nuevos datos experimentales tienden a aceptar que las reacciones de recocido son de naturaleza similar a las de intercambio.

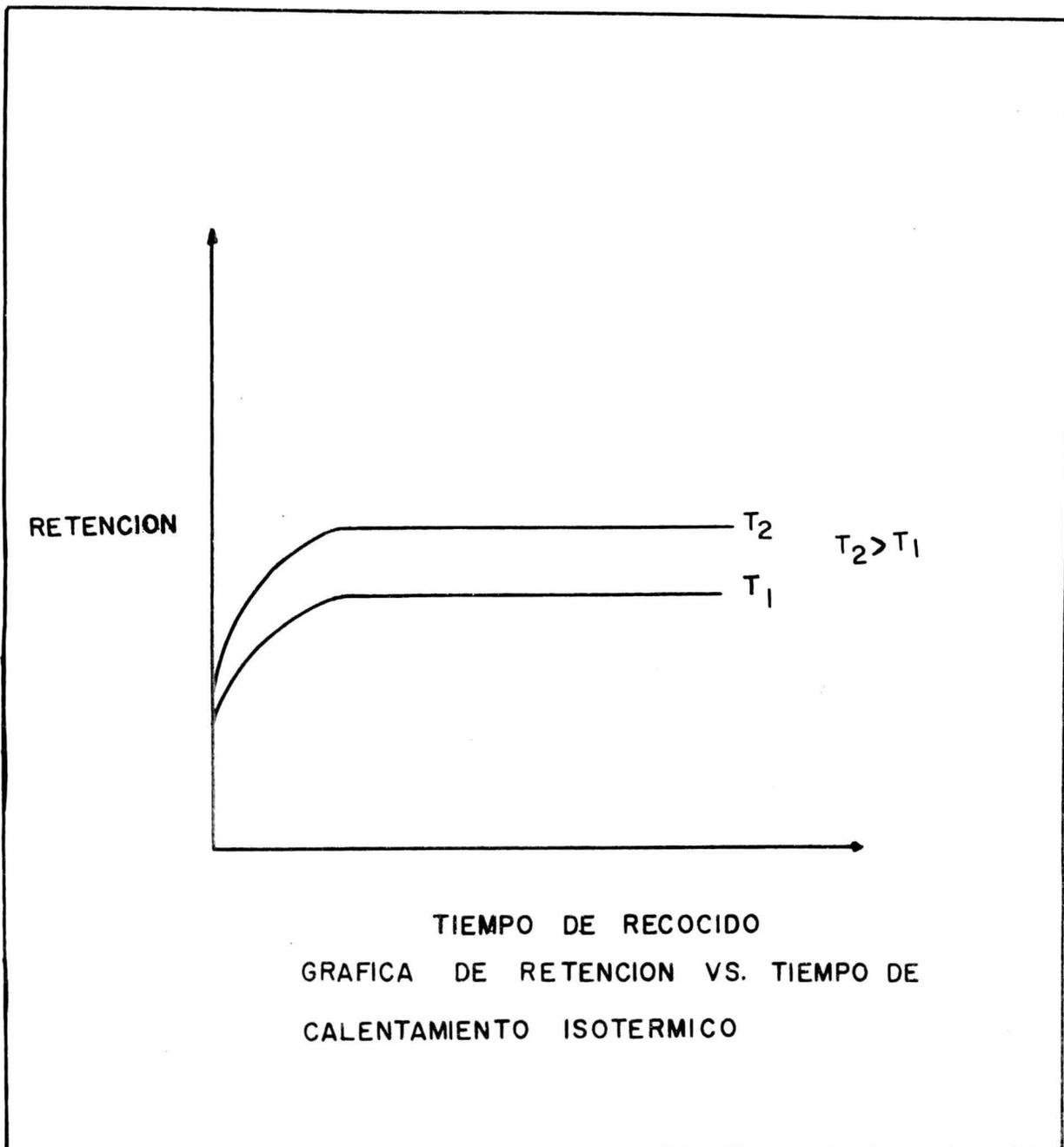


FIG. I

de recocido se repitió después de que el noventa por ciento de la actividad había decaído⁽⁶⁾.

Las curvas de recocido son incompatibles con un proceso único de primero o segundo orden de reacción. Una gráfica de retención contra tiempo muestra que una isotérma individual puede ser resuelta como si se tratara de dos procesos de primer orden, sin embargo si se grafican varias isotermas la intercepción no es la misma para tiempo cero.

Recocido por irradiación.

Se ha observado que los átomos que han sufrido retroceso se recocen cuando se exponen a radiación ionizante de fuentes radiactivas tales como cobalto-60, generadores de rayos X o reactores nucleares, solo que en estos últimos no solo los rayos gamma sino también los neutrones rápidos juegan un papel importante.

A pesar de que el primer caso de retención estudiado fué un ejemplo de recocido por radiación ionizante, no se han hecho estudios muy extensos como en el recocido térmico, pero en la mayoría de los sistemas estudiados se ha encontrado una sensibilidad a la radiación.

Como el recocido por irradiación puede ser debido a un calentamiento local producido durante la disipación de la energía de la radiación en el sólido, se ha puesto más atención en los efectos térmicos relacionados con este proceso. Las primeras experiencias sugieren la existencia de un coefi

ciente de temperatura positiva, pero estudios más detallados han demostrado que un tratamiento térmico previo de la muestra, influencia la cantidad de cambio producido por dosis dada de radiación y que el proceso en sí puede ser separado en una etapa producida por la radiación, probablemente independiente de la temperatura, seguida de una etapa puramente térmica, similar a un recocido térmico normal.

Si el recocido por irradiación es llevado al cabo a la temperatura de nitrógeno líquido y se determina la retención sin permitir que la muestra se caliente, excepto en el momento de disolución para el análisis, el recocido o la reacción de recombinación que ocurre es despreciable. Sin embargo si la misma muestra se calienta a temperaturas altas antes del análisis, el proceso de recocido tiene características cinéticas similares al recocido térmico. Estos resultados sugieren que una parte substancial del proceso se lleva al cabo como "un recocido térmico normal", como consecuencia de los cambios inducidos por la radiación ionizante.

Fotorrecocido.

En algunos de los compuestos, tales como los fosfatos - el recocido también puede ser inducido por irradiación con luz ultravioleta. Este proceso parece que no ocurre de manera tan usual como el recocido térmico y por radiación ionizante, aunque el cambio en la retención con el tiempo de exposición es similar al producido por las radiaciones más energéticas.

El recocido por electrones, partículas pesadas, trituración, y compresión, así como los factores que los afectan, también ha sido estudiado.

Se han elaborado algunas teorías para explicar los posibles mecanismos de las reacciones de regeneración, exponiéndose aquí parte de algunas de ellas.

Mecanismo del recocido térmico.

Una hipótesis atractiva es considerar el proceso de recocido como una recombinación de los fragmentos para regenerar la red cristalina. En el caso de la captura de los neutrones térmicos los fragmentos producidos probablemente no están muy separados, siendo la recombinación la unión de los fragmentos de cada evento de captura individual. Si así se supone se puede esperar un tipo de proceso controlado por la difusión, con una cinética característica de tales procesos. Algunos de esos procesos tienen una dependencia exponencial con el tiempo, pero la gráfica de 100-Retención vs. el logaritmo del tiempo no es lineal.

Otro mecanismo basado en la difusión aplicable en ciertos casos de reparación térmica del daño por radiación, supone que los fragmentos pueden recombinarse después de una trayectoria caótica. Sin embargo por esta teoría no se obtienen las mesetas características obtenidas experimentalmente.

Otro modelo considera el proceso de recocido como una recrystalización de la zona caliente. Se supone que los átomos radiactivos están situados en regiones más o menos esféricas.

ricas, en posición desordenada, la recristalización se lleva al cabo lentamente de afuera hacia adentro de la esfera. Este modelo también falla en lo referente a las mesetas.

Hay otro modelo que postula que la barrera potencial - que evita la recombinación inmediata de pares de fragmentos correlacionados está en función de la atracción entre fragmentos, lo cual depende del recíproco de alguna potencia de la distancia que los separa. Este modelo explica las mesetas pero no se tienen suficientes datos para poder aplicarlo, - por lo tanto este modelo no se ha confirmado ni rechazado.

Un modelo atractivo es el que sugiere que la energía - efectiva de activación para el proceso de recocido decrece - con el número de centros no regenerados, pero también da una relación lineal para Retención constante.

Existe la consideración de una distribución de las energías de activación para el proceso de recombinación. La mayoría de los datos experimentales en el caso de los sólidos - han sido tratados de esta manera.

Mecanismo del recocido por irradiación.

Ni los mecanismos por irradiación ni por fotorrecocido están establecidos claramente. Un mecanismo térmico puro se excluye debido a la evidencia de la separación de la etapa - térmicamente activada de la etapa por irradiación, y también por el descubrimiento de que el recocido térmico, por irradiación o por fotones producen diferentes cambios químicos - cada uno. Una posible explicación del efecto de la radiación es que en los cristales expuestos, la interacción con el -

crystal da lugar a "coeficientes térmicos"*, que ocasionalmente ocurren suficientemente cerca del átomo que retrocedió, dándole la energía de activación necesaria para el recocido. Tal punto de vista implica que el recocido por irradiación es similar al recocido térmico.

Otra posibilidad que considera un uso más eficiente de la energía depositada por la radiación en los cristales es que las vibraciones de la red cristalina debidas a los electrones rápidos producidos por la radiación, viajan a través del cristal hasta que encuentran un defecto. Allí ceden algo de su energía, dándole al átomo afectado suficiente energía para permitirle que sobrepase la barrera de potencial para la recombinación y lograr que finalmente los átomos puedan combinarse con los fragmentos o electrones producidos por la radiación.

Rayos gamma.

Los rayos gamma moderadamente energéticos pierden su energía por interacción con los electrones, a bajas energías la interacción más importante es el efecto fotoeléctrico, mientras que a energías del orden de 1 MeV, domina el efecto Compton. La energía máxima que un electrón Compton de energía E puede transferir a un átomo de masa M es:

* El concepto "coeficiente térmico" se toma como el equivalente al concepto "thermal spike" en el idioma Inglés, queriendo significar la existencia de una alza de temperatura en un punto.

$$E_{\text{max}} = \frac{2E(E + 2mc^2)}{Mc^2} \quad (3)$$

donde m es la masa del electrón y c la velocidad de la luz. Como la energía necesaria para desplazar un átomo es $E \sim 25\text{eV}$, se puede ver que un electrón Compton de energía 0.41 MeV puede desplazar a un átomo de masa 50; ésta es aproximadamente la energía promedio de los electrones Compton resultantes de la interacción de rayos gamma del orden de 1 MeV como por ejemplo, los rayos gamma del cobalto 60.

Sin embargo la sección transversal para tales desplazamientos es pequeña, por lo tanto el número de enlaces rotos de este modo es pequeño comparado con el número roto por excitación electrónica y por ionización de las moléculas por electrones Compton. Se considera que un electrón Compton pierde su energía en producir puntos calientes, lo que corresponde a la producción de electrones secundarios de energía aproximada a 100 eV , esos electrones disipan su energía en un volumen que contiene del orden de 100 moléculas. Cuando empiezan a actuar los electrones Compton, los puntos calientes estarán espaciados varios miles de Angstroms, pero cuando la energía llega a 1 keV , la separación entre estos puede ser de solo 50 Angstroms .

El problema sugerido por esta información es interpretar si el recocido por radiación es debido a las temperaturas altas en los puntos calientes o a la probabilidad de recombinación incrementada debido al aumento de iones, radicales libres, o electrones producidos por la radiación.

La primera de estas alternativas puede verse de la siguiente manera: parte de la energía de los electrones secundarios es usada en la ruptura de enlaces, pero la mayoría aparece - en último término como calor. Se puede calcular la energía - promedio disipada por molécula cuando el sólido ha recibido una dosis de radiación para recocer cerca de la mitad de los átomos que retrocedieron. En casos típicos este requerimiento es aproximadamente de 5×10^7 rads, tales dosis corresponden a una disipación de energía de 3×10^{21} eV/g o aproximadamente 1 eV/mol. Bajo estas condiciones cada átomo radiactivo está incluido una vez en promedio en un punto caliente de - 100 eV y como 1 eV es el orden de magnitud de la energía de activación necesaria para una reacción de recocido típico, - puede decirse que este mecanismo de producción de puntos calientes probablemente sea bueno.

El segundo mecanismo es la recombinación del átomo afectado con iones o radicales producidos por la radiación. Debido a que las fuerzas intermoleculares son más débiles en los cristales moleculares que en los cristales iónicos, las moléculas excitadas están relativamente más aisladas en los primeros y se descompondrán más pronto en fragmentos, que generalmente son radicales libres. Considerando que 100 eV son - necesarios para producir un par de radicales libres en un - cristal molecular, cerca de 10 pares serán producidos por cada punto caliente. Como se dijo anteriormente para una dosis de 5×10^7 rads cada átomo radiactivo está incluido una vez, - en promedio, en un punto caliente, se puede deducir que cada

átomo radiactivo tendrá una buena probabilidad de encontrarse en la vecindad de un radical libre al menos una vez. Aunque la mayoría de los radicales libres se recombinan entre sí, su concentración probablemente será suficiente para que este segundo mecanismo se considere como una posibilidad - atractiva.

Un tercer mecanismo considera el movimiento de los electrones resultantes de la ionización producida por los rayos gamma en el cristal. Los electrones liberados de este modo pueden ser capturados relativamente lejos, y la captura por defectos puede ser importante en el caso de los cristales - iónicos. En general el recocido por irradiación como el recocido térmico, provoca un incremento en el estado de oxidación observado de los átomos radiactivos, mientras que la - captura de electrones reduciría el estado de oxidación, pero si fuera necesaria una neutralización parcial del exceso de carga positiva antes de que la especie en retroceso pueda recocerse, el movimiento del electrón puede ser de importancia.

II. TRANSICION ISOMERICA DE LOS RADIOISOTOPOS DEL TELURIO -
121m, 127m, y 129m EN EL ACIDO TELURICO, EFECTO QUIMICO
ASOCIADO Y RECOCIDO.

1. Propiedades del telurio.

a) Propiedades químicas y físicas del telurio

El telurio tiene el número atómico 52 y pertenece al - grupo VIA de la clasificación periódica de elementos. En su forma natural contiene un gran número de isótopos: Te-120, - Te-122, Te-123, Te-124, Te-125, Te-126, Te-128, Te-130, de - los cuales el más abundante es el Te-130. La Tabla I muestra la abundancia de los diferentes isótopos en el telurio natural. Su peso atómico dado por la Tabla Internacional de pesos atómicos es de 127.6.

La configuración electrónica del átomo libre de telu_ - rio es (Kr)4d10 5s2 5p4 por lo que puede formar compuestos - con estados de oxidación -2, +4, +6 y ocasionalmente +2. Los átomos de telurio con valencia +2 se descomponen con el calor dando telurio libre y telurio tetravalente. El telurio metálico hierve a los 1390 grados centígrados formándose un va_ - por amarillo dorado.

Existen tres óxidos del telurio, TeO, TeO₂, TeO₃, de - los cuales no se conocen muy bien sus estructuras.

El dióxido de telurio⁽⁷⁾, TeO₂, es un compuesto crista-

lino incoloro que hierve aproximadamente a los 500 grados centígrados, sublimándose sin fundirse. Se prepara por combustión en el aire y presenta dos formas: precipitándolo de agua, en la cual es insoluble, se obtiene la forma octaédrica; si se funde y posteriormente se enfría, se obtienen cristales rómbicos ó monoclinicos. El dióxido de telurio líquido es amarillo obscuro. También presenta la característica del anfoterismo. El dióxido de telurio se puede disolver en soluciones acuosas de hidróxidos metálicos alcalinos obteniéndose teluritos metálicos, M_2TeO_3 .

