

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA



INFORME N.º 68

La Producción de Radioisótopos
en un Sincrociclotrón

por

M. C. PALCOS, R. RADICELLA y J. RODRÍGUEZ



BUENOS AIRES

1962

LA PRODUCCION DE RADIOISOTOPOS CON UN SINCRICICLOTRON

M. C. PALCOS, R. RADICELLA y J. RODRÍGUEZ

Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

RESUMEN

Se describen brevemente las posibilidades del uso de un sincrociclotrón para la producción de radioisótopos, analizando algunas de sus ventajas e inconvenientes.

Teniendo en cuenta la importancia del máximo aprovechamiento del haz de partículas, después de un breve estudio de la geometría del mismo, se describen las técnicas puestas a punto y los criterios utilizados para la irradiación de diversas sustancias, haciendo especial referencia a la preparación de los blancos.

Se dan los métodos que se han elaborado o puesto a punto para la producción y separación química de ^7Be , ^{22}Na , ^{45}Ca , ^{47}Ca , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{111}In y ^{206}Bi , todos ellos libres de portador. Algunos de esos radioisótopos se producen actualmente en forma rutinaria.

INTRODUCCION

Los aceleradores de partículas, instrumentos prácticamente insustituibles en la investigación nuclear, están adquiriendo día a día mayor importancia como fuente de radioisótopos. Esto es debido principalmente al hecho de que en los últimos años ha aumentado en forma notable la demanda de nucleídos radiactivos, que no pueden ser producidos en los reactores, y al mismo tiempo que se han construido máquinas aceleradoras cuyo flujo de partículas hace económicamente posible un plan de producción en escala comercial. Las reacciones nucleares que permiten la producción de radioisótopos en un reactor forman, por lo general, nucleídos inestables con exceso de neutrones. Es éste el caso de las reacciones (n, γ) y de la fisión de núcleos pesados con su amplia gama de productos radiactivos. Queda, sin embargo, fuera del alcance de estas reacciones una gran cantidad de radioisótopos que se encuentran en la zona de la tabla correspondiente a los nucleídos con defecto de neutrones. Dicha limitación no existe para las reacciones producidas por partículas aceleradas.

Otra de las grandes ventajas de este último tipo de reacciones es la posibilidad de obtener, en la mayoría de los casos, radioisótopos libres de portador o con actividad específica muy alta. Esto se debe a la relativa facilidad en la elección de la reacción nuclear, de tal forma que el número atómico del producto sea diferente del número atómico del material blanco. Mientras que en el caso de las reacciones producidas por los neutrones de un reactor, que, excepción hecha de la fisión y de contadas reacciones (n, p) o (n, α) , dan productos isótopos del elemento irradiado.

Así como existen factores que hacen insustituible un acelerador de partículas como medio para la producción de radioisótopos, existen también inconvenientes técnicos y económicos que limitan fuerte-

mente su uso en escala comercial. Nombraremos aquí los más importantes; otros quedarán aclarados más adelante.

La cantidad de material blanco que puede ser irradiado es, por lo general, muy pequeña, del orden de algunos gramos en el mejor de los casos. De ahí que las actividades totales que se obtienen son relativamente bajas comparadas con las que se pueden obtener en un reactor.

Además, la disipación de la energía del haz se realiza en la muestra, de manera que ésta debe poseer elevada estabilidad térmica y estar adaptada a un sistema de refrigeración altamente eficiente. Cuando las irradiaciones se realizan con el haz interno, hay que elegir un compuesto tal que sea poco volátil a la baja presión existente en la cámara de aceleración, lo que representa un inconveniente adicional.

A estos inconvenientes de tipo térmico se suma el alto costo de funcionamiento del acelerador, que hace a veces prohibitiva la obtención de nucleídos de período muy largo y establece una notable diferencia económica con las irradiaciones en un reactor.

