

PRNC071

PRNC 71

CENTRO NUCLEAR DE PUERTO RICO

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE ALCANCES

EN TUNGSTENO DEL ESTRONCIO-91 Y BARIO-140

PRODUCIDOS EN LA FISION TERMICA DE URANIO

ENRIQUECIDO.

?OPERATED BY UNIVERSITY OF PUERTO RICO UNDER CONTRACT

NO. AT (@0-11-1833 FOR U. S, ATOMIC ENERGY COMMISSION

---Page Break---

Estudio de la Distribución de Alcances en Tungsteno

troneio-91 y Bario-140 Producidos

en la Fleión Téraica de Uranto Enriquetdo

sometido con requisito parcial para
de Maestro en Ciencias (Química), Universidad:
Puerto Rico, Colegio de Agricultura y Artes Mecánicas,
Mayaguez, Puerto Rico.

Junio 1965

---Page Break---

Universidad de Puerto Rico
Colegio de Agricultura y Artes Mecánicas
Mayaguez, Puerto Rico

Estudio de la Distribución de Alambres en el Diseño de un Sistema de

y Bando-140 Productos en la Industria Téxtil de Puerto Rico

por

Edgar Alberto Paez Moro

Tesis souetida coao requisite parctal

para el grado de

Maestro en Clenciai

(Qufates)

Junto, 1965

1, 1965

Fecha

23, (96S

Te

2, 1946S

??Fresidente dal Coutté Graduado?

---Page Break---

Annie padres, «at

?

---Page Break---

?SuARIO

BL presente trabajo eaté encaninado a determinar la dtetrtbueién en tungateno de estroncio-91 y berio-140 productos en la fisiGn del uranto enriqueció, uttlizando un procediatento electrolftico similar al desarrotlads por Davies.

Los productos de f1s16n se proyectan sobre una Ldsina de tungsten

4 través de un colinador, Del blanco de tungeteno se extraen finae

1 un proceso de dos etapas que envuelve 1a for
sactén anddica de una cape de xido y la extraccién de 1a pelfeula de
éxido por éisoluciéa en hidrécido de potato 0.02 M. En cada capa
excrafde oe hace una purifftactén radtogutnica y luego una caractertza~

eign del ndelido en cuestién mediante 1a medida de sus propieda:

radionéutricas.

Los valores:

experimentales?

para el alcance del estroncio-90

y del bario-140 son de $9,3 \pm 1,3$ y $7,7 \pm 0,15$ mg/cm² respectivamente. Los

datos para el bario-140 están en buena concordancia con los alcances calculados de acuerdo con las relaciones teóricas de Makherji & Yaffe y Noshkin & Sugihara.

Los resultados indican que el fenómeno de ionización es el responsable del frenado del fragmento hasta que éste adquiere una velocidad crítica, por debajo de la cual probablemente ocurre el fenómeno de dis

persión elástica,

El método de extracción de capas sucesivas, en casos favorables,

ofrece gran precisión para el estudio de la distribución de alcanc

interacción de partículas cargadas deparadas sobre un absorbedor.

sat

---Page Break---

RECONOCIMIENTOS

Quiero dar mis agradecimientos al Dr. Ismael Alnodévar por elegir
el tema de la presente investigación, por su ayuda en el desarrollo del
trabajo y por su colaboración en la discusión e interpretación de los
resultados.

Palabras de reconocimiento al Dr. R. Gaeta, de la Junta de Energía
Nuclear de Eepana, por su gentil colaboración en la preparación del mate
rial fotostático.

Expreso mi gratitud también con el Dr. Julio Gonzalo, el Dr. Juan F.

Facetti y el Sr. Arnoldo de Hoyos por sus útiles discusiones.

Quiero expresar mi gratitud a todo el personal del Centro Nuclear de Puerto Rico que en una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo, en especial, al personal del reactor por su cooperación en la irradiación de las muestras.

Al Dr. Henry J. Goubers y al Dr. Owen H. Wheeler mi gratitud, tanto

por sus

valiosos consejos como por el interés y el tiempo que siempre

me prestaron en todo aspecto durante mi estancia en el Centro Nuclear.

Expreso mi gratitud a las entidades que, de una u otra forma, con

tribuyeron a la creación de

condiciones que se persitieron adelantar estudi

ç Anveseigación en esta Institución, como son el Instituto de Asuntos

Mucleares de Colonbi

el Organieno Internacional de Energfa Aténica,

Viena, y el Centro Nuclear de Puerto Rico.

a investigactén se realiz6 bajo los auspictos de 1a Comteién de

Bnergta Aténica de los Eetados Unidos.

Ww

---Page Break---

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FrOURAS

1

Dore

INTRODUCCION «2+.

1. Generalidades ..ecesscesee es
2. Estudio del alcance de los fragmentos de fisión «0...
3. Relaciones de alcance-energía
- 4, Métodos experimentales utilizados en la determinación de alcances de los productos de fisión
1A, Método de absorbedor fino .
>. Método de absorbedor grueso
ec. Método de remoción de capas sucesivas ...e++5
5. Objetivos y perspectiva de este estudio veseeceeees

EQUIPO Y METODO EXPERIMENTAL

Preparación de los absorbentes ...

Preparación de las muestras:

Construcción del electrodo

Construcción y extracción del óxido ...

Calibración del método electroquímico

4. Método de activación por neutrones «

b. Método gravimétrico .

att

tv

2

Bb

B

1%

uw

?

---Page Break---

6. Métodos químicos de separación y purificación+..

7. Medidas y caracterización radioquímica de los nucleidos

separados ...

TIL. RESULTADOS Y DISCUSION ?

Resultados de la calibración del proceso electrolítico

8. Método de activación por neutrones ..seseseseseees

b, Método gravimétrico sees

2, Determinación del alcance del estroncio-91 .

3. Determinación del alcance del bario-140 .

4, Discusión de los resultados

IV. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

APROPIE TT soe

?

v

v

y

v

u

»

2

2%

---Page Break---

LISTA DE TABLAS

Deseripción de les Muestr:

Fistonables Disponibles .

Medición de la Actividad Beta para la Determinación del
Alcance del Bario-140

Cálculo de la Energía Cinética y de la Velocidad Final ..

Cálculo del Alcance del Estroncio-91 y del Bario-140 en
Tungsteno de Acuerdo con Mukheri y Yaffe .

Cálculo del Alcance del Bario-140 y Estroncio-91 en Tungsteno:
Usando la Relación de Interconversión de Mukheri y Yaffe

Valores de X y k Calculados para Tungatenoessesceee
cAteulo del Alcance Segin Noshkia y Sugiharasseecceee

Comparación de Alcances de Estroncio-91 y Bario-140 en
Tungateno .

chteulo de 1a Bnergta Cinética para el Bario-140 Segia
Noshkin y Sugihara?.

vt

2

cry

ww

20

2

2a

25

a

29

En

33

3s

---Page Break---

LESTA DE FrGRAS

Diagrama Eequeaftico del Sistens de Irradtaci3n ..

Diagrama Eequendftico del Anodo Used ..seseseeeeeee

Statens Utilizado en La Electr3lisie

Gurvas de Desintegración del W'6? extratéo por
jectrélists

Caltbractén de Eepesores Extrafdos por Electrélite

Baquena del Procediatento Quinico

Bepectro Gana dei sr91

Bepectro Gana del Bal,

Madide do La Desintegractén Beta para el Sr¥

Curvas de Desintegración de ^{140}Na

Espectros Gama del ^{140}Ba .

Determinación Preliminar de la Distribución de Alcanes
para ^{140}Ba

Determinación Final de la Distribución de Alcanes del
 ^{140}Ba

Distribución de Energía Cinética para los Fragmentos

Estadísticas de los datos

Tabla de Log K vs Log ($2W_3/Ag$) estadísticas

Alcance Integrado para Bario-IWO ..estadísticas

with

33

4

35

37

38

9

60

a

2

6

64

65

66

o

---Page Break---

HL proceso de fisión nuclear, mediante el cual el núcleo se divide principalmente en dos fragmentos de tamaño comparable o bien conocido. Fong (FI) postuló un mecanismo para explicar el origen de los

fragmentos de fisión, en base a una teoría estadística de la fisión, la

cual provee una imagen coherente de los estados finales del proceso. La

teoría relacionada con el fenómeno

teoría estadística de Fong está fundamentada

de retroceso y por esto se discute en el apéndice I.

En el proceso de fisión se libera una gran cantidad de energía

la cual se manifiesta principalmente como energía cinética de los pro-

ductos de fisión. Esta energía se origina mayormente en el retroceso de

los fragmentos debido a una fuerte repulsión de Coulomb (J_1).

Poco tiempo después de haber sido descubierta la fisión de ^{235}U

por Hahn (E1), Frisch (P2) determinaron experimentalmente la energía liberada

midiendo

que en dicho proceso se producen los productos en una cascada de fissiones

de ^{235}U por una muestra de uranio irradiada con neutrones. Joliot (32) de-

mostró la gran energía cinética de los fragmentos de fisión, mediante

el uso de emulsiones de plata para la penetración de dichos fragmentos en películas

delgadas. Desde estos primeros trabajos se han adelantado

mucho, dieponténdose ahora de gran cantidad de informaciéa obtentde oe-
Atante thontcas exparinentales ads refinadae, Loe aftodos principal-
mente usados para eatudion de esta naturaleca son:

2, Madidas de 1a energta cinéttca de los fragaentos de

fisién on choaras de tontzacién (33, ¥3, DI, BL, 32).

---Page Break---

+ Madidas del tLeapo de welo de lo fragmentos (Li, 12,
Si, 82, M, 12).

ec. Madidae calortnfertcas de 1a energfa total productda (2,
13, al).