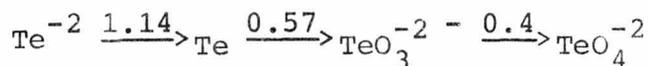
El trióxido de telurio, TeO_3 , es un polvo de color amarillo naranja⁽⁷⁾ el cual se obtiene calentando el ácido telúrico.

Los potenciales de óxido-reducción para el telurio son los siguientes⁽⁸⁾;

a) en solución ácida:



b) en solución básica.



Estos potenciales dan una medida de la estabilidad de los diferentes compuestos que se pueden formar con este elemento.

Acido telúrico⁽⁷⁾. El ácido telúrico simple H_2TeO_4 es -

TABLA I ⁽⁹⁾

NUCLIDO	% ABUNDANCIA	PESO ATOMICO
Te-120	0.089	119.90402
Te-122	2.46	121.90305
Te-123	0.87	122.90426
Te-124	4.61	123.90281
Te-125	6.99	124.90444
Te-126	18.71	125.90333
Te-128	31.79	127.90449
Te-130	34.48	129.90623

análogo al ácido sulfúrico y al ácido selénico, pero no ha sido aislado, aún cuando sus sales son conocidas. El ácido estable derivado del telurio en su más alto estado de oxidación es el ácido ortotelúrico $H_6 TeO_6$, en el cual el átomo de telurio ocupa la posición central de un octaedro. Es un compuesto cristalino blanco que se encuentra en dos formas: la variedad alfa obtenida por cristalización en ácido nítrico concentrado es cúbica, y la variedad beta obtenida a partir de soluciones en agua o en ácidos diluidos es monoclinica. Esta última es la forma estable a temperatura ambiente. Por calentamiento se puede pasar de la forma cúbica a la forma monoclinica, pero la transformación inversa no se ha podido llevar al cabo. El ácido ortotelúrico se puede obtener por oxidación del telurio con ácido crómico en ácido nítrico, o con peróxido de hidrógeno: el telurio se calienta con un exceso de peróxido de hidrógeno al 30%, hasta que cese el desprendimiento de oxígeno, se filtra la solución, se concentra y se precipita el ácido ortotelúrico agregando ácido nítrico. El ácido ortotelúrico no es higroscópico, es ligeramente soluble en agua fría, pero si bastante en agua caliente. Es un ácido muy débil $K_1 (22^\circ C) = 1.53 \times 10^{-8}$. Se ha demostrado por análisis con rayos X que los grupos OH están dispuestos en forma octaédrica; las moléculas de ácido están unidas por puentes de hidrógeno.

Los compuestos de telurio empleados en este trabajo son el dióxido de telurio (TeO_2) en donde el telurio tiene valen

cia +4 (Te IV) y el ácido telúrico ($\text{Te}(\text{OH})_6$) en donde el telurio tiene valencia +6 (Te VI).

El dióxido de telurio se usa como un compuesto intermedio para preparar el ácido telúrico y además como portador del Te IV formado por la reacción nuclear.

La molécula de ácido telúrico es muy estable, sin embargo, en soluciones ácidas concentradas se descompone muy fácilmente, por lo que es necesario estudiar con cuidado las operaciones químicas previas al análisis de las especies químicas. Una vez escogido el ácido y la concentración con los que se deseen trabajar, se debe comprobar experimentalmente que el Te VI no se reduce en ese medio.

Debido a estas propiedades, el ácido telúrico usado en este trabajo es de la variedad β ya que se desea contar con cristales estables, tanto a temperatura ordinaria, como a temperaturas más elevadas.

b) Propiedades nucleares del telurio.

Como el telurio natural tiene ocho isótopos estables, al irradiarlo con neutrones térmicos en un reactor nuclear se producen un gran número de radionúclidos, en la Tabla II ⁽¹⁰⁾ se muestran las diferentes propiedades nucleares de los isótopos estables y radiactivos.

Los radioisótopos del telurio tienen peso atómico impar, por lo tanto número impar de neutrones y número par de protones.

TABLA II

ISOTOPO	VIDA MEDIA	SECCION EFICAZ BARN	TIPO DE DE CAIMIENTO.	RADIACIONES E (MeV)
Te-120		0.3 (121) 2.0 (121m)		
Te-121	17 días		EC	α^- 0.543 0.033 0.0070 γ ; 0.508 (18%) 0.573 (80%)
Te-121m	154 días		TI (90%) EC (10%)	γ ; 0.212 (82%) 1.10 (3%) e^- ; 0.007 0.050
Te-122	2 (123) 1 (123m)			
Te-123	1.2×10^{13} años	400	EC	γ
Te-123m	117 días		TI	γ ; 0.159 (84%) e^- ; 0.084 0.057
Te-124		2 (125) 5 (125m)		
Te-125		1.5		

TABLA II (CONT.)

ISOTOPO	VIDA MEDIA	SECCION EFICAZ BARN	TIPO DE DE CAIMIENTO.	RADIACIONES
Te-125m	58 días		TI	γ ; 0.110(0.3%) 0.035(7%) e^- ; 0.004 0.03
Te-126		0.9(127) 0.1(127m)		
Te-127	9.4 horas		β^-	β^- ; 0.70 γ ; 0.058(0.01%) 0.21(0.03%) 0.36(0.05%) 0.417(0.3%)
Te-127m	109 días		TI(99.2%) β^- (0.8%)	γ ; 0.059(0.19%) 0.089(0.08%) 0.67(0.004%) e^- ; 0.057 0.084 β^- ; 0.73

TABLA II (CONT.)

ISOTOPO	VIDA MEDIA	SECCION EFICAZ BARN	TIPO DE DE CAIMIENTO	RADIACIONES E (MeV)
Te-128		0.14 (129) 0.017 (129m)		
Te-129	68.7 minu- tos		β^-	β^- ; 1.45 γ ; 0.027 (19%) 0.275 (1.7%) doble 0.455 (15%) 0.81 (0.5%) 1.08 (1.5%)
Te-129m	34.1 días		TI (64%) β^- (36%)	β^- ; 1.6 γ ; 0.69 (6%) e^- ; 0.074 0.102
Te-130		0.2 (131) 0.04 (131m)		

TABLA II (CONT.)

ISOTOPO	VIDA MEDIA	SECCION EFICAZ BARN	TIPO DE DE CAIMIENTO.	RADIACIONES E (Mev)
Te-131	24.8 minutos		β^-	β^- ; 2.14 e^- ; 0.116 0.114 γ ; 0.15 (68%) 0.453 (16%) 0.493 (5%) 0.603 (4%) 0.95 (3%) 1.0 (4%) doble 1.147 (6%)
Te-131m	30 horas		β^- (82%) TI (18%)	β^- ; 2.46 e^- ; 0.048 0.069 γ ; 0.78 (60%) 0.85 (31%) do- ble. 1.127 (13%) 1.206 (11%) 0.336 (9%) 0.20 (8%)

TABLA II (CONT.)

ISOTOPO	VIDA MEDIA	SECCION EFICAZ BARN	TIPO DE DE CAIMIENTO.	RADIACIONES E (MeV)
---------	------------	------------------------	--------------------------	------------------------

Te-131m				0.241 (8%) 0.081 (2%) 0.102 (5)
---------	--	--	--	---------------------------------------

2. Transición isomérica del Te-121m, Te-127m, y Te-129m en ácido telurico cristalino y efecto químico asociado.

En la irradiación con neutrones térmicos se forman seis radioisótopos en total y todos decaen por transición isomérica a sus isómeros en estado base, en la figura 2⁽¹⁰⁾ se muestran las diferentes reacciones nucleares del telurio. Los radioisótopos de este elemento que decaen a estados bases estables son el Te-123m, y el Te-125m, y los que decaen a isómeros radiactivos son Te-121m, Te-127m, Te-129m, y Te-131m.

Las energías y vidas medias de las transiciones de los isótopos metaestables 121, 127 y 129 son respectivamente - 0.082, 0.088 y 0.106 MeV y 153, 109, y 34.1 días (figs. 3, 4 y 5)⁽¹⁰⁾.

El Te-121 se desintegra por captura electrónica con una vida media de 17 días formando Sb-121, en cambio el Te-127 y el Te-129 se desintegran por emisión beta con vidas medias de 9.4 horas y 70 minutos formando I-127 y I-129 respectivamente.

El efecto químico se detecta como un cambio de valencia del telurio que pasa de VI a IV y da lugar a la formación de un compuesto químico nuevo, el ácido teluroso, el cual se puede separar fácilmente del compuesto original con un solvente adecuado.⁽¹¹⁾

El mecanismo sugerido para explicar el cambio químico que resulta de la transición isomérica indica que el emitirse el rayo gamma de la transición, produce un retroceso en -

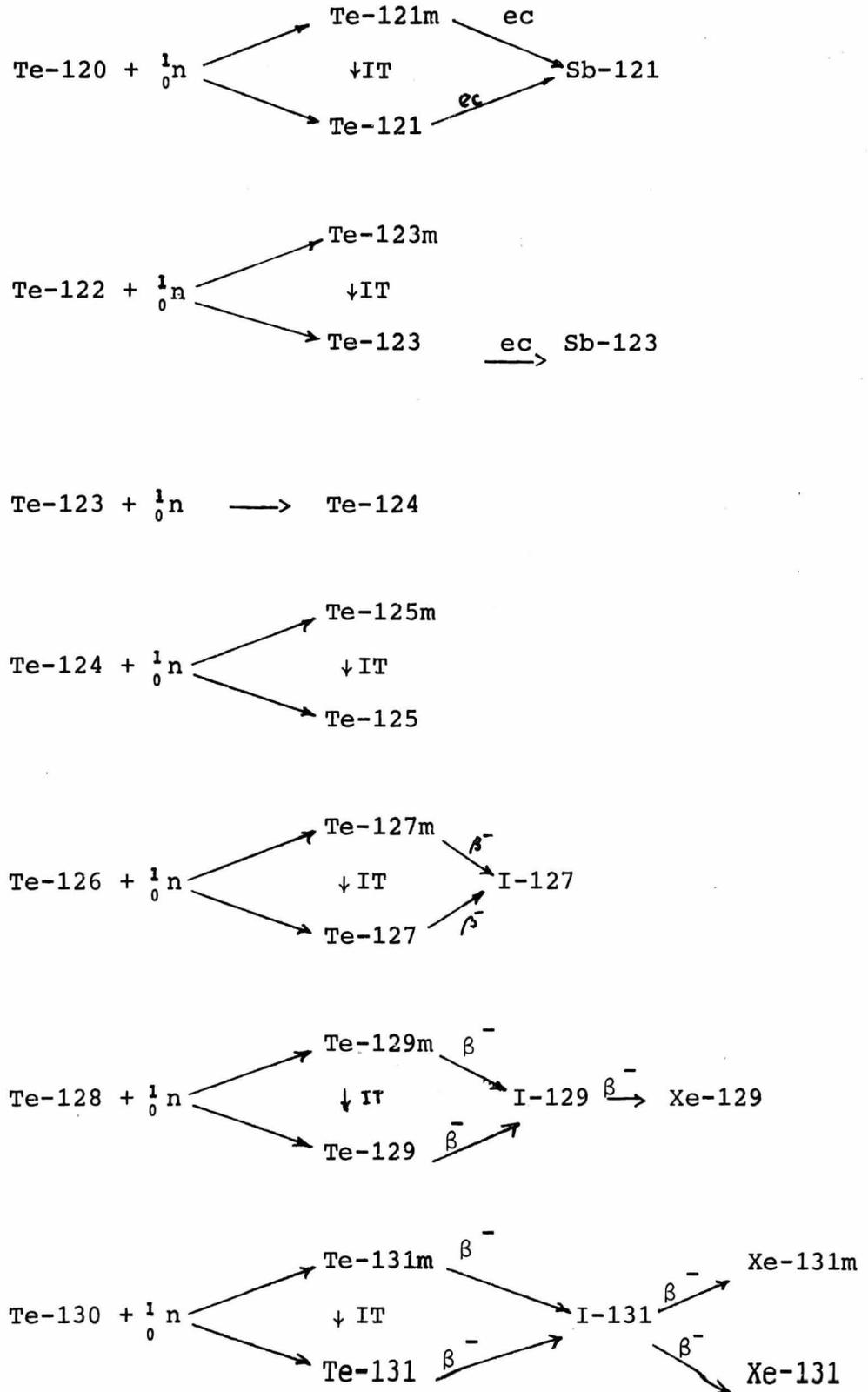
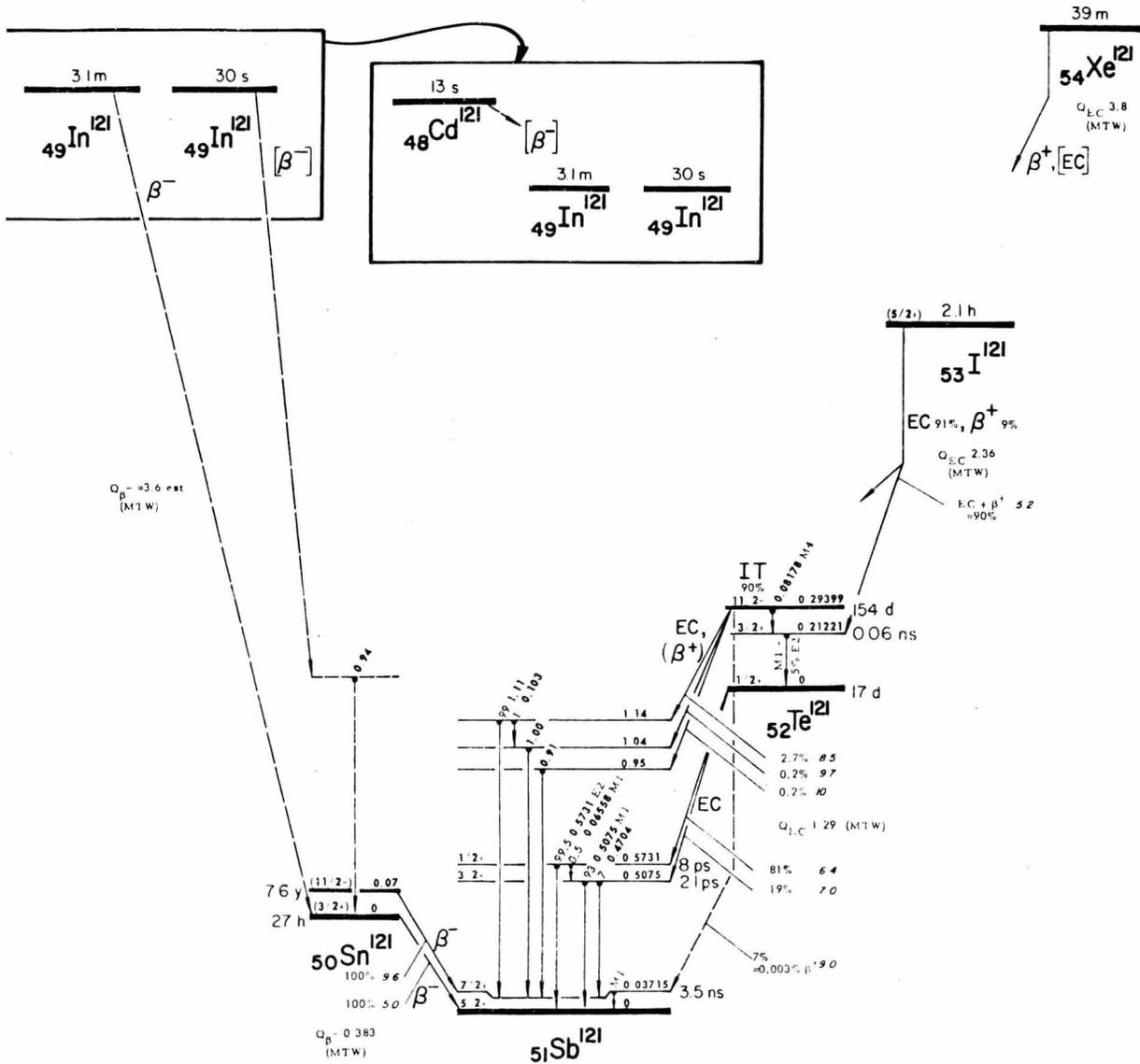
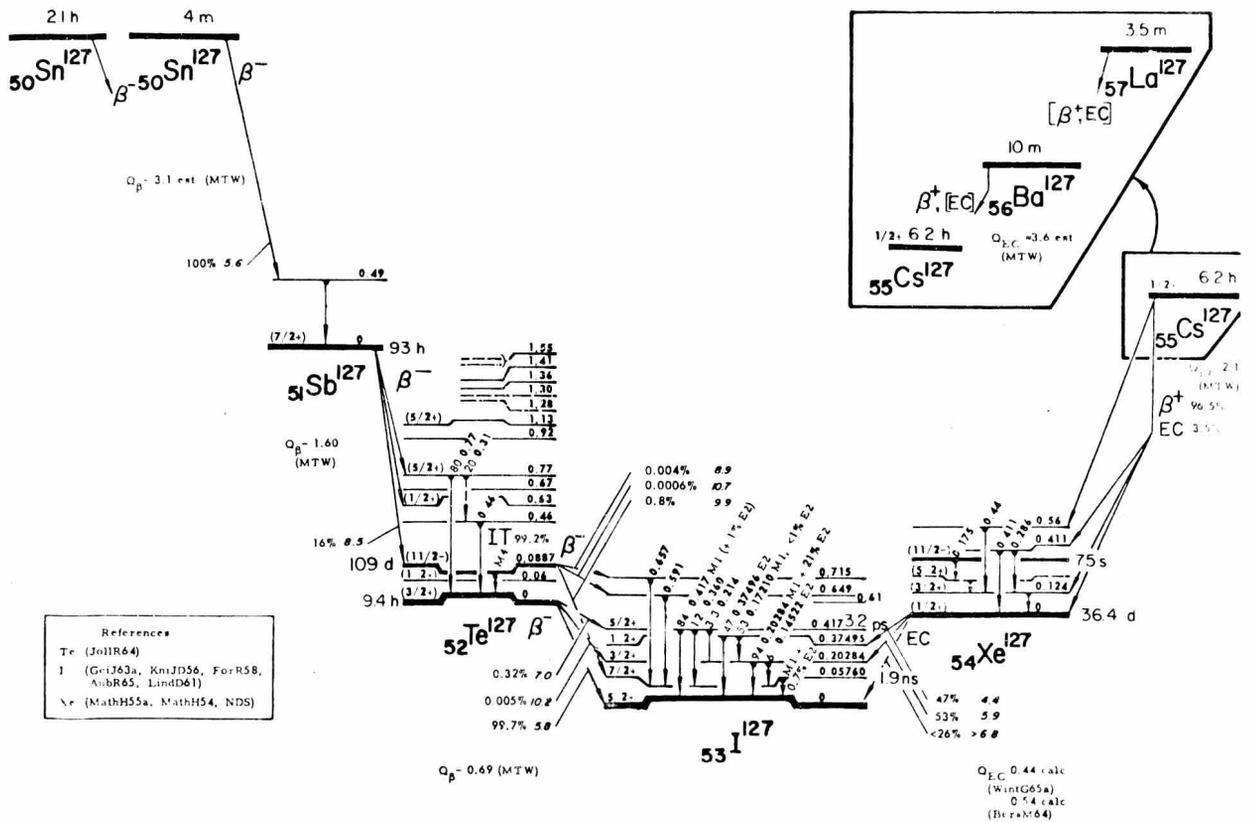


