

00576

1
217



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

UN NUEVO METODO POR VIA SECA DE
OBTENCION DE ^{131}I POR IRRADIACION
NEUTRONICA DE TeO_2

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS NUCLEARES

P R E S E N T A

JOSE ALANIS MORALES

ASESOR: DR. MANUEL NAVARRETE TEJERO

MEXICO, D. F.

OCTUBRE 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA
DIRECCIÓN

LIC. ANTONIO DÍAZ GARCÍA
Jefe de la Unidad de Registro e Información.
Ciudad Universitaria
Presente.

Me es grato informarle que el alumno I.Q. JOSÉ ALANIS MORALES, presentará próximamente su examen para obtener el grado de Maestría en Ciencias Nucleares ante el siguiente jurado:

Presidente:	Dra. Silvia Bulbulian (ININ)
Primer Vocal	Dra. Ma. Esther de la Rosa Duque
Secretario:	Dra. Lena Ruiz Azuara
Primer Suplente:	Dra. Guillermina Burillo Amezcua
Segundo Suplente:	M. en C. Trinidad Martínez Castillo

Sin otro particular de momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., 2 de julio de 1996.


DR. ANDONI GARRITZ RUIZ
Director.

C.c.p. Integrantes del Jurado
C.c.p. Coordinador de Área
C.c.p. Departamento de Control Escolar
C.c.p. Interesado
*ggm.

RESUMEN

Debido a una necesidad de producir ^{131}I en la Republica Mexicana, desarrollamos en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) de México, un nuevo proceso llamado " UN NUEVO METODO PARA OBTENER ^{131}I POR DESTILACION SECA POR IRRADIACION NEUTRONICA DE TeO_2 .

El método desarrollado cubre las siguientes etapas: 1). Obtención de TeO_2 con Te , HNO_3 y aire, 2). Proceso de sinterizado de TeO_2 , 3). Irradiación del TeO_2 en cápsula de aluminio en el reactor nuclear, 4). Apertura de la cápsula en la celda de producción de ^{131}I , 5). Proceso de separación de ^{131}I del TeO_2 en el equipo de destilación que presenta tres sistemas: sistema de control de destilación, sistema de destilación y sistema eléctrico y 6). Análisis y control de calidad.

En el equipo de destilación, el dióxido de telurio irradiado, previamente sinterizado, es calentado a una temperatura cercana a 733 ± 10 °C por varias horas en vacío.

El ^{131}I es recuperado de la matriz del blanco (TeO_2) como vapor el cual es atrapado en una solución alcalina (NaOH 0.1 N).

En el análisis y control de calidad, la medición relativa de rayos gamma emitidos por el ^{131}I puede llevarse a cabo, usando un detector de germanio hiperpuro. La pureza radioquímica usualmente es determinada por cromatografía en papel en presencia de yoduros y yodatos como acarriadores y metanol como fase móvil.

El desarrollo de este método garantiza una recuperación cercana al 99 % de ^{131}I con una pureza radioquímica superior al 99.5%.

S U M M A R Y

Due to a need of producing ^{131}I in the Mexican Republic, we had to develop at Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) of México, a new process called " A NEW METHOD TO OBTAIN ^{131}I BY DRY DISTILLATION BY NEUTRONIC IRRADIATION OF TeO_2 ".

The developed method cover the following stages: 1). Obtention of TeO_2 with Te , HNO_3 and air, 2). Sintered process of TeO_2 , 3). Irradiation of TeO_2 in capsule of aluminium in nuclear reactor 4). Capsule opening in the production cells of ^{131}I , 5). process of separation of ^{131}I from TeO_2 in the distillation equipment set up with three systems: distillation control system, distillation system and electric system and 6). Assay and quality control.

In the distillation equipment, the irradiated tellurium dioxide, previously sintered, is heated at a temperature above 733 ± 10 °C for several hours under vacuum.

The ^{131}I is released from the target matrix (TeO_2) as vapour, which is trapped in an alkaline solution (NaOH 0.1 N).

In the assay and quality control, the relative measurement of the gamma ray emitted by ^{131}I can be carried out by using a high purity germanium detector.

The radiochemical purity is usually is determined by paper chromatography in the presence of iodide and iodate carriers and by using methanol as mobile phase.

The developed method guarantee a yield above 99 % of ^{131}I with radiochemical purity higher than 99.5%.

I N D I C E

Página	
I N T R O D U C C I O N	4

CAPITULO I ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

I.1. CONCEPTOS BASICOS DE LAS RADIACIONES.....	6
I.1.1. RADIACION Y TIPOS DE RADIACION.....	6
I.1.2. DECAIMIENTO Y MODOS DE DECAIMIENTO.....	7
I.2. LOS RADIOISOTOPOS EN LA MEDICINA.....	12
I.3. APLICACIONES DEL ¹³¹ I EN LA MEDICINA.....	14
I.4. PROPIEDADES DEL ¹³¹ I.....	16
I.4.1. PROPIEDADES FISICAS.....	16
I.4.2. PROPIEDADES QUIMICAS.....	17
I.4.3. PROPIEDADES NUCLEARES.....	18
I.5. PROPIEDADES DEL Te.....	19
I.5.1. PROPIEDADES FISICAS.....	19
I.5.2. PROPIEDADES QUIMICAS.....	20
I.6. REACCIONES DE IRRADIACION DEL Te Y DE OBTENCION DEL ¹³¹ I.....	21
I.6.1. COMPOSICION ISOTOPICA DEL TELURIO (Te).....	21
I.6.2. REACCIONES DE IRRADIACION DEL TELURIO (Te).....	22
I.7. METODOS DE OBTENCION DEL ¹³¹ I.....	24

CAPITULO II PROPUESTA Y OBJETIVOS

II.1. PROPUESTA.....	27
II.2. OBJETIVOS.....	28
II.2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	28
II.2.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	29

CAPITULO III
PARTE EXPERIMENTAL

III.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....	30
III.1.1. MATERIALES.....	30
III.1.2. EQUIPO E INSTRUMENTOS.....	33
III.2. CELDA DE PRODUCCION DE ¹³¹ I.....	36
III.2.1. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES.....	36
III.3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTI- LACION DE ¹³¹ I.....	37
III.3.1. INTRODUCCION.....	37
III.3.2. PIEZAS MECANICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION.....	38
III.3.3. MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION	39
III.4. CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL SISTEMA ELECTRICO.....	40
III.4.1. INTRODUCCION.....	40
III.4.2. CONSTRUCCION DEL HORNO ELECTRICO.....	40
III.4.3. MONTAJE Y DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO..	41
III.5. SISTEMA DE DESTILACION.....	42
III.5.1. INTRODUCCION.....	42
III.5.2. MONTAJE Y DESCRIPCION DEL SISTEMA DE DESTILACION.....	42
III.6. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE DESTILACION DE ¹³¹ I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO ₂	
III.6.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE DES- TILACION.....	43
III.6.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRICO.....	45
III.6.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESTILACION....	46
IV.3.1. FUNCION DE LOS COMPONENTES.....	46
IV.3.2. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE DESTILA- CION.....	47

CAPITULO IV
PRUEBAS OPERACIONALES DEL EQUIPO DE DESTILACION
DE ¹³¹I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO₂

IV.1. PROCESO DE OBTENCION DE ¹³¹ I.....	54
IV.1.1. ENCAPSULADO DEL TeO ₂ SINTERIZADO.....	54
IV.1.2. CALCULOS MATEMATICOS DE IRRADIACION.....	56
IV.1.3. IRRADIACION DE TeO ₂	59
IV.1.4. TRANSPORTE Y APERTURA DEL BLANCO.....	60
IV.1.5. PROCESO DE DESTILACION DEL ¹³¹ I.....	62
IV.1.6. CONTROL DE CALIDAD.....	62