4. Retudio del alcance de los productos de fstén an atten

rentes materiales,

2 lon fr

BL estudio de Las propiedades

Proceso de los productos de

que es de gran valor con una contribución al conocimiento del proce-

de física y al estudio del mecanismo de atenuación de neutrones pesados

en la materia.

El mecanismo de atenuación de los neutrones de fisión en el ma-

terial fisionómico es muy complicado. Se han construido diversas teorías

sobre este proceso, debiéndose a Bohr (B3-B5) la mayor contribución.

Simultáneamente independiente Landau (14, L5) propuso una teoría similar.

Poco tiempo después la teoría de Bohr fue confirmada mediante el trabajo

de Bohr, Bethe y Leipunski (86). Anualmente se detallan de la teoría

de Bohr han sido publicados por Knipp y Teller (K1), Bell (87),

Oreroft (01) y Bobr y Lindherd (58).

M productrse le fisi6a, los fragaentos son acelerados « grandes velocidades. Hatoe frequentoe quedan altanente cargadoe dabido a 1a enorme disturbaci6n a que ex sonatide La nube electr6atcs del material

fLelonable durante el proceso de fi0i6

Dedide « este carga, los frag-

rmantos iontzan y excitan los Atonos que

eoencuentran pr6xtnos al paso

del fraguento, el cual plerde asf ou energie. De ver en cuando ocurren

---Page Break---

colisiones directas con los Atomos del natorial frenador. De este modo

le teorte de Bohr sobre 1a atenuaci6n de los fraguentos queda dividida

en dow part

luna relacionada con el poder nuclear de frenado y otra,
la de mayor efecto, relacionada con el poder electrónico de frenado. A
medida que los fragmentos van siendo frenados, su carga neta tiende a

decrecer al acercarse al final

su trayectoria y termina haciéndose

Una vez que el fragmento se desacelera, supone Bohr (BS) que
este alcanza un estado en el cual ya no puede producirse ninguna ionización,

ocurre

ya cuando la velocidad V del fragmento es menor que la velo-
cidad V_0 del electrón en la capa externa del átomo de hidrógeno. Pulner

¥ Cohen (¥4) en base a sus propios resultados demostraron que la supos

ción de Bohr era sólo una aproximación.

La carga iónica inicial de los fragmentos ha sido estudiada por varios autores (B4-87, Lé, LS, K1, OL, PL).

Bohr (B4, 25) deduce la expresión siguiente

$v = 2v_0 \sqrt{Z_1}$

donde

Z_1 es la carga efectiva del fragmento

v_0 es su velocidad atómica

están en el estado fundamental

efectiva Z_1

Una vez neutralizada la carga iónica, la pérdida de energía a

v_0 es la velocidad del i

Ver la velocidad de los electrones en un tomo de carga

atribuye principalmente al fenómeno de colapso nuclear:

---Page Break---

Perfiloy (PL) en 1940, midió la deflexión causada por un campo magnético inyectando perpendicularmente sobre un haz de productos de fisión de donde calculé una carga neta de 20 unidades para el haz, Vari-

rios

Jos desputo Lassen (L5-L10) demostró la dependencia de la carga

total en función de la naturaleza del material sólido en el cual

produjo el retroceso. La carga se midió calculando la deflexión sufrida por los fragmentos emitidos desde el sólido en un campo magnético al vacío. En otros experimentos se observó la variación de la carga del fragmento en retroceso en gases y se encontró que la variación aumentaba

a1 aumentarse la presión del gas. Así mismo se encontró que los fragmentos pesados son neutralizados más rápidamente que los livianos. El efecto de la presión fue explicado por Bohr y Lindhard (88) como debido a la disipación radiativa incompleta de la energía de excitación de los electrones entre colisiones sucesivas con los átomos del gas. Bohr y Lindhard (B3), usando los datos de Lassen (19), encontraron resultados en desacuerdo de los tiempos radiativos. Entonces Fulmer y Cohen (P4) determinaron el efecto de la presión para varios gases y encontraron resultados consistentes del tiempo radiativo promedio de los fragmentos ionizados y excitados, quedando desilustrado que la suposición de Bohr de que la carga de un ion pesado está determinada por el número de electrones cuyas velocidades orbitales son menores que la velocidad de dicho ion, es en realidad una crude aproximación,

3. Relaciones de alcance-energía

Lassen (17) estudió experimentalmente las relaciones de alcance-energía y encontró un buen acuerdo con las relaciones teóricas

---Page Break---

desarrolladas por Sohr (B5). Muchos autores han tratado el tema para explicar con distintos desarrollos el mecanismo de pérdida de energía de los fragmentos en retroceso (Us, Kl, B5, 88) con buenos resultados en

términos generados.

De acuerdo con Bohr (1913), la relación de energía-alcance viene

dada por:

de la que se obtiene

la energía cinética de la onda @

Derivando la energía cinética con respecto al alcance se obtiene

la velocidad v

Reemplazando (2) en (1):

3

La energía en dS , @

es $dE = h \nu$

De esta manera, la energía de una línea espectral, esto es, la energía

de una línea de un espectro por centímetro de trayectoria viene dada

por:

et cam Zt'' , sam Be

z wa (a)

Donde:

---Page Break---

le be GMI +E) 6)

UI es el poder electrónico de frenado para una partícula alfa y x exte

dado por la siguiente expresión:

$92 \text{ tye } V/V ?$

2

By tay vy

B35 BM) B

= loge (of moa o

En las ecuaciones anteriores:

Nes el número de átomos del material frenador por centímetro

efectivo.

My y 2, con La nasa y la carga nuclear del fragmento en

movimiento.

M y Z son la masa y la carga nuclear del material

v es la velocidad del fragmento.

v_g es la velocidad del eje

n es el número de fragmentos del
bromo de hidrógeno.

e y m_e son la carga y la masa

de la carga del electrón.

P_{el} es el término que designa el poder electrónico de frenado.

P_{nuc} es el término que designa el poder nuclear de frenado.

EL segundo término de 1a «:

ión (4a) tiene gran importancia

cuando se trata de ion

Pesados como los fragmentos de fisién.

4, Métodos experimentales utilizados en la determinación de alcances
de los productos de fisién.

El alcance de los productos de fisién ha sido determinado en

gases en condiciones normales

---Page Break---

Todos los métodos experimentales utilizados para medir el alcance se

Pueden dividirse en dos categorías; los que utilizan como absorbentes

capas delgadas en comparación con el alcance de 1a parte en retro-
sección y los que usan espesores grandes comparados con el alcance que se
está estudiando.

4. Método de absorbedor fino

Por este método se han medido alcances de varios produc-
tos de ELeión utilizando como absorbedor grupos de Ldian superpuestas

de películas plásticas. Aunque las películas pl

ásticas sufren grande-

mente con la radiación, presentan la ventaja de permitir la obtención de

Pesores tan finos como 1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (13).

los primeros en utilizar este método fueron Segre y

Wiegand (83). Posteriormente fue explorado, entre otros, por Finkle,

Hoagland, Katcoff y Sugarman (P5) y Douthett y Teapleton (02). Se deter-

minaron los alcances en aire (K2) y en otros gases sedi,

anfliate

Fadtoquimico, absorbtendo los frageentor en una serie de Léainas muy
Faas.

Alexander y Gazdtk (A1) hicieron mediciones en las cuales

eenplazaron una de Las ho.

de aluainto adyacentes al absorbedor por

june hoja de oro, encontrando que ocurrfá algún retroretroceso de los

fragmentos on retroceso en le Lémina de oro # hicieron las correcctones

necesarias para este efecto.

Las deaventajae de este nétodo estáa en que, con absor~

dedores my fino, los rendinientos 4e los productos en retroceso son

---Page Break---

muy bajos, diftculeéndose 1a determinación radioqutaica de los ateno.

?Thene La ventaja de no ser necesaria La colinación del hae.

>. Método de absorbedor grueso.

En esta técnica la muestra a fislonarse se coloca entre

dos Láminas absorbedoras suficientemente gruesas como para atrapar los

fragmentos en retroceso y se determina la fracción del total de fragmentos

producidos en cada absorbedor. Este sistema ha sido utilizado por

Sugaraan, Campos y Wielgos (S4), Porile y Sugarman (P2), Fung y Perinan

(#6), Portle (P3), Niday (WI), Alexander, Gazdik, Trips y Wasit (42) y

Por Nosbkin y Sugihara (W2, 10).

Sugarman, Campos y Wielgos encontraron relaciones entre

la fracción recogida en ambas direcciones con el aleance del fragmento

en el material blanco", Los

datos obtenidos por este método son

menos directos, pero así se evitan muchas dificultades experimentales,

+ Método de renovación de capas sucesivas

Esta técnica fue desarrollada por Davies, Friesen y

McIntyre (D3), con el objeto de

obtener un método experimental que per

mits

El estudio del alcance de iones de muy poca energía, lográndose
medir alcances del orden de 5 \AA (180 \AA para aluminio). con tal fin,
los investigadores mencionados seleccionaron un proceso de dos etapas
basado en la formación electroquímica de una película protectora fina
de aluminio, seguida de la reducción química de la película, para atacar la superficie
de aluminio.

Algunos metales, tales como el aluminio y el magnesio,

poseen la propiedad de producir una capa fina protectora de óxido cuando

---Page Break---

se someten a oxidación en un electrolito convenientemente regulado.

St la oxtductén

eva a cabo a voltase constante, en unos pocoe mini
tos el espesor de 1a capa alcanza un valor constante. Este valor aun-
{4 casi Linearmente con el voltaje aplicado. Levis y Plunb-(L11) denoe-
traron que una soluctéa acuosa de Acido fosfóricico y triGxide exénico
caliente dteuelve répidamente 1a pelcula de Sxido sin ataque aprectable
a1 aluminio werélico.