FIGURA 2.



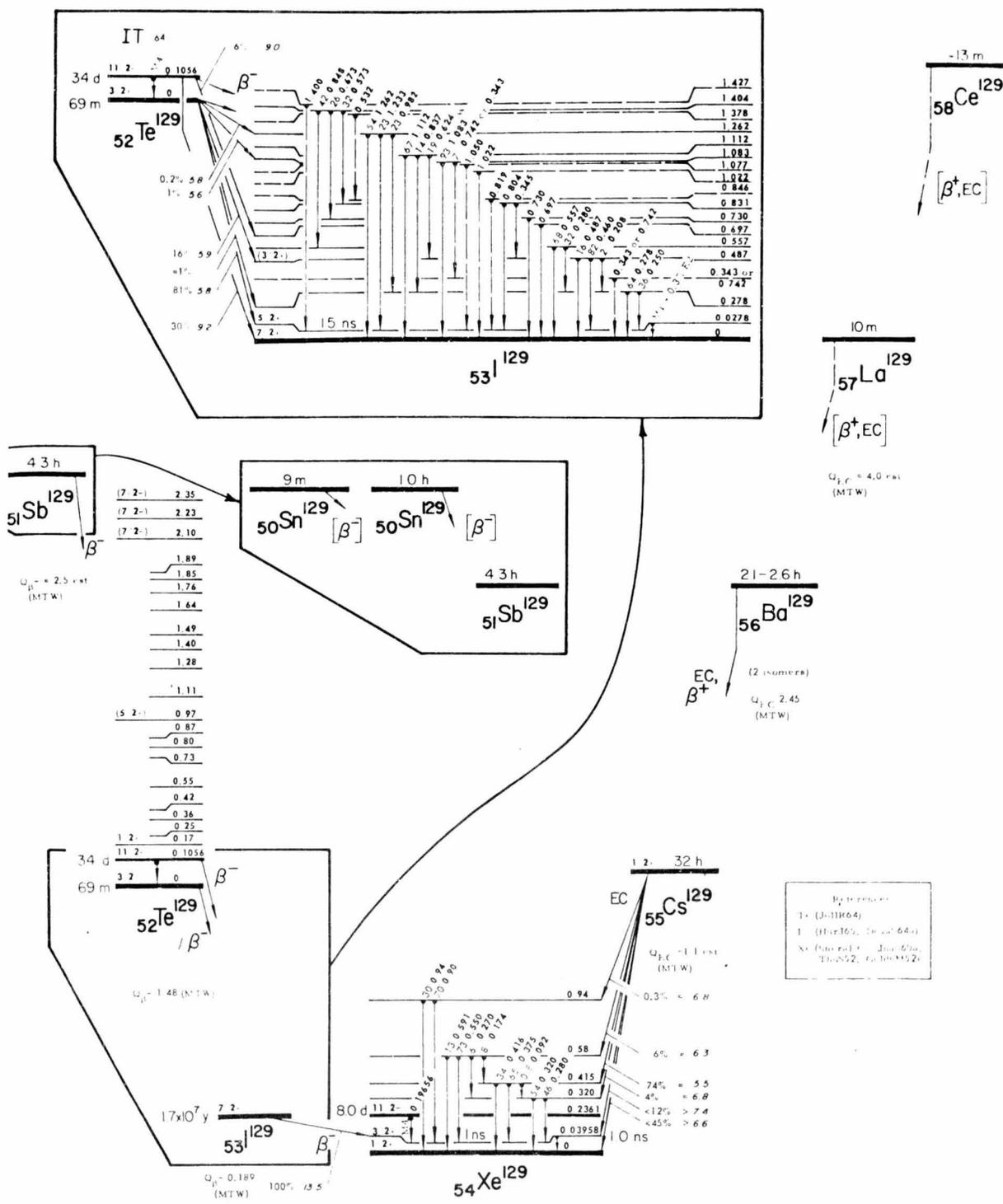
ESQUEMA DE DECAIMIENTO Te - 121

Figura 3



ESQUEMA DE DECAIMIENTO Te-127

FIGURA 4



ESQUEMA DE DECAIMIENTO Te-129

FIGURA 5

el núcleo el cual no es suficiente para romper las ligaduras químicas ordinarias. Sin embargo si esta radiación gamma se convierte internamente, se emiten electrones extranucleares de las primeras capas electrónicas. Esta emisión provoca la creación de vacancias que producirá una cascada Auger con la consiguiente pérdida de electrones en la periferia, lo cual puede causar disturbios en la molécula por repulsión electrostática. Por lo tanto, el cambio químico en una transición isomérica sólo puede ocurrir cuando la radiación gamma es convertida internamente.

3. Recocido térmico y por irradiación gamma simultáneos de los fragmentos formados por la transición isomérica.

La transición isomérica es muy adecuada para estudiar las reacciones de reformación, ya que se puede someter el sistema a diferentes temperaturas y dosis gamma u otros efectos mientras sucede la transformación nuclear.

Se han hecho varios estudios para conocer el comportamiento de los isómeros del telurio. D. Doncewicz y A.H. Alpern⁽¹²⁾ investigaron la cinética del recocido térmico de los fragmentos formados por la transición isomérica en cristales de telurato de sodio marcados con Te-127m.

C.H.W. Jones y J.L. Warren⁽¹³⁾ publicaron trabajos basados en el estudio de los efectos de la transición isomérica del Telurio 127m y Telurio-129m en ácido telúrico. S. Bulbulian y A.G. Maddock⁽¹⁴⁾ efectuaron un estudio sobre efectos de la transición isomérica y recocido térmico en el ácido telúrico.

Si se considera que la regeneración por irradiación gamma se lleva al cabo de un modo similar a la regeneración térmica, el patrón cinético de los efectos térmico e irradiación gamma simultáneos en la recombinación será igual o muy parecido al que se observa en la reformación térmica. En un principio la retención aumentará rápidamente, después menos rápidamente y finalmente se conservará estable (figura 6).

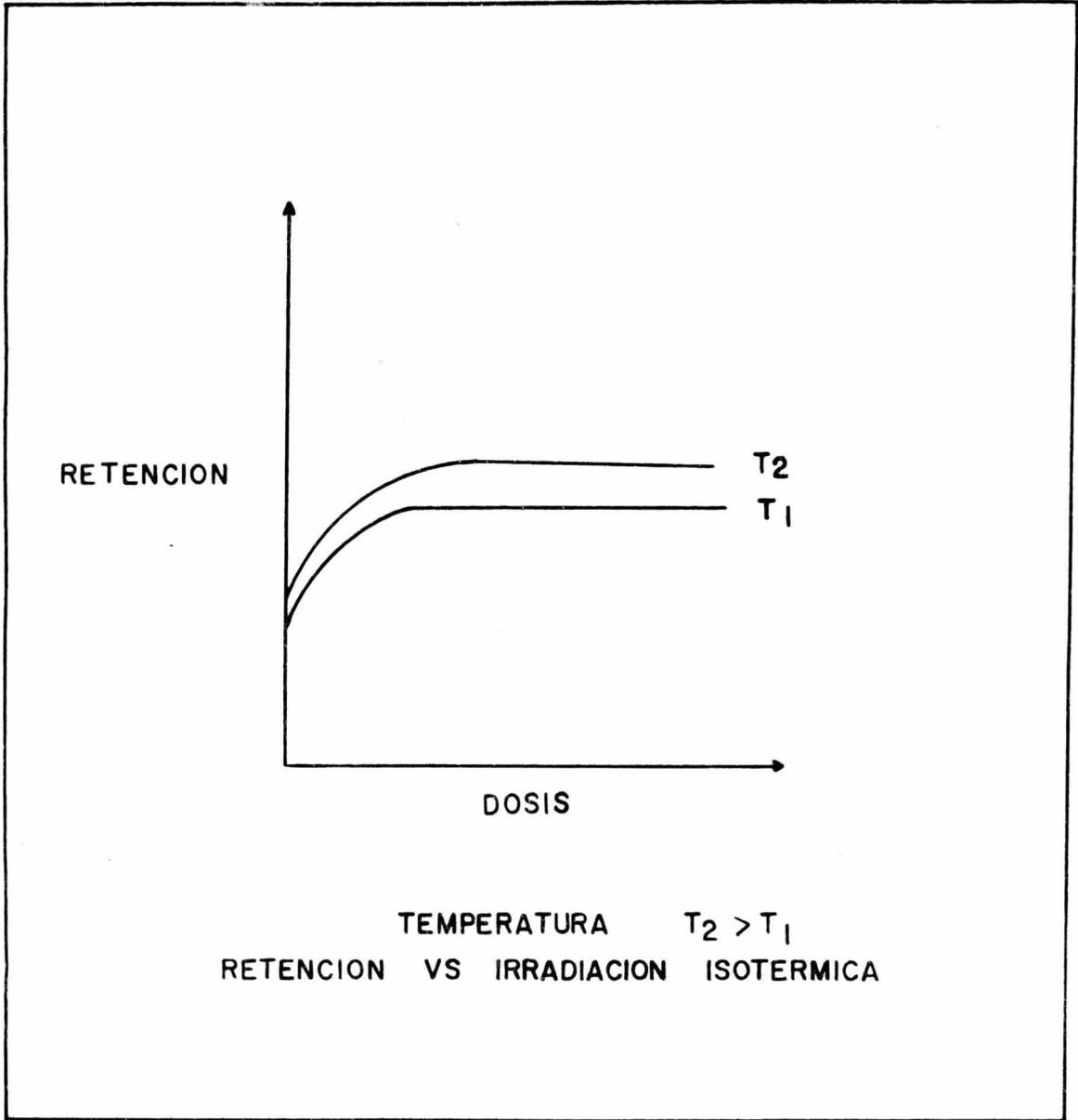


FIG. 6

IV PARTE EXPERIMENTAL

1. Fundamentos

Existen varios puntos fundamentales a cumplir para que la experimentación presentada en este trabajo se lleve a buen fin, estos son los siguientes:

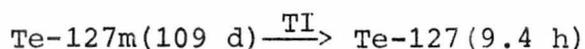
a) No deben existir reacciones de intercambio químico e isomérico, ya que el objetivo es medir el efecto de la transformación y el recocido.

b) El isómero nuclear en su estado base debe ser radiactivo, de otra manera sería muy difícil detectarlo, ya que se produce en muy pequeñas cantidades, y su vida media no debe ser muy corta, ya que se dificulta la precisión en el análisis.

c) La vida media del compuesto metaestable debe ser lo suficientemente grande para que permita la formación del compuesto en estudio.

d) La radiación que emitan los diversos isómeros nucleares debe ser fácil de identificar y discriminar.

e) Los radioisótopos apropiados para el análisis son el ^{121m}Te , ^{127m}Te , y ^{129m}Te , los cuales decaen a núcleos que son emisores gamma, radiación que puede usarse para distinguir su procedencia, siendo fácil su identificación; de ellos el más conveniente es el Te-127 debido a la duración de su vida media.



f) Los isótopos radiactivos del telurio se obtienen -

irradiando telurio natural con neutrones térmicos, en el reactor TRIGA MARK III del Centro Nuclear de México, durante 72 horas a un flujo de 2×10^{12} n/cm²s.

g) Como en la irradiación con neutrones, del telurio natural se producen otros radioisótopos ya sea por captura o por decaimiento, se eliminan estas impurezas, ya sea dejando decaer la muestra eliminándose los radionúclidos de vida media corta o por absorción en carbón activado para eliminar los de vida media larga. Para el caso específico del yodo se disuelve la muestra y se evapora a sequedad.