IV.2. PROCEDIMIENTO DE DESTILACION DEL ^{131}I	63
IV.3. EXPERIMENTOS.....	66
IV.3.1. CONDICIONES Y PARAMETROS DE OPERACION.....	66
IV.4. CONTROL DE CALIDAD.....	68
IV.4.1. EXPERIMENTO I.....	68
IV.4.2. EXPERIMENTO II.....	69

CAPITULO V
DISCUSION Y RESULTADOS

V.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE PROCESO DE DESTILACION DE ^{131}I	70
V.2. SISTEMA DE EXTRACCION DE AIRE.....	72
V.3. EXPERIMENTOS DE DESTILACION.....	74
V.4. MODELO DE IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR TRIGA MARK III (ININ) PARA PRODUCIR ^{131}I	76
V.5. CALCULOS DE OBTENCION DE ^{131}I APLICANDO IRRADIACION CONTINUA Y DISCONTINUA.....	78
V.5.1. CALCULOS DE IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR (POSICION: SIFCA).....	79
V.5.2. CALCULOS DE IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR (POSICION: TUBO SECO).....	79
V.6. CONTROL DE CALIDAD.....	80
V.6.1. ANALISIS DE ^{131}I EN SOLUCION.....	80

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

VI.1. EQUIPO DE DESTILACION DE ^{131}I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO_2	84
---	----

CAPITULO VII

VII.1. REFERENCIAS.....	89
-------------------------	----

CAPITULO VIII

VIII.1. APENDICE.....	93
-----------------------	----

INTRODUCCION

La demanda que existe en México de nuevas tecnologías para la producción de radiofármacos aplicables en medicina nuclear, nos obliga en el año 1990 a comenzar a desarrollar la técnica de obtención de yodo-131 por vía seca.

El proceso de obtención de yodo-131, comienza con la síntesis para la obtención de TeO_2 a partir de la oxidación del Te (metálico) en medio de HNO_3 conc. obteniendo rendimientos satisfactorios. Posteriormente el TeO_2 pasa al proceso de sinterizado en forma de lingotes y en esta forma es encapsulado en aluminio para ser irradiado bajo parámetros óptimos de irradiación en el Reactor Triga Mark III del Centro Nuclear de México (ININ). En esta etapa se lograron los siguientes aspectos: a).- optimización de los parámetros de irradiación, b).- calidad y tipo de TeO_2 a irradiar, c).- geometría y forma de la muestra a irradiar y d).- desarrollo de la ecuación matemática de la reacción nuclear de obtención de yodo-131 a partir del Te de acuerdo a nuestro modelo de irradiación. El TeO_2 irradiado pasa a la etapa de proceso de destilación de yodo-131 en un EQUIPO DE DESTILACION DE ^{131}I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO_2 . El equipo de proceso consta principalmente de tres partes: a).- el sistema de control de destilación, fue construido totalmente en el ININ con material de aluminio, acero, bronce y latón, entre otros, b).- El sistema de destilación, es de

cuarzo y vidrio Pyrex, y es donde se producen las reacciones químicas para la obtención de yodo-131 y c).- El sistema eléctrico. Los resultados más relevantes en este aspecto son los diseños y estudios de los equipos que intervienen en cada una de las etapas del proceso.

Los resultados de las pruebas experimentales comprueban la efectividad de la producción de yodo-131 en el ININ en forma rutinaria (industrial), cuyo producto final tiene una pureza radioquímica superior al 99.58 %.

El método propuesto de obtención de yodo-131 por vía seca, considero que es un método muy sencillo, económico y más limpio que otros métodos existentes ya que durante su obtención no intervienen otros elementos o compuestos excepto el aire que sirve como acarreador, además el diseño de piezas metálicas y componentes de vidrio lo caracterizan como un equipo moderno.

VIAS DE PRODUCCION DE YODO-131:

- a) A partir de productos de fisión del Uranio^{1,2,6}.
- b) A partir de irradiación de Te y TeO₂^{1,2,3,6}.

El método de obtención de yodo-131, desarrollado (en el ININ), es a partir de la irradiación de TeO₂, aplicando posteriormente una destilación seca.

Para lograrlo, el trabajo se dividió en siete etapas que finalizan con la comprobación de la factibilidad de obtención de yodo-131 en base a dos pruebas experimentales.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

I.1. CONCEPTOS BASICOS DE LAS RADIACIONES

I.1.1. LA RADIACION Y TIPOS DE RADIACION

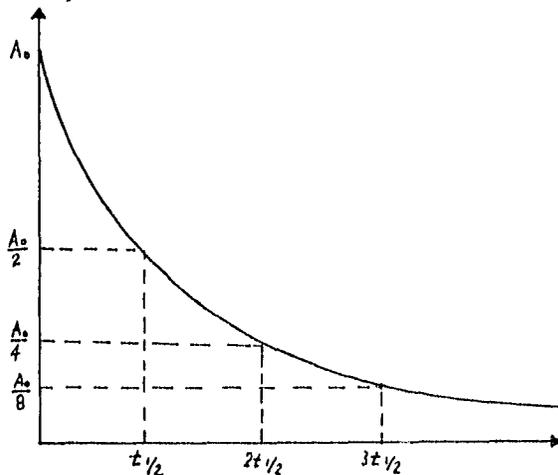
La radiación es un fenómeno de emisión espontánea de partículas u ondas electromagnéticas, desde un núcleo atómico que se encuentra en estado excitado y busca así, estabilizarse.

La diferencia entre partículas y ondas electromagnéticas es principalmente que las segundas no poseen masa, sino solamente energía.

A continuación se mencionan algunos tipos de radiación:

- a. Radiación gamma.- Son ondas electromagnéticas, con mayor energía y penetración que los rayos X, cuyo origen es nuclear.

La siguiente grafica muestra estas tendencias:



Los modos de decaimiento de mayor importancia son:

- a) Decaimiento alfa.
- b) Decaimiento beta menos.
- c) Decaimiento beta más.
- d) Captura electrónica.
- e) Emisión de rayos gamma.
- f) Conversión interna.
- g) Transición isomérica.
- h) Emisión de neutrones (fisión espontánea).

- b. Radiación cósmica.- Son partículas y rayos gamma de muy alta energía.
- c. Partículas alfa.- Son partículas cargadas positivamente o núcleos de helio (2 protones más 2 neutrones).
- d. Partículas beta.- Idénticas en masa al electrón, son expulsadas por el núcleo a altas velocidades cercanas a las de la luz, comparada con la partícula alfa, su masa es muy pequeña y pueden tener carga positiva o negativa.

I.1.2. DECAIMIENTO Y MODOS DE DECAIMIENTO

El decaimiento, es el proceso por el cual los átomos inestables emiten radiación ionizante para convertirse en átomos estables. El tiempo de decaimiento de cada núcleo o isótopo radiactivo, es una propiedad intrínseca del mismo y obedece a la siguiente relación:

$$N = N_0 * e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Donde N_0 , es el número de núcleos en el tiempo inicial t_0 , N es el número de núcleos en cualquier tiempo t y λ es la constante de decaimiento para el núclido correspondiente.

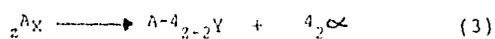
La vida media de cualquier radionúclido $t_{1/2}$ se define como el tiempo necesario para que la mitad de los núcleos de cualquier radioisótopo hayan decaído; es decir cuando $N = N_0/2$. Sustituyendo en (1) se obtiene la siguiente relación:

$$\lambda = 0.693/t_{1/2} \quad (2)$$

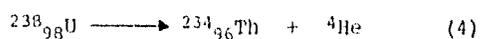
DESCRIPCION DE LOS DECAIMIENTOS MENCIONADOS:

A. DECAIMIENTO ALFA: Consiste en la emisión de partículas del núcleo de los átomos constituidas por 2 protones y dos neutrones, formando un núcleo con carga positiva igual al doble de la del protón. por lo tanto, se formará un núcleo diferente.