BI nétodo ha sido ueado con buen éxito por Davies y Sine

(D4), Davies, Metatyre y Sims (DS) y por Davies

Metntyre, Cushing y

Lounsbury (06). Brown y Oliver (BIL) utiltsaron este procediniento pare
estudiar la éietrtbución de atcances de algunos productos de fiei6n en
stminto.

De una manera a{utlar al aluini

el cingateno exhtbe

La propiedad de formar capas de óxido por oxidación anódica, cuyos espe-

sores son controlabl

Bata técnica sugerida por Krutsen (K3) ee ha

endo para el estudio del alcance de ciertos {ones deparados con ener-

af

Del orden de los kiloelectronvoltios (D7, B12, 18). Hasta el momen-

to esta técnica no he sido utilizada para medir alcances de productor de

energía, Lo cual se realiza en la presente investigación.

Este método tiene la ventaja de los dos métodos anterior-

mente mencionados (absorbedor fino y absorbedor grueso) ya que en princi-

pio ee un

borbedor grueso puesto que tiene un espesor mucho mayor

que el alcance de los tonos en cuestión, y además de

es un absorbedor

que es posible extraer capas tan finas como de 1 µg/cm². Su utilidad

es muy grande cuando los productos a estudiar son partículas de corto

---Page Break---

10

alcance y aún más importante, permite una gran exactitud en cuanto a la

diferenciación de la distribución

de alcances.

En un comienzo se pretendió, como una parte de una in-

vestigación, estudiar el alcance de ciertos fragmentos de ^{60}Co en alu-

¿into utilizando el método citado, pero se abandonó la idea después de muchos experimentos por no disponerse de un aluminio de la gran pureza requerida. Por otra parte, el estudio en aluminio ya ha estado trabajado, como se puede notar en el recuento de la literatura.

5. Objetivos y perspectivas de este estudio

En el presente trabajo se pretende desarrollar un método que permita hacer un minucioso estudio del alcance de los productos de fisión de ^{235}U , para lo cual se hace uso de la técnica de extracción de capas sucesivas. La investigación está encaminada a estudiar la distribución de ^{140}Ba y ^{91}Sr producidos en la fisión térmica del ^{235}U , con tal objeto el material fisionable se monta junto con un colimador y un absorbedor de tungsteno. Después de efectuada la irradiación con neutrones

térmicos, el conjunto

se desmonta y se procesa:

ale

paración de capan

tungsteno para desvestir progresivamente su espesor. Para ello, la
Matna absorbadora de tungsteno se monta convenientemente en un electrode,
en el cual sólo queda en contacto con la solución la superficie expuesta
441 Soubardeo con los fragmentos de fieiún. Luego se procede « una sepe-
racción radioquímica del elemento de interés para su determinación.

Bete nftodo tiene la ventaja de permitir una discriminación muy
fina de los espesores, lo cual es muy afect de obtener utilizando Ldat-

nas superpuestas, permitiendo un estudio detallado y altamente preciso

---Page Break---

a

del paso del fragmento. Tiene la desventaja de exigir mucho trabajo
cuando el aleance es grande, necesitándose hacer alrededor de quinientas
electrodos para cubrir la trayectoria del fragmento. Además, requiere
el uso de uranio enriquecido para obtener suficiente actividad en las
finas capas separadas.

A fin de conseguir resultados confiables, es necesario el

desarrollo y estudio de otras fases experimentales complementarias como
pulimento a espejo de Las Láminas de tungsteno, 1a preparación de

electrodos y de:

una electrodo, 1a calibración del espesor de 1

espesos en función del potencial aplicado, la extracción y purificación

Radioquímica de los elementos # estudiados y finalmente, 1a caracteriza-

ción por medidas radiométricas de los nucleidos en cuestión.

11, QUO ¥ \TODD ExPERTenTAL

1, Preparación de los absorbentes

Las Láminas de tungsteno usadas en el pri

son en discos de una pulgada de diámetro y con un espesor

stnas de pulgada. Posteriormente se sonetieron a pulido mecfnico, hast grado 400 y luego « pulimento electrolftice utilizando un electropulidor

fal cual se adapes un porta muestra, construfdo en teflén y disenade con

las dimensiones del absorbedor de tungsteno.

Antes de cada trradiactén se hizo & las Léntoas un tratantento

PreanSéico, el cual constate en anodizar 2 70 voltios, extrayéndose el

Geldo resultante por inseraién en una solucién de hidrécido de potasto.

Esta operacién se repitié cuatro veces con el objeto de obtener una

erficta homogénea.

---Page Break---

2

Para irradiar se nontaron tal como

indica en Le

figura 1, EL saterial fLeionable eaté fornado por una capa de Gxido de

wran{o, 1a cual est sontada sobre una pieza de acero tnoxidable, Las

speci fLcactor

Pertenectentes al material fielonable se resumen en 1a

tabla 1. Las muestras usadas fueron preparades por Gaeta de acuerdo con

ou técnica (62), 1a cual consiste on la electrélisis de une solucién de

+

02" enriquecida en el ixétopo 235, en medio fluorhférico, con eftodo de

cero {noxidable y posterior celeinacién a 400°C.

Tabla 1

Descripción de las Muestras Fielonabias Disponibles

Winero de Orado de enriquecimiento en -% ~ Gaperor pai

muestra yee 23s yee 38 Tos

Ba 35 a7 19.99 0.071 79.76 60.2

Ba-029 O17 19,99 0.071 79.18 62.4

Bent36 0.77 90.10 0.330 8.80 61.0

Ba23 0.77 90.10 0.330 8.80 84.00

Baet25 0.77 90,10 0.330 8.80 75.0

Ba028 017 19.99 0.071 79.76 58.0

OO

Como colimador se usó un disco de aluminio de una pulgada de dif-

fato, espesor uniforme de 0.2 pulgadas y perforado con pequeños hoyos

de 0.0625 pulgadas de diámetro. La Lénina absorbadora ultrapulida ée
tungetano se colocó contra este colimador. £1 conjunto se £136 con un
soporte de aluminio tal como se aprecia en la figura 1.

---Page Break---

a

3. Gongerucetén del electrode

Debido a la alta radiactividad de las muestras, el proceso elec=

tróftics ee Lew a cabo

letrds de una pared de plow con la ayuda de

?un espejo. Con el objeto de reducir el número de pasos

tun afaino y de

facilitar la operación en estas

condiciones, se diseñó un electrodo con

el cual aparece en la figura 2.

Los electrodos se construyeron de la siguiente

manera: el contacto

eléctrico del absorbedor de tungsteno se hizo por la parte no pulida de

la vaina, mediante un alambre recubierto de vidrio excepto en sus extremos

08, con el fin de fijar el conjunto y asegurar que únicamente la cara

pulida de la vaina estuviera en contacto con la solución, para ello se montó

en una resina autosolidificante, para ello el conjunto se colocó en un

molde de vidrio el cual se llenó con una suspensión viscosa de la resina,

1 cual al cabo de unos diez minutos adquiere una consistencia sólida e impermeable.

4s Qxtndnci6n andatea y extracct§n del Sxido

Se uti1ies com electrolito una soluci6n de nitrato de potasio

0.4 Men del do nfrico allvfdo (0.040). con este m6todo se us6 una L6mina fina de tungsteno de 0.5 x 2 pulgadas, a figura 3 muestra esquemáticamente

la celda electroquímica,

se oxidó

se aplicaron el potencial y mante-

niendo constante el flujo de corriente aproximadamente en 2 mA/cm² hasta obtener el voltaje deseado.

Una inserción posterior por dos minutos en 20 ml de hidróxido de

Potasio .02 M fue suficiente para disolver completamente la capa de

---Page Break---

uw

Su oxidación. Tanto la formación del óxido como su disolución se realizaron a temperatura ambiente,

5. Galvanización del cátodo electrolítico

La cantidad de tungsteno extraída respecto al voltaje aplicado se determinó por medio de dos métodos

A. Método de activación por neutrones

Una lámina pulida y sometida a varios tratamientos preanálisis

antes (oxidación a 70 voltios y posterior disolución del óxido), se irradió en el reactor. Junto con esta lámina, bajo las mismas condiciones, se irradió una pequeña muestra patrón de tungsteno metálico, cuyo peso se determinó con exactitud.

Después de la irradiación, la muestra se montó en el electrodo

y se anodizó a diferentes voltajes. Los óxidos formados para los dife-

rentes voltajes aplicados @ la ánina se disolvieron en 10 aflilios de

hidróxido de potasio 0.02 M se llevaron a un volumen de 50 mililitros:

De cada solución se tomaron alícuotas de un mililitro y se depositaron

en pequeños recipientes de aluminio. La actividad de las muestras evapo-

radó

La β con un tubo Geiger Muller. Algunas curvas de desintegración

se muestran en la figura 4. Conociendo el dato de la actividad al fin

de la radiación por extrapolación al tiempo cero de la actividad de cada

muestra, se calculó el peso de tungsteno extraído por comparación con la actividad obtenida para el patrón.

b, Método gravimétrico

También se calibró determinando la pérdida de peso de las

laminas, después de haberlas sometido a un proceso de oxidación y disolu-

---Page Break---

as

del óxido, para ello se pesaron las laminas en condiciones controladas y luego de hacer veinte extracciones en cada uno de los voltajes preseleccionados, se determinó la pérdida de peso y se calculó el promedio para cada voltaje.

Los datos obtenidos por ambos métodos aparecen en la figura 5,

Pudiéndose notar una buena concordancia de los dos calibraciones.