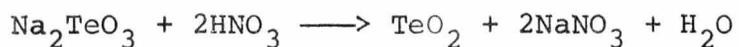
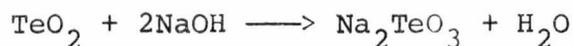
h) El ácido telúrico se preparó por el método empleado por S. Bulbulian⁽⁶⁾, y consta de los siguientes pasos:

Disolución del telurio metálico con ácidos clorhídrico y nítrico en caliente para eliminar el yodo-131.

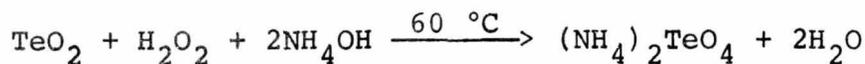
Redisolución en ácido clorhídrico para purificar con carbón activado.

Formación del óxido de telurio añadiendo ácido nítrico.

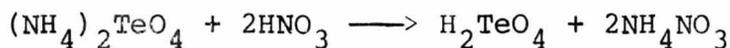
Eliminación de las impurezas químicas disolviendo en NaOH, filtrando, posteriormente precipitando con HNO₃:



Oxidación a Te(VI) añadiendo peróxido de hidrógeno e hidróxido de amonio:



Formación del ácido telúrico añadiendo HNO_3 :



Purificación del ácido telúrico por cristalización en agua.

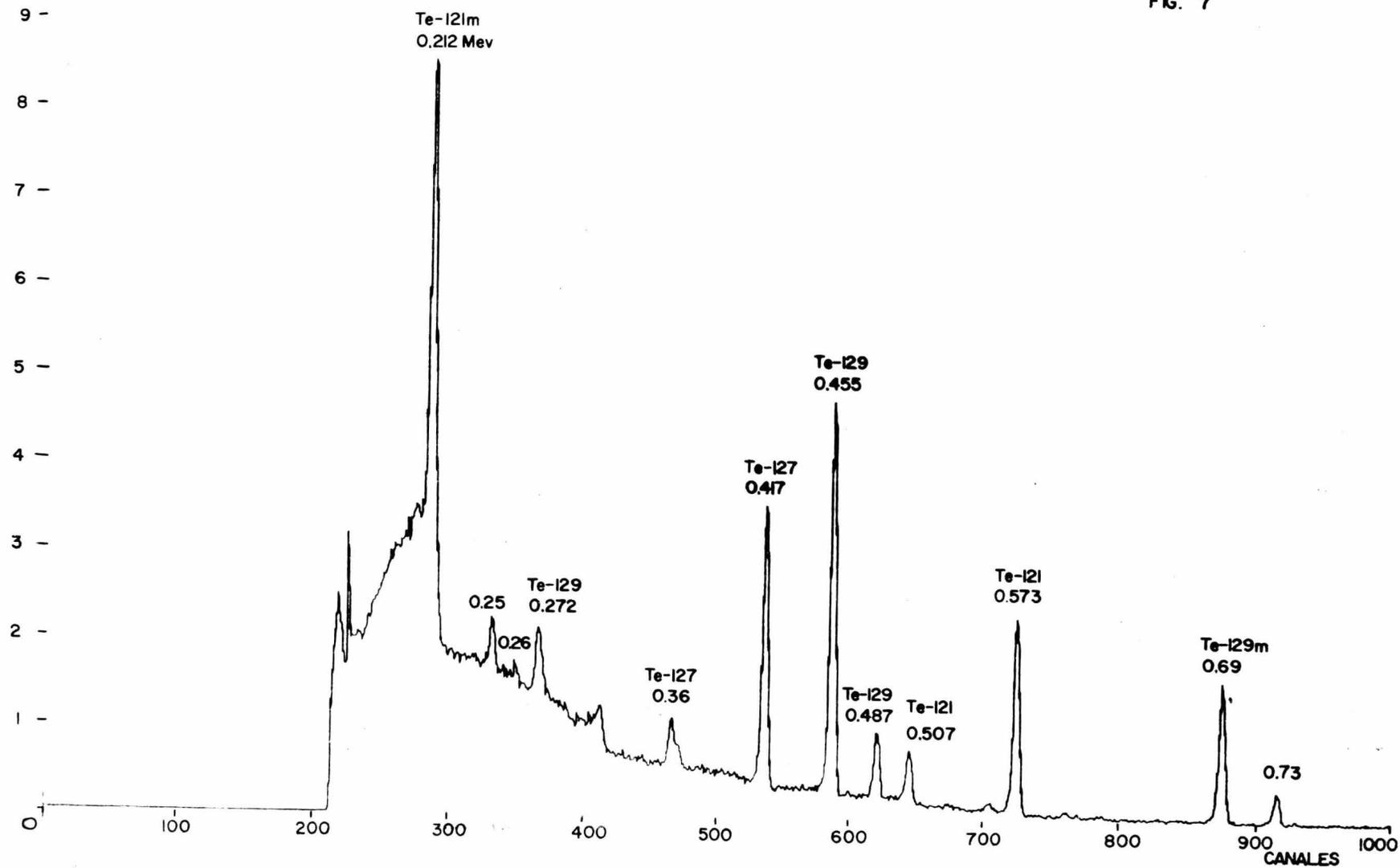
i) La identificación de los radioisótopos es posible con la ayuda del detector Ge-Li, debido a que las energías de las radiaciones emitidas por estos no se superponen y tienen valores que van desde 0.1 a 1.0 MeV. En la Fig. 7 se observa claramente un espectro gamma de la mayoría de los radioisótopos del telurio y en especial los fotopicos que sirvieron para la elaboración de este trabajo, o sean los correspondientes al Te-121m, 0.212 MeV y Te-127, 0.417 MeV.

j) Se debe tener una actividad específica suficientemente alta en el ácido telúrico para evitar trabajar con grandes cantidades de sólido y tiempos prolongados de detección gamma, y para que influyan lo menos posible las variaciones de fondo y medición.

k) Para llevar a cabo el recocido por irradiación gamma a una temperatura determinada, es necesario que los radioisótopos padre e hijo estén en equilibrio a la temperatura de trabajo, que para el par Te-127m - Te-127 se adquiere en 75 horas.

10⁴ -
CUNTAS

ESPECTRO DEL ESTANDAR
FIG. 7



l) La separación de las formas químicas Te IV y Te VI - se hizo por medio de la técnica de extracción por solventes (6), empleando para este caso el sistema HCl 4N y fosfato de tributilo, obteniéndose las formas VI y IV en las fases acuosa y orgánica respectivamente (figs. 8 y 9). Como el proceso químico de oxidación produjo Te VI y la transición isomérica produce indirectamente la reducción a Te IV, la medida de la actividad en las fases acuosa representa el cambio químico producido cuando es debido a la transformación nuclear. De esta misma manera se pueden detectar las concentraciones de Te VI y Te IV después del recocido térmico y por irradiación gamma, usando en todos los casos TeO₂ como portador.

m) La retención se determina teniendo en cuenta la actividad del radioisótopo en estudio, la cual se obtiene del espectro gamma de la fase acuosa resultante de la extracción posterior al recocido, considerando los tiempos transcurridos para la disolución, la extracción y el análisis. Esta actividad se compara con la del mismo radioisótopo en una solución patrón de ácido telúrico en equilibrio radiactivo, aplicando las siguientes fórmulas (6):

$$r_0 = \frac{A \cdot k - As(1 - e^{-\lambda t})}{Ase^{-\lambda t}} \quad (4)$$

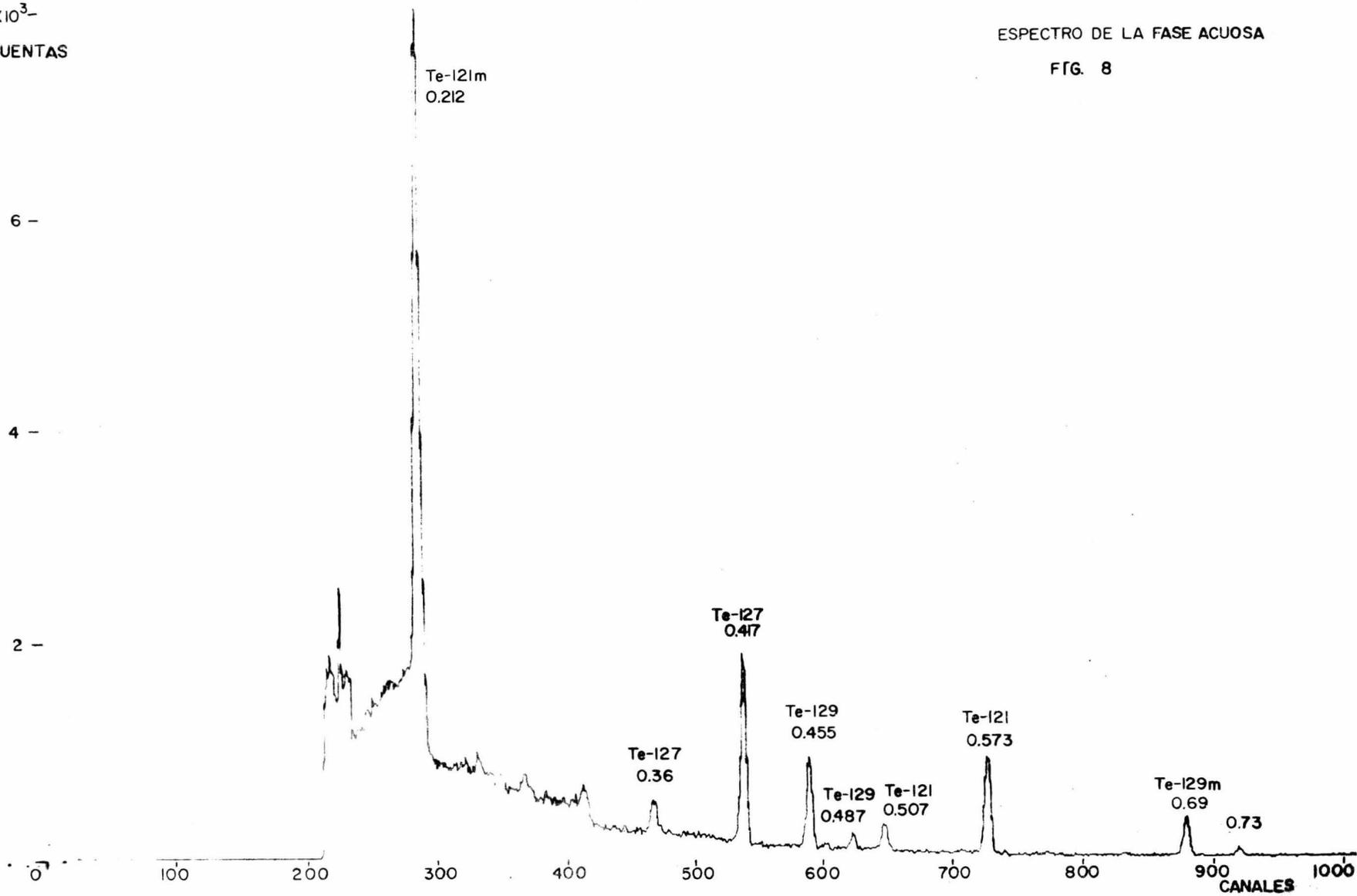
$$r_c = \frac{r_0 - r_s(1 - e^{-\lambda t_1}) - r'_c e^{-\lambda t_1} + r_c e^{-\lambda(t_1+t_2)}}{e^{-\lambda(t_1 + t_2)}} \quad (5)$$

Donde r_0 es la retención observada después de la separa

8×10^3 -
CUNTAS

ESPECTRO DE LA FASE ACUOSA

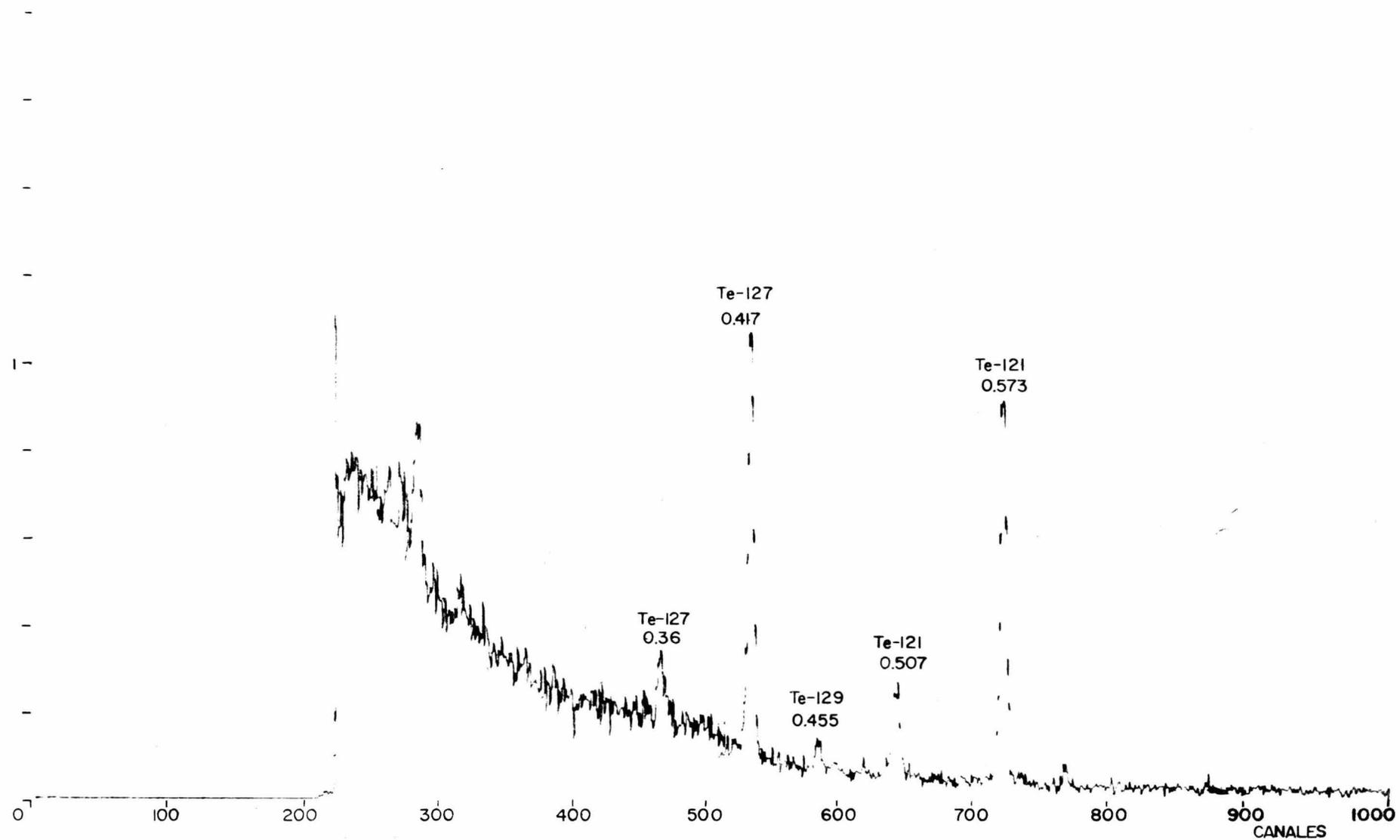
FIG. 8



$2 \times 10^3 -$

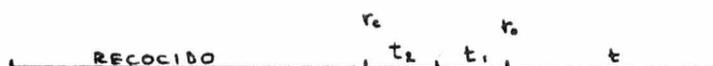
CUENTAS

ESPECTRO DE LA FASE ORGANICA
FIG. 9



ción química; A es la actividad del isótopo de interés en la solución que contiene al Te VI; A_s es la actividad del mismo isótopo en la solución patrón; t es el tiempo transcurrido - entre el final de la extracción y la mitad del tiempo del - análisis; λ es la constante de decaimiento.