En el presente trabajo se describe la experiencia adquirida en la producción de radioisótopos con el sincrociclotrón Philips de la CNEA en Buenos Aires. Conviene hacer notar que dicho acelerador, si bien representa un óptimo instrumento, muy versátil y de gran utilidad para la investigación nuclear, no ha sido diseñado expresamente para la producción de radioisótopos, siendo el principal inconveniente, desde ese punto de vista, su relativamente baja intensidad de haz. Para tareas de producción son particularmente útiles aquellas máquinas aceleradoras que proporcionan protones o deuterones de energía relativamente baja —aproximadamente 20 MeV—, pero permiten obtener una corriente de haz del orden de 0,1 a 1 mA. En éste el caso de los ciclotrones de frecuencia fija.

EL SINCRICICLOTRÓN DE BUENOS AIRES

El sincrociclotrón de la CNEA acelera deuterones hasta una energía de 28 MeV y partículas α hasta 56 MeV. Fue construido por la Compañía Philips de Holanda e instalado en 1954. Desde ese entonces realiza irradiaciones rutinarias, especialmente con deuterones, para fines de investigación y para producción en pequeña escala.

El cuadro I resume sus características salientes.

CUADRO I

Características del sincrociclotrón de Buenos Aires

| | |
|---|------------------------|
| Diámetro de las piezas polares | 180 cm |
| Distancia entre los polos | 35 cm |
| Altura de las "De" | 20 cm |
| Frecuencia | 10 Mc/seg |
| Tensión de pico | 22 KV |
| Campo magnético | 14.400 gauss |
| Potencia total | 390 KW |
| Corriente de blanco máxima (deuterones) ... | 30 μ A |
| Presión en la cámara de aceleración | 10 ⁻⁵ mm Hg |

Una descripción detallada del instrumento puede hallarse en (1) y (2).

IRRADIACIÓN CON DEUTERONES

Las irradiaciones para fines de producción se realizan únicamente con el haz interno, exponiendo el blanco a un radio de 76 cm. La corriente en el blanco es usualmente de 10 a 15 μA , lo que corresponde a un flujo de $6,25 \times 10^{13}$ deuterones/seg.

El haz incide perpendicularmente en el blanco y su "sección" depende del ancho del mismo. Se han realizado diversos ensayos irradiando algunos segundos láminas de vidrio de distinto ancho y estudiando el ennegrecimiento producido en las mismas por el haz. La figura 1 muestra el ennegrecimiento producido en láminas de

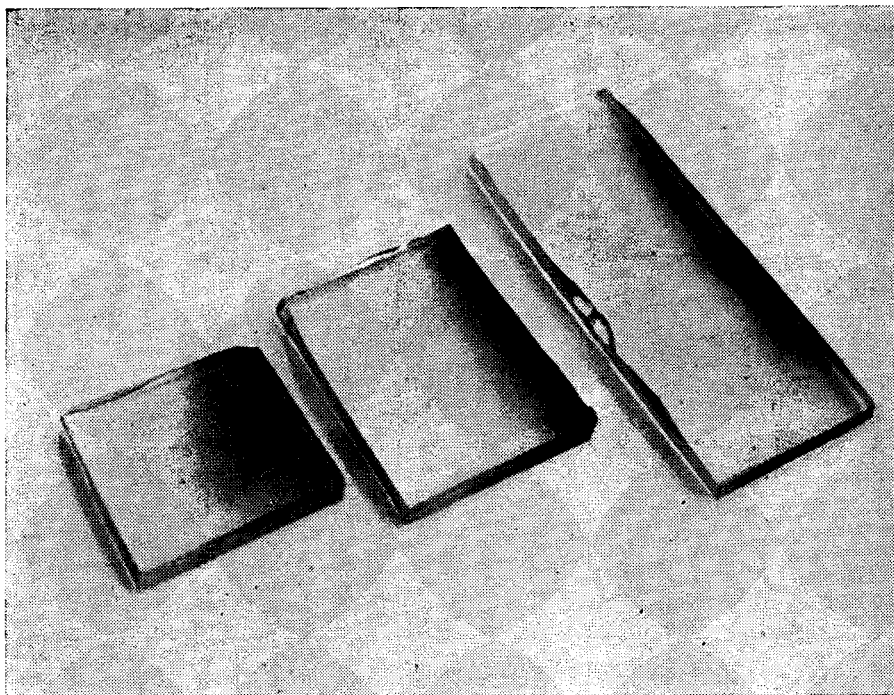


FIG. 1. — Láminas de vidrio irradiadas con el haz interno del sincrociclotrón.

siete, cuatro y dos centímetros de ancho, respectivamente. En la primera de ellas el ancho de la zona ennegrecida depende únicamente de las oscilaciones radiales del haz; en la última se hace muy notable el efecto de enfoque de aquellas partículas que no son interceptadas por el blanco, pasan por sus bordes inferior y superior e inciden sobre las láminas en las vueltas sucesivas.

