

## Tesis de Posgrado

# Determinación del rendimiento relativo de fisión de dos isótopos del Sn

Carminatti, Héctor

1955

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Carminatti, Héctor. (1955). Determinación del rendimiento relativo de fisión de dos isótopos del Sn. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0881\\_Carminatti.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0881_Carminatti.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Carminatti, Héctor. "Determinación del rendimiento relativo de fisión de dos isótopos del Sn". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1955.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0881\\_Carminatti.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0881_Carminatti.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

HECTOR CARMINATTI

**DETERMINACION DEL RENDIMIENTO RELATIVO  
DE FISION DE DOS ISOTOPOS DEL ESTAÑO**

TESIS DOCTORAL

TESIS: 884

1955

---

TESIS DOCTORAL.

HECTOR GARMINATTI.

Rendimiento relativo de fisión de dos  
isótopos del estaño

RESUMEN

Se ha determinado la relación de los rendimientos independientes de fisión de dos isótopos del estaño: el estaño 127 y el estaño de 57 minutos.

La fisión no ha sido inducida con neutrones térmicos, sino con deuterones de 28 Mev, del sincrociclotrón de la C.N.E.A. en Buenos Aires.

Esta determinación se ha realizado en forma indirecta midiendo las actividades absolutas de sus antinomicas hijas (Sb de 10,3 min y Sb 127) ya que es difícil la medición directa de los estaños, por haber isótopos de períodos semejantes y por no ser conocida perfectamente esta zona en la tabla.

Se verificaron los períodos de estos radioisótopos y se realizaron ensayos con indicadores de antimonio y arsénico para probar algunos de los métodos químicos empleados.

En las distintas determinaciones se ha encontrado el valor medio de  $1,14 \pm 0,08$  para la relación de los rendimientos del estaño de 57 minutos y el estaño 127.

De acuerdo con estos resultados y completando un trabajo anterior sobre el estaño de 57 minutos (cita bibliogr.1)

donde se le asignaba como número de masa posible el de 126, 128 y 130, puede concluirse como valor más probable el de 128.

En la curva de rendimiento de fisión para uranio con deuterones de 28 Mev, se observa aún el valle central, aunque no puede decirse nada acerca de su forma y profundidad.

Por consiguiente, según lo visto en (4) tenemos finalmente que:

$$\frac{T_{57m}}{T_{127}} = 1,69 \frac{A'_{sb 10,3m} \cdot C'_{sb 127}}{A' \cdot C'_{sb 10,3m}}$$

En las determinaciones efectuadas en la presente tesis, se han obtenido los siguientes valores:

		Irradiación		Purificación		Separación		A' sb 10 m.	A'	Ten 57m
		Tiempo	C <sub>1</sub>	Tiempo	C <sub>2</sub>	Tiempo	C <sub>3</sub>			Ten 127
1)	Sn-57m	11 min	0,125	4h15m	0,045	2h50m	0,144	8,525g/m	2400g/m	1,00
	Sn-127	11 min	0,080	4h15m	0,235	2h50m	0,124			
2)	Sn-57m	9 min	0,104	9m	0,35	2h51m	0,074	14,800g/m	3720g/m	1,25
	Sn-127	9 min	0,0494	9m	0,598	2h51m	0,0156			
3)	Sn-57m	8 min	0,0925	9m	0,558	2h 8m	0,258	64,000g/m	4000g/m	0,81
	Sn-127	8 min	0,0442	9m	0,80	2h 8m	0,0102			
4)	Sn-57m	8 min	0,0925	9m	0,50	2h15m	0,115	54,500g/m	4800g/m	1,87
	Sn-127	8 min	0,0442	9m	0,57	2h15m	0,0153			
b)	Sn-57m	7 min	0,0818	2h25m	0,177	4h15m	0,057	1,860g/m	580g/m	1,57
	Sn-127	7 min	0,0388	2h25m	0,443	4h15m	0,0158			

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DETERMINACION DEL RENDIMIENTO  
RELATIVO DE FISION DE DOS  
ISOTOPOS DEL S<sub>n</sub>

TESIS presentada para optar al título de  
DOCTOR EN QUIMICA

Por Héctor Garminatti

Padrino de tesis: Prof. W. Seelmann Egebert  
Cátedra de Química Nuclear

1955

A mis padres.

Desco agradecer profundamente a mi consejero y maestro, Prof. Dr. Walter Seelmann-Eggebert, padrino de esta tesis.

Doyle las gracias a la Dra. Ilse G. de Fraens por haber orientado esta tesis y por haberme aconsejado durante su realización.

A la Dra. Josefina Rodriguez, La Srta. Josefina Crespo y al señor Renato Radicella agradezco su ayuda.

Agradezco asimismo al Ingeniero Ernesto Galloni y al grupo del sincrociclotrón por la cooperación en las irradiaciones efectuadas.

Me siento muy obligado a las autoridades de la Comisión Nacional de la Energía Atómica, por el apoyo prestado a esta tesis, que fué realizada íntegramente en los Laboratorios de Radioquímica de la Comisión.

-----oOo-----

## INTRODUCCION

El objeto de este trabajo es la determinación del rendimiento relativo de fisión de dos isótopos del estaño; el estaño 127 y el estaño de 57 minutos. A pesar del interés especial que tiene el estaño para la teoría de fisión nuclear, por su número mágico de protones, no se han realizado determinaciones de rendimiento de fisión de sus isótopos radioactivos, con número de masa mayor que el estaño 125. Los isótopos más pesados son poco conocidos y su separación radioquímica ofrece dificultades.

No se ha realizado esta determinación en forma directa midiendo las actividades absolutas de los estaños, sino que se midieron las actividades de sus nucleidos hijas; el antimonio de 10,3 minutos y el antimonio de 100 horas. Previamente se confirmó los períodos de estos nucleidos.

La fisión no ha sido inducida con neutrones térmicos, sino con deuterones de 23 mev, del sincrociclotrón de la C.N.E.A.

Buenos Aires, siendo este trabajo parte de una serie de determinaciones relativas que se realizan en dicho Instituto.

Como resultado de la presente determinación, se obtiene el valor para la relación del número de núcleos de estaño de 57 minutos y estaño 127, formado en la fisión nuclear, es de 1.12. Como consecuencia de éste y completando un trabajo anterior sobre



La descripción de los casos de  $^{140}\text{La}$  (ver el Anexo C. 1), donde se le asigna el número de masa probable de 140, 139 y 138, puede dejarse con el valor más probable es el número de masa 140.

1. ELEMENTOS PRODUCIDOS POR LA FISSION NUCLEAR

Las primeras experiencias que llevaron al descubrimiento de la fisión nuclear, fueron realizadas por Fermi y sus colaboradores, al tratar de preparar elementos transuránicos (Z 92) por el proceso de captura de neutrón seguido de sucesivas emisiones beta. Los períodos de los nucleidos radioactivos artificiales que se encontraron, fueron mayores que los naturales y resultaba muy difícil encuadrarlos en un esquema que estuviera de acuerdo con las propiedades de los elementos pesados. Se encontraron cuatro períodos distintos que se supusieron debidos a isótopos beta activos del radio, porque precipitaban con bario. Mientras que sus nucleidos hijos se crearon isótopos del actinio por precipitar con lantano.

Hahn y Strassmann después de estudios químicos cuidadosos llegaron a la conclusión de que se trataba de isótopos del bario y lantano. Hoy se sabe que se trata de los productos de fisión bario 140 (T=12,6 días) y lantano 140 (T=40 días).

////

Estos investigadores sugirieron que el núcleo de uranio, después de capturar un neutrón, sería dividido en dos fragmentos aproximadamente iguales. Trataron de identificar, entonces, elementos de peso atómico intermedio entre los productos del uranio irradiado con neutrones, incluyendo algunos de los gases nobles: helio y uranio.

Como las reacciones combinadas de estos fragmentos que se desintegraron a los dos núcleos origen, Helio y Plomo, se combinaron en la fusión (cuando ese nombre se usó) se liberaría una gran cantidad de energía. Luego estos fragmentos se combinaron con una velocidad y serían capaces de iniciar una reacción. El propósito de observar la gran cantidad de los productos de la reacción. Además, éstos podrían ser utilizados en un reactor nuclear de 60 y 100 kw, lo que indicaría que el núcleo debe tender a dividirse en dos partes. Este artículo en la fusión que se está combinando.

El núcleo nuclear, se está haciendo la reacción de fusión nuclear, pero no se está combinando con los fragmentos de uranio. El propósito de observar los productos de la reacción, se refiere a la reacción del uranio.

El propósito de observar los productos de la reacción, se refiere a la reacción del uranio.

ejemplo, a los productos de fisión (fissionable). Los núcleos de uranio 235, plutonio 239, uranio 233 y de torio 232 se fisionan ya con neutrones térmicos (con energía menor de 1 MeV). En cambio para otros nucleidos pesados, como torio 232 y uranio 238, se requieren neutrones más energéticos.

Se conocen productos de fisión con número atómico desde 30 (zinc) hasta 67 (europio) y con número de masa desde 72 hasta 160 aproximadamente. Estos límites últimamente se han ampliado, habiéndose encontrado un isótopo de hafnio ( $Z=72$ ) entre los productos de fisión.

Los productos primarios de fisión tienen un exceso de neutrones, ya que la relación neutrón: protón, es mayor en los núcleos pesados, que en los núcleos de peso medio, en los cuales se divide. Son generalmente inestables y desintegran por emisión beta. Se han encontrado series de isóbaros activos de hasta seis desintegraciones sucesivas.

Existiendo este exceso de neutrones en los fragmentos originados en la fisión, podría sorprender el hecho de que los núcleos no desintegran por emisión de estas partículas. Esto no sucede debido a que si el núcleo tuviese una energía suficiente para emitir un neutrón (es decir alrededor de 8 Mev), la emisión espontánea sería muy rápida, (posiblemente en menos de  $10^{-12}$  seg), y el núcleo sería tan inestable que no se le podría considerar como teniendo existencia real.

Sin embargo hay algunos ejemplos de nucleidos inestables, que desintegran sus núcleos a una velocidad aparente de desintegración variable, pero este resultado es debido a circunstancias accidentales. En estos casos se forma un nucleido, que por emisión beta da otro nucleido hija altamente excitado, que emite un neutrón con una velocidad del orden de  $10^{12}$  seg. Pero aparentemente todo sucede como si esa emisión del neutrón tuviera un período mayor, debido al período de desintegración del nucleido original.