6. Se separó la muestra, se separó la muestra, se separó la muestra,

Una vez extraídas las capas

Sxtodo ae procedié « separar y

Purificar los nfclidos de interés. En la disoluci3n se encuentran mez

slados el tungsteno, procedente de 1a Ldatna absorbadora, y los productos

ae flet3n. Debtido a La irradiaci3n con neutrones se obtiene por reacct3n

(2,7) WI87, 1 cual por su periodo de sentdesintegract3n de 24 horas, 0

jun serio contaninante radioqufmico de los ndclidos de interés. Por lo tanto, el primer paso fu la separact3n del tungsteno presente del bario yeu

Htroncto, lo cual se LevS a cabo precipitando los dos dltimos

como carbonatos en medio básico, la efectividad de esta separación se

comprobé utilizando una lamina de tungsteno radiactivo de la cual se
extrajeron capas de óxido, en las que se separaron bario y estroncio

usados como portador

Enactivos, se encontró que después de precipi-

tar los carbonatos estos

eran,

Como medida preventiva el precipitado de carbonatos se disolvió

eran totalmente inactivos y por lo

eran

libre

en Acido nítrico y se precipité cualquier traza de tungsteno que hubtese
Podido pasar usando óxido de wolfranio con portador.

Para la separación y purificación del Ba y del Sr 9% det con:

---Page Break---

16

Junto de productos de fisión, se usó un procedimiento de:

desarrollado por

Glendenin (G3), en el cual se precipitan el estroncio y el bario como

nitratos con ácido nítrico fumante. Este es un método clásico de

me

rar estroncio y bario de los productos de fisión. Aunque el método es

altamente específico, aparecieron algunas contaminaciones aún después de

varias separaciones. Para evitar este inconveniente, se hizo una precipitación atrapante de hidróxido férrico, después de tres extracciones con

solución nítrica fumante. A fin de

asegurar la ausencia del lantano formado

en la filtración, se hizo una precipitación de hidróxido de lantano.

El bario se separó del estroncio precipitándolo como cromato con

una solución reguladora de ácido acético (pH 5), en la cual es soluble

el cromato. El bario se disolvió como cloruro y se reprecipitó con sulfato.

El estroncio se separó de la solución cromato acética precipitándolo

como el oxalato monohidratado en medio acetato.

evicar La

reducción del cromato a Cr³⁺ por el ácido oxálico, lo cual ocasionaría

La coprecipitación del cromo con el oxalato de estroncio, Bn una purifi-

cación Final se disolvió el oxalato y se reprecipitó el estroncio con

sulfato.

En la marcha química se usaron portadores

de bario y estroncio

Previamente calibrados y adentes, portadores

de Ce, La, V,

Zr, Co, Mn, Sn, Sb y Ru. Todos los portadores tienen una concentra:

e16n de 10 mtligranos por mililitro del elenento en cuesti3n.

EL n3todo de separaci3n y purificaci3n

Austra en forma esque-

n3tica en Le figure 6.

---Page Break---

v

cterizaci3n radio de los deli dor

a caracterizaci3n de los nfclidos de inter3s se Levs a cabo

tanto por el estudio de s

feapectros gana como por la medicign de sus

Perfodos de senidesintegraci3n.

Para Las mediciones

utilizaron dos tipos de contadores; un

tubo Geiger Muller acoplado « un

scalfnetro y un detector de centelleo

de yoduro

Sodio activado con talio, acoplado a un analizador ée altura

0 impulsos de 512 cansles, el cual se calibré para cada medición con una
fuente de 006 y otra de cal37,

En e1 caso det Ba! se observvs el crecimiento de ou hija, el

tal40 y se deterniné posteriorsente el perfodo de seni:

ntegractén

ra cada suestra, Los

Eros gant se tonaron después de habera

aleanzado el equilibrio

Para couprobar la efectividad del nétodo de purificactén radio-
quinica, se (rradt6 una muestra de uranio natural (nitrato de urantlo),
¥ #8 procedt6 con 1a purificaci6n y se tonsron eapectros gana de las

fracciones aiel

das. Estos aparecen en las figuras 7 y 8. como puede

Rotarse no aparece ninguna contaminaci6n radiactiva.

TIX. RESULTADOS ¥ DIscusrON

1. Resultados de lo calibracin del proceso electrolfetce

4, Método de activación por neutrones

La tabla 2 contiene los datos de 1a calibración por activación

de neutrones. Las actividades están extrapoladas

8 meses a cero.

---Page Break---

ae

Table 2

Calibración del Proceso Electroquímico por el

Método de Activación por Neutrones

eee

Número de Actividad Peso de

a voltaje #2 as Actividad Peso Le capa

muestras (volts) de muestras del patrón patrón de Gatco

(e/atn) (fata) es) 8)

OO

1 20 15600 430000 7.29 25.1

2 20 15600 430000 7.29 25.1

3 30 22300, 430000 7.29 36.8

4 40 29600 430000 7.29 50.2

5 45 33500 430000 7.29 59.5

6 30 37000 430000 7.29 65.6

7 60 47000 430000 7.29 80.0

8 60 47000 430000 7.29 80.0

9 ry 58500 430000 7.29 99.0

SE

todo gravinésico

1 tabla 3 conttene los datos de 1a calibractéa por el

todo gravinétrico. Se hicleron veinte extracctones pare cada voltaje,

Pronedifndose el peso

Sxido extraféo para cade electrélisie.

---Page Break---

Tabla 3

Celtbractén dei Proceso Electroifeico por el Método Gravinétrico

ee SSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSeS

oe, sie meee

2. Determinación del alcance de! estroncio-91

Bn experinentos prelininares ce observ que el alcance del

sel esté comprendido entre 6 y 12 ag/en, Yor io tanto, fué necesarto

realizar 90 electrélisie a 55 voltiog, con lo cual se pt

tr6 una profun-

didad de 6.480 mg/en®, para llegar # 1a zona de interés. A partir de

este punto se cubrió el aleance discriminando el esp

Fen alex poreio~

nes de 0.72 mg/en? cada una, 0 sen, 10 electrélisis a 55 voltos pas

cada porción.

los dator de ln actividad de cade cusetra ae tomaron de las

sréticas de desintegractén bete, una de las cuales se muestra en la ft+

gure 9, tas actividades fueron extrapoladas a tleapo cero y ae lee res

26 1a actividad reatdual, Los resultados aparecen en 1a table 4,

---Page Break---

20

Tabla 4

Resultados de Le Deteraiación del Alcance del Eetroncio-91

ee SSSSSSSSSSSSSSSsSs

Niaero a Penetraciéa Actividad Frecuencia

La suestra (n/n?) ?(e/ain) Talativa

Se

1 6.48 = 78 900 0.038

2 7.18 = 7.90 700 0.029

3 7.90- 8.62 8500 0.359

? 8.62 = 9.34 6800 0.287

5 9.36 = 10.06 1600 0.067

6 10.06 - 10.78 700 0.029

? 10.78 - 11.50 2500 0.105

8 11.50 = 11.22 1150 0.048

° 12.22 = 12.96 270 011

10 12.9% = 13.66 500 0.021

Com 0 puede aprehtar en la figure 9, tan solo 46 lograron

?obtener unos pocos puntos seroncio-91 antes de

1a desintegración del

Legar « La actividad residual, lo cual introduce gran imprecisión. ato

se debió principalmente « que el tungsteno #e activa mucho en le trradte-

is?

de 2% hort

ela, por le formación de necesitándose un tempo

enfriamiento bastante Largo antes de poder operar. Adenfs, el estroncio

(es un elemento de alcance relativamente alto, por lo cual es necesarto

ctrl+e « fin

acer un gran número de penetrar hasta La región

de interés. Todo esto unido al período de sent.

integración relative

---Page Break---

a

rence corto del estroncio-91, no permitió una medición de precisión adecuada. Los dos máximos observados aparecen en 8.8 y 11.5 me/en[®]. Se fons el Area bajo cada pico y se calculó el promedio, para el cual se encontraron un valor de 9.3 ± 1.3 ap/on?

3. Determinación del alcance del sario-140

En base a la información obtenida en experimentos preliminares:

Finalmente se penetró un espesor de 0.788 ng/en?. A partir de

fente punto se cubrió el alcance previsto discrimtnando el espesor en
eatorce porciones de 0.72 mg/en? cada una.

La diaertbución det Ba14? ge determing en base a los datos
de 1a actividad de cade muestra, extrapolads a tieapo cero. Un conjunto
de curvas que muestran el crecimiento del Lal? y 1a desintegración del

Ba14° on Las diferentes mut

eras se puede apreectar en la figura 10, Ast

mismo ae tomaron spectros gana de cada muestra los cual

aparecen en

1a figura 11, Los resultados correspondient.

4a la nedición beta spare

con on 1a tabla 5.

---Page Break---

2

Table 5

Resultados de a Medición de Actividad Beta del Barto-140

Penetración Actividad Frecuencia ?_Frecuencia

Gale") (c/as) relative? ntegrada

1 0.788 = 1.508 6800 0.02292 0.9859

2 1.500 = 2.228 7800 0.0262 0.9630

3 2.228 - 2.963 17000 0.0573 0.9368

? 2.948 - 3.568 20500 0.0591 0.8975

s 3.668 = 4.383 30600 0.1031 0.9106

6 4.820- 5.560 27200 0.0917 0.7073

7 5.540 - 6.260 35000 ota 0.5156

3 6.260 - 6.98 37000 0.1267 0.4976

9 6.980 - 7.700 37100 0.125 0.3728

10 7.700 - 8.420 33000 0.125 0.2479

n 8.420 = 9.160 32000 0.1078 0.1367

2 9.100 - 9.860 3800 0.0118 0.0289

3 9.850 - 10.550 2800 0.0056 0.0171

4 10,590 = 11.300 2300 0.0077 0.0077

Bn 1a tabla 6 aparecen los datos obtenidos tomando las areas

de los fotopicos de 0.16 Mev dei Ba140 y de 1.6 Mev del La140,

---Page Break---

23

Table 6

Medición del Alcance

i Bario=140 en Base @ eu Actividad Gena

eee

Número de Fenetración Area fotopico Frecuencia relative

La muestra Geesen?) 0.16 16 (0.18 Mav) (1.6 Mev)

Mev Mev

1 0.785 ~ 1.508 638 234 0.0098 0,0087

2 1,508 2.228 2322 800 0.0187 0.0297

3 2.228 - 2.948 47061863 0.0867 0.0693

? 2.948 = 3.668 6533 2441 0,0826 0.0908,

5 3.858 = 4.388 78322978 = o.110_ 0.1107

6 4.020 = 5.540 6816 2446 0.0967 0.0809)

? 5.540 5.260 9803 3707 0.1390 0.1379.