La retención en los cristales r_c después del recocido, - que es la de interés principal, resulta de corregir la retención después de la separación por los efectos de decaimiento y crecimiento en la fase sólida y en solución, que tomaron - lugar durante los procesos de manipulación de los cristales, y disolución de ellos: r_s y r'_c son la retención en solución y en los cristales respectivamente ⁽⁶⁾, t_1 es la mitad del - tiempo de disolución, t_2 es la mitad del tiempo entre el final del recocido y el principio de la disolución.



n) El número de determinaciones por cada punto experimental fué de dos a cuatro, tomándose el promedio de estas - como valor final.

Cada determinación consta de las siguientes partes: separación y dos análisis gamma sucesivos de una muestra en - equilibrio radiactivo a la temperatura del recocido; irradiación gamma de una muestra a temperatura constante, con posterior separación y dos análisis gamma sucesivos, así como -

tres o más análisis gamma de la solución patrón.

El número de espectros gamma obtenidos de la solución patrón permiten combinar cada uno de ellos con los obtenidos de las muestras que se procesaron. Este número de combinaciones permite tener varios resultados numéricos de la retención buscada, mejorando por lo tanto la estadística de medida.

o) El cálculo numérico de la retención se hizo por medio de un programa de cómputo elaborado especialmente para este caso. El programa agiliza y aumenta la capacidad de cálculo de las retenciones⁽¹⁵⁾. Para este propósito se hizo uso de las computadoras Burroghs 6700 del Centro de Servicio de Cómputo de la UNAM y PDP 10 del Centro Nuclear de México, - Fig. 10.

p) Las dosis gamma administradas en el recocido se midieron en base a la dosimetría en el sistema ferroso-cúprico (Fricke modificado), hecha por I.E. García⁽¹⁶⁾ en el Gamma - Beam del Centro de Estudios Nucleares de la UNAM. Las dosis dadas estuvieron comprendidas entre 2 y 21 Mrad para temperaturas de -196, -78, -10, 18, y 50 °C y la abertura de las fuentes fué de 14 cm de diámetro en todos los casos, para permitir la presencia de los aditamentos de control de la temperatura.

***** EXPERIMENTO 36 *****

***** TEMPERATURA = 195 GRADOS CENTIGRADOS *****

	TE-121		TE-127		TE-129		PR
ESTANDAR A	534.	506.	17333.	534.	506.	17333.	53450.
17333.			17333.			17333.	
11613.			11613.			11613.	
ESTANDAR B	504.	518.	17461.	504.	518.	17461.	53066.
17461.			17461.			17461.	
11840.			11840.			11840.	
ESTANDAR C	504.	539.	17516.	504.	539.	17516.	52274.
17516.			17516.			17516.	
11780.			11780.			11780.	
ESTANDAR D	481.	552.	17502.	481.	552.	17502.	52094.
17502.			17502.			17502.	
11821.			11821.			11821.	
ESTANDAR E	514.	545.	17387.	514.	545.	17387.	52901.
17387.			17387.			17387.	
11563.			11563.			11563.	
ESTANDAR F	483.	515.	17383.	483.	515.	17383.	52246.
17383.			17383.			17383.	
11894.			11894.			11894.	
ESTANDAR G	514.	545.	17387.	514.	545.	17387.	93270.
17387.			17387.			17387.	
11563.			11563.			11563.	
ESTANDAR H	483.	515.	17383.	483.	515.	17383.	91200.
17383.			17383.			17383.	
11894.			11894.			11894.	
TE-I 1E	402.	651.	14746.	402.	651.	14746.	61298.
14746.			14746.			14746.	
8955.			8955.			8955.	
TE-I 1E	28.	2.	3.	TE-121	TE-127	TE-129	
ESTANDAR A	51298.	53450.	8955.	11613.	8955.	11613.	8955.
K=0.87190972			RO=0.67209478		RO=0.66088428		RO=0.56588400
			RF=0.67212507		RF=0.66244877		RF=0.57493294
			.9992079139E+00		.9661760645E+00		.7547418113E+00
			.9999434010E+00		.9975452179E+00		.9801020893E+00
			.9998585100E+00		.9938743388E+00		.9509951180E+00
			.2829919858E+05		.9819128332E+04		.8755080713E+03
			.7299586832E+00		.6508982547E+00		.6145240100E+00
			.7298967123E+00		.6485030061E+00		.5962739390E+00
TE-I 1E	28.	2.	3.	ESTANDAR B	8955.	11840.	8955.
51298.	53066.	8955.	11840.	RO=0.65445245	8955.	11840.	8955.
K=0.86570524			RO=0.64263879		RO=0.54252720		

FIG. 10 (CONT)

TE-T	1F	ESTANDAR C	RF=0.63448025	RF=0.64409083	RF=0.55037256	
28.	2.	3.	51298. 52274. K=0.65273475	8955. 11780. R0=0.64798817 RF=0.64801506	8955. 11780. R0=0.63595351 RF=0.63736435	8955. 11780. R0=0.53396910 RF=0.54137347
			.9992079139E+00 .9999434016E+00 .9998585100E+00 .2829919868E-05 .7299586832E+00 .7298967123E+00	.9661760645E+00 .9975452179E+00 .9938743388E+00 .9819128332E+04 .6508982547E+00 .6485030061E+00	.7547418113E+00 .9801020893E+00 .9509951180E+00 .8755080713E+03 .6145240100E+00 .5962739390E+00	
TE-T	1E	ESTANDAR D	RF=0.64351159	RF=0.63270618	RF=0.53514148	
28.	2.	3.	61298. 52094. K=0.84984898	8955. 11821. R0=0.64351159 RF=0.64353784	8955. 11821. R0=0.63132388 RF=0.63270618	8955. 11821. R0=0.52804252 RF=0.53514148
			.9992079139E+00 .9999434016E+00 .9998585100E+00 .2829919868E-05 .7299586832E+00 .7298967123E+00	.9661760645E+00 .9975452179E+00 .9938743388E+00 .9819128332E+04 .6508982547E+00 .6485030061E+00	.7547418113E+00 .9801020893E+00 .9509951180E+00 .8755080713E+03 .6145240100E+00 .5962739390E+00	
TE-T	1E	ESTANDAR E	RF=0.66812179	RF=0.65828369	RF=0.56936064	
28.	2.	3.	61298. 52901. K=0.86301348	8955. 11563. R0=0.66809205 RF=0.66812179	8955. 11563. R0=0.65674471 RF=0.65828369	8955. 11563. R0=0.56656477 RF=0.56936064
			.9992079139E+00 .9999434016E+00 .9998585100E+00 .2829919868E-05 .7299586832E+00 .7298967123E+00	.9661760645E+00 .9975452179E+00 .9938743388E+00 .9819128332E+04 .6508982547E+00 .6485030061E+00	.7547418113E+00 .9801020893E+00 .9509951180E+00 .8755080713E+03 .6145240100E+00 .5962739390E+00	
TE-T	1E	ESTANDAR F	RF=0.64142434	RF=0.63050727	RF=0.53219964	
28.	2.	3.	61298. 52246. K=0.85232797	8955. 11894. R0=0.64139839 RF=0.64142434	8955. 11894. R0=0.62913843 RF=0.63050727	8955. 11894. R0=0.52524484 RF=0.53219964
			.9992079139E+00 .9999434016E+00 .9998585100E+00 .2829919868E-05 .7299586832E+00 .7298967123E+00	.9661760645E+00 .9975452179E+00 .9938743388E+00 .9819128332E+04 .6508982547E+00 .6485030061E+00	.7547418113E+00 .9801020893E+00 .9509951180E+00 .8755080713E+03 .6145240100E+00 .5962739390E+00	

FIG. 10 (CONT)

2. Materiales y equipo

Reactivos

Los reactivos de pureza grado analítico empleados en este trabajo son: telurio metálico 99% de pureza de E. Merck y A. G. Darmstadt; ácido nítrico concentrado y solución al 10%; ácido clorhídrico concentrado y solución 4N; hidróxido de amonio solución concentrada, hidróxido de sodio, carbón activado, anaranjado de metilo, peróxido de hidrógeno al 30%, - fosfato de tributilo (TBP) puro, solución de 0.002 mg/ml de dióxido de telurio, y ácido telúrico radiactivo preparado en el laboratorio.

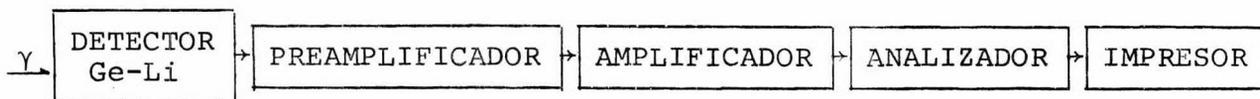
Irradiador.

La fuente de irradiación gamma con la cual se llevó al cabo este trabajo es el Gammabeam 750 tipo IR 31 de la Ato_mic Energy of Canada Limited, que está situado en el Centro de Estudios Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta fuente es un irradiador de Cobalto-60 de dosis variable con una actividad inicial de 50 000 Ci para noviembre de 1971, que se encuentra colocada en un cuarto debida_mente blindado con paredes de concreto, y se controla desde el exterior mediante una consola. Básicamente consiste de - doce tubos metálicos soportados sobre una base cilíndrica de plomo la cual contiene los 60 cilindros de Co-60 de 1 mm de diámetro por 1 mm de altura, doblemente encapsulados en acero inoxidable. Para poder irradiar se hacen llegar los cilin_dros de cobalto a los tubos sobre el blindaje de plomo, 5 -

por cada tubo, por medio de un mecanismo neumático. De esta forma se tiene un campo de rayos gamma uniforme⁽¹⁶⁾, ya que los doce tubos están dispuestos en forma circular siendo su diámetro variable de 11.4 a 80 cm según las necesidades y - por consiguiente la razón de dosis también varía (Fig.11)

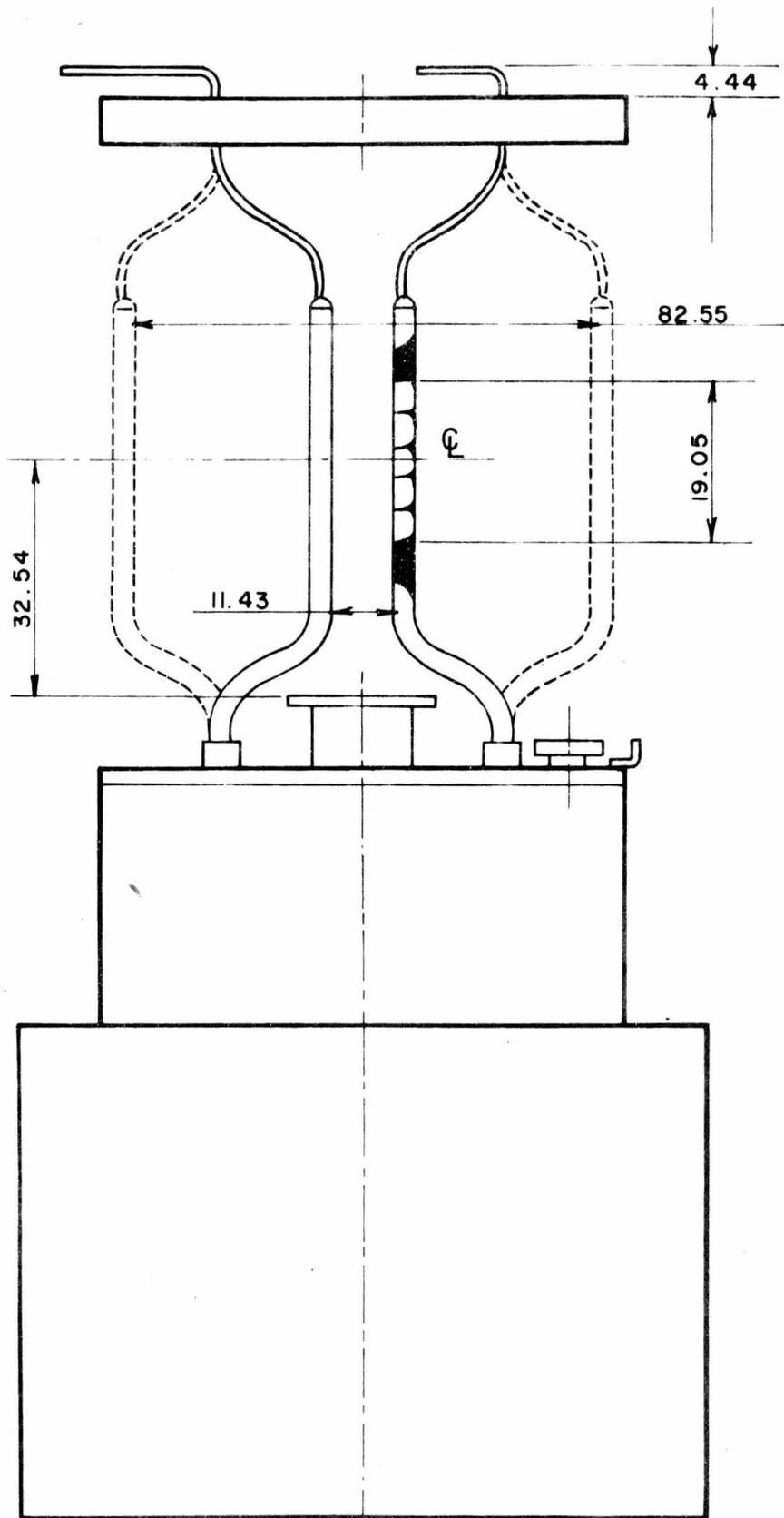
Sistema de detección.

Para obtener los espectros gamma del compuesto empleado se hizo uso de un sistema que comprende un detector de germanio-litio, un preamplificador, un amplificador, un analizador multicanal, y un impresor de datos;



El detector de Ge-Li pertenece a la categoría de detectores del tipo semiconductor (estado sólido), y consta esencialmente de una pastilla de germanio en la cual se encuentra difundido litio a la temperatura del nitrógeno líquido. El principio de operación consiste en que la ionización inducida por la radiación bajo una cierta diferencia de potencial produce una corriente, la cual es proporcional a la cantidad de radiación que incide en el cristal.

La información que sale del detector pasa a un preamplificador y amplificador que la hace adecuada para su medición, posteriormente pasa al analizador multicanal en el cual la información se discrimina en función de voltajes y energías prefijadas.