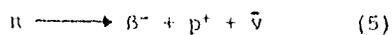
La reacción es:



por ejemplo:

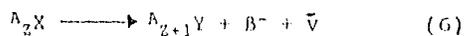


B. DECAIMIENTO BETA MENOS: Es debido a la emisión de partículas del núcleo idénticas en carga y masa al electrón. Se producen cuando un neutrón se convierte en un protón y un electrón según la reacción:

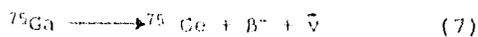


Donde $\bar{\nu}$ es un antineutrino, que es una radiación de alta penetración, con masa despreciable y sin carga.

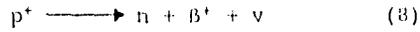
la reacción es:



Por ejemplo:

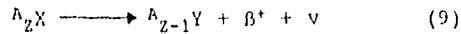


C. DECAIMIENTO BETA MAS: Consiste en la emisión de positrones, que es una partícula idéntica al electrón pero con carga positiva. En este caso un protón se descompone según la reacción:

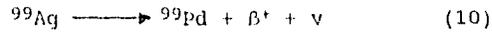


Donde ν es un neutrino, con parecidas características a las del antineutrino.

la reacción es:

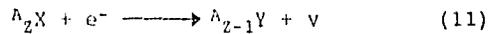


Por ejemplo:

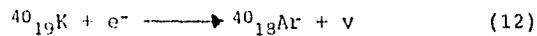


D. CAPTURA ELECTRONICA: Compite con el decaimiento beta más, además se emite un neutrino.

La reacción es:



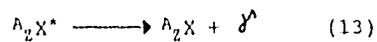
Por ejemplo:



Este decaimiento va acompañado de la emisión de rayos X característico del elemento correspondiente, debido a la vacante electrónica de las capas más internas originada por la captura de sus electrones por el núcleo.

E. RADIACION GAMMA: Es de naturaleza similar a los rayos X. Ambos son ondas electromagnéticas, pero generalmente la radiación gamma es de mayor energía, con una longitud de onda mucho menor. En el decaimiento Gamma el núcleo emisor y el núcleo resultante tienen el mismo número de carga, y de masa pero en distinto nivel de energía.

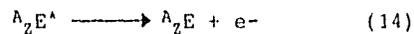
La reacción es:



Donde el núcleo resultante puede ser radiactivo o no radiactivo, dependiendo de la cadena de decaimiento.

F. DESINTEGRACION POR CONVERSION INTERNA: Compite con la emisión gamma, el núcleo excitado transfiere su energía a un electrón orbital del átomo, quedando éste ionizado.

La reacción es:



Esta desintegración se manifiesta, por la emisión de electrones por lo general, de las capas K o L, seguida de la emisión de rayos X.

G. TRANSICION ISOMERICA: Después de que un núcleo sufre una desintegración radiactiva, puede estar aún en estado excitado y para estabilizarse emite un fotón gamma. No hay cambio de

partículas del núcleo. Generalmente la emisión del fotón ocurre en un tiempo muy pequeño, pero solo en algunos casos la emisión es retardada. Los núclidos que la presentan se les llaman isómeros nucleares.

H. FISION ESPONTANEA: Existen algunos núcleos que decaen por fisión espontánea emitiendo neutrones simultáneamente; es decir, se convierten en dos isótopos de elementos distintos, generalmente radiactivos.

I.2. LOS RADIOISOTOPOS EN LA MEDICINA

Debido, a la necesidad de sintetizar moléculas marcadas con mejores características químicas, biológicas y moleculares, nace la radiofarmacia, que en medicina nuclear tiene por objetivo la producción y uso de componentes radiactivos para el diagnóstico y terapia de importantes enfermedades diseminadas en la población mundial.

En medicina nuclear, existe un constante desarrollo de nuevos radiofármacos de tecnecio y yodo, así como la obtención de biomoléculas marcadas

Los radiofármacos son soluciones radiactivas preparadas con cualidades farmacéuticas para usos biomédicos. Los rayos gamma emitidos por éstos, tienen una energía adecuada que una vez dentro del cuerpo humano son fácilmente detectados desde el exterior del cuerpo. Por lo tanto, un radioisótopo

es un trazador con ciertas características biológicas que permite el examen de un órgano. Por ejemplo, el ^{131}I puede ser metabolizado fácilmente por la glándula tiroides y sirve para observar su funcionamiento. Los radioisótopos son usados también con propósitos de terapia¹.

PRODUCCION DE ALGUNOS RADIOISOTOPOS¹:

RADIOISOTOPO	APLICACION
Cromo-52	Médica (localización de placenta)
Yodo-131	Médica (tiroides y con fines renales)
Fósforo-32	Industrial (trazador) Agricultura (trazador) Médica (trazador)
Mercurio-203	Médica (cerebro y riñones)
Bromo-82	Médica (a nivel celular)
Estroncio-37	Médica (huesos)
Oro-198	Médica (terapia de cáncer)
Iridio-192	Médica (terapia de cáncer)

I.3. APLICACIONES DEL ^{131}I EN LA MEDICINA.

El ^{131}I es un elemento versátil ya que su radiactividad puede usarse, por ejemplo, para visualizar la glándula tiroides.

Dentro de los radiofármacos del Yodo se encuentran: **Proteínas marcadas, biomoléculas de bajo peso molecular marcadas, moléculas marcadas y anticuerpos monoclonales marcados.**

Los radioisótopos del yodo más utilizados en la preparación de radiofármacos en medicina nuclear son: ^{123}I , ^{125}I y ^{131}I . El yodo-131, es empleado para diagnóstico clínico por las siguientes razones:

- a) Su vida media es de 8.05 días, por lo que se pueden preparar radiofármacos en proporciones comerciales.
- b) Su obtención es fácil, a través de la irradiación de TeO_2 , esto implica un bajo costo de producción.
- c) Su energía gamma, es de 364 Kev suficiente para penetrar bien en los tejidos, por lo tanto, es adecuado para obtener imágenes gammagráficas¹.

Es necesario explicar el uso específico que tiene el ^{131}I como radiofármaco en la medicina.

Los radiofármacos son compuestos que poseen en su estructura, uno o más átomos radiactivos y son empleados como trazadores

en el cuerpo humano.

Generalmente, estos compuestos, no tienen efectos farmacológicos, ya que en la mayoría de los casos su función es netamente como trazadores, aunque también se emplean con propósitos terapéuticos. Cuando un radioisótopo es empleado como trazador en el cuerpo humano su actividad es muy pequeña y su vida media es muy corta, por consiguiente en poco tiempo desaparece como tal en el cuerpo humano.

El yodo-131 se emplea en la medicina con fines muy variados , como los siguientes¹:

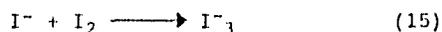
1. Tratamiento de hipertiroidismo.
2. Tratamiento de cancer en la tiroides.
3. Moléculas marcadas con el yodo-131:
 - 3.a. Albumina (volumen sanguíneo, pruebas de circulación, placentografía).
 - 3.b. Rosa de bengala (pruebas funcionales hepáticas)
 - 3.c. Acido oléico (digestión de grasas)
 - 3.d. Yodotalamato de sodio (pruebas renales)
 - 3.e. Yodo antipirina (Localización de várices)

I.4. PROPIEDADES DEL ^{131}I

I.4.1. PROPIEDADES FÍSICAS^{5,7}.