8 5.260 + 6.980 98163708 .a392 0.1380

9 6.990- 7.700 10200 40120 ,1447 0.1480

10 7.700 8.820 10117 azae 0.2035 041579,

n 8.420 - 9.140 709 197 9.0100 0,062

2 9.140 = 9.860 932 270 0.0130 0.0100

?

Los resultados se representan en la figura 12 y puede

clarse 1a buena concordancia tanto en el mfxino com en la fora de la
curva. De estos datos se deduce que el alcance afs probable tiene un

valor aproximado de 73:1 ag/ea?,

La forma de la distribución es la de una gaussiana deformada.

Esto se debe a la pobre colimación de los fragmentos en retroceso. Para

este experimento se utilizó como colimador un disco de malla de acero

---Page Break---

2%

inoxidable, alé número 30 (30 líneas por pulgada lineal). Además, la

atribución de frecuencias indica posible difusión y escape de

los productos de fisión en marcha hasta el adsorbente lo cual indica que

el colimador no era apropiado ni en espesor ni en divergencia.

Con el objeto de corregir los defectos citados, se usó luego

un colimador de 0.2 pulgadas de espesor y perforado con hoyos de 0.0625

pulgadas de diámetro, el cual permitió el máximo de colimación sin afectar

en gran parte la eficiencia de colección.

A fin de obtener una discriminación más fina de la distribución, se restringió el estudio « 1a cona cerca del máximo, ensesándose a tomar las muestras a partir de un espesor de 4.32 mg/cm². La distribución se distribuyó en veinte porciones de 0.288 µg/cm² cada una (4 electrolitos a 55 voltios cada muestra).

Los datos correspondientes a este experimento aparecen en la tabla 7.

Los resultados de

este experimento se ilustran en la figura 13, en la cual se puede apreciar la distribución del alcance del Ba¹⁴⁰ fon tugeteno. Puede notarse que gracias al uso del nuevo colimador se obtuvo una distribución sinérgica muy bien definida, Debido a la más fina discriminación del espesor, la actividad fue menor que en el experimento preliminar, pero suficiente para medir el crecimiento del Ba¹⁴⁰ y

La desintegración del Ba¹⁴⁰ con suficiente precisión.

---Page Break---

Tabla 7

Medición de 1a Actividad de la

Determinación Fina del Alcance del Bario-140

OT

Minero de Penetración Actividad

La muestra (eg/en?) (e/ata)

1 432 = 62 50

2 4.6L = 6,90 98

3 4.90- 5.18 -

4 5.18 = 5.47 215

5 S07 = 5.76 340

6 5.76 = 6.05 325

7 6.05 - 6.34 560

8 5.36 = 6,62 510

9 6.62 = 6.91 507

10 6.91 - 7.20 902

n 7.20 > 7.49 así

2 7.49 = 7.80 5100

3 7.80 - 8.05 1250

uw 8.05 - 8.35 645

15 B35 = 8.66 350

6 8.64 8.93, 450

v 8.93 = 9.22 267

8 9.22 - 9,50 v0

aw 9.50 9,79 tor

20 9.79 = 10.08 93

---Page Break---

26

a win de los resultados

Gon el objeto de comparar los resultados experinentales obt

nidos en la presente investigaci6n con los alcances predectbles te6rica-

mente, se calcularon 6stos utilizando las relactones propuestas por

Makher jt y Yaffe (Wh) y por Noshkin y Sugihara (3). Ambos cflculoe re-

quieren el consctmiento, tanto de 1a energfa como de le velocidad intcial

de los fragmentos. La energ!

cinética se obtuvo de los resultados expe-

rimentals

Milton y Fraser (M2), los cuales dan la distribución de

energía total para los diferentes modos de fisión. A partir de estos datos se calculó la distribución de energía para el ^{90}Sr y el ^{140}Ba , con corrección para el efecto de emisión de neutrones de los fragmentos

de acuerdo con Brown y Oliver (B11).

ret hg a »

@

donde:

$E_{\text{f}} = 18$ energía total para el correspondiente modo de fisión.

A_{p} = número de masa del fragmento pesado complementario del

pesado, ($A_{\text{p}} = 145$).

¿Ay? el número de masa del fragmento liviano complementario del
3a Cay» 96).

Los valores de V se obtuvieron de las siguientes relaciones

dadas por Wahl (11):

---Page Break---

27

$V_{gg} = 0.55375 \cdot 0.052 (g_g \sim 143)$ (oy

$Y_{gg} = 9186375 + 0.052 (A_{gy} + 143 A_y)$ ay

Donde:

¿Ay? es el número de masa del núcleo que se fisiona, en este caso

$A_y = 235$.

Una vez obtenido el dato correspondiente a la energía cinética

¿nhe probable, se calcularon las velocidades iniciales para los núcleos

ertudlados.

En la tabla B aparecen los valores de la energía cinética y de la velocidad inicial de los fragmentos, junto con los datos utilizados para calcularlas.

table &

Tabla de 1a Energía Cinética y de 1a Velocidad Inicial

Parámetros usados

(calculado) set alto

ρ = 140

A = 96

ae

Byoe (ne probable) 187

E (ev) 57.8,

B (ers) $1.5a7a10\ 1,0825xi0\sim4$

% $1.s10sxi0-22\ 2365210722$

¥, (oafsee) $5x10? 9,620x108$

---Page Break---

28

Las distribuciones de la energfe cinética aperecen en la
figura 14,

BL aleance

caleulS eapleando 1a relación dada por Mikher\$

y Yaffe QW), 16 cual es una relacin más general que 1a expleads por

Niday (iL), anbas obtenidae como una sinplificación de 1a relactén de 1a

Pérdida de enereta dada yor Bohr (25).

la relación final obtentda por Mukherji y Yaffe (M44) ex la

atgutente:

Ay My

18

R az)

Donde:

Rees el atcance en mg/ea?,

?Ay e8 ?1 nimirero de nase del fraguento.

% ¥ Ay on el ndmero atéaico y el nénero de nase del material
frenador.

4% çn 1a carga nfs probable para el fraguento de fisiéa.

Vo e# 1a velocidad del electrén en el

tone de hidrégeno (2.185 x 10 en/seg).

stado fundanental del

a velocidad crítica del fragmento (en unidades 10 en/eeg),

Los valores

Alcance y los datos utilizados para su

eflujo aparecen en la tabla 9,

---Page Break---

Fy

Tabla 9

Tabla del Alcance del Estación-91 y del Bordo-140

en Tunjuna de Acuerdo con Mukherji y Yaffe

% 14.459 9.62

% % 1?

? 136 184

» 36.39 34.39

R (ng/en*) 22

lon valores de Z, se obtuvieron de los datos publicados por

Want (#1).

Buscando 1a relactén de alcances para un also fraguento en

aieer

materiales, Muiherjt y Yaffe (4K) obetenen 1a eigutente expre-

ain para 1a interconversi3n de los valores del alcanc

a3)

Donde:

R_x y R_y representan los alcances para un choque elástico en el sistema de

masas de carga nuclear m_1 y m_2 y número de nucleones A_1 y A_2 , respectivamente,

Usando la fórmula (13) se calculó el alcance del dardo y del

estroncio en tungsteno en base al alcance de los mismos fragmentos

---Page Break---

obtenidos experimentalmente en aluminio, oro y uranio, como se muestra en la tabla 10

alcances y los datos utilizados para calcularlos. Los

Tabla 10

Alcance del Bario-140 y Estroncio-91 en Tungsteno

ie ? _

clittitenn

aa? 4.02 2.98

% -

Ms 2 »

4 2 ue

%y ot 2

Ray ? 8.0

4 »

5 on »

By ? Ls

x? 1.74 a

4 ?2 =

? ae

By 10.17 a

(a) Ref (AL)

(@) Ref Git)

---Page Break---

a

(Con el objeto de verificar la aplicabilidad de la ecuación

calcularon los valores

(22) en nuestro caso: comprobar

Kyk

ta validez de 1

suposiciones hechas por Mukherji y Yaffe en la deducción
de esta ecuación.

Mukherji y Yaffe

yamen que ke cade aateriel

ftrenador y que k puade ser una functén de $2/\gamma$ /Ay.

Los valores de K_y k vienen dados por las ecuactones (14) y

(G5), respectivanente:

$3/5$

oie [oon 82a]

ken gl as)

Loe valores obtentdos para el Sxl y el nal49 en cungeteno,
aparecen en la tabla 11.

?Tabla 11

Valores de K y k Celevlados para Tungsteno

Pardaetro seat also

® 1.0331 1.044

log & 0.014162 0.017390

x 3.9636 3.4218

ap

tog 2 1.64207 1.64207

---Page Break---

2

como puede apreciarse, los valores de k para los dos frag-
mmentos son aproxinadanente igueles, de donde deductnos que Le primera

suponictén de Mukher jt y Yaffe se cumple.

AL graticarse too valores ?tog x" contra ?tos #2? pay"

para x9 y pal40 on atterentes material!