Estas comprobaciones son de particular interés para el proyecto de los blancos a utilizar en tareas de producción en las que es necesaria la mejor utilización del haz.

Se ha elegido para el trabajo rutinario un ancho de blanco de 40 mm. En estas condiciones la "sección" del haz es de aproximadamente $1,5 \text{ cm}^2$ ($40 \times 4 \text{ mm}$).

El calor generado por la absorción total de los deuterones en el blanco es de aproximadamente 0,3 KW para una corriente de 10 μA .

Por lo general la refrigeración se efectúa mediante la circulación de agua fría en dos mandíbulas de cobre (fig. 2) que sostienen la muestra o el portamuestra metálico.

El sistema de refrigeración está calculado para disipar 1 KW.

La "sección" del haz y la necesidad de una refrigeración eficiente son los factores principales que determinan la elección y forma de la muestra a irradiar. En el caso de láminas metálicas que no ofrezcan particulares inconvenientes en cuanto a la conducción de calor, es suficiente fijarlas entre las mordazas (fig. 2), asegurando una buena conducción térmica mediante cuidadosa limpieza

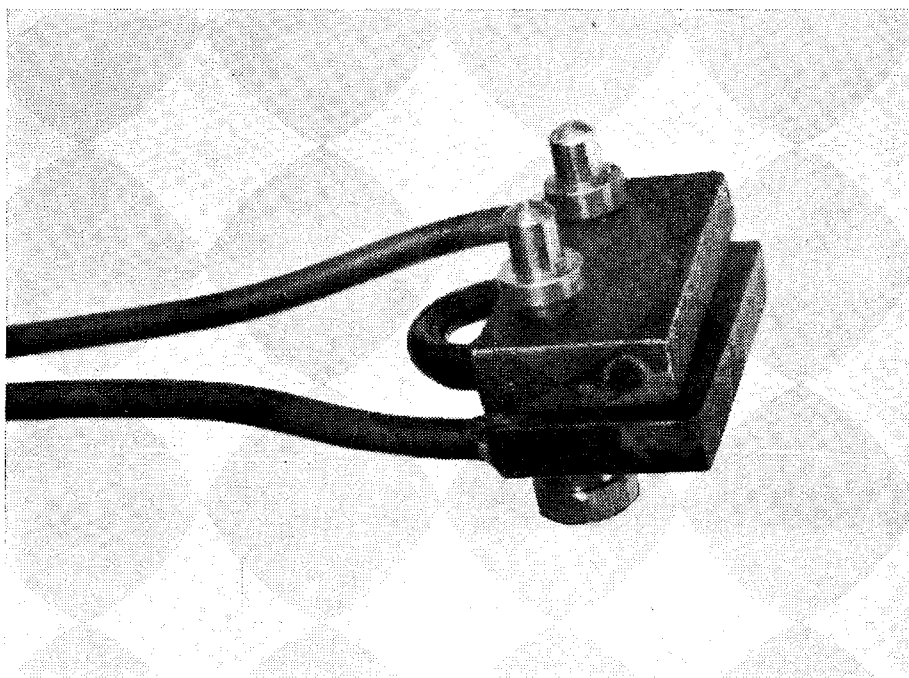


Fig. 2.—Mordaza refrigerada para soporte de los blancos.

y desengrase de las partes en contacto. La superficie de la muestra que de esta forma deberá sobresalir de las mordazas es aproximadamente 40×5 mm. En los casos en que la conductividad térmica sea pobre, conviene que la mandíbula que soporta el blanco del lado opuesto a la entrada del haz sea más larga, en forma tal que resulte aumentada la superficie de contacto con el soporte refrigerado.