ACOTACION
 EN cm

ESQUEMA DE LA FUENTE DE IRRADIACION

Fig. II

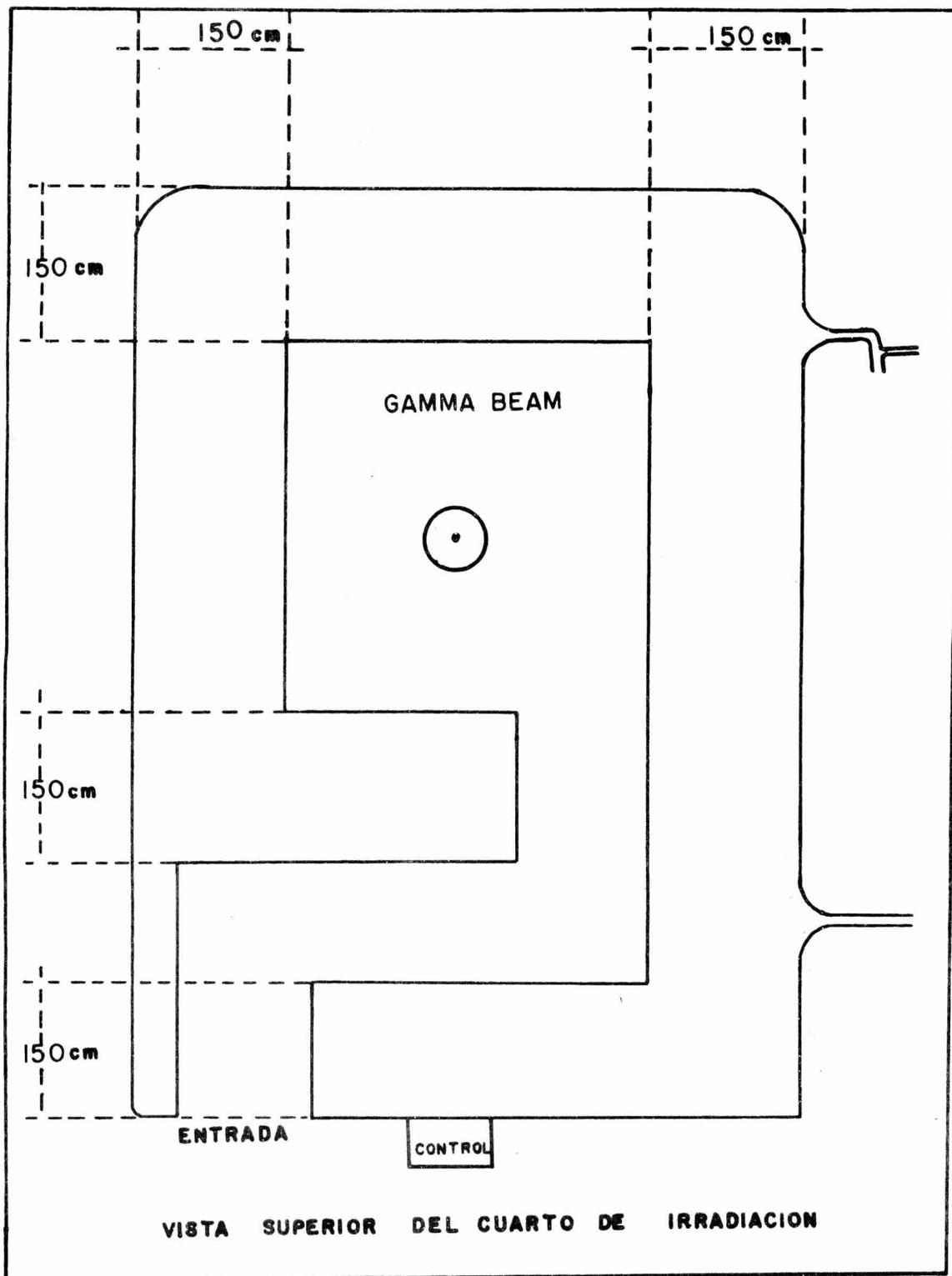


FIG. II (CONT.)

Sistemas de control de temperatura.

Para controlar la temperatura antes y durante la irradiación se emplearon diferentes sistemas dependiendo de la temperatura deseada. Uno de ellos fué nitrógeno o aire líquido en un termo de tipo comercial, lo cual aseguraba que mientras la muestra estuviera cubierta con alguno de los fluidos se tendría la temperatura de ebullición correspondiente: nitrógeno líquido p. eb. $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$; aire líquido p. eb. $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$ Fig. 12.

Un sistema similar se usó con dióxido de carbono sólido, el cual al sublimarse da una temperatura constante de $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fig. 12).

Para temperaturas entre -10 y $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se empleó el enfriador Colora Modelo TK 64 acoplado al ultratermostato también marca Colora modelo NB-DS. El enfriador es un instrumento de rápido enfriamiento y una precisión en el control de la temperatura de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por tiempos prolongados. Básicamente consta de un compresor al cual está acoplado un serpentín por el cual fluye el líquido enfriador. La temperatura es controlada por un termistor colocado en el baño en que se quiere mantener la temperatura constante.

El ultratermostato consiste básicamente de un cilindro metálico aislado térmicamente y tiene una capacidad en volumen de 14.5 litros, además tiene acoplada una bomba que fué de gran utilidad, ya que debido al diámetro reducido y a la geometría de la fuente de irradiación hubo necesidad de recircular alcohol en un termo de tipo casero para mantener la

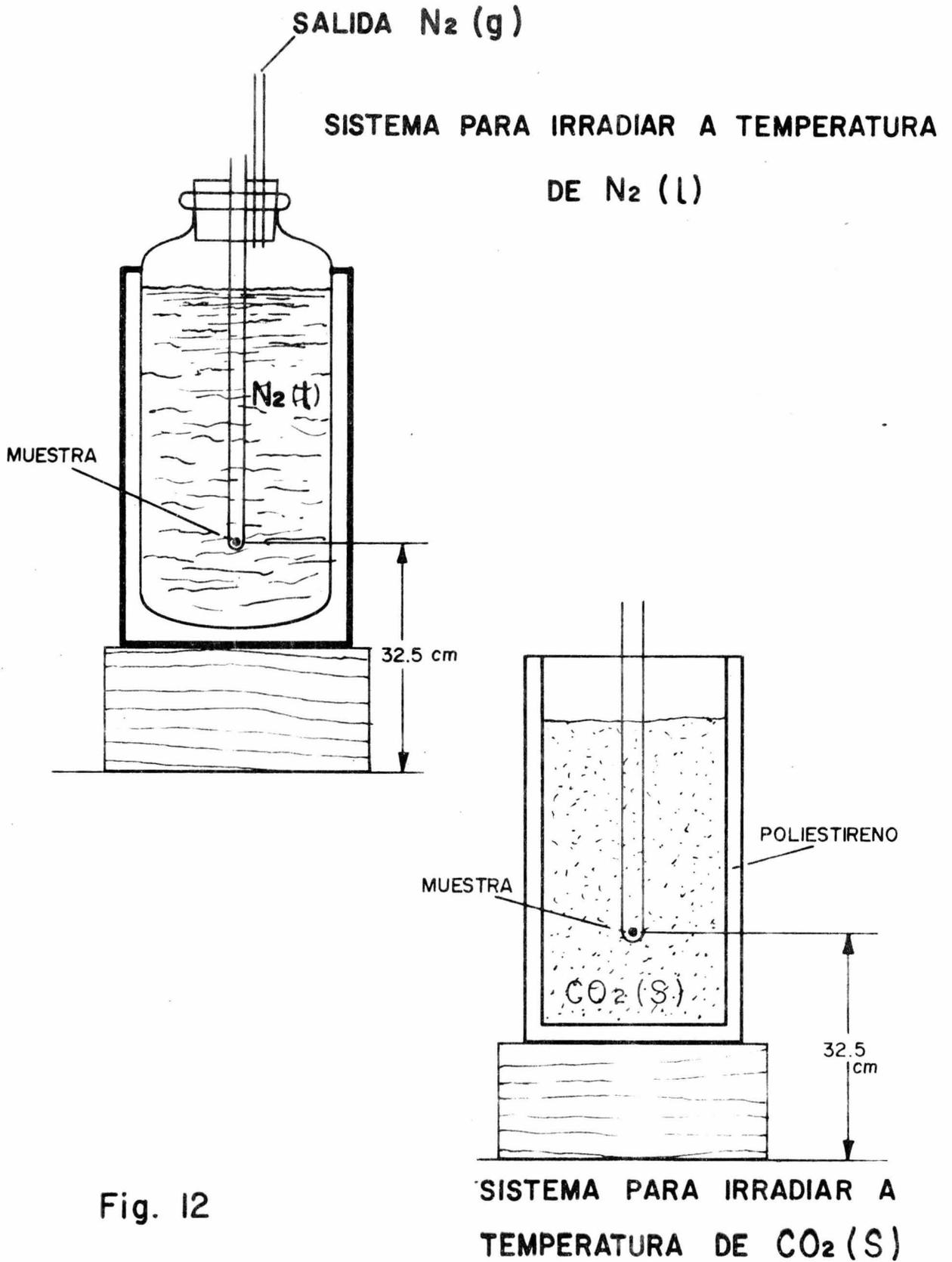


Fig. 12

temperatura constante en el centro de la fuente (Fig. 13).

Para temperaturas entre +40 °C y 80 °C se utilizó el control de temperatura diseñado por J. Méndez⁽¹⁷⁾, el cual básicamente consta de un puente Wheatstone de comparación con un termistor en una de sus ramas como resistencia variable (fig. 14), se usó acoplado a un foco de rayos infrarrojos de 375 watts para calentar. La precisión observada en este control fue de ± 1 °C.

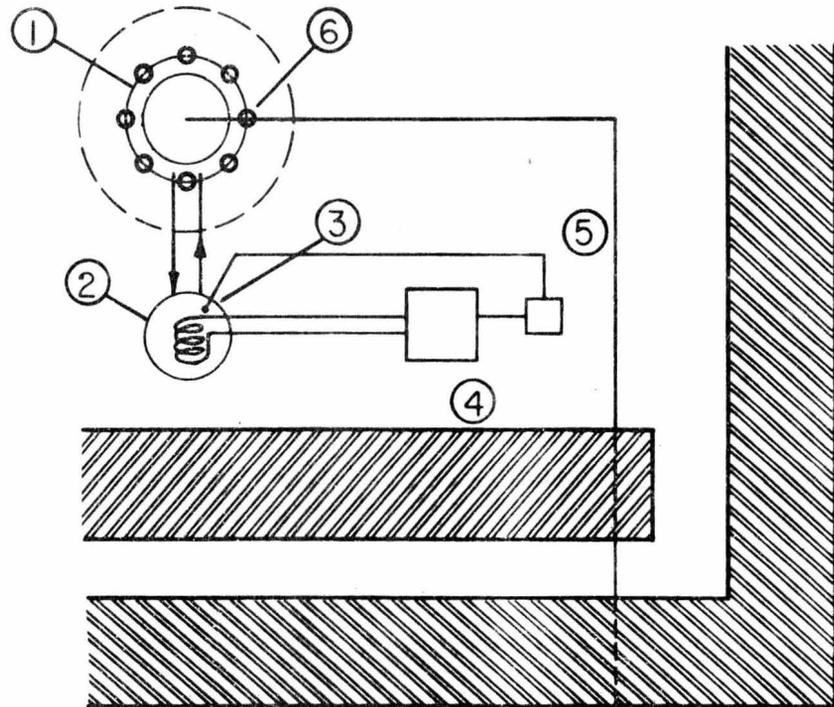
Medida de las temperaturas.

Para medir las temperaturas durante las irradiaciones gamma, se hizo uso de un termopar adaptado a un graficador Honeywell modelo 50. Se usaron dos tipos de termopares: primero uno de Cromel-Alumel, alambre calibre 18; y en segunda instancia se usó uno de fierro-constantano, alambre calibre 18⁽¹⁸⁾. La señal obtenida del termopar es transmitida al graficador en una escala de milivolts que junto con la referencia de 0 °C, y los valores de conversión⁽¹⁹⁾ adecuados dan la temperatura en el momento de la medición. Este tipo de sistema tiene la ventaja de que se puede aplicar a una gran escala de temperaturas: -195 a +500 °C (Fig. 14).

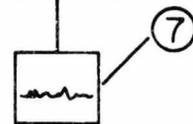
3. Experimentación

La Fig. 15 muestra un diagrama de la secuencia de la experimentación, la cual se llevó al cabo de la siguiente forma:

**SISTEMA PARA IRRADIAR A TEMPERATURAS ENTRE
-10°c Y 20°c**

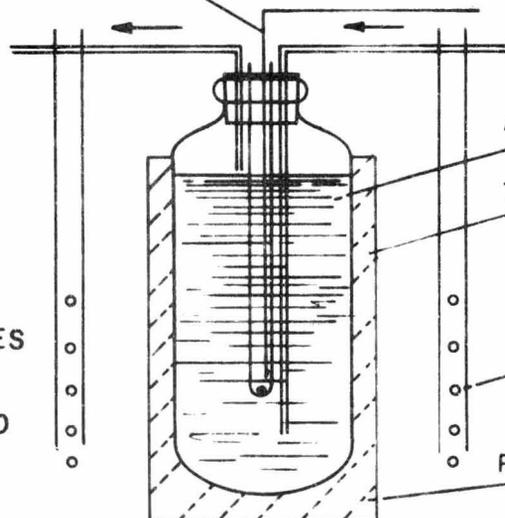


TERMOPAR₂ AL
GRAFICADOR



- ① CENTRO DE LAS FUENTES;
TERMO CON MUESTRA
- ② ULTRA TERMOSTATO
- ③ TERMOPAR DEL COMPRESOR
- ④ COMPRESOR
- ⑤ CONTROL DIGITAL
- ⑥ TERMOPAR₂
- ⑦ GRAFICADOR DE LECTURA
DEL TERMOPAR₂

FUENTES
DE
CO-60



ALCOHOL

TERMO

FUENTES DE

CO-60

POLIESTIRENO

CORTE SECC.