Esto es el caso del bromo-87 que por emisión beta da al kriptón 87, con un período de desintegración de 55,6 seg. Este último puede formarse en un estado altamente excitado, con suficiente energía como para emitir inmediatamente un neutrón y caer al kriptón 86 estable.

2. Rendimiento de fisión. Un producto de fisión puede resultar originalmente del proceso de fisión, o puede formarse por la desintegración de uno de sus antecesores, que fueron a su vez productos primarios. Siendo el rendimiento de fisión, el número de núcleos formados por cada  $10^6$  núcleos de uranio que fisiónan, en el primer caso se habla de rendimiento de fisión directo o independiente. Cuando se considera la abundancia relativa de una cadena isobárica, se habla del rendimiento de fisión de la cadena o de la rama, que sería la suma de los rendimientos independientes a lo largo de dicha cadena.

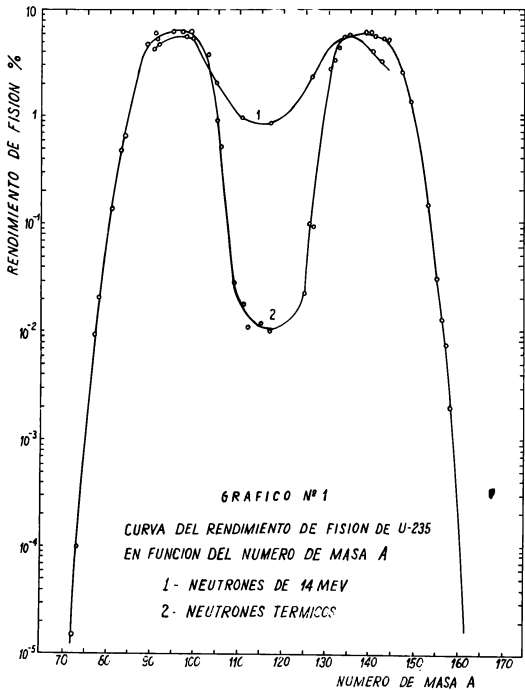
Los productos de fisión no se forman con la misma probabilidad, sino que alrededor de los números de masa 95 y 139 son más abundantes.

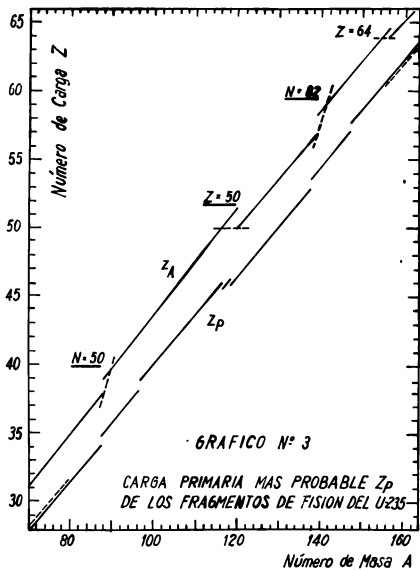
Se ha estudiado la distribución de la abundancia relativa de los productos de fisión para una cadena isobárica, midiendo la abundancia de un isótopo de período más o menos largo cerca del final de dicha cadena de desintegraciones beta.

La curva que vemos en el gráfico No. 1, representa el resultado de los trabajos de un grupo de radioquímicos americanos. Se refiere a la fisión inducida con neutrones térmicos y se representa este rendimiento en función del número de masa. Se observa una simetría alrededor del valor  $\left[ \frac{A-\mu+1}{2} \right]$  donde:  $A$  es el número de masa del núcleo original.  $\mu$  es el número de neutrones inmediatos emitidos ( $2,5 \pm 0,1$ ).

Un problema que ha despertado especial interés es la distribución de la carga nuclear en la fisión. Presenta este problema dos aspectos fundamentales:

- 1) La determinación del modo más probable de división de la carga. En el gráfico No. 3 de acuerdo a los trabajos de Pappas, se tiene el número de carga más probable ( $Z_p$ ) formado en la fisión en función del número de masa ( $A$ ).
- 2) La variación del rendimiento de fisión independiente a lo largo de una cadena isobárica, es decir la curva de distribución alrededor de  $Z_p$ .





Si consideramos que la distribución de carga y de masa fundamentalmente siguen leyes de probabilidad, puede esperarse que el rendimiento independiente más elevado de una cadena isobárica de productos de fisión, se encuentre alrededor del centro de la cadena y que los valores de los rendimientos independientes decrezcan hacia uno y otro lado, de acuerdo a una curva simétrica y con una probable inclinación suave.

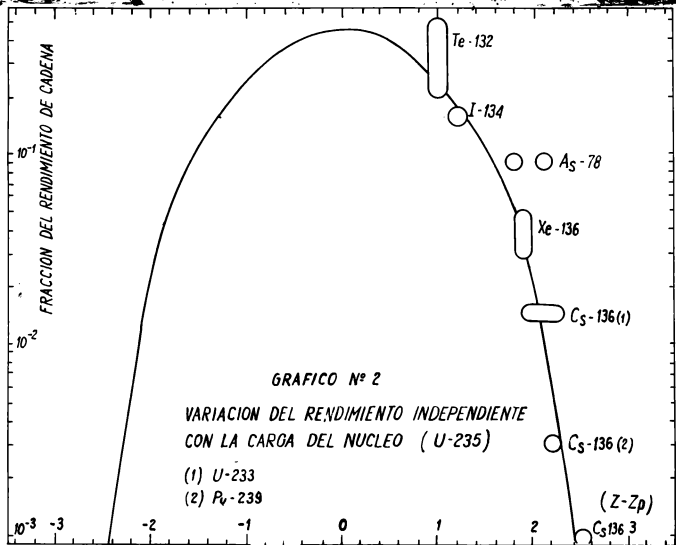
El  $Z_p$  representaría el valor más alto de rendimiento independiente, estando posiblemente a 3 o 4 unidades de carga del valor estable.

Como no se ha podido acumular bastantes datos experimentales sobre rendimientos independientes para una cadena isobárica, por ser una determinación muy difícil, con los datos que se tienen se trata una curva de distribución de carga y se hace la extensión para toda la región de masas, como vemos en el gráfico No. 2.-

De acuerdo con estas consideraciones, en la cadena de número de masa 127, el indio ( $Z=49$ ) sería el elemento de formación directa más probable y el antimonio ( $Z=51$ ) se formería aproximadamente en un 2%.

El indio 127 no se conoce y posiblemente con un período de vida media muy breve caiga en el estallo 127. Si se le asigna el número de masa 130 a la cadena isobárica: estallo 57  $\pm$  2 minutos; antimonio 10,3  $\pm$  0,3 minutos (cita bibliogr. 1) la carga







trones de aproximadamente 15 Mev.

De acuerdo con estas experiencias, se ha determinado que la energía de excitación en el núcleo bombardeado, aumenta mucho en la fisión con partículas de mayor energía; luego la depresión central en la curva del rendimiento de fisión se va aplanando (gráfico No.1) y para las energías muy altas, se obtienen curvas que presentan un solo pico. Los productos de fisión formados con estas altas energías, son notablemente diferentes de aquellos obtenidos en la fisión con neutrones térmicos. Las cadenas isocéricas son más cortas e incluso muchos isótopos estables, se forman como productos primarios (cita bibliogr. 4).

Aunque no se conoce la curva del rendimiento de fisión para deuterones de aproximadamente 28 Mev, condiciones en las cuales han efectuado estas determinaciones, se puede aventurar decir que muy probablemente el valle central sea bastante menos pronunciado que el obtenido en la fisión inducida con neutrones térmicos.

Thode y Graham con el espectrómetro de masas, determinaron la abundancia relativa de isótopos de vida larga del xenón ( $Z=54$ ) y kriptón ( $Z=36$ ) formados en la fisión de Uranio  $^{235}$  inducida con neutrones térmicos, encontrando el primer indicio de estructura fina en las curvas de rendimiento de fisión. Al ampliar estos trabajos se vio que esta estructura fina se encuentra en el pico pesado, siendo más acentuado en la parte izquier-

da, alrededor del número de masa 134 y en el pico liviano alrededor del valor 85.

Estas son las regiones donde los nucleoides tienen 50 y 82 neutrones, que son números mágicos.

### 3. Propiedades físicas nucleares de los nucleoides del estado.

Es de mucho interés el estudio de los isótopos del es. año, ya que de su estudio que pasa mayor número de isótopos estables. Según la teoría de las capas nucleares, esto es debido al hecho de tener 50 protones en su núcleo, que es un número mágico, ya que los núcleos que tienen 2, 8, 20, 28, 50, 82 y 126 protones o neutrones tienen una energía de unión mayor (véase bibliografía 5).

La determinación del rendimiento de fisión tiene importancia en el punto de vista teórico, por existir la posibilidad de que se encuentren picos en esta curva, con valores más altos que las probabilidades, como ya se vio al hablar de la estructura fina en la curva de la energía de fisión espontánea, interesa el estudio de las probabilidades independientes para esas cadenas isoméricas, ya que se han encontrado a 1.50 (estados) muy posiblemente la curva no presenta esa forma simple y la interpretación se ve en el gráfico No. 2.

En el estado se destaca el isótopo de masa 122, que no se conoce y que presenta la particularidad de ser de tipo mágico por tener además de los 51 protones, 82 neutrones.

En el presente trabajo se estudian

1) El estaño 127, emisor beta al que se le asigna un período de 123 minutos (cita bibliográfica 19) su hija antimonio 127 es también emisor beta con un período que en las tablas figura con los valores:  $93 \pm 3$  hs. (cita bibliográfica 6), 95 h. (cita bibliográfica 7), 99 hs. (cita bibliográfica 8) y que según nuestras mediciones tendría  $100 \pm 5$  hs. Este antimonio cae en forma ramificada al teluro 127 m. y al teluro 127. Según los valores de A. C. Pappas el 73% cae al teluro 127 y el 22% a su isómero (cita bibliográfica 8), el que emite una radiación gamma de 0,0885 Mev (cita bibliográfica 9) con un período de 90 días (cita bibliográfica 10). El teluro 127 es un beta emisor con un período de 9,3 horas (cita bibliográfica 10) desintegrando al iodo estable.

2) El estaño de  $57 \pm 2$  minutos, cuyo período ha sido medido en forma indirecta por medio de su nucleído hija, el antimonio de  $10,3 \pm 0,5$  minutos.

Este cae a un isótopo de teluro estable (cita bibliográfica 1). El número de masa de esta serie isobárica no se da con seguridad, asignándose los valores 126, 128 y 130 como más probables.