Otra alternativa es soldar la lámina a un caño de cobre refrigerado; si bien con esta disposición se garantiza un buen contacto térmico, en la práctica hemos descartado este sistema puesto que la soldadura introduce elementos químicos y actividades que por lo general complican el proceso de separación y purificación del isótopo deseado.

En el caso de la irradiación de plomo para la obtención de ^{206}Bi , se ha utilizado un blanco formado por un tubo de plomo en el que circula el agua de refrigeración. Al terminar la irradiación se corta la porción activada y se procesa. Este tipo de blanco, además de asegurar una óptima refrigeración, permite la máxima utilización del haz.

En el caso de muestras en polvo se usan portablancos de cobre (fig. 4), que se adaptan a las mordazas de refrigeración. Dichos portablancos poseen una navecilla, cuya profundidad depende de la sustancia a irradiar, y se cubren con una lámina de cobre de 0,2 mm de espesor para evitar la caída del polvo. Es importante que el borde externo de la navecilla tenga un espesor no mayor de 0,5 mm para evitar que una parte considerable del haz sea recibida por el cobre.

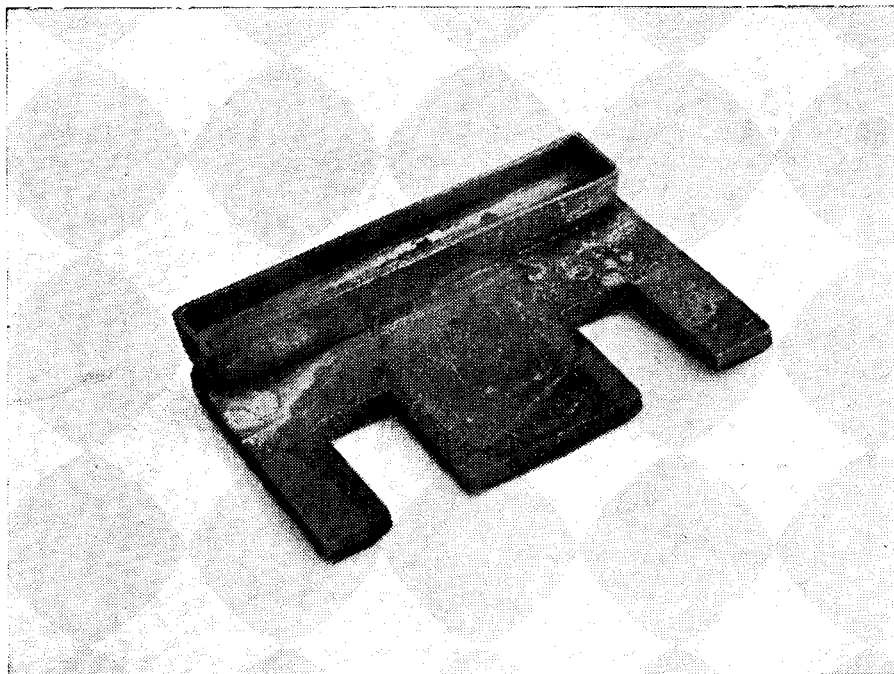


FIG. 3. — Portablancos para la irradiación de polvos.

IRRADIACIONES CON NEUTRONES RÁPIDOS

Los neutrones rápidos se obtienen por irradiación de berilio con deuterones de 28 MeV según la reacción ${}^9\text{Be} (d, n) {}^{10}\text{B}$. El espectro de energías de los neutrones así producidos presenta un máximo muy pronunciado alrededor de los 12 MeV y una energía máxima mayor de 22 MeV (3).

El dispositivo utilizado para las irradiaciones consta de un tubo metálico que se introduce radialmente en la cámara de aceleración y cuyo extremo refrigerado está cubierto por un anillo de berilio que recibe el haz de deuterones. En el interior del tubo se coloca, mediante una sonda, un pequeño recipiente (2,5 cm³) que contiene la muestra. Mediante el estudio con reacciones de umbral conocido se ha comprobado que el espectro de energía de los neutrones varía notablemente con la distancia de la muestra al fondo del tubo, al mismo tiempo que disminuye el número de neutrones. Así, por ejemplo, si se irradia carbono a una distancia de 2 cm del fondo del tubo, deja de producirse la reacción ${}^{12}\text{C} (n, 2n) {}^{11}\text{C}$ cuyo umbral es de 18,8 MeV. En las condiciones óptimas, el flujo que recibe una muestra de 2,5 cm³ es del orden de 10^{11} neutrones por segundo.