» puede aprectarse en la figure

15 que los puntos aparecen en lfnea, confirmándose asf la

inde supoet=

io de yakher st y Yatte.

También ee calcularon lor alcances usando la relactéa elabo-
ada por Lindhard, Scharff y Scigtt (L12) y modifcada postertornente por
Nosbikin y Sugihare (3). Bate ecuación expresa ung relactén universal ée
steance y energfa para todos lot étonos en retroceso, en cualquier mate-
rial, 1a coal e0 resume cooo:

ocean? as)

©(©) y © son medidas sin dimensión del alcance y Inerente

cinética respectivamente, Cada uno de los términos de 1 ecuación (16)

be express cons:

© (6) = $4\pi R^2 \rho \Delta x (\Delta x + \Delta x) \Delta t$

faba, (20) +4) 7 as)

om resp? $a^3 \Delta x$ (a, + $3/222304 \Delta x$ aH? sy

Donde:

$2/3 \Delta x$

Bry ty

Wes el número de átomos por centímetro cúbico del material

frenador.

Res el alcance en centímetros.

---Page Break---

$2 = 0.8953 \text{ a}_{\text{gesl}}/?$

44g ?2 el radio del electrón on la 6rbite fundanental del Aton
de Larsson.

2 a8 La carga más probable para el frapsento obtenido de Wahl (U1).

En 1a tabla 12 se den los datos y resultados

ra el cfleule

del aleance

van Noshkin y Sugihara,

Table 12

Chieulo det Alcance Segin Noshein y Sugihara

Se

Pardnetros usadoe

(calculados) se3t palf0

Se abana TE

E (ergios) 1.5924x107% 1083x1074

a 1 188

a a 160

4 36.33 54.39

2 2 Ey

e (ues) 2.304x10719 2.306x10719

athe as 3

» 20.391 21.989

. S47

an L239

° 52.

N (?tomos/en?) 6.32e0?

R (en) 3.91074

R (mg/en?) 2.53

ec

---Page Break---

4

En la tabla 13 aparece una comparación de los alcances calculados

de los valores experimentales obtenidos en este trabajo.

Tabla 13

Comparación de Alcances

de Estroncio-91 y Bario-140 en Tungsteno

??

Alcance (ag/en*)

Valores obtenidos de set Bal40

?

Woshkin y Sugihara 10.13 7.33

Mukherji y Yaffe 10.45 an

Bate trabajo 93213 7.70 ± 0.05

ee

Cabe se puede apreciar en la tabla 13, existe buena concordancia

Comparación entre los resultados experimentales y los calculados. Los resultados obtenidos con la relación de Noshikin y Sugihara son algo menores, lo cual se puede explicar en base a que esta expresión es una aproxima-

ción que unifica el proce-

so de frenado electrónico y nuclear. Por otra

parte, esta relación permite calcular la energía cinética inicial de los fragmentos de fisión a partir de los datos experimentales del alcance, en forma muy simplificada. De esta manera se calculó la distribución de energía para el Ba-140, con base en la distribución experimental de alcance obtenida en este trabajo, la cual aparece en la figura 13.

En la tabla 14 aparecen los datos utilizados en el cálculo de la distribución

de energía para el Ba-140,

---Page Break---

Tabla 14

Cálculo de la Energía Cinética para el Bario-140

Según Woshkin y Sugihara

Frecuencie R we gz

ne/en? Mew

0.076 os 20.25

0.072 as 22.563

0.071 5.10 26.001,

0.072 3.6

0.074 33

0.09 65

0.058 6.75 45.563

ovtis 7.00 49.0

0.1 7.25 52.566

0.209 1s 36.25

0.826 735 57.002

0.965 16 57.76

1.700 1 39.29

0.949 78 60.86

0.33 7.85 61.623

0.198 8.0 6

0.16 8.25 62.089

0.107 8.50 72.35

0.074 8.75 76.563

0.058 9.0 a

0,0412 9.25 95.563

0.03 9.5 90.25

0.0016 9.75 95.063

---Page Break---

38

Estos resultados

comparan con los obtentdos por Uilton &

Fraser (2), los cuales aparecen en la figura 14, Cono puede aprectaree,

1a concordencta es bastante buena,

Para el caso del estudio del alcance de productos de fisión

de uranio, Niday (NL) calcula su valor integrando desde la velocidad

inicial V_i hasta una velocidad crítica v_c . De acuerdo con Bohr (55),

cuando la partícula en proceso de frenado llega hasta una velocidad en la

que el momento de inercia I se hace igual al radio de pantalla a , debe

comenzar la dispersión isotrópica. Cuando a y b es posible calcular

esta velocidad crítica, por debajo de la cual se puede asumir que le

la dispersión es elástica. Los parámetros a y b están dados por:

$pRB/20$

%

$2/3, 213) < n$

donde GP By) a

My 28 la natn reducti

del statena.

Si a y b con iguales a velocidad V será a velocidad crítica

$V_e \neq$ entard dada por:

Wer gage? + BPM? 2 ayy -

Se obtuvo para V, un valor de 12651103 en/ses para et nal40

en eungsteno.

Uciitzando ta relactén de Widay generalizada por ulder}i y

Yaffe, ϕ integrando desde 1a velocidad infctal hasta le velocidad V_e

tendrenos|

---Page Break---

7

nearer fos agen 2] es)

Donde:

R es el alcance méxino de un frangento atenuado por interacciéa

ineldstice (Lontzaciéa).

De acuerdo con 1a ecuación 23 el alcance para el barto-160 en

tungsteno es de 8.67 ng/cn*.

Como se dijo antertornente, se asune que el frageento plerde

energfa por tontsaciés hasta que adquere una velocidad exftica V_e & pare

tir de 1a cual es frenado por choques elécticos.

Bo la figura 16, donde aparece el alcance integrado para el 14140, puede notarse que el punto de inflexión de 1a curva se encuentra en un valor del alcance de 8.6 mg/on?

Este cambio de pendiente sugiere

un cambio en el proceso responsable del frenado de 1a parte, La concordancia del valor de R calculado con el punto de inflexión de la curva, permite decir, como una primera aproximación, que la expresión 23 es una buena representación del alcance efectivo, de acuerdo con lo supuesto anteriormente.

De acuerdo con la teoría de Bohr (85) el alcance en la región

de frenado nuclear, donde el proceso de atenuación es debido a colisiones

elásticas, se puede obtener por la siguiente relación citada por Harvey

wo).

$n_y = 606 AL + Aa Ae al? + ofl)?$

A % a

@sy

---Page Break---

38

Donde:

E (1.167 Mev) e6 1a energte correspondiente a 1a veloctdad cxf

thea. R_y viene dado en ug/en?.

De acuerdo con le teorfa de Bohr, R ae distribuye on forma

Geusstane alrededor de R_y de acuerdo a 1a siguiente relactéa:

$w_e = de oe [- S20] @s)$

ae ae

stendo:

o? the = 0.456 @6)

30h, +A

By = 0.413 mg/en?

Gono se puede observar en la figura 16, exiete para 1a región

de 8.6 mg/en* cterta ctepersi3n de los puntos. fn al caso de los frag

mentor

wa

de los productos de fisi3n, Estos ot

fei6n, no se puede suponer una distribuct3n sin3ertca, ya que

ef calculado para una energfa honog3nea; mientras que en el caso

cen & una diarrtbuci3n de energie.

TV. QONGUISLONES y FERSrECTIVAS

HL valor del alcance encontrado pat

et Bal40 06 de 7,704 0.15,

stendo 1a deaviactén "etandard" de aproxiuadanente 2%. Cono puede obser-

sete caso Le precteién ex suy grande y puede deciree que el

ftodo de reaocisn de capas sucesiva

una herramtenta guy dttl para

discriminar en forme muy exacte 1 efecto productéo « lo largo de La

trayectoria de penetractén en el material frenador.

---Page Break---

39

os resultados experimental

esta en buen acuerdo con los cálculos

La expresión obtenida por Mukerji y Yaffe « partir de la teoría de Bohr. En este trabajo se comprobó que las propiedades atribuidas al elemento k, por Mukherji y Yaffe, se cumplen para el Sr y el Ba¹⁴⁰ en tungsteno.

La expresión de Noshkin y Sugihara produce resultados

10 menores

que los experimentales. Esto probablemente se debe a que esta ecuación es una aproximación que unifica los procesos de frenado electrónico y nuclear.

El valor de λ encontrado para el Sr⁹¹ fue de 9.5 ± 1.3 , siendo la desviación estándar de 14.4% del valor obtenido. Esta poca precisión se debe a las limitaciones experimentales ya indicadas en la

Presentación de resultados. En base a los resultados obtenidos por

51°, se puede concluir que el método de renovación de capas sucesivas no

(8 aconsejable para el estudio de productos de fisión de corto período de vida, sobre todo si el alcance es grande y si el material absorbente requiere un tiempo de enfriamiento largo después de la irradiación,

Sería interesante realizar un estudio posterior destinado a confirmar e interpretar el doble máximo que se observa en la curva de distribución del alcance de Sr91 en tungsteno.

Este método, si bien de gran precisión en los casos favorables, es

bastante denodado, pues por limitaciones del potencial de electrólisis

no es posible extraer capas de óxido de 30 μm , necesitándose un gran

consumo de electrólisis para alcanzar una penetración del orden de

10 μm

---Page Break---

De acuerdo con los resultados obtenidos para el 3140, el mecanismo

de frenado al final de la trayectoria parece estar representado en una

forma más exacta si, en la expresión del alcance, se utiliza

la velocidad

efectiva en lugar de la velocidad V , el efecto en el Añon de Maderón.