#### PARTE EXPERIMENTAL

1. Métodos radioquímicos para la separación del estaño y elementos vecinos. En las separaciones radioquímicas, no siempre se

emplean los métodos comunes de la química cuantitativa, debido a que se trabaja con cantidades imponderables de los elementos activos. Se utilizan portadores que pueden, o nó, ser isótopos para favorecer la separación química o en ciertas ocasiones, para evitar la contaminación radioactiva (portadores de retención). También se recurre al empleo de precipitados que luego se pueden disolver fácilmente, para arrastrar cantidades no pesables de algún elemento radioactivo que interese.

Esto se ha ensayado con mucho éxito para arrastrar el estaño radioactivo en el precipitado de óxido de antimónico, que se puede solubilizar en ácido clorhídrico concentrado, mientras, que si se precipita directamente el estaño en estas condiciones, se obtiene el ácido stánnico que ofrece dificultades para su disolución.

En estas determinaciones, interesa aislar el estaño radioactivo de los restantes productos de fisión. En un momento dado, eliminar todos los isótopos de antimonio activos (ya sea los que provienen por desintegración beta de su madre o los formados directamente en la fisión), a fin de poder separar cuantitativamente todos los isótopos del antimonio que se formen en un intervalo de tiempo perfectamente conocido.

En la marcha química, hay que tener especial cuidado en trabajar en todo momento con ambas valencias del estaño, pudiéndose asegurar así que no se pierda ninguno de sus isótopos forma-

dos en la fisión. No importando en cambio, el rendimiento químico de la purificación. Un problema semejante se presenta con el antimonio, aunque en este caso la separación debe ser completa.

Teniendo presente estas consideraciones se ensayaron distintos métodos químicos para el estaño, antimonio y también para el telurio. Los métodos investigados para el estaño los podemos agrupar en los de precipitación y destilación.

a) Entre los métodos de precipitación:

- 1) Precipitación con ácido sulfhídrico. Es un método delicado, pero no obstante se lo emplea en muchos trabajos radioquímicos por su rapidez, aunque su rendimiento sea pobre. Se lo ha utilizado como primera separación del estaño radioactivo de una muestra irradiada de uranio (cita bibliográfica 1), pero como se precipitan o se arrastran muchas otras actividades, es necesario regular después sucesivas purificaciones.

En nuestro caso tiene el inconveniente de que no nos asegura el mismo rendimiento en la purificación para ambas valencias del estaño. En ausencia de elementos que interfieran, se puede precipitar en una acidez 1N de ácido clorhídrico, haciendo burbujear lentamente ácido sulfhídrico, neutralizando luego con amoníaco, y acidificando después con ácido acético. Aconsejan, para una precipitación cuantitativa, dejarlo muchas horas, estando la solución saturada con ácido sulfhídrico (cita bibliográfica 11). Se ha ensayado, que en frío, aún en presencia de ácido perclórico, es

posible precipitarlo con sulfúrico sin que el azufre moleste en las sucesivas etapas.

2) Precipitación con cupferrón (cita bibliográfica 12). El estaño IV es precipitado cuantitativamente con este reactivo de una solución moderadamente ácida y también de las soluciones con ácido sulfhídrico complejando el estaño con ácido fluorhídrico, para eliminar el arsénico, antimonio, cobre y otros elementos.

Se agrega lentamente en la solución 0,5N de ácido clorhídrico y en frío un exceso (10%) de cupferrón. El precipitado se deja 30 minutos en reposo y después se filtra por papel coloidal.

Este método tiene el inconveniente de dar un precipitado muy voluminoso y de ofrecer dificultades para una disolución rápida del mismo, por cuyo motivo ha sido desechado.

b) Entre los métodos de destilación se han ensayado los siguientes:

1) Se destilan 3 ml de la solución clorhídrica (33%) que contiene el estaño con 15 ml de ácido perclórico (72%), en un destilador tipo Scherrer (cita bibliográfica 13). Se hace pasar una corriente de CO<sub>2</sub> para regular la destilación. Se calienta en un baño de parafina o de un aceite lubricante pesado, el balón a 200°C y se agrega ácido clorhídrico concentrado lentamente, de manera que la temperatura no pase de 220°C. La destilación termina cuando se han agregado 15 ml de ácido. La operación dura algo menos de 30 minutos, recogién dose aproximadamente 15 ml de



destilado.

Este método es más conveniente que aquel que utiliza una solución que contiene 40% de ácido bromhídrico y 60% de ácido sulfúrico, haciéndose más selectivo para el estaño, ya que el antimonio y el arsénico en esas condiciones destilan en un porcentaje menor al 5% (salvo el arsénico III que si no se lo oxida puede pasar hasta en un 30%).

En nuestra destilación puede interferir el germanio que destila aproximadamente en un 50% y el molibdeno que lo hace en un 5%. El tecnecio y el estaño lo hacen en forma casi total, 98% (cita bibliográfica 13).

2) Una modificación a este método, es la siguiente: destilar la solución bromhídrica (40%) con 60% de ácido perclórico a la que previamente se le han agregado 5 ml. de ácido fosfórico al 85%. Esta modificación tiene la ventaja de no destilar prácticamente nada de molibdeno, aunque el germanio destila en un 90%. También destila el antimonio y el arsénico, pero éste no ofrece dificultades para el trabajo.

Habiéndose encontrado entre los métodos anteriores, el más adecuado para los fines del presente trabajo, no se han efectuado ensayos basados en la extracción con solventes orgánicos.

En lo que respecta a la separación del antimonio, se han estudiado distintos métodos, que los podremos agrupar en los de precipitación, destilación y extracción.

a) Entre los métodos de precipitación podemos citar:

- 1) Precipitación con ácido sulfhídrico en solución 20% de acidez clorhídrica (cita bibliográfica 15).

La solución libre de arsénicos tratada con ácido clorhídrico hasta lograr una concentración del 20%. Se la calienta a 90 o 100°C y se hace burbujear una lenta corriente de ácido sulfhídrico. Se agita el recipiente para facilitar la coagulación del precipitado y la solución se diluye con agua hasta obtener un volumen doble. El precipitado se puede filtrar fácilmente y con rapidez por papel de filtro coloidal. El uso de este papel de filtro permite realizar la precipitación sin necesidad de coagular el precipitado, y filtrarlo rápidamente tardando algunos segundos en la operación. Presenta el inconveniente de precipitar muchos otros elementos, especialmente el estaño. Se puede agregar ácido fluorhídrico hasta una concentración 1N para complejar el estaño y se repite la operación anterior. El método es rápido pero no asegura la precipitación de las dos valencias del antimonio porque la valencia V no precipita en forma cuantitativa en estas condiciones, como se ha verificado en los ensayos utilizando antimonio activo como indicador. Tiene la ventaja de que el precipitado se puede disolver rápidamente en ácido clorhídrico concentrado.

- 2) Precipitación con oxina (cita bibliográfica 14).

Se basa en la formación de un quelato entre la  $\beta$  hidroxiquinoleína y el antimonio III. Este quelato, es de composición

definida. Se precipita de una solución ácida con exceso de oxina a 70°C, agregando lentamente amoníaco. Tiene el inconveniente de dar un precipitado muy voluminoso, aumentando en forma considerable la autoabsorción y la autodispersión de las radiaciones beta, por lo cual se lo desechó.

3) Precipitación del antimonio metálico con cloruro cromoso recién preparado (cita bibliográfica 8).

No habiendo ningún oxidante en la solución, el antimonio es precipitado con exceso de cloruro cromoso fresco. Este reactivo se prepara reduciendo con amalgama de cinc, una solución clorhídrica 1M de tricloruro de cromo.

El antimonio metálico es filtrado rápidamente y se lava con agua, alcohol y éter.

4) Precipitación del óxido antimónico con ácido nítrico fumante (cita bibliográfica 14).

Se hierve la solución nítrica que contiene el antimonio, se agrega ácido nítrico fumante, formándose un precipitado blanco de óxido antimónico. Se enfría la solución rápidamente y se puede filtrar con vacío sobre papel coloidal, siempre que se trabaje con poco volumen. Este precipitado se disuelve en ácido clorhídrico concentrado en caliente. Como ya se ha dicho en párrafos anteriores, este método fué ensayado a fin de arrastrar rápidamente el estaño activo.

b) Entre los métodos de destilación se han estudiado:

1) Destilación del pentacloruro de antimonio.

En un destilador tipo Scherrer se trata 15 ml de la solución bromhídrica (40%) del antimonio, que tenga una concentración 60% en ácido perclórico. Se hace pasar una corriente de anhídrido carbónico y se agrega ácido bromhídrico (40%) lentamente de manera que la temperatura no pase de los 220°C. La destilación termina cuando se agrogan 15 ml de ácido, tardando aproximadamente media hora. Tiene el inconveniente de que en estas condiciones destila el estaño y el arsénico (cita bibliográfica 13), por lo cual se lo desechó.

2) Destilación como estibamina.

La solución conteniendo el antimonio se hace aproximadamente 3 M en ácido clorhídrico. Se agregan granallas de cinc y se recoge la estibamina formada en una solución de nitrato de plata al 5%. La reacción es exotérmica y conviene enfriar el balón de manera de mantener la temperatura por debajo de 70°C. El rendimiento de esta destilación es muy pobre. El precipitado de antimoniuro de plata se puede disolver en caliente con una solución ligeramente clorhídrica que esté saturada de ácido tartárico. Se diluye al doble de su volumen, se enfría y se filtra el cloruro de plata y la plata metálica que se hubiese formado. Este precipitado que puede retener algo de antimonio activo, se lo lava con solución diluida de ácido tartárico.

Se lleva la solución obtenida a una acidez clorhídrica

LN y en estas condiciones se puede precipitar nuevamente el antimonio por pasaje de ácido sulfhídrico. Este método de destilación es muy específico para el antimonio, siendo utilizado por J. Beydon (cita bibliográfica 15) para separar el antimonio en forma directa de la solución que contiene todos los productos de fisión, sin efectuar purificaciones previas.

- e) Entre los métodos basados en la extracción con solventes orgánicos se ha ensayado la extracción con éter isopropílico saturado en ácido clorhídrico (cita bibliogr. 8).

En estas condiciones se extrae en forma selectiva la valencia V del antimonio.

A fin de oxidar el antimonio de la solución, se hace burbujear cloro gaseoso durante unos minutos. La solución (30% en ácido clorhídrico) es calentada a ebullición para eliminar el exceso de cloro. Se enfría y se efectúa la extracción con éter isopropílico saturado con ácido clorhídrico. En estas condiciones el telurio y el molibdeno son extraídos juntos con el antimonio, no así el arsénico que al estado pentavalente se extrae en un porcentaje despreciable.