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN

Las reacciones de mayor importancia que se utilizan para fines de producción son (d, n) (d, 2 n) (d, α) (d, 2 p) (d, p 2 n) y (n, α) (n, p) (n, pn).

Naturalmente, con energías de deuterones del orden de 30 MeV y neutrones de 20 MeV es posible obtener una gama muy amplia de nucleídos por medio de otras reacciones más complejas, pero en estos casos la sección eficaz es por lo general muy baja, de manera que resultan poco convenientes para la producción en escala.

En las irradiaciones con deuterones se irradiaron "blancos gruesos", eligiendo los espesores de tal forma que degradaran la energía de las partículas hasta el umbral de la reacción deseada. Se ha evitado espesores mayores a fin de reducir la cantidad de sustancia que debe procesarse químicamente. La forma química del elemento irradiado se ha elegido de tal manera que en lo posible no introdujera actividades indeseables, tuviera elevada estabilidad térmica y baja tensión de vapor.

En todos los casos se pusieron a punto técnicas de separación para obtener los radioisótopos libres de portador, es decir, sin agregado del elemento estable correspondiente. La pureza radioquímica del isótopo obtenido se comprobó por análisis de las radiaciones emitidas —absorción beta y espectroscopía gamma— y en algunos casos midiendo la curva de desintegración.

Cuando el radioisótopo es usado para fines médicos, se realizan pruebas biológicas para certificar la ausencia de pirogénos y la esterilidad del compuesto.

A continuación se dan los métodos de obtención de algunos nucleídos que se producen en forma rutinaria u ocasional. Las separaciones químicas utilizadas se basan, en algunos casos, en la adaptación de métodos ya conocidos en la literatura (4) (5).

Los rendimientos de reacción consignados se han calculado midiendo la corriente de blanco y la cantidad de radioisótopo obtenida. De esta forma los datos son meramente indicativos, puesto que en nuestras condiciones de trabajo la corriente de blanco medida incluye también la que producen aquellas partículas que inciden sobre el soporte.

${}^7\text{Be}$

Se irradia con deuterones $\text{B}_2\text{O}_4\text{Li}_2$, obtenido mezclando íntimamente las cantidades estequiométricas necesarias de BO_3H_3 y Co_3Li_2 y fundiendo durante una hora a 900°C . La masa así obtenida se pulveriza finamente. La reacción que produce el ${}^7\text{Be}$ es ${}^7\text{Li}(\text{d}, 2\text{n}){}^7\text{Be}$.

Las reacciones acompañantes dan lugar únicamente a nucleídos de período muy corto. El rendimiento es de $1\ \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. La separación se efectúa disolviendo el $\text{B}_2\text{O}_4\text{Li}_2$ irradiado en agua caliente acidulada con ácido clorhídrico. De la solución se precipita dos veces hidróxido férrico con amoníaco, previo agregado de 2,5 mg de Fe^{+++} portador. Los precipitados se disuelven en ácido clorhídrico 6 N y el hierro es extraído con éter etílico en un pequeño aparato de extracción continua. En la solución clorhídrica queda el ${}^7\text{Be}$ libre de portador. El rendimiento de la separación es del 75 %.

^{22}Na

Se irradia con deuterones magnesio metálico y se forma el ^{22}Na por la reacción $^{24}\text{Mg}(\text{d}, \alpha)^{22}\text{Na}$. Como reacción acompañante se encuentra la reacción $^{26}\text{Mg}(\text{d}, \alpha)^{24}\text{Na}$ (15 horas), de ahí la conveniencia de procesar el blanco seis días después del fin de la irradiación. El rendimiento es de $1,1 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. Las separaciones se efectúan teniendo en cuenta la exigencia del usuario que desea la mínima cantidad de magnesio en el preparado final de ^{22}Na .