Es un sólido negro cristalino, que funde a 113.7 °C, hierve a 185.4 °C. A temperaturas inferiores a su punto de fusión es suficientemente volátil para que encerrado en un recipiente se distinga el color característico de su vapor.

Es muy poco soluble en agua. Se disuelve bien en alcohol, éter y disoluciones básicas como es el caso de la disolución del ^{131}I en NaOH. Con cloroformo, sulfuro de carbono y muchos hidrocarburos, el yodo forma disoluciones de color violeta parecido al de sus vapores. En disoluciones color violeta, el yodo se encuentra en estado molecular, I_2 , mientras que en disoluciones pardas se encuentra combinado con el disolvente. Cuando el yodo se disuelve en disoluciones de ácido yodhídrico, yoduro de potasio y otros yoduros, se forman compuestos complejos definidos según la reacción reversible:



La acción del yodo libre sobre el almidón constituye un ensayo definitivo y muy sensible de este elemento. Añadiendo ligeros indicios de yodo a una emulsión de almidón esta toma un color azul muy intenso de com-

posición química no determinada; el color procede de moléculas de yodo adsorbidas en la superficie del almidón disperso.

El número atómico es 53, peso atómico 126.9, estado natural sólido, aunque el ^{131}I es gas y no se distingue el color, pero en forma de vapor es color violeta, calor de fusión de 2970 Cal/mol, calor específico 0.08 Cal/g. y radio del ión de 2.16 Å.

I.4.2. PROPIEDADES QUIMICAS⁵.

El vapor de yodo consiste de moléculas diatómicas (I_2) cuando la temperatura se eleva a 700 °C y es completamente monoatómico a 1700 °C. Esta disociación es una transformación endotérmica.

El yodo es el menos activo de los halógenos. El cloro y el bromo lo desplazan de su ión simple en los yoduros. Se une muy lentamente con el hidrógeno, aún calentándolo. Se combina directamente con muchos metales y no metales.

1.4.3. PROPIEDADES NUCLEARES¹⁰.

A. VIDA MEDIA:
8.04 Días

B. HIJO: Xenón-131

C. TIPO DE DECAIMIENTO, ENERGIA EN MeV Y PROBABILIDAD DE DECAIMIENTO (%):

C.1. Beta (β^-)	C.2. Electrones
0.247910 (2.12%)	0.003430 (4.94%)
0.303880 (0.627%)	0.024600 (0.59%)
0.333830 (7.360%)	0.045622 (3.53%)
0.606320 (89.30%)	0.074730 (0.46%)
0.806870 (0.3936%)	0.079041 (0.11%)
0.629700 (0.0690%)	0.249740 (0.24%)
	0.329920 (1.54%)
	0.359030 (0.24%)

C.3. Gamma (γ)

0.004110 (0.55%)
0.029458 (1.34%)
0.029779 (2.49%)
0.033600 (0.88%)
0.080183 (2.61%)
0.177210 (0.26%)
0.284300 (6.05%)
0.325780 (0.25%)
0.364480 (81.16%)
0.502990 (0.36%)
0.636970 (7.26%)
0.642700 (0.21%)
0.722890 (1.80%)
0.329390 (0.23%)

1.5 PROPIEDADES DEL TELURIO (Te).

1.5.1. PROPIEDADES FISICAS^{5,7}.

El telurio elemental no presenta formas alotrópicas como el azufre y el selenio. Solo se ha presentado una forma cristalina, hexagonal, isomorfa, como el selenio hexagonal (gris), y una variedad amorfa, de propiedades inciertas. El color del telurio es argentino y posee un brillo metálico. Es frágil pero no duro. La densidad es 6.25 g/cm³. Es mal conductor de la electricidad; la luz casi no tiene efecto sobre la conductancia. Las películas del Te, son opacas a la luz visible, pero útiles para transmitir el infrarrojo.

La entropía del Te sólido es de 11.888 u. e.. a 25 °C y funde a 449 °C dando un líquido oscuro semejante al plomo fundido. El calor de fusión es de 4180 Kcal/mol. La presión de vapor entre 786 y 1110 °K y está dada por la ecuación:

$$\text{Log } p_m = 7.5999 - (5960.2/T) \quad (16)$$

Donde la T = °K.

El punto de ebullición es de 990 °C. El calor específico es de 6.14 Cal/g a 25 °C. El vapor de Te absorbe luz en las regiones visible y ultravioleta, y contiene, según estudios de espectrometría de masas, moléculas Te₅, Te₄, Te₃, Te₂ y Te. El calor de formación partiendo en estado gaseoso de un átomo de telurio es de 48 Kcal/mol. Los estudios de difracción de electrones y

la densidad de vapor indican que el componente predominante en fase de vapor es el Te_2 , entre 600 y 210 °C. La energía de disociación de Te_2 (gas) para formar átomos es de 53 Kcal/mol.

El radio covalente del Te es de 1.37 Å. La primera afinidad electrónica puede alcanzar 2.3 eV, mientras que la segunda (para formar Te^{2-}), es de -3 eV aproximadamente. El primer potencial de ionización es de 9.01 eV y la electronegatividad es de 2.2 aproximadamente en la escala de Pauling.

1.5.2. PROPIEDADES QUÍMICAS^{5,7}.

Forma compuestos iónicos que contienen el ión Te^{2-} al reaccionar con metales activos, y compuestos covalentes con otros compuestos. El Te sólido cristalino se empaña poco al exponerse al aire; fundido es fácilmente oxidado a dióxido. El Te reacciona con los halógenos y se mezcla en todas las proporciones con el azufre y el selenio. El Te se oxida con ácido nítrico concentrado, calentándose el compuesto obtenido ($2\text{TeO}_2\text{HNO}_3$), se obtiene TeO_2 muy puro. El Te reacciona con H_2SO_4 para dar TeSO_2 ; si se añade Te elemental a las soluciones que contengan el ion telururo, se forman politelururos coloreados. A diferencia del selenio, el Te no es soluble en solución acuosa de sulfito sódico, lo cual es la base para un método de separación de ambos elementos. El Te es soluble en alcalis cáusticos calientes, pero no en hidróxido

de amonio. En solución forma iones monoatómicos (Te^{2-}) y cationes, también monoatómicos (Te^{4+}), y pueden depositarse películas de Te en electrodos inertes de los dos signos.

Los compuestos orgánicos que contienen Te no son tan estables como los correspondientes con selenio y azufre; se conocen sin embargo, telururos alquílicos y arílicos, teluromercaptantes, compuestos de teluronio y derivados cíclicos con Te.

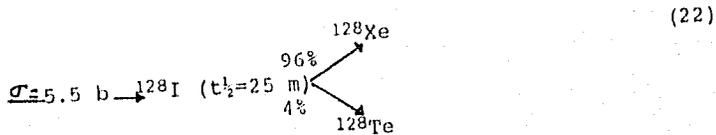
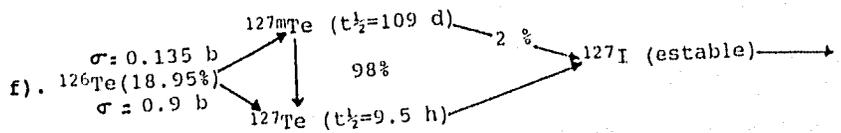
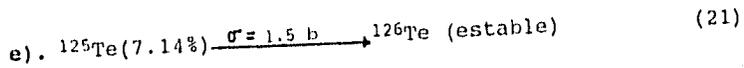
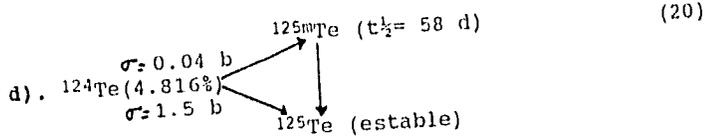
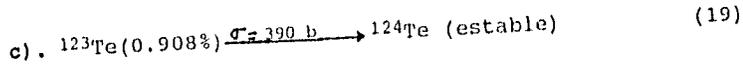
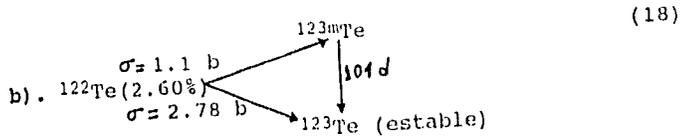
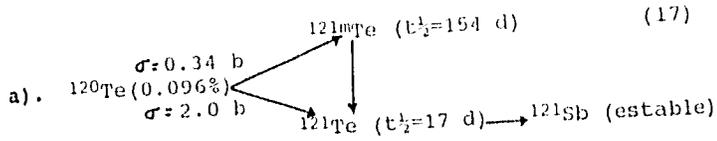
1.6. REACCIONES DE IRRADIACION DEL Te Y DE OBTENCION DEL ^{311}I .