Como el molibdeno podría significar un inconveniente, Pappas aconseja eliminarlo, reduciendo con hidrazina y efectuando una extracción con una solución de sulfocianuro de potasio. En esta forma, el antimonio reducido a la valencia III, pasa a la fase acuosa, con algo del telurio. El molibdeno queda retenido

en la fase estérea, formando un complejo con el sulfocianuro.

Es muy importante tomar precauciones en esta etapa, porque el molibdeno se forma apreciablemente en la fisión ya que está en uno de los picos de la curva de rendimiento de fisión en función de la masa. Este método se desechó por ser más ventajoso para nuestros fines la precipitación como sulfuro.

En lo que respecta al teluro se han ensayado técnicas de precipitación para eliminarlo, a fin de que no interfiriera en las mediciones. Se ha utilizado la precipitación por pasaje de ácido sulfhídrico en una solución clorhídrica concentrada, agregando teluro IV como portador (cita bibliográfica 1). Tiene la ventaja de que se puede realizar en pocos segundos, aunque la limpieza no es cuantitativa.

Después se ensayó precipitarlo con clorhidrato de hidrazina en solución 2N de ácido clorhídrico calentada a ebullición, agregando telurito y telurato de sodio como portadores. Este método se ha ensayado en presencia de antimonio activo, y se observó que lleva menos del 2% de su actividad. El mismo puede ser empleado para la purificación del teluro, ya que se lo puede disolver en caliente con muy poco ácido nítrico concentrado, llevar luego a sequedad dos veces con ácido clorhídrico y una vez regulada la acidez clorhídrica (2N), reprecipitarlo nuevamente con hidrazina en presencia de antimonio como portador de retención.

De estos métodos de separación de antimonio, están y

teluro enunciados, para los fines de esta tesis, se utilizó primero, la precipitación del estaño con ácido sulfhídrico, luego se lo purificó y por último se precipitaron los isótopos de antimonio formados a partir de él, como sulfuros en una solución fluorhídrica donde el estaño queda complejoado. Se disolvió este precipitado con ácido clorhídrico y se destiló el antimonio como estibamina, obteniéndolo como antimoniuro de plata. Después de muchas determinaciones, no se obtuvieron valores reproducibles.

Se pensó que esto podía atribuirse al hecho de no tener seguridad de que en la precipitación, el rendimiento fuera igual para ambas valencias del estaño, pudiéndose perder en las purificaciones siguientes, algunos de sus isótopos activos, formados en la fisión. Tampoco se podía asegurar en esas condiciones la precipitación cuantitativa de las valencias III y V de los antimonios. Tenía este método el inconveniente de su pobre rendimiento químico en la obtención del estaño, lo que obligaba a trabajar con actividades iniciales grandes, a fin de poder medir el antimonio 127 con una actividad tal que asegurara buena estadística.

Se utilizó después la destilación del estaño con ácido perclórico, donde todo el estaño formado en fisión pasa a la valencia IV, se lo precipitó después como sulfuro, disolviéndolo en ácido clorhídrico. Se agregó portador antimonio III y V, efectuándose una reducción con hidrazina en caliente. El estaño IV,

que no es afectado en la reducción anterior, se lo complejó con ácido fluorhídrico y se eliminaren los isótopos de antimonio como sulfuros, siendo cuantitativa la precipitación efectuada en esta forma. Luego de esperar un tiempo determinado, se repitió esa operación. Se destiló enseguida el antimonio como estibamina obteniéndolo como antimoniuro de plata.

## 2. Determinación del rendimiento químico con indicadores

Un isótopo radioactivo puede utilizarse en las técnicas analíticas en tres formas principales:

- 1) como una guía cualitativa para un proceso químico, por ejemplo para indicar si en un determinado precipitado se absorbe o no, un dado elemento, o para estudiar si se extrae por un solvente un determinado elemento, etc.
- 2) se puede estudiar la naturaleza de una impureza inactiva en una muestra dada; por ejemplo, Seaborg y Livingood detectaron seis partes en un millón, de galio en oro, irradiando con neutrones y midiendo la actividad debida al Ga.70 y Ga.72 (cita bibliográfica 16).
- 3) como guía en las técnicas químicas cuantitativas ya sea en macro o microquímica.

Este tema ofrece un vasto campo para el investigador



radioquímico. Se necesitan para ello isótopos de periodos muy largos o bien medianos, siempre que permitan trabajar con comodidad.

En este trabajo se utilizaron indicadores de arsénico y antimonio que se prepararon especialmente para este uso. El indicador arsénico se lo utilizó para estudiar en que forma puede impurificar el antimonio de plata, ya que se sabe que destila la arsenamina en las condiciones en que lo hace el antimonio al estado de estibamina.

Para la presente tesis, el arsénico no interfiere en nuestras mediciones, porque en las tablas de isótopos no figura ninguna cadena isobárica de germanio-arsénico, con una relación de periodos que pudieran molestar; además, se forma con un rendimiento muy pobre en la fisión. Con neutrones térmicos la relación del rendimiento de fisión de la cadena isobárica  $74$  con respecto a la  $127$  es de aproximadamente 10%. Con partículas más energéticas esta relación disminuye, observándose que con neutrones rápidos se aproxima al 1%.

Sin embargo, se ha efectuado el ensayo recién mencionado, por ser de interés para cualquier trabajo que esté relacionado con esta zona.

Como indicador arsénico, se utilizó una mezcla de dos isótopos: el arsénico  $74$  ( $T=19$  días) (cita bibliográfica 17) y el arsénico  $73$  ( $T=76$  días) (cita bibliográfica 18).

Esto último por captura  $K$  desintegra en germanio esta-

ble, y el anterior emite partículas beta y positrones, dando el solonio  $74$  (estable) y el germanio  $74$  (estable) respectivamente.

Presenta, pues, la gran ventaja de tener hijas estables, por lo cual no es necesario efectuar ninguna purificación antes de utilizarlo.

Se lo obtuvo por el proceso (d,n) irradiando óxido de germanio con deuterones de 28 kev. Como también se forman isótopos de galio [ por (d,  $\alpha$  p) ], de cinc [ por (d,  $\alpha$  p) ], de germanio [ por (d, p) y por (d, p n) ], es necesario purificarlo de estas actividades.

La muestra irradiada fué disuelta con ácido clorhídrico concentrado, destilando el arsénico con clorato de potasio. Previamente se agregaron portadores de retención: aluminio (para el galio), cinc, cobre y también portador arsénico. Descartando el destilado, se alcalinizó el residuo del balón que se había llevado a sequedad y se filtró el insoluble. La solución se volvió a destilar en las mismas condiciones, para eliminar el germanio.

Se oxidó luego el residuo de la destilación con agua de bromo y agregando portador de retención germanio complejoado con ácido cítrico, se precipitó el arseniato amónico de magnesio alcalinizando con amoníaco.

Se disolvieron estos cristales con ácido clorhídrico concentrado y se destiló como tricloruro de arsénico, agregando portadores de retención: cobre, cinc y aluminio.

Con el indicador así obtenido se efectuó el ensayo de la siguiente manera: se destiló antimonio en presencia de una actividad de arsénico. Se destiló en las mismas condiciones experimentales 2 mg. de antimonio inactivo en presencia de 30.000 c/m de arsénico. Se midió el antimoniuro de plata y tenía 2.600 c/m, lo cual indica que en estas condiciones de trabajo, algo del arsénico impurificó el antimoniuro.

Con indicador antimonio se ensayaron la precipitación en medio 2N de ácido fluorhídrico ( $Sb^{III}$ ) y el porcentaje de impurificación en el telurio precipitado con hidrazina a ebullición.

Como indicador antimonio se empleó el antimonio 127 formado en la fisión nuclear, el que se lo destiló como estibamina disolviendo el antimoniuro de plata con solución saturada de ácido tartárico.

El indicador antimonio se lo precipitó después con ácido nítrico fumante y a ebullición, disolviendo el anhídrido antimónico con ácido clorhídrico concentrado. Se realizaron varios ensayos para ver en que porcentaje precipita el antimonio en una solución 2N de ácido fluorhídrico, en las condiciones en que se ha efectuado este trabajo, obteniendo un 60% de la actividad inicial. Como se sabe que parte del antimonio  $V$  se reduce en la disolución en caliente, con ácido clorhídrico concentrado, se puede afirmar que más del 40% del antimonio  $V$  queda complejoado en la solución. Por este motivo, se ha preferido hacer

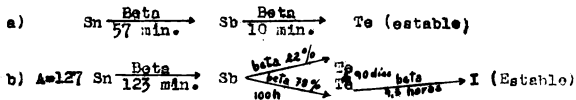
una reducción con hidrazina antes de efectuar esta precipitación en la marcha química empleada. En un trabajo anterior (cita bibliográfica 1) ya se ha estudiado la precipitación del antimonio III en estas condiciones y se ha llegado a la conclusión que es cuantitativa.

Con respecto a la precipitación de telurio con hidrazina a ebullición en presencia de antimonio activo, se ha encontrado que agregando portador antimonio (1 mg.) se impurifica el telurio en menos de un 2%. Resultado que tiene importancia para la obtención de la curva de absorción del telurio 127.

### 3. Determinación del rendimiento relativo de fisión de los isótopos del estaño.

#### R e s u m e n

En la presente tesis se ha determinado el rendimiento de fisión relativo de los isótopos de estaño de las siguientes cadenas isobáricas.



Las determinaciones se realizan en forma indirecta, midiendo las actividades de los isótopos de antimonio de 10 minu-

tos y 100 horas, ya que es difícil la medición directa de los isótopos de estaño por haber isótopos de períodos semejantes y por no ser conocida perfectamente esa zona en la tabla.

Ya se ha dicho anteriormente que este trabajo no se refiere a los rendimientos de ambas cadenas, sino únicamente al de los isótopos de estaño formados originalmente o como hijas de isótopos de indio de períodos muy cortos, por haberse eliminado los isótopos de antimonio formados directamente en la fisión.

El isótopo de antimonio de 10 minutos se midió inmediatamente de ser separado y en forma directa, y se lo determinó restando a la curva obtenida, la actividad larga del antimonio 127, en la que se observa el crecimiento del telurio hija.

Este isótopo de antimonio se lo midió durante estas pes y medio, ya en equilibrio con el telurio de 9 horas.

Se ha determinado la eficiencia relativa del tubo con - para ambos emisores beta, isótopos de antimonio y para el telurio 127.