Fig. 13

**SISTEMA PARA IRRADIAR A TEMPERATURAS
ENTRE 40°C Y 80°C**

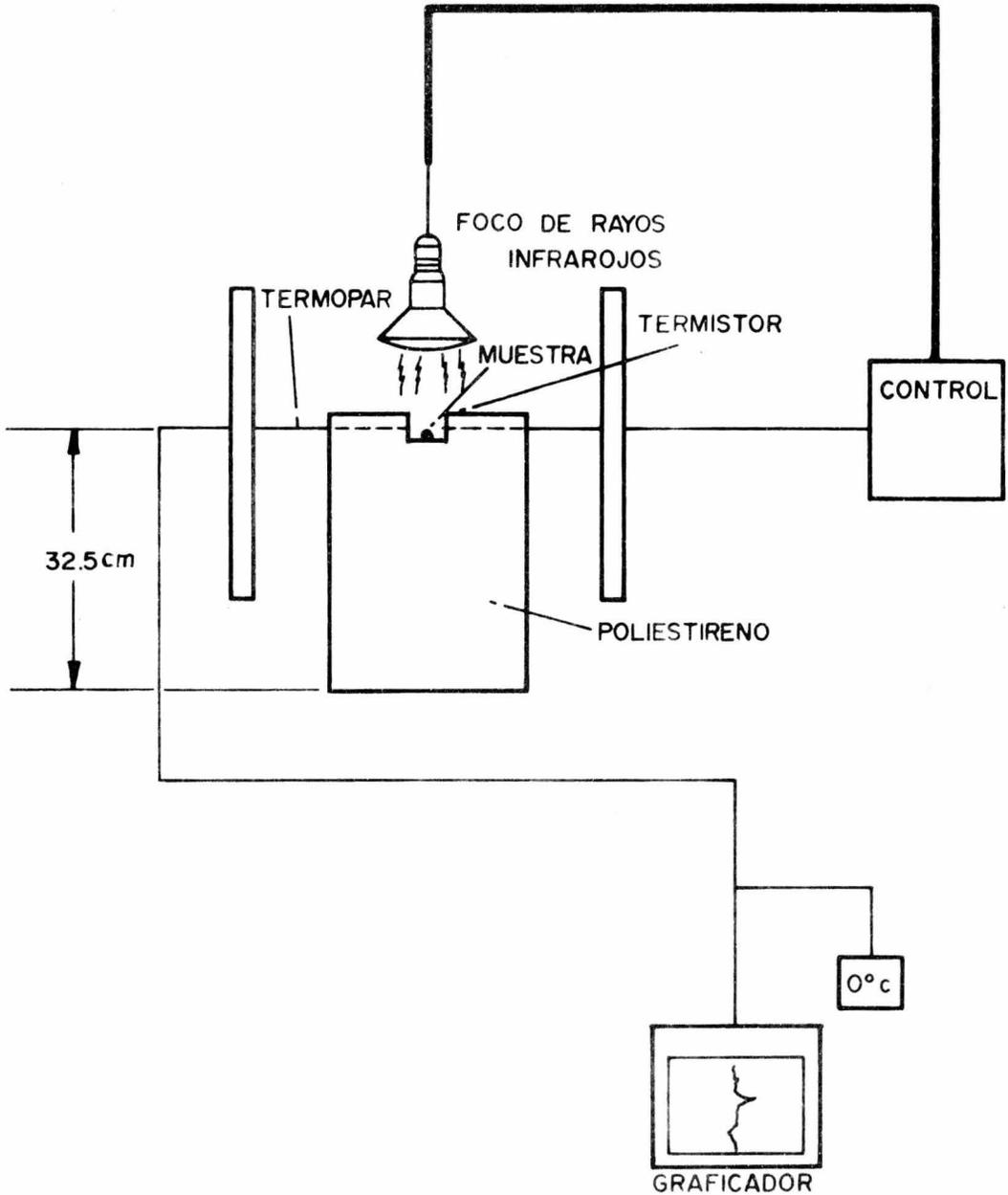


Fig. 14

DIAGRAMA DE FLUJO DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

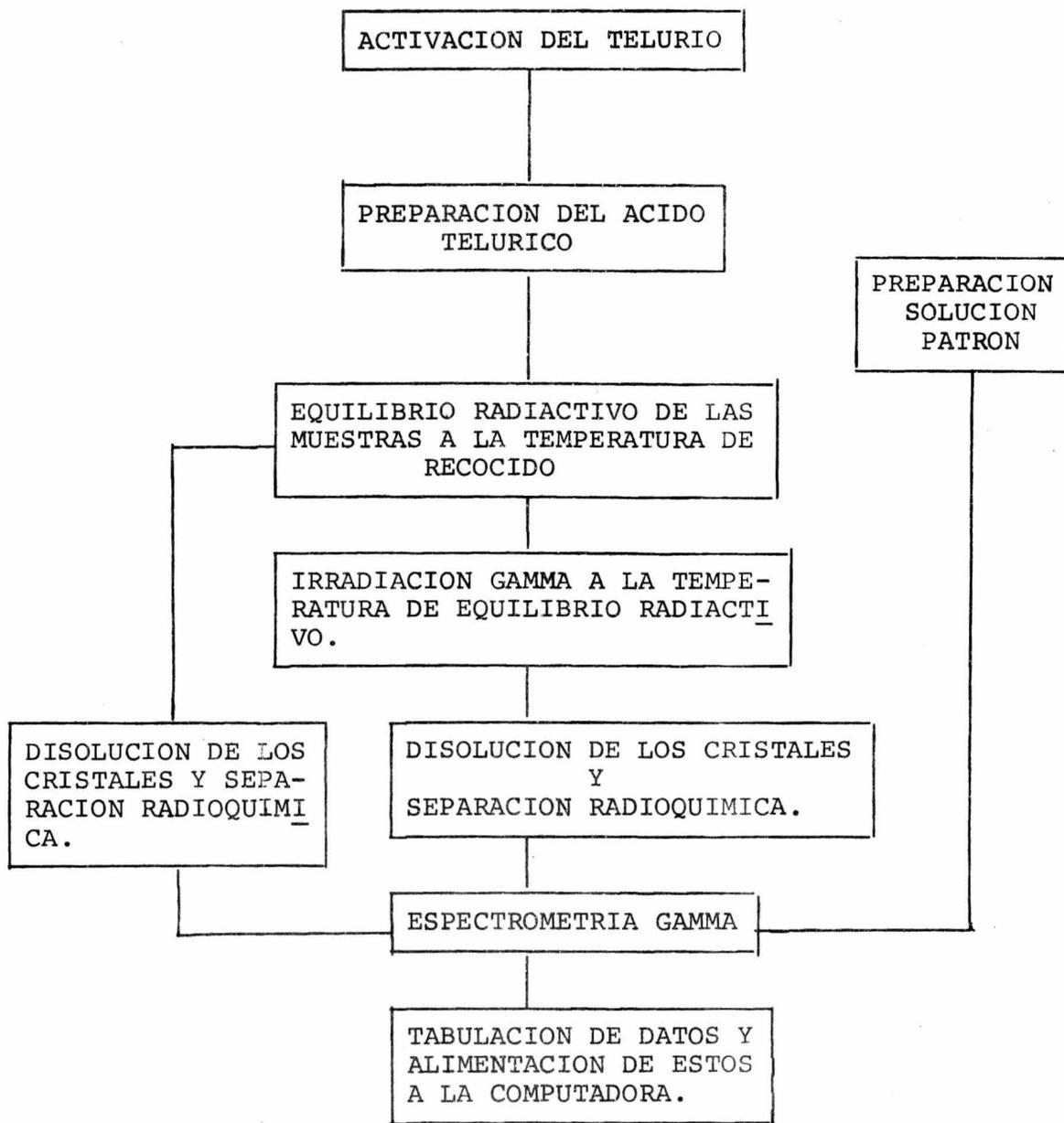


FIG. 15

a) Irradiación con neutrones térmicos de 20 g de telurio metálico por 72 h acumulables.

b) Disolución de los 20 g en 30 ml de ácido nítrico concentrado y 10 ml de ácido clorhídrico concentrado, calentamiento hasta completar disolución haciendo burbujear los vapores en una solución concentrada de hidróxido de sodio. Evaporar a sequedad.

c) Redisolución en ácido clorhídrico 2N y añadir 10 g de carbón activado, agitar y filtrar. Repetir lo anterior dos veces más. Obtención de un espectro gamma del carbón usado en la tercera purificación. Evaporar a sequedad la solución.

d) Agregar ácido nítrico, evaporar a sequedad y lavar con agua.

e) Disolver en hidróxido de sodio 1N y filtrar. Precipitar el dióxido de telurio con ácido nítrico usando naranja de metilo como indicador, esperar 24 h.

f) Filtrar, lavar varias veces con agua y secar el sólido en la estufa a 100 °C.

g) Oxidar el dióxido de telurio agregando 75 ml de hidróxido de amonio y 10 ml de peróxido de hidrógeno al 30%, calentar la mezcla en baño de agua caliente hasta que el volumen se reduzca a 15 ml. Repetir la operación anterior.

h) Agregar 10 ml de ácido nítrico y dejar reposar 24 h hasta la formación de los cristales de ácido telúrico.

i) Separar el exceso de ácido nítrico y recrystalizar - en agua, secar en la estufa a 40 °C.

j) Preparar la solución patrón.

k) Colocar muestras de cantidades iguales a la usada en la solución patrón a la temperatura seleccionada para el recocido. Esperar 75 h.

l) Irradiar una de las muestras a la temperatura y dosis seleccionadas Fig. 16⁽¹⁶⁾.

m) Inmediatamente después de terminada la irradiación, disolver los cristales en 30 ml de ácido clorhídrico 4N y 1 ml de óxido de telurio en HCl 4N (solución portadora).

n) Pasar la solución a un embudo de separación y agitar por un minuto con 10 ml de TBP. Dejar separar las fases.

o) Pasar la fase acuosa a otro embudo con 10 ml de TBP y agitar por un minuto. Dejar separar las fases.

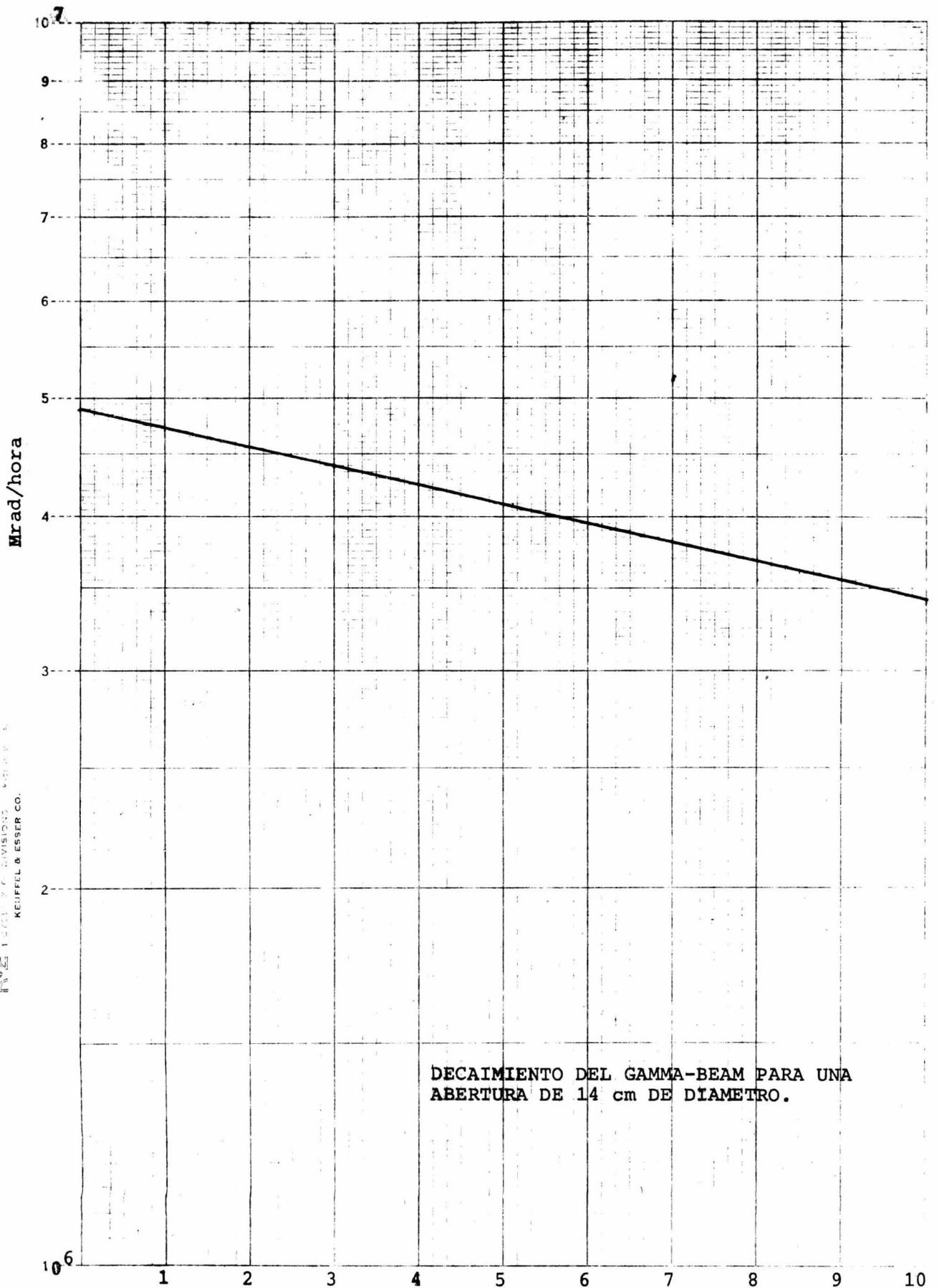
p) Pasar la fase acuosa a un matraz y obtener 2 espectros gamma sucesivos.

q) Hacer lo mismo (m) a (p) para una muestra no irradiada.

r) Obtener cuatro espectros gamma de la solución patrón.

s) Localizar los picos de energía de los radioisótopos Te-121m, 0.212 MeV y Te-127, 0.417 MeV de acuerdo a la calibración, analizando en cuantos canales se encuentra cada uno de éstos. Proponer un número de canales común para todos los picos y de acuerdo a éste obtener el área bajo la curva y los valores extremos, en el caso del Te-127, para ser usa-

SEMI-LOGARITHMIC 46 4530
RADIATION DIVISION
KEUFFEL & ESSER CO.



DECAIMIENTO DEL GAMMA-BEAM PARA UNA
ABERTURA DE 14 cm DE DIAMETRO.

FIG. 16.

días (10²)

dos en el cálculo del fondo. Computar la mitad del tiempo de disolución, mitad del tiempo de manipulación después de la irradiación, y la suma del tiempo transcurrido después de la separación hasta antes de la espectrometría, mas la mitad del tiempo de esta última. Alimentar los datos a la computadora, Fig. 17.

EXPERIMENTO 12

PRIMER ESPECTRO TeI, FASE ACUOSA

0	2000	2	1	3	5	7	8	9	10	14
10	19	15	27	18	30	45	33	42	51	59
20	97	148	240	359	495	642	966	1220	1651	2284
30	2827	3784	4885	6621	9149	9873	9942	9393	9241	8894
40	8662	8379	8304	8434	8097	7893	7774	7771	8019	7631
50	8332	14231	26243	24433	12076	6989	6074	5652	5575	5350
60	5244	4972	5075	4928	4931	4847	4798	4524	4551	4538
70	4531	4546	4411	4484	4190	4127	3863	3709	3625	3434
80	3245	3138	3160	2993	2927	2842	2842	2697	2735	2668
90	2567	2586	2611	2580	2466	2437	2528	2498	2537	2656
100	2701	2954	3109	2549	1490	1161	1004	1032	1045	971
110	966	946	985	936	925	909	825	894	839	882
120	898	942	1179	1227	1003	919	816	903	828	812
130	791	860	830	780	816	780	771	806	746	717
140	675	636	567	540	510	517	518	537	732	1635
150	2692	2114	897	486	404	385	374	340	351	354
160	367	339	310	307	285	296	306	318	299	312
170	314	280	266	259	258	317	279	253	210	252
180	247	223	226	199	249	214	211	207	197	216
190	237	364	656	839	559	281	202	197	182	180
200	192	176	162	174	143	198	177	166	174	173
210	155	160	170	200	153	188	171	158	176	187
220	210	238	638	1762	2494	1790	628	238	174	146
230	146	148	134	124	120	126	108	108	117	119
240	106	123	103	105	92	114	87	102	70	98
250	78	102	108	95	82	87	87	74	84	72
260	74	96	90	86	113	86	101	87	90	104
270	85	76	72	82	85	78	77	73	79	80
280	99	74	92	83	75	60	59	72	61	71
290	70	87	76	70	70	76	75	76	77	69
300	77	63	84	62	67	77	70	67	71	67
310	73	76	69	74	62	61	55	65	69	67
320	60	63	60	61	60	64	60	62	58	61
330	78	67	61	72	55	62	65	66	60	68
340	58	69	72	60	57	53	55	69	57	68
350	63	57	56	58	72	59	64	67	64	59
360	60	59	58	71	59	63	66	62	60	59

FIGURA 17

IV RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A continuación se muestran los resultados numéricos de las retenciones calculadas para las muestras no irradiadas e irradiadas a una determinada temperatura. Se han desechado los números que no están dentro de un $\pm 2\%$ del promedio aritmético.