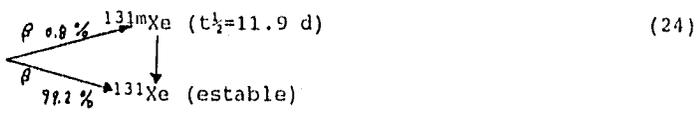
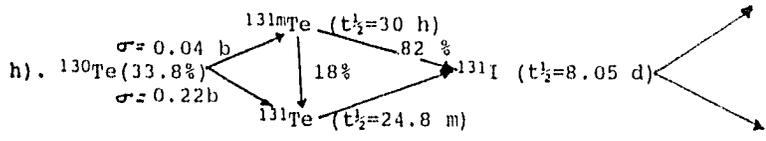
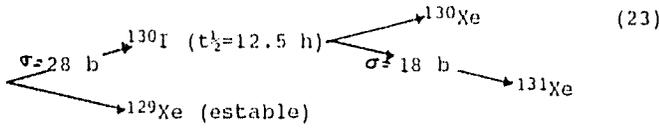
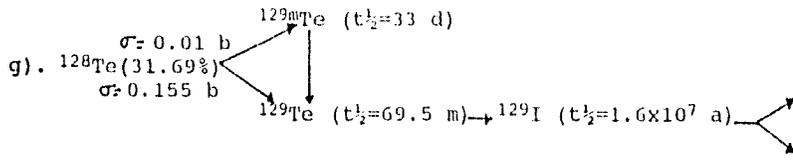
1.6.1. COMPOSICION ISOTOPICA DEL TELURIO (Te)^a.

ISOTOPO EST- ABLE	ABUNDANCIA ISOTOPICA (%)
^{120}Te	0.096
^{122}Te	2.60
^{123}Te	0.908
^{124}Te	4.816
^{125}Te	7.14
^{126}Te	18.95
^{128}Te	31.69
^{130}Te	33.80

Tabla No. 1

1.6.2. REACCIONES (n,) DE IRRADIACION DEL TELURIO (Te)^{8,9,10}.





Donde: σ = Sección eficaz (barn = 10^{-24} cm^2)

$t_{1/2}$ = Periodo de semidesintegración.

% = Abundancia isotópica del Telurio natural.

I.7. METODOS DE OBTENCION DEL ^{131}I ^{5,6,10}.

Los primeros isótopos radiactivos de Yodo fueron preparados por Fermi en 1934, el mismo año que se descubrió la radiactividad artificial. Diversos métodos han sido usados para la obtención de ^{131}I desde que se verificó su importancia en la medicina. Algunos de los métodos de obtención empleados hasta esta fecha son los siguientes:

A). Livingood y Seaborg, obtuvieron ^{130}I y ^{131}I bombardeando telurio con neutrones, de esa forma se obtuvo ^{130}I y ^{131}I . Después el telurio se disolvió en ácido nítrico y una adición de yodato de sodio como acarreador y de esa manera el ^{131}I destilado fué recibido en bisulfito de sodio.

B). Perlman, repitió el experimento anterior pero disolviendo el telurio irradiado en una mezcla sulfocrómica, destilando el yodo después de la reducción con ácido oxálico.

C). Kenny y Spragg, consiguieron disminuir las impurezas en el ^{131}I obtenido por los métodos anteriores, utilizando cantidades mínimas de ácido oxálico.

D). Inada, también partió del telurio irradiado para producir ^{131}I , pero en lugar de destilación, usó métodos de separación con resinas iónicas y por precipitación con anhídrido sulfuroso. Los resultados mostraron un rendimiento de 50-60% por el método de separación con resinas iónicas y el 30% por el método de precipitación.

E). Gettoff y Parker, irradiaron ácido telúrico en pequeñas cantidades y usaron una columna cromatográfica de celulosa para la separación del ^{131}I .

F). Toth, partiendo de ácido telúrico (18 g máximo) irradiado, adsorbieron el ^{131}I en platino y obtuvieron un rendimiento del 60%.

G). Los métodos de obtención de ^{131}I más utilizados en la actualidad, se pueden agrupar en dos, dependiendo del material utilizado como blanco.

El primer grupo, consiste en la obtención de ^{131}I a partir de uranio irradiado (producto de fisión).

Dentro del segundo grupo pueden clasificarse los métodos que por irradiación neutrónica de telurio ya sea metálico o en forma de dióxido telúrico, lleven a la obtención de ^{131}I . Dentro del segundo grupo se encuentran:

G.1. DESTILACION SECA:

Se utiliza como blanco dióxido de telurio (TeO_2), o telurio metálico que son irradiados y después calentado en un horno apropiado (como se verá en la parte experimental), y el vapor de yodo desprendido es absorbido en una solución de hidróxido de sodio y en otra solución de bicarbonato de sodio.

G.2. DESTILACION HUMEDA: a continuación se describen dos formas:

G.2.1. Irradiación de telurio metálico y posterior disolución en mezcla sulfocrómica, oxidación del telurio y yodo formado, a ácido telúrico e iódico respectivamente, y posterior reducción del ácido iódico a yodo elemental, el que es separado por destilación. El inconveniente de este método está en la dificultad que presenta la disolución del telurio metálico.

G.2.2. Irradiación del ácido telúrico y solubilización del mismo. El yodo formado es separado en dicha solución por destilación con corriente de nitrógeno. El ácido telúrico es menos estable durante la irradiación y contiene un porcentaje menor de telurio comparado con el yodo obtenido del telurio.

CAPITULO II

PROPUESTA Y OBJETIVOS

II.1. PROPUESTA.

LA PRESENTE PROPUESTA SE REFIERE AL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA LA OBTENCION DE ^{131}I POR DESTILACION SECA A PARTIR DE TeO_2 , QUE CONTARA CON TRES SISTEMAS INTERCONECTADOS, EL SISTEMA DE MANIPULACION, EL SISTEMA ELECTRICO Y EL SISTEMA DE DESTILACION. LA COMBINACION DE ESTOS SISTEMAS, PERMITE MEJORAR EL RENDIMIENTO Y LA SEPARACION DEL ^{131}I DURANTE EL PROCESO DE DESTILACION, YA QUE DENTRO DEL SISTEMA ELECTRICO SE ENCUENTRA UN HORNO QUE CUENTA CON UN DISEÑO ESPECIAL BASADO EN UN GRADIENTE DE TEMPERATURA.