Se midió nuevamente el período de su desintegración del antimonio 127, para determinar cuál de los valores que figuran en la bibliografía, debe tomarse para nuestros cálculos.

Se adoptó el valor de  $100 \pm 3$  horas.

A fin de tener buena estadística en las mediciones, se trabajó con bastante actividad. Analizando las curvas obtenidas, se observó evidentemente en todas ellas, un período de 100 horas,

lo que confirma además este valor y una actividad más larga, menor de  $\lambda$ , que se debe al telurio 127 que figura en las tablas con un periodo de 90 días (cita bibliográfica 10).

Los tiempos empleados en la separación química y en el crecimiento de los antimonios, han sido distintos de una determinación a otra, a fin de evitar errores sistemáticos, obteniéndose resultados reproducibles.

#### Detalles del método químico

Se han irradiado 2 mg de  $U_3O_8$  negro con deuterones de 28 Nev. en el sincrociclotrón de la C.N.E.A. de Buenos Aires, durante tiempos que varían entre 7 y 11 minutos, manteniendo el flujo del haz de deuterones constante. Se disolvió la muestra irradiada con ácido nítrico concentrado en caliente, y a fin de reducir las actividades solubles en amoniaco como molibdeno y bario, se precipitó el uranio como diuranato de amonio. Disolvióse este precipitado con 4 ml. de ácido clorhídrico concentrado, agregándose 5 mg de portador estaño (SnII - SnIV) y 15 ml. de ácido perclórico (70%). Se destiló en un destilador tipo Scherrer agregando lentamente 15 ml. de clorhídrico concentrado, y se mantuvo la temperatura del baño entre 220 y 250°C. A fin de evitar los sobrecalentamientos se hizo burbujear anhídrido carbónico, recolectándose en un tubo de ensayo 15 ml. de destilado, tardando en la operación aproximadamente media hora.

Se diluyó con agua a 5 veces su volumen y en frío se precipitó el estaño con ácido sulfúrico. Se resolvió el precipitado con ácido clorhídrico concentrado en caliente, no importante para los fines de este trabajo su disolución completa, ya que todo el estaño activo se encuentra en la misma valencia. Se agregó portador antimonio (antimonio III y antimonio V) efectuándose en caliente la reducción del mismo con clorhidrato de hidrazina.

El estaño en estas condiciones no se reduce. Se diluyó la solución a 1N en ácido clorhídrico, agregándose ácido fluorhídrico para complejar el estaño. Se precipitó dos veces el antimonio como sulfuro, a fin de eliminar los isótopos activos de antimonio formados directamente en la fisión, y los que provinieron de los isótopos de estaño, durante el tiempo transcurrido en esta separación química.

En esta etapa se emplearon tiempos que se hicieron variar en las distintas determinaciones entre 39 minutos y 4 horas 15 minutos desde el fin de la irradiación. Se tomó el tiempo medio de la filtración del último sulfuro de antimonio como fin de la purificación química. Se dejaron crecer las actividades de antimonio durante tiempos que variaron entre 2 horas 8 minutos y 4 horas 15 minutos, realizándose una nueva precipitación del antimonio como sulfuro. Previamente a esta operación, se eliminó el ácido fluorhídrico por calentamiento, se agregaron 2 mg de portador antimonio (III y V), reduciendo éste con hidrazina a 90°C

y posteriormente se complejó de nuevo el estaino con ácido fluorhídrico. Tomóse como fin de la separación el tiempo medio de la filtración del sulfuro de antimonio. En esta filtración como en la anterior, se utilizó material de lucita que aparte de ser resistente al ácido fluorhídrico tiene la ventaja de que las actividades no se adhieren fácilmente a su superficie. Se filtró sobre papel coloidal con vacío, tardando aproximadamente 20 segundos.

A esto precipitado de sulfuro de antimonio se lo disolvió rápidamente en ácido clorhídrico, diluyéndose luego a tres veces su volumen. Se agregó arsénico como portador de retención, y se destiló el antimonio como estibamina, empleando granallas de cinc, recogiénola en una solución de nitrato de plata al 5%. Se formó un precipitado negro de antimonio de plata. En estas condiciones, el 90% del arsénico que destila como arsenamina queda en solución, como se comprobó con indicadores.

Se efectuó la filtración con vacío sobre papel coloidal, y como la geometría del preparado que se obtiene debe ser bien reproducible, sobre el embudo Buchner de 3,8 cm de diámetro que generalmente se usa, se colocó un cilindro de vidrio de 2,1 cm. de diámetro, a cuyo borde esmerilado se adhirió bien el papel coloidal. Este filtro coloidal, con la muestra activa, se pegó con una solución de nitrato de celulosa sobre una chapa de lucita, a la que se le había practicado un orificio de 2,7 cm. de diámetro. Una vez seco el papel coloidal se pone completamente plano, no necesitándose fijar el precipitado, porque trabajando con cantidades



tan pequeñas, éstas se adhieren perfectamente al filtro. Se procedió luego a la medición de la muestra así preparada.

Confirmación del período de semi-  
desintegración del antimonio 127.

Para nuestras determinaciones se necesitan conocer los períodos de los isótopos de estaño y antimonio de ambas cadenas isobáricas, pues en los cálculos posteriores un error sobre estos valores, hace que gravite en forma sensible sobre la exactitud del resultado. Por este motivo fué necesario hacer una confirmación de los mismos.

De la cadena isobárica: estaño 57  $\pm$  2 minutos y antimonio 10,3  $\pm$  0,3 minutos, no se necesitó realizar esta comprobación por tratarse de un trabajo recién efectuado en los laboratorios de la C.N.E.A. (cita bibliográfica 4).

El período del estaño 127 fué determinado igualmente en un trabajo muy reciente y también en dichos laboratorios, por cuyo motivo no fué necesario confirmar el valor del mismo (cita bibliográfica 19).

Con respecto al antimonio 127, en la bibliografía figuran los siguientes períodos: 93  $\pm$  3 horas, 95 horas y 99 horas.

En las primeras experiencias efectuadas, ofreció dificultad la medición de este período, por tener colas con poca actividad y por consiguiente mala estadística. Se necesitaba una

muestra de antimonio muy activa. Se irradió para ello 8,5 miligramos de  $U_3O_8$  negro con deuterones de 28 Nev. durante media hora con una intensidad de haz de 10 mA. Esperóse una hora antes de efectuar la separación química para que las actividades cortas formales en la fisión cayeran sensiblemente. Se realizó la separación del estaño, destilándolo con ácido perclórico, en la misma forma indicada que para la determinación de los rendimientos relativos de fisión. Tres horas después del fin de irradiación se hizo la última limpieza de sulfuros de antimonio.

En toda esta separación química se trabajó protegido por una pared de plomo de 2,5 cm de espesor. Después de una hora de espera se precipitó el antimonio activo que había crecido durante este tiempo. Se lo destiló como estibamina, precipitándolo como antimoniuro de plata. Este preparado se montó pegándolo en la forma ya indicada sobre una chapa de lucita a la que se le había practicado un orificio. Se trabajó con 3 mg. de portador de antimonio e igualmente no fué necesario fijar el preparado.

La medición de su actividad beta se comenzó cuatro días después de la separación con un tubo G.M. de ventana de mica y en la posición más próxima a la ventana, tenía una actividad de alre más de 11.000 c/m.- Se comparó con un preparado standard de Ra D en equilibrio con RaE montado con la misma geometría, controlando así las desviaciones que podrían existir en las mediciones durante varias semanas, debidas a cambios de humedad, tem-

peratura, variaciones en la tensión de la línea, etc., efectuándose esa medición durante un mes y medio casi todos los días.

Al analizar la curva trazada y corrigiendo los valores obtenidos por medio del tiempo de resolución del tubo y el efecto cero, se observan dos períodos: uno de aproximadamente 100 horas, y otro más largo, con una actividad aproximada del 1 de la actividad inicial de la anterior.

Considerando que este período largo se debe a los 90 días del isómero del toluo 127, se restó esta cola y se obtuvo un período de  $100 \pm 3$  horas. Este trabajo se repitió con otra muestra irradiada durante una hora, separando el antimonio al día siguiente. Se atró el  $U_3O_8$  negro con ácido nítrico caliente precipitando con amoníaco el diuranato de amonio. Se lo disolvió con ácido clorhídrico, se agregó portador antimonio (antimonio III y antimonio V) y se lo destiló como estibamina recogéndolo en solución de nitrato de plata. Luego se filtró con vacío sobre papel coloidal y se obtuvo un preparado mucho más activo que el anterior, siendo necesario fraccionarlo para su medición. Luego esta fuente activa fué de menor tamaño que las anteriores. Se lo comenzó a medir recién a los 7 días y tenía algo más de 12.000 c/m.

En forma análoga al caso anterior se corrigió por el tiempo muerto del tubo, efecto cero y se comparó con la muestra standard. Se obtuvo una curva semejante donde se observó un período de 100 horas y una cola más larga.

Además, en las determinaciones de rendimiento se han obtenido períodos aproximadamente iguales, por lo cual se adoptó para los cálculos el valor de 100 horas.

Detalles de la técnica en la medición y eficiencia  
relativa del tubo

La determinación del rendimiento de fisión en este caso bajo se basa en la medición de la actividad beta de un preparado de antimonio activo formado por la desintegración de su madre: estaño. En la muestra de antimonio interesan dos isótopos radioactivos que son: el antimonio 127 de  $100 \pm 3$  horas cuya energía beta máxima es de 1,2 Mev (cita bibliográfica 6) y el antimonio de  $10,3 \pm 0,3$  minutos al que se le asigna una energía de 2,9 Mev. (cita bibliográfica 1).

Para la medición de la actividad beta se ha utilizado un tubo Geiger Müller con ventana de mica de  $2 \text{ mg/cm}^2$  de espesor y 25 mm. de diámetro, del tipo 20 th Century Electronics Ltd. E.W. 3 H.- Este tubo está acoplado a un escalímetro decimal fabricado por la casa Tecnitrón.

El tubo contador está colocado en la parte superior y central de una caja rectangular de lucita que tiene 5,6 cm. de base por 5,3 cm. de altura y una profundidad de 6,6 cm. con 7 ranuras horizontales, separadas entre sí por una distancia de 6 mm., donde se pueden colocar los soportes con las muestras ac-

tivas para su medición. Estos soportes pueden ser de distintos materiales utilizando en nuestro trabajo chapas de lucita de 1 mm. de espesor. Entran, además, en forma ajustada, no pudiendo haber desplazamientos laterales ni horizontales. El centro del soporte coincide con el centro de la ventana de mica del tubo. En esta forma se garantiza una geometría reproducible en las distintas determinaciones efectuadas.