Esto implica suponer que la fricción en el proceso responsable del fre-

nado del fragmento, hasta que este adquiere una velocidad efectiva V_{ef} a

partir de la cual el fragmento es frenado por la fricción, se

bre La posibilidad de estudiar más detalladamente

esta región, espectral-

mente La interacción de un fragmento pesado en un material también pesado,

donde el centro de masa

{ atómico entre el fragmento y el absor-

bedor, situación ideal para que tenga lugar el fenómeno de dispersión

Asotróptica. Por otra parte, sería de interés extender el estudio midien-

do el alcance de otros productos, donde la condición de nasee no se cumple.

Se presenta también la perspectiva de analizar el comportamiento del mayor número posible de fragmentos de fisión y así contribuir con datos muy precisos al estudio de la fisión nuclear y de la interacción con el

medio absorbedor, de iones altamente cargados y de alta energía cinética.

---Page Break---

a.

a.

a.

2»,

BA

».

3.

Bio.

Bu.

a2.

pi.

me.

D3.

a

REFERENCIAS

JM. Alexander y P.M. Gazdil, Phys

874 (1960).

J. M, Alexander, P.

Gazdiky A. R. Teipe y 8. Wasi, Phys. Rev.

9, 2659955)

D.C. Brunton y G. H. Hanna, Can. J. Res. 28A, 190 (1950).

498 (4950).

D. c. Brunton y W. B. Thompson, can. J. Res.29A

N. Bohr, Phys. Rev. \$8, 654 (1940),

N. Bohr, Phys. Rev. \$3, 270 (1941),

N. Bohr, Dan. mat. Rye, Medd. 18, 8 (1943),

K. Brostrda, J. K. Bégsild y T. Lauritsen, Phys. Rev. 38, 651 (1940).

GL. Bell, Phys. Rev. 90, 543 (1953).

N. Bohr y Js Lindhard, Dan. Mat. Fys. Medd. 23, 7 (1954),

J. K, Béggilé, O. H. Arrés y T. Sigurgersson, Phys. Rev. 71, 231

947).

JK. Béggld, L. Minohagen y O. B. Nielaen, Phys. Rev. 76, 998

Cis5).

¥, Brown y BR. Oliver, Can. J, chem. 39, 618 (2961).

1. Bergdtron, J. A. Davies, B. Doseij y J. Ubler, Arkiv Pysik 23,
a9 963).

M, Deutsch y M. Ransey, USABC Report MDDC-945 (1945).

BE. M. Douthtt y D. H. Teapleton, Phys. Rev. 94, 631 (1948).

J. A. Davies, J. Friesen y J. D. McIntyre, Can. J. chem. 38, 1526
(i960).

Js As Davies y G. A, Sime, Can, J. chem. 39, 601 (1961).

Je A. Davies

Gis6ip.

3. D. McIntyre y G. A. St

Gan. 3. chen. 39, 611

3. A. Davies, J.D. Merntyre, R. L. Cushing y M. Loundsbury, Can.

3. Chea. 38,'1535. (1960).

---Page Break---

pr.

nL

mn.

2

3+As Davies, B. Boned) y J. Ulery Arkiv. Fysik 23, 389 (1963).

P. Fong, Phys. Rev. 102, 496 (1955).

0. R, Frisch, Nature 149, 275 (1939)

4, Flanerfeld, Jensen y Geutner, 2. Phy:

420, 450 casi2),

©. B. Fulmer y B. L. Cohen, Phys. Rev. 109, 94 (1958).

3. Finkle, E. J. Hoagland, 8. J. katcoff y N. Sugarsan, Nuclear Energy Ser. Div. 1,9, Book 1, 463-471 (195i).

S.C. Fung el. Perlman, Phys.

Rev. 7, 623 (1952).

S. Rs Gunn, H. G. Hicks, H. B. Levy y D. D. Sterenson, Phys. Rev. 102, 1542" (4957),

R, Gaeta y F. Manero, "Electrodeposición Cuantitativa de Uranto en Hedio Fluorhfdrico", ?Comunicación privada, JEN ME/1, (1963)-

L. E. Glendenin, "Determination of Strontium and Sextus Activitie: in Fission" Paper 236 in Radiochemical Studies: "The Plasion Products". Edited by C. D. Coryell and N. Sugernan, McGraw-Hill Book Co, Inc., New York (1951).

©. abn y F. Strassann, Naturviee. 27, 11 (1939).

M,C. Henderson, Phys. Rev. 52, 774 (1940).

G. Harvey, "Recoil Techniques in Nuclear Reaction and Piesion
Studies", ann. Rev. Nucl. Sei. Vol. 10, 235 (1960),

3. dungeraam y 8. 6. weight, Frye. Rev. 76, 1112 (1949).

F. Joliet, coupe. Rend. 208, 341 (1939).

W. Jentsche, 2. Frys. 120, 155 (1940).

J. Knipp y 8. Teller, Phys. Rev. 59, 659 (1941).

S. Katcoff, J. A. Miskel y C. W. Stanley, Phys. Rev. 74, 631 (1948),

A. B. Kutsen, Comunicaci3n privada, Universidad de Arhus,
Dinanarea (1952).

R. B, Leachman, Phys. Rev. 87, 443 (1952).

R. B, Leachnan y W. Schmitt, Phys. Rev. 96, 1356 (1954).

---Page Break---

uu.

4?

R. B. Leachnan y W. D. Schafer, Can. J. Phy

33, 357 (4955).

We E, Lasb, Phys. Rev. 58, 696 (1940).

We B, Land, Phye. Rev. 59, 697 (1941).

N. O, assen, Dan. Mat. Fys. veda. 23, 2 (1965).

1. O, Lassen, Den. Mat. Fya. Heda. 25, 11 (4949).

N. O. Lassen, Dan. Met. Fys. Medd. 26, 5 (1951).

N. O, Lassen, Dan. Mat. Fye. Nedd. 26, 12 (1951).

N. O. Lassen, Dan. Mat. Fys. Medd. 30, 8 (1955).

J. E. Lewis y R. C. Plush, Intern. Appl. Radiation and Teotopes,
2, 33 956).

J. Lindhard, M. Scharf y H. E. Shidee, Mat. Pye. Medd, Den. Vid.
Setsk. 33, 14 (1993).

J. D.C, Milton y J. 8. Praser, Phys. Rev. 111, 877 (1958).

J. D.C. Milton y J. S. Froser, can. J. Phy

49, 1526 (1962).

Ms Mecargo, J. A. Davies y B. Brom, Gan. J. Phys. SL, 1231 (1963).

8. Makherjt y L. afte, can. J. chen. 43, 252 (1964).

Miday, Phys. Rev. 121, 1471 (1961).

V. E, Noshkin y T. T, Sugihara, Comunteactén privads (1954).

V. B, Yoshkin y 7. T. Sugihara, a publicarse en J. Inorg. tucl.

Ghen., Vol. 20° (1965).

J. Oreroff, USAEC Report AECD 2973 (1949),

MN. A. Perfilov, Compt. Rend, Acad. Set. USSR, 28, 5 (1940).

N. T. Forile y N. Sugeraan, Phys. Rev. 107, 1610 (1957).

Gon correceiones! Fhys. Rev. 1il, 1747 (1958).

W. E, Stein, Phys. Rev. 103, 94 (1957).

W. B, Stein y 8. L, Wheststone, Phys. Rev. 110, 877 (1958).

B. Segre y C. Wiegand, Phys. Rev. 70, 808 (1945).

---Page Break---

44

N. Sugarman, K. Canpos y K. Wielups, Phys. Rev. 01, 338 (1956).

A, G. Wahl, RL. Ferguson, D. R. Nothaway, D. £. Troutner y K.

Wolfeberg, Pays. Rev. 126, 1112 (1982).

---Page Break---

APENDICE 1

4s

---Page Break---

?6

TEORIA ESTADISTICA DE LA PISTON NUCLEAR

Fong (P1)

Frollé an eratamiento mechnicorestadfetico de 1a fisién

tuclear, enfocando su atencién sobre el ndeleo en el momento erfítico

Partimiento en dos fragmentos, Según au argumento

1 poaible que se esta

Dlezca un equilibrio {nstanténeo en cualquier momento antes de la

et6n. St esto es verdad, las cantidades estadteticas crucial

serían

las densidades relativas de los estados cuánticos de 1a contigüación

nuclear, correspondientes.

4 diferentes modos de f1st6n en el momento que

se establece el equilibrio estático, presumiblemente instantes antes

de la f1st6n,

la densidad de los niveles de excitación, n_e tomados del modelo estándar

León general del modelo:

$$W_g = C_m 2 a E a$$

donde

YC son funciones del número de masa y E es la energía

excitación,

A grandes energías de excitación corresponden grandes densidades

Los niveles cuánticos y por lo tanto probabilidades relativas altas

Conociendo las masas de los fragmentos de fisión primarios y la masa

del sistema inicial, se puede calcular la energía E liberada en el proceso:

La fórmula siguiente, usando la conservación de la energía:

$$E = (M_{\text{reactivos}} - M_{\text{productos}}) c^2$$

donde $M_{\text{reactivos}}$ es la masa del núcleo compuesto, excitado, y $M_{\text{productos}}$ es la suma de las masas de los fragmentos de fisión primarios en su estado

de reposo.

---Page Break---

a

La suma de A_y y A_z es A . La suma de Z_y y Z_z es Z . La suma de N_y y N_z es N .

total liberada, excluyendo la energía producida por la desintegración beta de los productos de fisión primarios.

El análisis se enfoca sobre la energía de excitación de los fragmentos de fisión en el momento crítico, haciendo una analogía con dos núcleos deformados y puestos en contacto.

Entre los dos fragmentos existe una energía de Coulomb mutua, ϕ .