LOS ASPECTOS MAS RELEVANTES SERAN EL DISEÑO DE CADA UNO DE SUS COMPONENTES, QUE DAN COMO RESULTADO LA EFECTIVIDAD

II.2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

UNO DE LOS OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO, ES CONSTRUIR UN EQUIPO DE DESTILACION DIFERENTE A LOS QUE EXISTEN, QUE GRACIAS A SU DISEÑO INTERNO NOVEDOSO Y CUYAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS PROPORCIONAN VENTAJAS SOBRE LOS EXISTENTES. EN LA ACTUALIDAD, LA SEPARACION DEL ^{131}I , SE LLEVA A CABO BAJO UN REGIMEN DE TEMPERATURA UNIFORME EN TODA EL AREA DEL HORNO ELECTRICO, NO SE CUENTA CON UN SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION CONECTADO AL SISTEMA ELECTRICO Y AL SISTEMA DE DESTILACION Y POR TAL RAZON EXISTE UNA ALTA PROBABILIDAD DE QUE OCURRAN ACCIDENTES DE CONTAMINACION POR ^{131}I . ESTO OCASIONA EL AUMENTO DE LOS NIVELES DE INDICES DE EXPOSICION DENTRO DE LA CELDA DE PROCESO Y POR CONSIGUIENTE PONE EN RIESGO AL OPERADOR DEL PROCESO.

DE LA PRODUCCION DE ^{131}I EN FORMA RUTINARIA A NIVEL INDUSTRIAL, CUYO PRODUCTO FINAL PUEDE LLEGAR A ALCANZAR UNA PUREZA RADIOQUIMICA SUPERIOR AL 99%.

PARA COMPROBAR EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE DESTILACION DE ^{131}I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO_2 , SE PROPONE REALIZAR PRUEBAS OPERACIONALES, EN BASE A LA EJECUCION DE DOS EXPERIMENTOS

II.2. OBJETIVOS.

II.2.1. OBJETIVOS GENERALES.

ACTUALMENTE EL ^{131}I , ES IMPORTADO EN EL PAIS TANTO POR LOS HOSPITALES, COMO EN LA PLANTA DE PRODUCCION DE RADIOISOTOPOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES (ININ), POR LO TANTO, EL PRESENTE TRABAJO PERSIGUE EL SIGUIENTE OBJETIVO:

A. EVITAR LA IMPORTACION DE ^{131}I EN MEXICO, YA QUE LA PRODUCCION NACIONAL SERIA SENSIBLEMENTE MAS BARATA CON EL METODO PROPUESTO.

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

El equipo de destilación de ^{131}I por vía seca utilizando como blanco TeO_2 , se compone básicamente de una celda caliente, que cuenta con un diseño especial y dentro de ella, tres sistemas interconectados, el sistema de control de destilación, el sistema eléctrico y el sistema de destilación.

III.1. MATERIALES Y EQUIPOS.

III.1.1. M A T E R I A L E S.

III.1.1.1. CONSTRUCCION DEL HORNO DEL PROCESO DE DESTILACION DE ^{131}I .

- a.- Tubo aislante de alumina del 90%
- b.- Alambre Nicromel calibre No. 14

- c.- Refractario para horno (barro)
- d.- Fibra de vidrio (como aislante térmico)
- e.- Cable eléctrico No. 12

III.1.1.2. SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION.

- a.-Bronce (cremallera)
- b.-Aluminio (placa de base, remaches, soportes, perillas y brazos para manipulación)
- c.-Acero al carbón (ángulo)
- d.-Acero inoxidable (manipuladores y engranes)
- e.-Latón (bujes)
- f.-Tornillos de cuerda estándar de 1/4", 3/16" y 1/8"
- g.-P.T.R. (correderas de perfil tubular)
- h.-Prisioneros de 3/16"

III.1.1.3. PREPARACION DE MUESTRAS A IRRADIAR.

- a.-Pinzas para tubo de ensaye
- b.-Tubo de cuarzo de 3/4" de diámetro
- c.-Cápsulas de aluminio 99 % de pureza. Largo 7 cm, diámetro 2.5 cm .
- d.-Cápsulas de aluminio 99 % de pureza. Largo=3 cm, diámetro 1.8 cm.
- e.-Vaso de precipitado Pyrex de 1 litro
- f.-Guantes de cirujano
- g.-Tellurium oxide ultrapure (99 %) TeO₂ JOHNSON MATTEY CATALOG COMPANY
- h.-OXIDO DE TELURIO (ININ)²

- i.-Resina epóxica (para tapar las cápsulas de aluminio)
- j.-Aire líquido (prueba de fuga de cápsulas)
- k.-Acetona. J.T. BAKER

III.1.1.4. ACCESORIOS DEL EQUIPO DEL PROCESO DE DESTILACION

- a.-Cápsula con tapa y charola de cuarzo
- b.-2 receptores de ^{131}I , Pyrex
- c.-5 vasos de precipitado de 250 ml Pyrex
- d.-2 embudos Pyrex
- e.-1 m de manguera de hule de 1/4"
- f.-4 m de manguera de hule de alta resistencia de 3/8".
- g.-Columna Pyrex (filtro de carbón activado con papel filtro y fibra de vidrio)
- h.-3 matraces aforados de 500 ml Pyrex
- i.-Vasos de vidrio para dosis de yodo-131 capacidad de 10 ml.
- j.-3 pinzas para cápsulas de aluminio
- k.-Contenedores de plomo para dosis de Yodo-131
- l.-3 cajas petri medianas

11.-REACTIVOS:

- Bicarbonato de Sodio en polvo (Na_2HCO_3)
3506-20-1 J.T. BAKER
- Hidróxido de sodio en lentejas (NaOH) 3722-20
J.T. BAKER
- Carbonato de sodio en polvo (Na_2CO_3) 3602 J.T.
BAKER

m. -ROPA DE TRABAJO:

- Guantes de lana y de cirujano
- Overol
- Botas de hule
- Cubre bocas
- Máscara con filtros
- Cubrecabeza
- Cubremangas
- Cofia

III.1.1.5. CONTROL DE CALIDAD

- a.-Sulfuro de sodio al 20 % Na_2S MERCK
- b.-Acido sulfúrico 4N=2M H_2SO_4 MERCK
- d.-Telurio. Te MERCK y PROLABO
- e.-Vasos de vidrio ambar para dosis de Yodo-131
- f.-Micropipetas de 100 μl
- g.-Marinellis de plástico de 450 ml.
- h.-Planchetas para análisis por espectrometría gamma

III.1.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS.

III.1.2.1. SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION

A. MAQUINAS:

- A.1 Guillotina Modelo No. FS-616 No de serie GS-566-M.
- A.2 Cortadora de gas nitrógeno. CIA UNION CARBIDE
TIPO PHC-250-(WELDING PRODUCTS).
- A.3 Prensa hidráulica. DAKE CORPORATION. GRAND HAVEN,

MICHIGAN.

- A.4 Taladro vertical con mesa móvil, (fresador).
AB ARBOGA SWEDEN, TYPE U-2508.
- A.5 Cepillo SANCHEZ BLANES, S.A. MODELO PL400. No. 4784
serie 04.
- A.6 Taladro vertical. VILTMAR DE MEXICO, S.A. Modelo 255
serie 434.
- A.7 Torno horizontal. SOUTH BEND. LEON WELL S.A.
- A.8 Sierra mecánica de arco. LEON WELL S.A. SADI 14.
- A.9 Sierra mecánica de corte continuo TECNICOS AGROSTAL
S.A. MOSNER RECORD TYPE SSF 1950.
- A.10 Cabezal divisor y contrapunto. LEON WELL S.A.
- A.11 Taladro BLACK & DECKER MANUAL 1/2".

B. HERRAMIENTAS:

- B.1 Brocas de 1/8", 3/16", 7/16", 1/2", 1/4", 13/64",
11/64".
- B.2 Sierra de arco manual y seguetas
- B.3 Escofina para pinturas y limas para metal.
- B.4 Juego de machuelos 3/16", 1/4" y 1/8" c/std.
- B.5 Martillos de goma y metálicos y puntos para marcar
barrenos.
- B.6 Llaves normalizadas, broqueros, buriles para corte.