Se protege el tubo contador y la caja de lucita, con una casa de plomo, cuyas paredes tienen 4,5 cm. de espesor. Se reduce así la medición de las actividades ajenas a la muestra activa. Sin embargo, hay una actividad natural de aproximadamente 0,2 - 0,3 c/seg. que el equipo de contar detecta (efecto cero), por lo cual hay que restarla a las mediciones efectuadas. Independientemente y previo a la medición de la muestra activa, se mide entonces el efecto cero, colocando únicamente un soporte de lucita inactivo. Esta determinación se efectúa aproximadamente en una hora y media.

Todos los tubos G.M. tienen un tiempo de resolución finito, no pudiendo detectar impulsos que ocurran dentro de una fracción de tiempo fijo (tiempo muerto del tubo). Se han efectuado correcciones con el método de las dos fuentes, pero se observó que el tiempo muerto calculado variaba un poco según la intensidad de las fuentes. Se corrigió entonces midiendo un preparado puro muy activo de un nucleído de período corto, utilizando para este fin una muestra de yodo-128.-

Se le obtuvo por el proceso (n, gamma) sobre todo. Se midió este preparado durante más de 3 horas y se obtuvo una curva cuya parte superior es poco inclinada y que después de 10.000 c/n, cbe en línea recta con una inclinación que corresponde a un período de 25 minutos. Por extrapolación de esta recta se puede determinar la corrección que hay que efectuar en las lecturas por encima de dicho valor.

Como en este trabajo se compara la actividad beta de dos isótopos del actinonio en un mismo preparado, no es necesario efectuar correcciones por la geometría.

Las mediciones absolutas de estas actividades beta implican necesariamente un conjunto de correcciones debido a la absorción y dispersión de estas radiaciones. Trabajos muy completos en esta materia han sido realizados por Zurewalt (cita bibliográfica 21).

Si se supone un caso ideal, donde no hubieran efectos de absorción ni de dispersión, se tendría que la actividad medida A (c/m) es proporcional a la actividad absoluta de la muestra D (d/m) siendo G el factor de proporcionalidad (factor de geometría) luego:  $A = G.D$ .

En la práctica hay que introducir un nuevo factor de corrección F, debido a que la fuente activa está colocada sobre un soporte de cierto material habiendo además absorción en la ventana de mica del tubo G.M., en el aire y también en el propio mismo.-

Este factor depende de las condiciones en que se ha efectuado la medición y de las características de la fuente activa. Luego el factor F, se puede descomponer de la siguiente manera:

$$F = F_w. F_a. F_h. F_b. F_s. F_m.$$

donde:

- F<sub>w</sub> - factor que corrige la absorción del aire, ventana del tubo y material que recubre la fuente.
- F<sub>a</sub> - factor que corrige la dispersión del aire.
- F<sub>h</sub> - factor que corrige la dispersión de la caja de lucita (Casa).
- F<sub>b</sub> - factor de corrección del efecto del material soporte de la fuente.
- F<sub>s</sub> - factor que corrige la autoabsorción y autodispersión de la muestra.
- F<sub>m</sub> - factor que corrige la dispersión debida al material que cubre la fuente.

Para una determinación precisa de la actividad absoluta de una fuente, es necesario determinar este factor F. En el presente trabajo se ha tratado de utilizar una técnica de medición en la que estos factores se aproximen a la unidad.

Haciendo un análisis de estos factores en el presente trabajo, se tiene:

1) El factor  $F_b$ , de acuerdo a la curva estudiada por A.S. Pappas (Rev. Bibliográfica 3) para las condiciones en que se efectuaron estas mediciones, es decir en la primera posición, con una distancia de la muestra a la ventana del tubo de aproximadamente 5 cm., se obtiene un valor cuya diferencia a la unidad es mayor que 0,01.-

2) El factor  $F_a$ , de acuerdo con dichas curvas tiene el valor 1,00.-

3) Para determinar el factor  $F_b$ , se ha montado un dispositivo sobre una chapa de lámina de 1 mm. de espesor, con un orificio central de 27 mm. de diámetro. Como la muestra activa tiene un diámetro de 20 mm. se un papel de filtro coloidal de 30 mm. de diámetro, se pegan los bordes de dicho filtro al orificio sobre el orificio de la chapa. La vez seca se pone cuidadosamente plata y las partículas de antimonio de plata quedan perfectamente adheridas (por tratarse de cantidades tan pequeñas no siendo necesarias fijadas). Como dicho precipitado es tenue se puede observar que queda perfectamente cubierto y se observa, que durante el análisis que se siguen las mediciones no sufre ninguna descomposición. De acuerdo a los valores dados en dicho autor para la autoradiación en los papeles de filtro (el filtro coloidal tiene 5,7  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) el factor  $F_b$ , tiene el valor 1,05.-

4) No es necesario introducir el factor  $F_a$ , ya que la medición se efectúa sin cubrir la muestra activa.

5) En lo que respecta a la autoradiación y autoradiación del preparado, éste tiene un espesor de 1 a 2  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , por lo //



cual dentro del ámbito de energías beta con que se trabaja, el factor  $F_a$  tiene un valor que difiere de la unidad en menos de 0,01.- El producto de estos factores da un valor de  $F = F_w \cdot 1,05$ .-

6) Quedaría para corregir el factor  $F_w$  debido a la absorción del aire y de la ventana de mica del tubo. En el caso de las radiaciones beta de energía máxima 2,9 Mev. (antimonio de 10,3 minutos) se lo calcula con los valores de su curva de absorción obteniendo el valor de 0,98.-

El antimonio 127 se mide cuando ya está en equilibrio con su hija telurio. Las energías beta máximas de estos dos emisores son respectivamente 1,2 Mev. y 0,7 Mev. Luego hay que determinar la eficiencia del tubo para estas radiaciones a fin de poder saber que porcentaje de la actividad total que se mide corresponde al antimonio 127.

Esta determinación se ha realizado mediante dos procedimientos distintos:

En el primero de ellos se midió la curva de absorción del antimonio ya en equilibrio con su hija, intercalando para ello chapas de distintos espesores de aluminio entre el preparado y el tubo contador. Representando la actividad en función del espesor de las chapas (gráfico No.5) se obtuvo una curva a la que restando el fondo gama, dió la curva de absorción beta del antimonio 127 en equilibrio con su hija.

Se realizó en forma análoga la curva de absorción beta del telurio 127.-

Este telurio se lo preparó en dos formas distintas obteniendo la misma curva:

a) a partir del antimonio 127 producido en la fisión nuclear.

b) por el proceso (n,p) sobre iodo.

a) Se necesitó una muestra muy activa de antimonio 127 formado en la fisión nuclear. Esperando que el telurio alcanzara el equilibrio, se lo separó con hidracina en la forma ya indicada anteriormente.

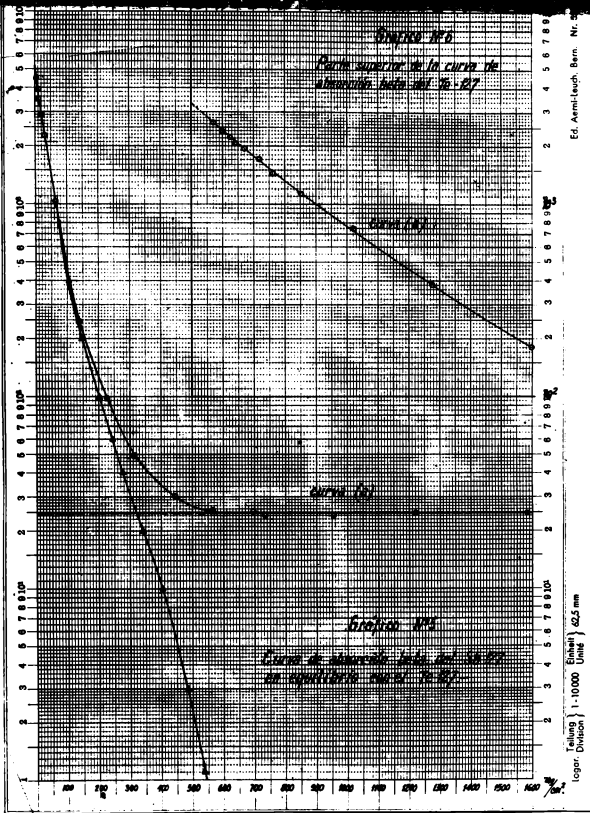
b) Irradiando iodo con neutrones rápidos, se separó radioquímicamente la fracción del telurio, teniendo la ventaja de que el iodo tiene un solo isótopo estable, pudiéndose obtener de esta manera un producto puro. Montando el preparado en la misma forma que los anteriores, se realizó la curva de absorción (gráfico N°6). Fue necesario efectuar la corrección por el periodo, confirmando al mismo tiempo el valor de 9,5 horas.

Tenemos pues, dos curvas de absorción beta:

- 1) del antimonio 127 en equilibrio con el telurio 127 (curva a),
- 2) del telurio 127 (curva b).

De la curva (b) extrapolando a espesor cero, determinamos el factor debido a la absorción en la ventana del tubo y en el aire, para el telurio 127, resultando:

$$\left[ F_w \right]_{Te} = 0,85 \quad (I)$$



Ed. Armit-Leugh, Bern. Nr. 5

Efectuando el mismo cálculo para la curva (a) obtenemos que para el antimonio y telurio 127 en equilibrio, nos da:

$$\frac{A_{Te} + A_{sb}}{\frac{A_{Te}}{(F_w)_{Te}} + \frac{A_{sb}}{(F_w)_{sb}}} = 0,90 \quad (II)$$

Utilizando el valor de Pappas A.C. (cita bibliográfica 8), para la ramificación de la cadena isobárica (A=127), donde determina que el 73% del antimonio 127 desintegra en el telurio 127 y el 22% a su isómero de 90 días, quedaría que en el equilibrio se tiene:

$$D_{Te} = \frac{\lambda_{Te}}{\lambda_{Te} - \lambda_{sb}} \cdot 0,73 \cdot D_{sb} = \frac{0,73}{0,91} \cdot D_{sb} \quad (III)$$

Sabemos que:

$$\frac{A_{Te}}{A_{sb}} = \frac{F_{Te} G D_{Te}}{F_{sb} G D_{sb}} = \frac{(F_w)_{Te}}{(F_w)_{sb}} \cdot \frac{0,73}{0,91} \quad (IV)$$

Transformando la ecuación II se obtiene:

$$\frac{\frac{A_{Te}}{A_{sb}} [(F_w)_{sb} + (F_w)_{sb}]}{\frac{A_{Te}}{A_{sb}} \left[ \frac{(F_w)_{sb}}{(F_w)_{Te}} + 1 \right]} = 0,90 \quad (IIa)$$

operando queda:

$$\frac{[(F_w)_{Te} \cdot \frac{0,73}{0,91} + (F_w)_{sb}]}{\frac{0,73}{0,91} + 1} = 0,90$$

Como en (1) ya se dió el valor a  $(F_w)_{re}$  luego se deduce que:

$$(F_w)_{sb} = 0,93 \quad (\dot{V})$$

Para confirmar este valor, se realizó una determinación completamente distinta: Purificando de telurio una muestra de antimonio 127, se midió el crecimiento de la actividad beta de dicho preparado.