Se sacrifica de esta forma parte del rendimiento químico. El magnesio irradiado, cubierto con agua destilada, se ataca con el 36 % de la cantidad estequiométrica de ácido clorhídrico, necesaria para disolverlo totalmente. Se deja reposar 24 horas y se filtra por papel coloidal, lavando con agua. Previa concentración hasta pequeño volumen del filtrado y de las aguas de lavado, se agrega igual volumen de alcohol etílico y la misma cantidad de reactivo de Schaffgott (una mezcla de 18 ml de amoníaco concentrado saturado con carbonato de amonio comercial, 80 ml de agua y 90 ml de alcohol etílico).

Se agita la solución con carbonato de amonio sólido y después de 24 horas se filtra la parte insoluble. Al filtrado se agregan 15 ml de reactivo Schaffgott y se filtra nuevamente. Se concentra el filtrado, se lleva a sequedad y se elimina la materia orgánica por tratamiento con ácidos nítrico, perclórico y sulfúrico.

El preparado así obtenido contiene $1,3 \times 10^{-1}$ mg de magnesio, determinado coloriméricamente, por 100 mg de magnesio irradiado. El rendimiento de la separación es del 60 %.

 ^{45}Ca

Se irradia con deuterones óxido de escandio espectroscópicamente puro.

El ^{45}Ca se obtiene por la reacción $^{45}\text{Sc}(\text{d}, 2\text{p})^{45}\text{Ca}$. Por distintas reacciones se forman al mismo tiempo actividades de titanio y escandio. El rendimiento es de $0,75 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. Se disuelve el óxido de escandio irradiado con ácido clorhídrico concentrado y se diluye con agua. Previamente agregado de 20 mg de Ba^{++} como portador, se precipita hidróxido de escandio con amoníaco libre de carbonatos. Se filtra por papel coloidal y se lava con agua amoniacal. En el filtrado se precipita el bario por agregado de carbonato de amonio. Se centrifuga y el precipitado se disuelve con ácido clorhídrico 6 N. Se agregan 10 mg de Fe^{+++} y se precipita dos veces hidróxido de hierro con amoníaco libre de carbonatos. En el filtrado se precipita nuevamente carbonato de bario. Se disuelve el carbonato en ácido clorhídrico concentrado, se enfría la solución en baño de hielo y se precipita cloruro de bario con una mezcla de ácido clorhídrico y éter. Se filtra por papel de vidrio y se evapora el filtrado, que contiene ^{45}Ca libre de portador. El rendimiento de la separación es del 85 %.

 $^{47}\text{Ca} + ^{45}\text{Ca}$

Se irradia con deuterones una lámina de titanio metálico. Se producen ^{47}Ca y ^{45}Ca por las reacciones $^{50}\text{Ti}(\text{d}, \alpha\text{p})^{47}\text{Ca}$ y $^{48}\text{Ti}(\text{d}, \alpha\text{p})^{45}\text{Ca}$. Se obtiene en la misma irradiación actividades de titanio, vanadio y escandio. El rendimiento para la producción

del ^{47}Ca es de $0,03 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. Se disuelve la lámina de titanio en ácido fluorhídrico con agregado de agua oxigenada. Se agregan 10 mg de vanadio como metavanadato de sodio y 20 mg de La^{+++} .

Se diluye con agua hasta precipitación de fluoruro de lantano. Se centrifuga y lava el precipitado con agua y se lo disuelve en una mezcla de ácido nítrico y bórico. Se agregan 20 mg de Ba portador y se precipita hidróxido de lantano con amoníaco libre de carbonatos. Al filtrado se agrega en caliente carbonato de amonio para precipitar carbonato de bario. Se disuelve el precipitado en ácido clorhídrico diluido y se efectúan dos precipitaciones de hidróxido de hierro por agregado de Fe^{+++} y amoníaco libre de carbonatos. En el filtrado se precipita carbonato de bario con carbonato de amonio. Se disuelve el precipitado en ácido clorhídrico concentrado y se precipita cloruro de bario como en el procedimiento descrito en la separación de ^{45}Ca . El filtrado contiene ^{45}Ca y ^{47}Ca sin portador.