III.1.2.2. PROCESO DE OBTENCION DE ¹³¹I

A: PREPARACION E IRRADIACION DE MUESTRAS

- a.-Balanza analítica.
- b.-Horno tubular cap. 800°C.
- c.-Carro blindado (plomo), para transportación del blanco del reactor a la celda caliente.
- d.-Reactor Nuclear Triga Mark III.
- e.-Campana de extracción.
- f.-Detector Teletector.
- g.-Detector GEIGER-MULLER.

B: PROCESO DE DESTILACION

- a.-Cámara de ionización (CAPINTEC), Para medir la actividad del blanco antes y después del proceso de destilación.
- b.-Sierra eléctrica en celda caliente, para la apertura de la cápsula de aluminio que contiene el blanco.
- c.-Bomba de vacío, durante el proceso de destilación.
- d.-Dos extractores de aire, ubicados en la celda caliente.
- e.-Medidor controlador de temperatura marca ININ.
- f.-Celda caliente para el proceso de destilación.

III.2. CELDA DE PRODUCCION DE ^{131}I (Fig. 1).

III.2.1. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES

El equipo de destilación de ^{131}I por vía seca, está encerrado herméticamente en una celda, que se compone de una mesa metálica (1) que sirve de soporte a una caja de lucita (2) provista con una entrada (3a) y una salida de aire (3b) para mantener negativa la presión interna de la caja, y una entrada (4a) y salida de aire (4b) para el proceso de destilación de ^{131}I . También tiene una entrada (5) para un termopar tipo K y una entrada de corriente de 220 volts.

En la cara izquierda de la caja está la puerta principal de la celda (6) que se abre moviendoe un seguro. En la cara posterior de la caja, está una ventana (7) por donde se introducen las muestras irradiadas hacia el interior de la celda. La caja está rodeada con ladrillos de plomo de 10 cm. de espesor (8) en cinco de sus caras (excepto en la cara posterior). La cara lateral izquierda (9) puede deslizarse a lo largo de un riel para permitir acceso hacia el centro de la caja de lucita, esta se define como la puerta principal de la celda.

111.3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION DE ^{131}I

III.3.1. INTRODUCCION.

Con el sistema de control de destilación, se manipula el proceso de producción de ^{131}I , esto es, la manipulación de muestras desde su entrada a la celda caliente, la introducción de muestras al horno de proceso y la recolección de desechos ó muestras residuales radiactivas; de esta forma, con el sistema se controlan perfectamente los parámetros del proceso.

Los movimientos requeridos fundamentalmente, son los de introducir y extraer el TeO_2 irradiado de la cápsula de cuarzo que se encuentra dentro del horno eléctrico, que durante el proceso de separación de ^{131}I del TeO_2 son ejecutados fácilmente a través de cremalleras.

Las ventajas que presenta este sistema son:

- A. Facilitar el manejo del material radiactivo.
- B. Evitar riesgos de contaminación con material radiactivo.
- C. Producir ^{131}I en forma más eficiente.

III.3.2. PIEZAS MECANICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTI-
LACION

Los materiales de construcción fueron seleccionados, tomando en cuenta su exposición a la radiación y sus propiedades mecánicas, (III.1.1.2.) empleando las herramientas y equipos mencionados (III.1.2.1.) en III.2.1., en la tabla No. 2 describe el material de construcción de las principales piezas mecánicas:

PIEZA MECANICA	MATERIAL DE CONSTRUCCION	CANTIDAD
CREMALLERA	LATON	3
SOPORTE ESTRUCTURAL	ALUMINIO	1
MANIPULADORES CON ENGRANES	COLD ROLLED Y ACERO AISI 410	3
PLACA METALICA	ALUMINIO	1
CHAROLA	ALUMINIO	1
BRAZOS	ALUMINIO	2
HORNO ELEC-TRICO	(ver III.1.1.1)	1

Tabla No.2

III.3.3. MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION (Fig. No. 2).

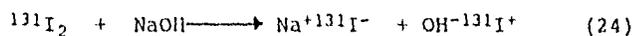
El sistema de control de destilación de ^{131}I , está colocado en una plataforma de aluminio (10) de 1/2 plg. de espesor, que se desliza por medio de ruedas (11) con dos soportes de lámina (13) de 1/8 de plg. de espesor. Todos los demás componentes del equipo están colocados en soportes de aluminio (14) sujetos a la plataforma de aluminio por medio de tornillos. En la parte media superior, está una cremallera (15) que sujeta a una tapa esmerilada de cuarzo (16) compuesta por un platillo (17), una estrada (18) para termopar tipo K y una entrada (19) para aire al proceso. En la parte frontal, está una cremallera (20) que sujeta al brazo manipulador (21). En la parte posterior se encuentra una cremallera (23) la cual sujeta a un elevador de aluminio (24) sobre el que descansa la muestra de TeO_2 dentro de una charola de cuarzo (22). Las tres cremalleras son accionadas por sus respectivos manipuladores por medio de manquillos (25). En la parte derecha, están unos receptores Pyrex (26) sujetos con pinzas (27). En la parte superior de cada receptor (26) se encuentra un embudo (28) sujeto al soporte de aluminio.

III.4. CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL SISTEMA ELECTRICO.

III.4.1. INTRODUCCION

En el sistema eléctrico, se produce el fenómeno de separación del ^{131}I de la matriz de TeO_2 al ser activado el horno eléctrico a una temperatura exacta de destilación. El sistema opera de forma semi-automática ya que regula la temperatura adecuada para llevar a cabo el proceso de destilación de ^{131}I .

El diseño especial con que cuenta este horno, lo hace único, ya que cuenta con un gradiente de temperatura que ocasiona el buen flujo del vapor de ^{131}I hacia los receptores de NaOH en donde se efectúa la reacción:



III.4.2. CONSTRUCCION DEL HORNO DE DESTILACION.

1. Se prepara un alambre de nicromel en forma de resistencia, el largo del alambre es suficiente para enrollarlo a todo el tubo de alúmina de tal forma que la distancia de vuelta a vuelta presente la geometría adecuada con el fin de crear un gradiente de temperatura de un extremo al otro del horno.
2. Se cubre la resistencia con refractario en forma de capas (4) cada una de 8 mm. aprox., dejando un tiempo

de secado de 1.5 horas entre capa y capa.

3. En los dos extremos de la resistencia se sujeta cable calibre 12.
4. Se introduce el horno en la camisa de lámina de hierro (fig. No. 4), se rellena el hueco que existe entre el refractario y la camisa de fierro con asbesto que sirve como aislante térmico.
5. Se tapa con una lámina de fierro, quedando listo para el proceso.

III.4.3. MONTAJE Y DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO (Fig. No. 3).

El sistema eléctrico está compuesto de un horno eléctrico (12) el cual consta de un tubo de alúmina (30) en el que se enrolla alambre nicromel calibre #14 (31), a continuación, tiene una recubierta de material refractario y de fibra de vidrio como aislante térmico y el conjunto de estos componentes está dentro de una estructura laminal remachada de lámina de acero al carbón de 1/8 de plg. de espesor (FIGURA No. 4). Del horno se desprenden dos cables eléctricos, uno llega a la alimentación de corriente de 220 volts (32) y el

otro (33) llega a un controlador de temperatura (34) del cual sale un termopar tipo K (35) que se introduce a la tapa esmerilada de cuarzo (16).

III.5. SISTEMA DE DESTILACION.

III.5.1. INTRODUCCION.