Analizando la curva (gráfico No.7) se extrapolaron al tiempo cero, la curva del crecimiento de la actividad y la rec- ta que pasa con un periodo de 100 hs, donde el telurio está en equilibrio con el antimonio ( $\Delta^*$ ).

Sabemos que:

$$\frac{A_{sb}}{A_{re}} = \frac{D_{sb} (F_w)_{sb}}{D_{re} (F_w)_{re}}$$

Una vez alcanzado el equilibrio ya se ha visto en III que:

$$\frac{D_{re}}{D_{sb}} = \frac{0,78}{0,91}$$

Reemplazando este valor en VI se deduce que:

$$\frac{A_{sb} \cdot 0,78}{A_{re} \cdot 0,91} = \frac{(F_w)_{sb}}{(F_w)_{re}}$$

Para introducir los valores del gráfico No. 7, se extrapola con la recta auxiliar (que tiene una inclinación correspondiente a un período de 100 hs.) obteniendo para el tiempo cero, el valor auxiliar  $A'$  como ya hemos visto.

$A'$  sería, pues, la actividad extrapolada de la muestra si estuviesen inicialmente en equilibrio el teluro con el antimonio. Anulizando esta curva hay que restar una actividad de vida media larga (de 14 c/m) debidas al antimonio 125 ( $T_{1/2} = 2,7$  años) y al teluro 127 m ( $T = 90$  días), quedando entonces que:

$$\frac{[F_w]_{sb}}{[F_w]_{re}} = 1.10$$

valor que coincide con el calculado según las curvas de absorción.

Como sabemos que:  $F = F_w = 1.05$

nos queda que:

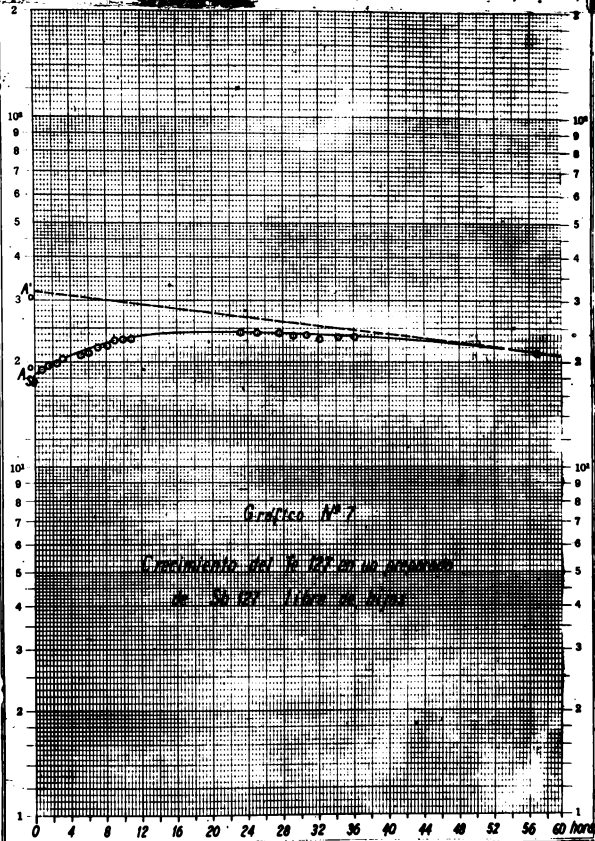
$$F_{sb} 10,3m = 1.05$$

$$F_{sb} 127 = 0.98$$

$$F_{re} 127 = 0.87$$

#### Cálculos

En este trabajo se determina la relación de los ren-



*Gráfico N° 7*

*Evolución del % TST en la producción  
de 50 TST Libras en 60 hrs.*

dimientos de fisión de dos isótopos del estaño que no se pueden medir y comparar directamente. Pero las leyes de la desintegración radioactiva permiten calcular esta relación, si se conocen las actividades de las sustancias hijas (antimonios) y los tiempos de su formación y separación.

Llamemos:

$t_1$  : tiempo de irradiación.

$t_2$  : tiempo de purificación, que es el tiempo que transcurre desde el fin de irradiación, hasta la última limpieza de antimonios.

$t_3$  : tiempo de separación, que es el tiempo que transcurre desde la última separación de antimonios, hasta su nueva precipitación.

Llamemos  $D_{sb}^0$  ( $d/m$ ) a la actividad absoluta del antimonio extrapolada al momento de su separación.

Durante el tiempo  $t_3$ , la actividad del antimonio crece, debido a la desintegración de su madre (estaño) según una curva que se puede calcular teóricamente con sus períodos de semi-desintegración (gráfico N° 8.)

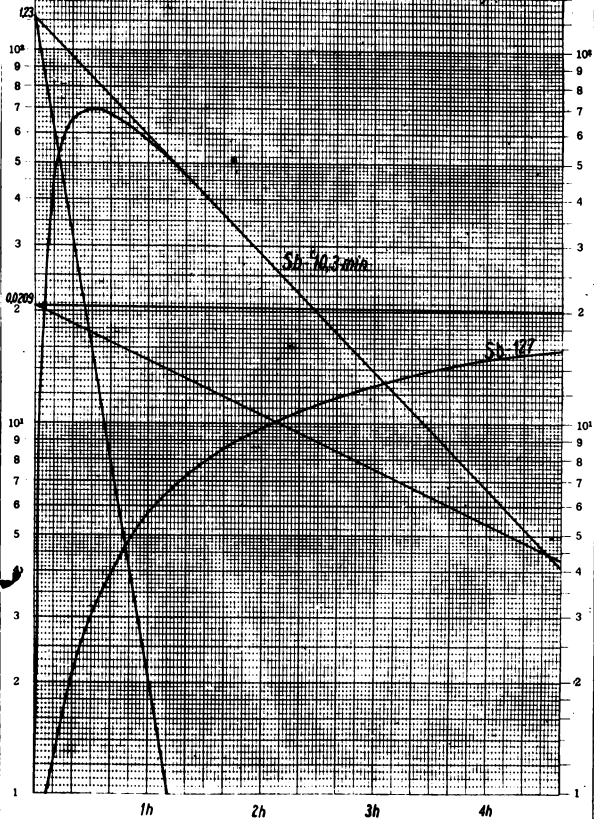
De acuerdo con esta curva se puede calcular la relación de la actividad de la sustancia hija que se forma durante el tiempo  $t_3$ , con respecto a la actividad inicial de la madre ( $G_3$ ).

Como se conoce la actividad absoluta del antimonio, determinando el factor  $G_3$  se puede calcular la actividad absoluta del estaño al fin de la purificación



Grafico N° 6

Curvas de crecimiento de los antígenos de 103 min y 100 horas



( $D'_{sn-57 \text{ min.}}$  y  $D'_{sn-127}$ ), ya que:

$$D'_{sn} = \frac{D'_{sb}}{C_3} \quad (1)$$

Durante el intervalo de tiempo  $t_2$  las actividades de los estaños decrecen de acuerdo a sus correspondientes períodos. Conociendo el valor de  $t_2$  se puede determinar el factor  $G_2$ , que nos da el porcentaje de la actividad del estaño que ha caído durante ese tiempo referido a la actividad inicial. Llamando  $D'_{sn}$  la actividad del estaño al fin de la irradiación, se tiene:

$$D'_{sn} = \frac{D'_{sn}}{C_2} \quad (2)$$

Las irradiaciones se han efectuado durante tiempos que varían de una determinación a otra, entre 11 y 7 minutos. Durante ese tiempo se van formando átomos de estaño y al mismo tiempo se desintegran según su período.

Por las leyes de la desintegración radioactiva, se sabe que la actividad de un isótopo que se forma en la irradiación de uranio, está dado por:

$$D = n \cdot \sigma \nu (1 - e^{-\lambda t})$$

donde:

$n$ : número de núcleos de uranio en el blanco.

$\sigma$ : sección eficaz.

$\nu$ : flujo de neutrones.

Para un tiempo de irradiación muy largo con respecto al

período de semidesintegración del nucleído considerado, se dice que se alcanza la actividad de saturación, porque el número de átomos que se forman en un intervalo de tiempo es igual al que desintegran en dicho tiempo, quedando:

$$D_{sat} = \eta \sigma \mathcal{N} = const.$$

En nuestro problema nos interesa la siguiente igualdad que se deduce de las anteriores:

$$D_{sn} = D_{sn,sat}(1 - e^{-\lambda t})$$

Para un tiempo de irradiación  $t_1$ , el factor  $(1 - e^{-\lambda t})$  tendrá un valor determinado  $G_1$ , luego conocido el valor de  $D'_{sn}$  y el tiempo de irradiación, se puede calcular la actividad de saturación:

$$D_{sn,sat} = \frac{D'_{sn}}{C_1}$$

Reemplazando por (1) (2) y (3) queda:

$$D_{sn,sat} = \frac{D'_{sb}}{C_1 C_2 C_3} = \frac{D'_{sb}}{C'}$$

En este trabajo interesa la relación de las secciones eficaces para la fisión, entre el Sn de 57 minutos y el Sn 127

$$\frac{T_{sn 57 \text{ min}}}{T_{sn 127}} = \frac{D_{sn 57 \text{ min}, sat}}{D_{sn 127, sat}} = \frac{D'_{sb 10,3 \text{ min}} C'_{sb 127}}{D'_{sb 127} C'_{sb 10,3 \text{ min}}} \quad (4)$$

Una vez calculados estos factores, el problema consiste en determinar la relación de las actividades absolutas de los antimonios en el momento de la separación.

Para ello, se mide la actividad del preparado, obteniendo una curva (gráfico No. 4), donde en las primeras horas se mide el antimonio de 10,3 minutos y una actividad más larga, y después durante un mes y medio se mide el antimonio 127 en equilibrio con su hija teluro.