^{54}Mn

Se irradia con deuterones una lámina de hierro. Se obtiene el ^{54}Mn principalmente por la reacción $^{56}\text{Fe}(\text{d}, \alpha)^{54}\text{Mn}$. En la misma irradiación se obtienen actividades de cobalto.

El hierro irradiado se disuelve en ácido clorhídrico y ácido nítrico, se lleva a sequedad y se trata el residuo con ácido clorhídrico hasta eliminación de nitratos. Se agregan 5 ml de ácido clorhídrico concentrado y 2 ml de bromo y se deja 12 horas. Se enfría con hielo y se precipita hidróxido férrico con hidróxido de amonio. El manganeso es arrastrado por el hidróxido férrico. Se disuelve el precipitado y se repite 3 veces el paso anterior, agregando siempre 2 ml de bromo. Se lleva casi a sequedad la solución proveniente de la última disolución del hidróxido férrico, se toma en ácido clorhídrico 6 N y se extrae el mismo con éter etílico. La solución acuosa se lleva casi a sequedad, se toma el residuo en ácido clorhídrico 8 N y se pasa por resina de intercambio Dowex 2. En estas condiciones se eluye el ^{54}Mn y quedan retenidas las actividades de cobalto. El rendimiento de la separación es del 84 %.

^{59}Fe

Para la producción de este nucleído se realizaron ensayos preliminares irradiando cobalto con deuterones y neutrones rápidos. Debido al mayor rendimiento se eligió la reacción $^{54}\text{Co}(\text{d}, 2\text{p})^{59}\text{Fe}$, cuyo rendimiento es de $0,25 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. En la irradiación se producen además actividades de cobalto. Se irradia cobalto metálico y se disuelve en ácido nítrico al 50 %. Se ajusta el pH a un valor comprendido entre 4 y 7 con buffer de carbonato de amonio y amoníaco. Se agrega acetilacetona y se extrae el acetilacetonato con xilol. Se lava la fase orgánica con agua y se evapora el xilol. En el residuo que contiene el ^{59}Fe se destruye la materia orgánica con ácido perclórico. El rendimiento químico es del 85 %.

^{85}Sr

Se irradia sulfato de rubidio con deuterones. La reacción que produce el ^{85}Sr es $^{85}\text{Rb}(\text{d}, 2\text{n})^{85}\text{Sr}$. El rendimiento es de $20 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. En la misma irradiación se forman actividades de rubidio, criptón,

azufre y fósforo. Se ha introducido una etapa de purificación adicional para eliminar el ^{65}Zn que se forma en el portablancos de cobre. Se disuelve el sulfato de rubidio con agua caliente acidulada con ácido clorhídrico. Se filtra y en la solución se precipita sulfuro de cinc con SH_2 , previo agregado de 10 mg de Zn^{++} portador y acetato de sodio. Al filtrado se agregan 10 mg de Fe^{+++} y se precipita hidróxido férrico mediante una solución de hidróxido de amonio saturada con carbonato de amonio y agregando igual volumen de alcohol etílico.

Se disuelve el precipitado en ácido clorhídrico 6 N y se extrae el hierro con éter etílico en un aparato de extracción continua. A la fase que contiene el ^{85}Sr se agrega 10 mg de Pb^{++} portador y se concentra hasta 1 ml. Se precipita con ácido nítrico fumante frío el nitrato de plomo que arrastra el ^{85}Sr . Se disuelve el precipitado en un pequeño volumen de agua y se repite la etapa anterior. El precipitado se disuelve nuevamente en agua y se precipita sulfuro de plomo. La solución que contiene el ^{85}Sr libre de portador, se lleva a sequedad y el residuo se toma en ácido clorhídrico diluido. El rendimiento de la separación es del 70 %.