Cada fragmento posee una determinada energía de deformación. De acuerdo con el modelo de la gota líquida, un núcleo deformado posee una energía

de superficie mayor que la de un núcleo esférico y la diferencia neta

energía es denominada energía de deformación.

Denotaremos la energía de deformación por D_y (para el fragmento

liviano) y D_p (para el fragmento p:

0).

$$D_y + D_p = D^0$$

La energía potencial P estará dada por:

Preto ?

y P_{rec} 6)

donde ϕ es la energía disponible para la excitación interna y para el movimiento del centro de gravedad del sistema y de los fragmentos en el

momento crítico.

La energía:

de excitación interna total de ambos fragmentos se denota

por E_y la energía de translación por k :

$P_{torc} + D_s E_s K$ o y

Con el objeto de calcular la energía de Coulomb mutua y las energías

---Page Break---

de deformación, es necesario conocer el modo o la forma de la deformación

de cada fragmento y sus posiciones relativas

No se puede suponer una manera única de deformación para todos los

fragmentos, Much

maneras de deformación son posibles, lo mleno como

?muchos grupos de valores C, Dy \neq Dp. De acuerdo con La suposteión esta:

@fatica, cada configuractén de defornactén tendré una probabiided propor

cfonal « la densidad de los estados cudnticos, De este modo se obtienen

las dtetribuciones de probabilidad para Cc, Dy y Dz. ta manera de defor=

?eclOn más general de una gote lfquide se puede expresar por una expan

st6n en serie del radio vector en polinomios de Legendre:

Fe) $1 + a_{ghp}(\cos @) + 9323(\cos @) + \dots$ o

Para simpltficar se excoge el término en Ps, ya que corresponde apro-

xtnadante « une configuración ovalada para los fragmentos resultante:

1a partición del núcleo compuesto, el cual habrfe tomado el final la

forma de dos peras en contacto por su parte als angosta.

La energía de Coulomb puede describirse por:

aje

a

AR" 921 Fg 0.951 853) ¥ Beg + ODSTE RQ)

®

stendo:

res xi gs aay

ogg * conflctente de defornactn

La derivación de ϕ

6 dada por Fong (PI). De acuerdo con Present

¥ Raipp (PL) Fong calcula D y luego el P en términos de 051 y de 999.

May un potencial P(%, %32) para cada división de masa y cares. Fong

---Page Break---

9

documenta, en la sección V de 1a referencia (FL), que La configuración de deformación de energía potencial mínima y, por lo tanto, de máxima energía de excitación interna, es la que tiene mayor probabilidad de Minintando $P(\theta_1, \theta_2)$ se pueden obtener los valores más probables θ_1 y θ_2 para una desordenada división de masa y carga.

La teoría de Fong favorece la fisión asimétrica, ya que el término

co

es máximo si los dos fragmentos fuesen iguales. La energía cinética total de Los fragmentos será:

$K_1 + K_2$

y la distribución de θ dará como resultado una distribución en K .

DISTRIBUCION DE LA ENERGIA DE COULOMB

a distribución final de la energía cinética de los fragmentos de

energía se obtiene después de deducir la distribución C y añadiéndole el

término K_y , despreciable por lo pequeño ($K_y < 1\%$ de C). Después de hacer

certas cone!

pciones para tener en cuenta solamente La configuración

ae aes

rmación más probable, se tiene la siguiente distribución, aproxi-

radamente Gaussiana:

NECA Ay. 22) © Ox - C6 ao)

donde:

tn 60/8091) e 1? vey cay

i [coy m,) z Tre

2 ae a 2+ Gta)

?|

donde @ indica que los valores se toman para la configuración n°

Probable.

---Page Break---

so

POS 1432) = C69 1.% 3) + DyCngy) + Dylo32)

Para calcular Gy Des necesario conocer 5, yp para 1a configuración

?nds probable, según Fong, se tiene una energía potencial afnina,

if que:

Minimo P: LB = 0 et

1 Fou (1=0.9316051) + yp (LH0.9314@ 39)

o oF

a nyo + o.ruae2, 0.20605 ,087

itica y de superficie para el {6sino fragnento

BE = 0,016 A/Samv Hf = 0.000627 22/44? amy

ae + rnpet__ O90 oat -

2 Fy 0.93169,,) + 2, 000.9510,

Yny9 (0.714980 -0.70518,, = 0

SP -22267(0.9314 r02)

2? Gj, s0531uN,,) # £5, 07BTee,g)

+ 2959 (0.71434%-0.205182,) = 0

Bscrtbiendo en forma abreviade:

? a

Hh-o- ty

31

1 (@ * e054 daq9)"

2

(b + 0051 + dayp)*

A

Tayo

b 4 6%, + am = 0

+ 2ayy

8400 + cay, 4 da)? =

"su * 05) 4 4950)" = TEE

---Page Break---

3L

2.82

ayy + emp + 850)? = SL

32 1 * 832)" * Fe

?of ~ 22

eri a ice)

te@a tea)?

9520 8 ay * Ary)

op fe)?.,-?a,

Rta le £2 gl 2£p(e 2 + a)

7 % %

3g a

832 * MMgg FBR FORO

resolviendo 1a ecuact6n cibica y escogiendo la rafz real tenemos

f,

2 o.

72

4

on

Gono eseaple el valor para Bal?? deasy = 3.9 ya3y = 1.82.

---Page Break---

APENDICE IT

32

---Page Break---

MATERIAL FISIONABLE.

bn

FIG. | ~ DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA
DE IRRADIACION

---Page Break---

LAMINA OE TUNSTENO

MATERIAL PLASTiCo

XI

J?MoLve DE vionio

FIG. 2- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL ANODO USADO.

---Page Break---

270V de. aka

@ g

280 mo.

FUENTE 0? VoLTAVE

geua

exectRoLirica

voLTIOS ae

pt

FIG.3-SISTEMA UTILIZADO EN LA ELECTROLISIS,

---Page Break---

270 vee sea cei +

Ly evecnotiricn

FUENTE 0? voLTAVE

?

VOLTIOS 4c,

Pt

FIG.3 -SISTEMA UTILIZADO EN LA ELECTROLISIS.

---Page Break---

[VELOCIDAD DE CONTEO (e/mia)

oe 36 4a e072 aa be 1082s

?TIEMPO (noes)

FIG. 4-CURVAS DE DESINTEGRACION DEL W'*?EXTRAIDO
POR ELECTROLISIS.

---Page Break---

a

?SISITO¥19373 YOd SOAIWYLX3 SAYOSIdS3 3d NOIOVUEMVD-S "914

(oH) ODIGONY arVLIOA

94 gy" gg ge

10 48 s3iava ? ---

SooIMLaMIAVED SodoLINM ? ©

NOIDVAULDY Mod SiSIIVNY ?

8

wosads3

e

9 wort)

z

(

---Page Break---

ResI000

PF + PRODUCTOS DE FiSiON

IMP IMPUREZAS

Port: PORTADORES

(we: Ciauiio mAoRE

[ABS, © ABSORBEDOR DE TUNSSSTENO

PE: PROCESO ELECTROLITICO

or. Oe RETENCION

cares

FIG.6-ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO QUIMICO.

---Page Break---

VELOCIDAD OE CONTEO (e/min)

o 10

39

0 (mew)

25iMew)

480 60 70 8090

?CANAL NUMERO

FIG.7- ESPECTRO GAMA DEL sr!

---Page Break---

VELOCIDAD DE CONTEO (c/min)

&

sumer)

s40mtev)

20lmev)

seiMevd

'0 2 "340 50? «6O 708080100"

CANAL toumero)

FIG. 8 -ESPECTRO GAMA DEL Ba!*?,

---Page Break---

VELOCIDAD DE CONTEO (ϕ /min)

Ca

o

a

THs 105 m6 ?

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 10

TIEMPO (horas)

FIG.9~MEDIDA DE LA DESINTEGRACION BETA PARA EL
ESTRONCIO-91.

---Page Break---

on: 730 NOIOVYORINISI 30 SVAUND-O1 914

VELOCIDAD DE CONTEO (ϕ /min)

wo trys

we rey

we tert

uw Syed

wt ?pity

worry

Me tl

j 1

/ y

fi p

i i

---Page Break---

480857080 8010310

CANAL NUMERO

FIG. II ESPECTROS GAMA DEL Ba!^o.

20

0

---Page Break---

FRECUENCIA RELATIVA

oy

o7

ost

ost.

o2b

al

S67 8810

ESPESOR(mg/em*)

FIG. 12- DETERMINACION PRELIMINAR DE LA DISTRIBUCION DE
DE ALCANCE PARA Ba#0

---Page Break---

ACTIVIDAD (UNIDADES RELATIVAS)

2

0

6s

7 8 2

ESPESOR (mg /cm²)

FIG.13-DETERMINACION FINAL DE LA DISTRIBUCION DE
ALCANCE PARA Ba!40

---Page Break---

FRECUENCIA RELATIVA

o

cry

?+= CALCULADO SEOUN MILTON @ FRASER

?0~CALCULADO DE 108 OATOS EXPERIMENTALES

DE ALCANCE?

1 a 4

7% 8 8590 8510010810115 te 125

ENERGIA CINETICA (Mev)

FIG.14~DISTRIBUCION DE ENERGIA CINETICA PARA LOS FRAGMENTOS ESTUDIADOS

1

s 390

30, 6

---Page Break---

ron fo vee

2 +

CvfyZ) 901 Sh

/ (vjiz) Pet

90- _£0-

?

e0-

60-

> 907 30 OOlsvy9-SI'914

on

:

oe

?owausonn

be

4 60)

---Page Break---

FRECUENCIA x 107!

203 4s 6 7 8 9 Ot

ESPESOR (mg /em®)

FIG. 16-ALCANCE INTEGRADO PARA BARIO-140.

68

---Page Break---