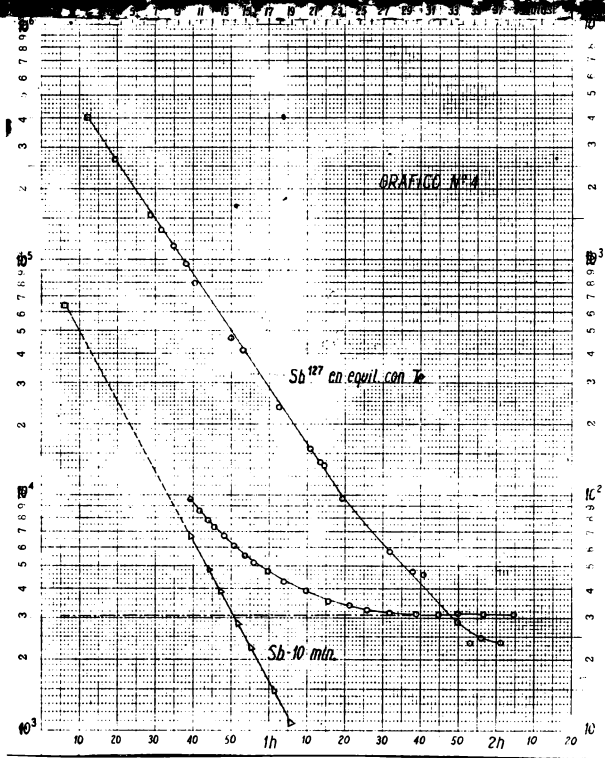
Restando de la primera parte de la curva, la actividad de 100 horas, se obtiene una recta con una inclinación que corresponde a un período de 10,3 minutos, pudiéndose determinar cuál es la actividad de este antimonio al fin de la separación. ( $A'_{sb}$ ). Extrapolando la recta que cae en 100 horas, se tiene un valor auxiliar  $A'$ , que como ya hemos dicho en párrafos anteriores, nos daría la actividad del antimonio 127 y del teluro 127, si ambos isótopos se encontraran en equilibrio desde el momento de la separación. Sabemos que:

$$A = A'_{sb 127} + A'_{Te 127} = F_{sb 127} D'_{sb 127} G + F_{Te 127} D'_{Te 127} G$$

$$A'_{sb 10,3 m.} = F_{sb 10,3 min.} D'_{sb 10,3 min.} G$$

Luego de acuerdo con III y dando los valores ya calculados a los coeficientes  $F$ , tenemos que:

$$\frac{D'_{sb 10,3 m.}}{D'_{sb 127}} = \frac{A'_{sb 10,3 m.}}{A'} = 1,69$$



#### 4. Resultados.

En este trabajo se ha determinado la relación de rendimientos independientes de los isótopos del estaño: Sn 57 min y Sn 127 formados en la fisión nuclear de uranio irradiado con deuterones de 28 Mev, del sincrociclotrón de la C.N.E.A. en Buenos Aires, obteniendo el valor medio de 1,14 con una desviación standard de 0,08.

#### 5. Discusión.

Los valores obtenidos pueden considerarse coincidentes, ya que la determinación se ha efectuado en forma indirecta, midiendo las actividades absolutas de los antimonio hijos. Además, pequeñas fluctuaciones del flujo de deuterones, puede alterar sensiblemente, el valor de la actividad de saturación, influyendo éste en la precisión de los resultados.

En esta determinación se ha medido la actividad de los antimonios de 10,3 min. y 100 horas, hijos de los estaños de 123 minutos y de 57 minutos respectivamente.

Aunque se han verificado los correspondientes períodos de semidesintegración, según la teoría de las capas nucleares, podrán existir isómeros del estaño 127 y del antimonio de 10,3 minutos. Estos posibles isómeros no se conocen todavía, pero de acuerdo con nuestros valores, en el caso del estaño 127, tendrían que tener un período corto, porque su influencia en los resultados no es apreciable. Por ese motivo el tiempo de purificación

( $t_2$ ) en todas las experiencias realizadas es bastante largo (mayor de 89 minutos), para disminuir así esta posible fuente de incertidumbre.

Las curvas obtenidas para los antimonios han sido muy planas y por ese motivo se puede afirmar que en caso de existir un isómero del antimonio de 10,3 minutos, debe formarse con un rendimiento tan pobre que no molesta en nuestras mediciones.

Nuevamente, hay que destacar que los tiempos de irradiación ( $t_1$ ) purificación ( $t_2$ ) y separación ( $t_3$ ), han sido distintos entre una determinación y otra, para evitar un posible error sistemático, como el que se acaba de mencionar, eligiendo además una marcha química donde se respeten en todo momento todas las valencias de estos dos elementos.

### 6. Conclusiones.

1) El valor 1,14 obtenido para la relación de rendimientos, permite asignar al Sn de 57 minutos un número de masa ligeramente mayor a 127, probablemente el 128.-

2) En la curva del rendimiento de fisión para uranio con deuterones de 23 Mev, se observa aún el valle central, aunque no puede decirse nada acerca de su forma y profundidad.

Rendimiento relativo de fisión de dos  
isótopos del estaño

RESUMEN

Se ha determinado la relación de los rendimientos independientes de fisión de dos isótopos del estaño: el estaño 127 y el estaño de 57 minutos.

La fisión no ha sido inducida con neutrones térmicos, sino con deuterones de 28 Mev, del sincrociclotrón de la C.N.E.A. en Buenos Aires.

Esta determinación se ha realizado en forma indirecta midiendo las actividades absolutas de sus antimonios hijas (Sb de 10,3 min y Sb. 127) ya que es difícil la medición directa de los estaños, por haber isótopos de períodos semejantes y por no ser conocida perfectamente esta zona en la tabla.

Se verificaron los períodos de estos radionúclidos y se realizaron ensayos con indicadores de antimonio y arsénico para probar algunos de los métodos químicos empleados.

En las distintas determinaciones se ha encontrado el valor medio de  $1,14 \pm 0,08$  para la relación de los rendimientos del estaño de 57 minutos y el estaño 127.

De acuerdo con estos resultados y completando un trabajo anterior sobre el estaño de 57 minutos (cita bibliogr.1)



donde se le asignaba como número de masa posible el de 126, 128 y 130, puede concluirse como valor más probable el de 128.

En la curva de rendimiento de fisión para uranio con deuterones de 28 Mev, se observa aún el valle central, aunque no puede decirse nada acerca de su forma y profundidad.

Por consiguiente, según lo visto en (4) tenemos finalmente que:

$$\frac{T_{5n 57 m.}}{T_{5n 127}} = 1,69 \frac{A'_{sb 10,3 m.}}{A'} \cdot \frac{C'_{sb 127}}{C'_{sb 10,3 m.}}$$

En las determinaciones efectuadas en la presente tesis, se han obtenido los siguientes valores:

		Irradiación		Purificación		Separación		A' sb 10 m.	A'	$\frac{T_{5n 57m}}{T_{5n 127}}$
		Tiempo	C <sub>1</sub>	Tiempo	C <sub>2</sub>	Tiempo	C <sub>3</sub>			
1)	Sn-57m	11 min	0,185	4h25m	0,065	5h50m	0,164	6,885g/m	2400g/m	1,00
	Sn-127	11 min	0,080	4h10m	0,285	2h50m	0,184			
2)	Sn-57m	9 min	0,104	91m	0,55	5h51m	0,074	14,800g/m	5728g/m	1,15
	Sn-127	9 min	0,094	91m	0,598	5h51m	0,0158			
3)	Sn-57m	8 min	0,0925	99m	0,558	2h 8m	0,258	64,000g/m	4000g/m	0,91
	Sn-127	8 min	0,0442	89m	0,60	2h 8m	0,0102			
4)	Sn-57m	8 min	0,0925	99m	0,50	5h15m	0,115	54,500g/m	4800g/m	1,27
	Sn-127	8 min	0,0442	99m	0,57	5h15m	0,0153			
5)	Sn-57m	7 min	0,0818	2h23m	0,177	4h15m	0,057	1,560g/m	530g/m	1,57
	Sn-127	7 min	0,0868	2h23m	0,443	4h15m	0,0158			

7. Bibliografía.

- 1) FRASNE I., RODRIGUEZ J., CARMIGNATI H.:  
Publicaciones de la C.N.E.A., serie Química,  
Vol I, No.2 (1955).
- 2) O'CONNOR P.R., SEABORG G.T.:  
Phys.Rev.74, 1189, (1948).
- 3) JUNGCLAUS, WRIGHT:  
Phys.Rev.76, 1112 (1949).
- 4) WHITEHOUSE W.J.:  
Progress in Nuclear Physics (Frisch) II, 166  
(1952).
- 5) MAYER H.G.:  
Phys.Rev.72, 22 (1950).
- 6) BLEIGH R.R., SULLIVAN W.H.:  
ENES-PPR, 9, 928 (1951).
- 7) BRUMMIT W.E., WILKINSON G.:  
Nature, 158, 163 (1946).
- 8) PAPPAS A.C.:  
Technical Report No.63, MIT, pgs.63,25,24 (1953).
- 9) HILL R.D.:  
Phys.Rev.76, 333 (1949).
- 10) SEABORG G.T., LIVINGOOD J.L., KURBEDE J.W.:  
Phys.Rev. 57, 363 (1940).

////

- 11) SCOTT W.:  
Standard Methods of Chemical Analysis, pg.960  
(1959).
- 12) FLAGG J.F.:  
Organics Reagents, pg.137, (1948).
- 13) SANDELL:  
Colorimetric Determinations of Traces of Metals,  
pg.42 (1950).
- 14) STANLEY C.W., GLENDENIN L.E.:  
NWES-ORNL IV.9, 1592 (1951).
- 15) BEYDON J.:  
Compt. Rend., 227, 1159 (1948).
- 16) SEABORG G.T., LIVINGOOD J.L.:  
J.Am.Chem.Soc., 60, 1784 (1938).
- 17) HOPKINS H.H.:  
Phys.Rev.77, 717 (1950).
- 18) MCCOWN D.A., WOODWARD L.L., POOL M.L.:  
Phys.Rev., 74, 1315 (1948).
- 19) CANNINATTI H., FRAENZ I., RADICELLA R., RODRIGUEZ J.,  
Z.NATURFORSCH:  
(en publicaci6n).

////////

//////

20) ZUMWALT LLOYD R.:

(AECUR 587, may 1950).

BUENOS AIRES, marzo de 1955.

*Lloyd R. Zumwalt*