TEMPERATURA °C	DOSIS Mrad	RAZON DE DOSIS Mrad/h	RETENCION	PROMEDIO
- 196	0	0	0.61486	
- 196	0	0	0.61546	
- 196	0	0	0.61746	
- 196	0	0	0.60164	
- 196	0	0	0.61550	
- 196	0	0	0.62438	0.61487
- 196	8	4	0.60549	
- 196	8	4	0.61300	
- 196	8	4	0.63089	0.61371
- 196	12	3.95	0.62318	0.62318
- 78.5	0	0	0.64188	
- 78.5	0	0	0.65587	
- 78.5	0	0	0.64983	
- 78.5	0	0	0.65090	
- 78.5	0	0	0.64780	
- 78.5	0	0	0.63644	
- 78.5	0	0	0.63278	0.64507

TEMPERATURA °C	DOSIS Mrad	RAZON DE DOSIS Mrad/h	RETENCION	PROMEDIO
- 78.5	2.35	4.7	0.67338	
- 78.5	2.35	4.7	0.65857	
- 78.5	2.35	4.7	0.69785	
- 78.5	2.35	4.7	0.66801	
- 78.5	2.35	4.7	0.65250	0.66937
- 78.5	4.7	4.65	0.72675	
- 78.5	4.7	4.65	0.70344	
- 78.5	4.7	4.65	0.71118	0.71379
- 78.5	4.7	4.7	0.71412	
- 78.5	4.7	4.7	0.69299	
- 78.5	4.7	4.7	0.69733	0.70148
- 78.5	9.3	4.6	0.72404	0.72404
- 78.5	13.95	4.65	0.70536	
- 78.5	13.95	4.65	0.72035	0.71285
- 78.5	14.4	4.8	0.70223	
- 78.5	14.4	4.8	0.70707	0.70465
- 78.5	18.4	4.6	0.71087	
- 78.5	18.4	4.6	0.71619	0.71353
- 78.5	20.9	4.65	0.72636	0.72636

TEMPERATURA °C	DOSIS Mrad	RAZON DE DOSIS Mrad/h	RETENCION	PROMEDIO
- 78.5	21.15	4.7	0.71452	
- 78.5	21.15	4.7	0.71041	
- 78.5	21.15	4.7	0.70377	
- 78.5	21.15	4.7	0.70901	0.70942
- 10	0	0	0.66625	
- 10	0	0	0.66248	0.66436
- 10	4.1	4.1	0.70856	
- 10	4.1	4.1	0.71522	0.71189
- 10	8	4	0.75779	
- 10	8	4	0.75682	
- 10	8	4	0.74359	
- 10	8	4	0.72965	0.74696
- 10	10.125	4.05	0.74592	
- 10	10.125	4.05	0.73777	0.74184
- 10	12	4	0.75906	
- 10	12	4	0.75563	0.75734
- 10	12.3	4.1	0.75774	
- 10	12.3	4.1	0.73942	0.74858
18	0	0	0.69488	
18	0	0	0.73491	0.71489
18	8.845	4.35	0.84043	
18	8.845	4.35	0.85147	0.84595
18	11.46	4.3	0.83621	0.83621
18	13.92	4.35	0.83810	

TEMPERATURA °C	DOSIS Mrad	RAZON DE DOSIS Mrad/h	RETENCION	PROMEDIO
18	13.92	4.35	0.84616	0.84213
50	0	0	0.77298	0.77298
50	8	3.95	0.87676	0.87676
50	12	3.9	0.86729	
50	12	3.9	0.87583	0.87156

CONCLUSIONES

El control de la temperatura se logró con una precisión de ± 2 °C, por lo cual se considera que el tratamiento de los cristales fué isotérmico.

Debido a que la razón de dosis varió en un intervalo de 3.9 a 4.8 Mrad/h, los resultados se expresaron en base a la dosis total dada.

Se observó un efecto de la radiación gamma en la retención del Te-127 en forma de ácido telúrico, la cual varió en un principio rápidamente y conforme aumentó la dosis dada alcanzó un valor máximo en el cual se mantuvo, a pesar de que la cantidad de radiación gamma administrada haya sido mayor, este comportamiento está de acuerdo con lo mencionado en el capítulo de generalidades. Además se concluye que este efecto de la radiación gamma sobre la retención es menor cuando la temperatura de trabajo es menor, como se indica en la figura 18, siendo casi cero a temperaturas criogénicas, y que la variación de este efecto con la temperatura $\Delta r/\Delta t$ es pequeña para temperaturas abajo de 0 °C existiendo un punto cercano a cero por encima del cual esta variación es mayor, figura 19.

Es importante señalar que existen varios factores que hacen que haya fluctuaciones en los resultados y se pierda en precisión, como son la naturaleza misma de la radiación, por lo que respecta al decaimiento de los cristales radiactivos del ácido telúrico; al tamaño variable de esos cristales

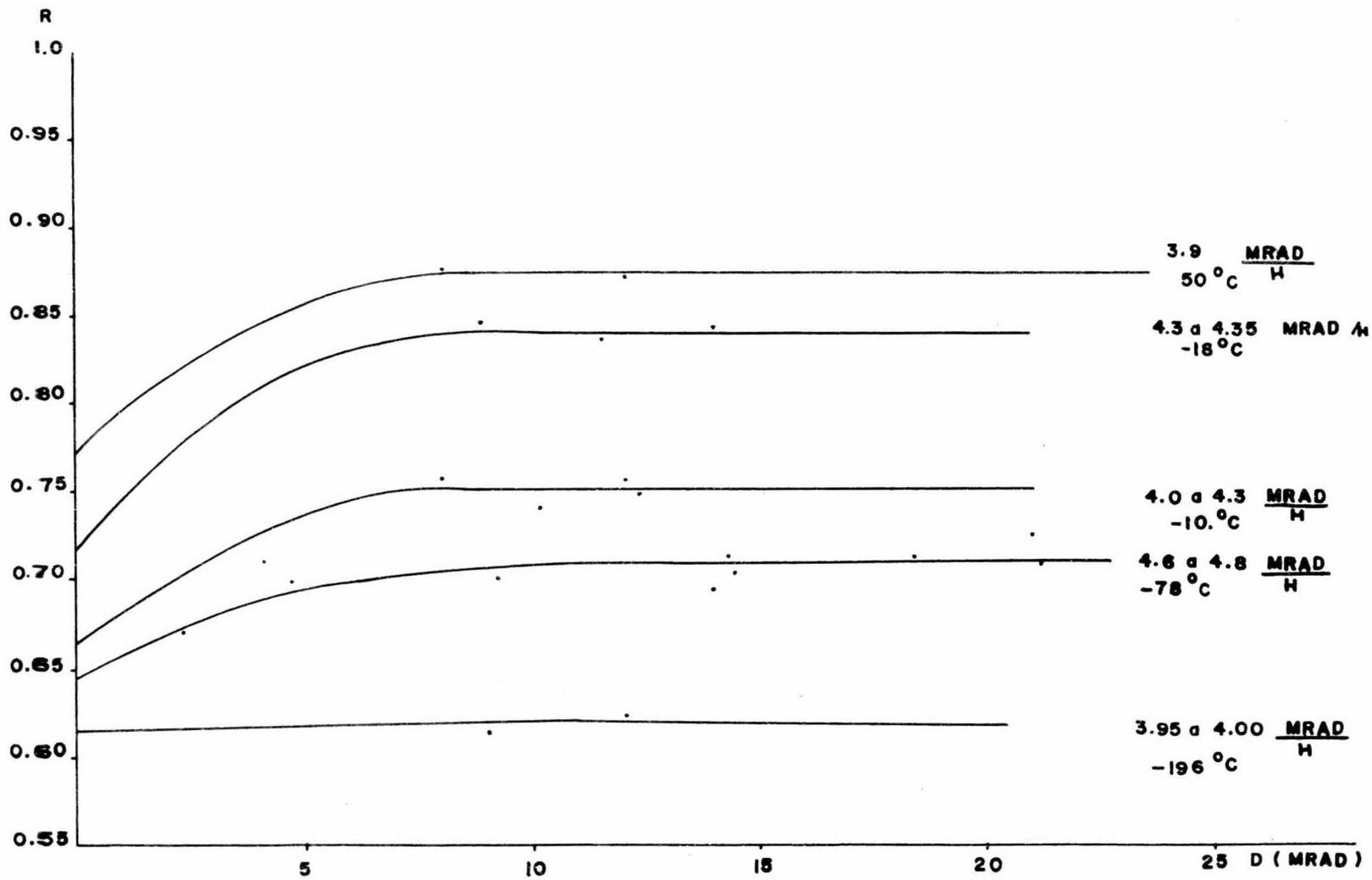


FIG. 18

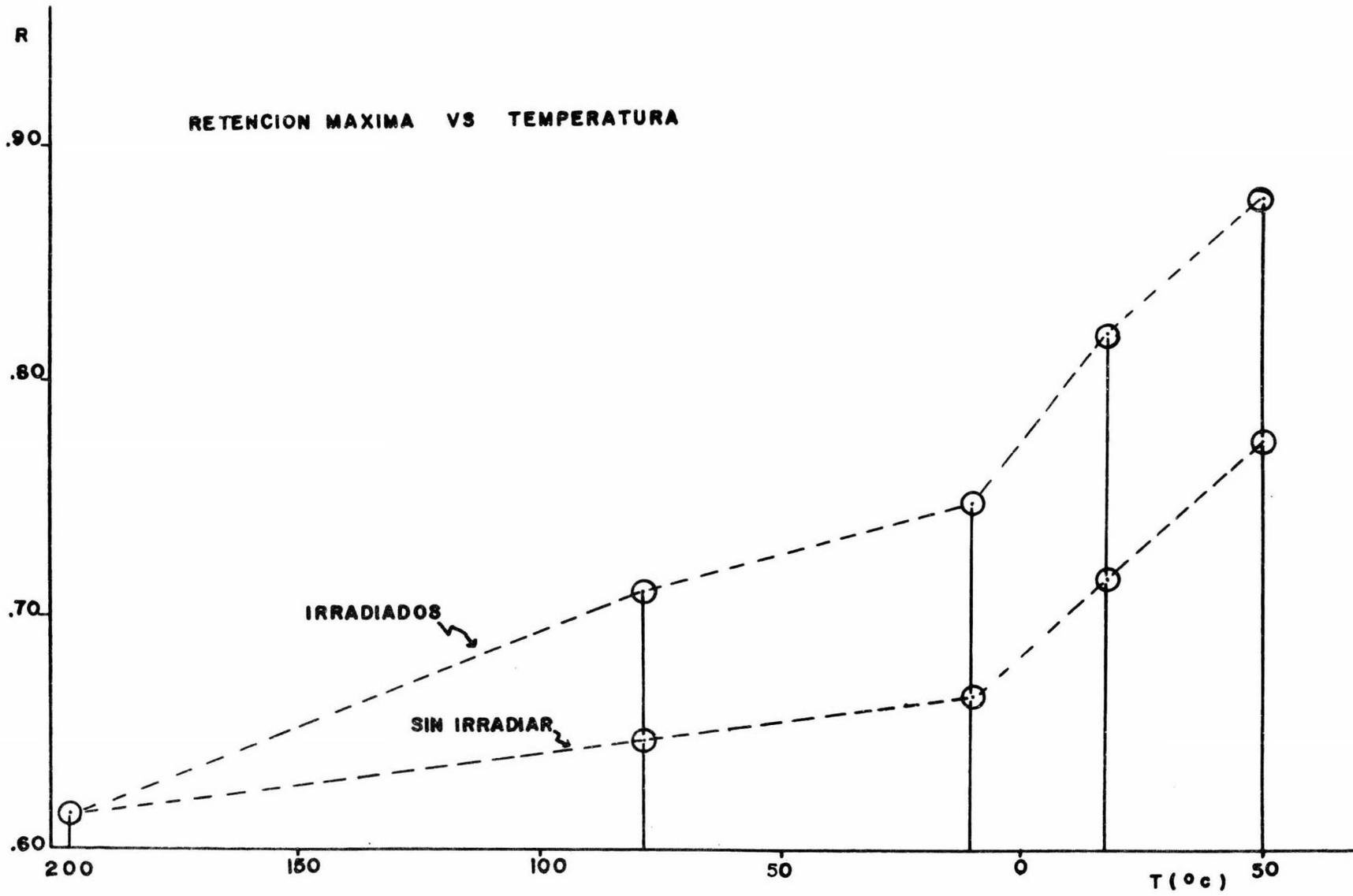


FIG. 19

obtenidos en las varias ocasiones en que se requirieron prepararlos, a las posibles pérdidas de material durante el proceso de extracción y la posibilidad de no contar en todos los casos con la misma geometría en el sistema de detección.

Sin embargo y a pesar de las posibles causas de error, se puede concluir que los experimentos indicaron una buena reproducibilidad, dentro de los límites ya señalados de $\pm 2\%$ en los resultados finales de la retención para el Te-127.

Es recomendable para este tipo de investigación el que se realicen el mayor número posible de experimentos, siempre y cuando lo permita la disponibilidad de la fuente de irradiación y del sistema de detección, que por regla general se comparten con muchos otros grupos de trabajo.

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

1. L. Szilard & T. A. Chalmers
Nature, 143 (1934) 462.
2. Nuclear Chemistry, II, capítulo 8, (1968)
Editado por L. Yaffe, Academic Press Inc.
3. Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry
1 (1959). Academic Press Inc. N. Y.
4. G. Stöcklin
Chimie des Atomes Chauds
(1972) cap. X, pag. 167-205
Masson et Cie., Editeurs.
5. A.G. Maddock
Radiochemistry, Inorganic Chemistry Series Two
8 (1975) 273
Editado por H.J. Emeléus y A.G. Maddock, Butterworths.
6. S. Bulbulian
Efectos de la Transición Isomérica y Recocido Térmico
en el Acido Telúrico.
Tesis, Fac. Ciencias UNAM (1970).
7. P. J. Durrant & B. Durrant
Introduction to Advanced Inorganic Chemistry 2nd. Ed.
(1970) cap. 22, pág. 796. John Wiley & Sons, Inc.
8. B. E. Douglas & D. H. Mc. Daniel.
Conceptos y Modelos de Química Inorgánica
apéndice E (1970) 646
Editorial Reverté, S.A.

9. E. Friedlander, J. W. Kennedy y J. M. Miller
Nuclear and Radiochemistry 2nd. Ed.
Apéndice E (1964) 549, John Wiley & Sons.
10. C. M. Lederer & J. M. Hollander & I. Perlman
Tables of Isotopes 6th. ed.
(1967) John Wiley & Sons, Inc.
11. A. M. Murin, V. D. Nefedov, E. D. Sinodova y O. V.
Llavionov. J.
Inorganic Chemistry, USSR
III #1 (1958) 181-183.
12. D. Dancewicez y A. Halpern
Nature 203 (1964) 856
13. C. H. W. Jones & J. L. Warren
J. Inorganic and Nuclear Chemistry;
30 (1968) 2289.
14. S. Bulbulian y A. G. Maddock
J. Chemical Society A (1971) 2810
15. M. Muriel, C. Archundia, R. Herrera y S. Bulbulian;
Elaboración y uso de un programa de cómputo para el -
cálculo de la retención en la transición isomérica del
ácido telúrico.
Primer Congreso de la Academia Mexicana de Ciencia y -
Tecnología Nucleares, Acapulco Gro. (1974).
16. I. E. García
Dosimetría Química de una Fuente de Irradiación de al-
ta Actividad de Cobalto 60.
Tesis, Fac. de Ciencias Químicas, U. Veracruzana (1974).

17. J. Mendez
Análisis y Diseño de un Control de Temperatura de Precisión.
Primer Congreso de Ingeniería Eléctrica Petrolera en -
México, D.F. (1968).
18. Electrónica Industrial Monclova, S. DE R. L.
Guía para la selección de alambres termopares y cables de extensión compensados (1974).
19. Calibration Tables for Thermocouples
Handbook of Chemistry and Physics 53rd. ed.
(1972-1973) E-103
C. R. C. Press.