^{88}Y

Se irradia óxido de estroncio con deuterones y se produce el ^{88}Y por la reacción $^{88}\text{Sr}(d,2n)^{88}\text{Y}$. Se obtiene en la misma irradiación actividades de estroncio y rubidio. El rendimiento de la reacción es de $10 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. Después de una semana del fin de irradiación se disuelve el óxido de estroncio en 2 ml de ácido clorhídrico 6 N. Se lleva con agua la solución a una concentración de 0,5 M de Sr^{++} . Se agrega amoníaco libre de carbonatos hasta pH 9 del papel indicador. A la solución caliente se agrega agitando una pastilla de pulpa de papel y se espera 5 minutos. Se filtra por placa de vidrio y se lava la pulpa de papel con amoníaco 0,1 N caliente. Se extrae el ^{88}Y del papel con 6 ml de ácido clorhídrico de 0,1 N. Se lleva la solución a pH 9 con amoníaco y se repiten las etapas anteriores. El rendimiento de la separación es del 70 %.

^{111}In

Se irradia con deuterones una lámina de cadmio. Se obtiene el indio por reacción (d,n) y (d,2n) sobre el cadmio. Con la irradiación, además de actividades de plata, se obtiene el ^{114}In , que acompaña al ^{111}In en el preparado final. El rendimiento para el ^{111}In es de $43 \mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. Se disuelve la lámina irradiada en ácido nítrico concentrado y se agregan 20 mg de Fe^{+++} portador. Se precipita el hidróxido férrico por agregado de amoníaco en exceso. El precipitado, que arrastra la fracción indio, se lava con agua amoniacal y se disuelve con 1 ml de ácido clorhídrico.

Se lleva con agua hasta 15 ml y previo agregado de 10 mg de Cd^{++} se precipita nuevamente hidróxido férrico. El precipitado se disuelve en 15 ml de ácido clorhídrico 8 N y se extrae el hierro con éter etílico en un aparato de extracción continua. Se evapora la fase acuosa que contiene el ^{111}In y, previa destrucción de materia orgánica, se toma en ácido clorhídrico. El rendimiento de la separación es del 80 %.

²⁰⁶Bi

Se irradia plomo metálico con deuterones. El ²⁰⁶Bi se forma en la reacción ²⁰⁶Pb (d, 2n) ²⁰⁶Bi. El rendimiento es de 200 $\mu\text{C}/\mu\text{Ah}$. Se obtienen en la irradiación actividades de plomo y talio, además del ²⁰⁷Bi que acompaña al preparado final. El plomo irradiado se disuelve a reflujo con ácido nítrico concentrado más 2 volúmenes de agua. Se precipita cloruro de plomo en frío por agregado de ácido clorhídrico. El filtrado se hace alcalino con hidróxido de sodio y se retiene la actividad de bismuto sin portador en pulpa de papel. Se filtra por placa de vidrio y se lava con hidróxido de sodio diluido y agua. Se toma la actividad en un pequeño volumen de ácido clorhídrico diluido y se repite la etapa anterior previa alcalinización de la solución. En la solución clorhídrica que contiene el bismuto se comprueba la ausencia de plomo por reacción de coloración con rodizonato de sodio. Se evapora a sequedad la solución, se destruye cuidadosamente la materia orgánica y se toma el residuo con solución de citrato de sodio al 4 %. El rendimiento de la separación es del 80 %.

REFERENCIAS

1. *El Sincrociclotrón de Buenos Aires*, Publicaciones de la CNEA, Serie Interna N° 14, Buenos Aires, 1958.
2. Rosenblatt, J., y Slobodrian, R. J.: *Phys. Rev.*, 31, 836-838 (1960).
3. Pérez Ferreira, E., y Roederer, J. G.: *A Method For The Estimation Of Fast Neutron Fluxes And Energy Spectra*, Publicación Interna de la CNEA, Buenos Aires, 1956.
4. Garrison, W. M., y Hamilton, J. G.: *Chem. Rev.*, 49, 237-271 (1951).
5. Gruverman, I. J., y Krager, P. L.: *J. Appl. Rad. Isotopes*, 5, 21-31 (1959).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los señores M. Viirsoo, A. M. M. de Español y E. Del Río por la colaboración prestada en las separaciones químicas, y al doctor R. Rodríguez Pasqués por el asesoramiento en las calibraciones absolutas de actividades.