El sistema de destilación, se compone básicamente de material de vidrio, por lo que su manejo es muy delicado. Consta de dos partes, una se encuentra en el interior del horno y que es de cuarzo, ya que tiene que soportar temperaturas hasta de 800 °C; a esta parte del sistema se une a la otra parte externa a través de una junta esmerilada. La parte externa se compone de recipientes de vidrio Pyrex con sus respectivos embudos de alimentación de reactivos que se encargan de capturar el ^{131}I proveniente de la parte interna.

III.5.2. DESCRIPCION Y MONTAJE DEL SISTEMA DE DESTILACION (Fig. No. 5).

El sistema de destilación, está compuesto de una cápsula de cuarzo (36) que está dentro de un horno eléctrico (12), en la parte derecha está una boquilla en cuyo interior se sujeta un filtro de lana de vidrio (37). Esta boquilla, embona a un tren de receptores Pyrex (26). En la parte inferior de cada receptor, está

adaptada una válvula de paso (39); en la parte superior están adaptadas también válvulas de paso (38) que unen los receptores Pyrex con los embudos de alimentación (28). De la boquilla del receptor (26-B) se desprende un ducto que va a un filtro de carbón activado (40) y continúa a una bomba de vacío (41). En la parte izquierda de la cápsula de cuarzo, se encuentra embonada la tapa esmerilada de cuarzo (16) cuyas características se describen en la figura No. 2. A la tapa esmerilada de cuarzo llega un ducto desde el filtro de alúmina y de carbón activado (42) y un termopar tipo K (35) que viene del controlador de temperatura (34). Por último, en el centro de la cápsula de cuarzo se encuentra la charola de cuarzo (22) que contiene la muestra de TeO_2 irradiado (43).

III.6. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE DESTILACION

DE ^{131}I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO_2

III.6.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION (Fig. No. 2).

Los movimientos fundamentalmente requeridos son los de introducir y extraer el TeO_2 irradiado de la cápsula de cuarzo que se encuentra dentro del horno eléctrico, que

durante el proceso de destilación de ^{131}I del TeO_2 son ejecutados fácilmente a través de cremalleras. Estos movimientos son:

Colocar el TeO_2 sinterizado en una charola de cuarzo de 10 cm. de larga (22), la cual a su vez, se coloca en el elevador de aluminio (15) y es elevada al nivel de la tapa esmerilada de cuarzo (16) por medio del manipulador (25-A). Bajar el brazo manipulador (21) hasta tocar el elevador de aluminio y recorrer la charola de cuarzo con el manipulador (25-B) hasta introducirla en el platillo (17). Bajar el elevador de aluminio (24) con el manipulador (25-A) para permitir el deslizamiento de la tapa esmerilada de cuarzo (16) con el manipulador (25-C) hasta introducir el TeO_2 irradiado y embonar con la cápsula de cuarzo que se encuentra dentro del horno (figs. 3 y 5). La tapa esmerilada de cuarzo debe embonar bien con la cápsula de cuarzo para que quede herméticamente cerrada y no permita la salida de vapores durante el proceso de destilación de ^{131}I , de esta manera, la muestra de TeO_2 , se encuentra dentro del horno lista para comenzar el proceso de destilación de ^{131}I a partir del TeO_2 .

Se deben poder abrir y cerrar las válvulas del tren receptor del destilado (válvulas superiores de los receptores Pyrex), que son las que abastecerán de soluciones a receptores Pyrex, de tal manera que estas válvulas se encuentren cerradas en el momento de la

destilación, con el fin de evitar que el Yodo radiactivo se escape por la parte superior del tren receptor, esto se logra empleando manipuladores de mano. También se deben poder abrir y cerrar las válvulas inferiores de los receptores Pyrex para la recuperación del destilado. Para esto, se emplean manipuladores de mano, los cuales solo girarán sobre su propio eje.

III.6.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRICO (Fig. No. 3).

El horno presenta una forma especial de embobinado de la resistencia eléctrica de calentamiento, se observa que existe un gradiente de temperatura que va de izquierda a derecha, esto es $Ax_1 < Ax_2$, de esta forma la temperatura va disminuyendo paulatinamente de izquierda a derecha existiendo una diferencia de temperatura (ΔT) de un extremo al otro del horno de 150 °C. Esto permite que el ^{131}I al desprenderse de la matriz del TeO_2 fluya mejor hacia la boquilla de la cápsula de cuarzo y no se regrese. El voltaje aplicado de 220, permite alcanzar una temperatura de 800 °C en un tiempo de 1:00 h. a partir de ser activado el horno y de esta forma se agiliza el proceso de destilación de ^{131}I . El sistema eléctrico permite controlar la temperatura ± 5 °C.

III.6.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESTILACION (Fig. No. 5).

IV.3.1. FUNCION DE LOS COMPONENTES

a). HORNO ELECTRICO (12): Posee una capacidad de 1000 °C, sirve para llevar a cabo la separación del ^{131}I del TeO_2 mediante el aumento de temperatura.

b). TERMOPAR TIPO K (35): mide la temperatura exacta de destilación del ^{131}I

c). FILTRO DE ALUMINA Y CARBON ACTIVADO (43): introduce aire limpio y seco por medio del sistema de vacío para acarrear el ^{131}I formado.

d). FILTRO DE LANA DE VIDRIO (37): retiene las posibles impurezas que pudiera acarrear el ^{131}I .

e). EMBUDOS DE ALIMENTACION (28): Alimentan a los receptores Pyrex, al receptor A con NaOH 0.1 N y al receptor B con solución reguladora de Na_2CO_3 0.2 M y Na_2HCO_3 2.5×10^{-3} M con una relación de 5:3 en volumen

f). RECEPTORES PYREX (26): Receptor (A).- Permite atrapar el ^{131}I en un 99.99 %, efectuándose la

reacción $^{131}\text{I}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^{+131}\text{I}^{-}$ en medio básico. Receptor (B). - permite atrapar aproximadamente el 0.003 % del ^{131}I que no fué atrapado en el receptor (A).

g). FILTRO DE CARBON ACTIVADO (41): Sirve para evitar que el posible ^{131}I que no fué atrapado por los receptores Pyrex sea expulsado al ambiente.

h). BOMBA DE VACIO (42): sirve para transportar el ^{131}I en forma muy eficiente hacia los receptores Pyrex.

IV.3.2. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE DESTILACION:

Antes de comenzar el proceso de destilación, se verifica el buen funcionamiento del sistema de extracción de aire, el sistema de control de destilación, sistema de vacío y equipo de destilación. El TeO_2 irradiado, se coloca dentro de la cápsula de cuarzo (36), que se encuentra a su vez dentro del horno (12) de proceso siguiendo el procedimiento descrito en el punto III.6.1. Se proveen los receptores (26) con las soluciones (ver punto IV.3.1.e). Se activa el horno (12), aumentando la temperatura en incrementos de 100 °C, y así sucesivamente hasta mantenerla a 740 °C. La bomba de vacío (42) es activada a la

temperatura de 400 °C, ya que a esta temperatura comienza la separación del ^{131}I de la matriz del blanco (14). Se activa el sistema de extracción de la celda de proceso (donde se encuentra todo el equipo de destilación), manteniendo una presión negativa en el interior de la celda de 0.5 cm de agua, con el fin de evitar fugas de material radiactivo al medio ambiente. El tiempo de destilación depende de la actividad que se desee obtener, tomando en cuenta la actividad original del blanco. Terminada la destilación, se baja a 90 al interruptor de temperatura (se desactiva el horno) y se desactiva la bomba de vacío, pero el sistema de extracción de aire continua encendido durante 0.5 horas. Se procede a abrir la válvula inferior del receptor (26-A) con el fin de recuperar el ^{131}I en forma de Na^{131}I recolectandolo en frascos color ambar de 15 ml. Cada frasco que contiene el Na^{131}I , sale de la celda de producción en un contenedor de plomo y es conducido a una cámara de ionización, para medir la actividad obtenida.

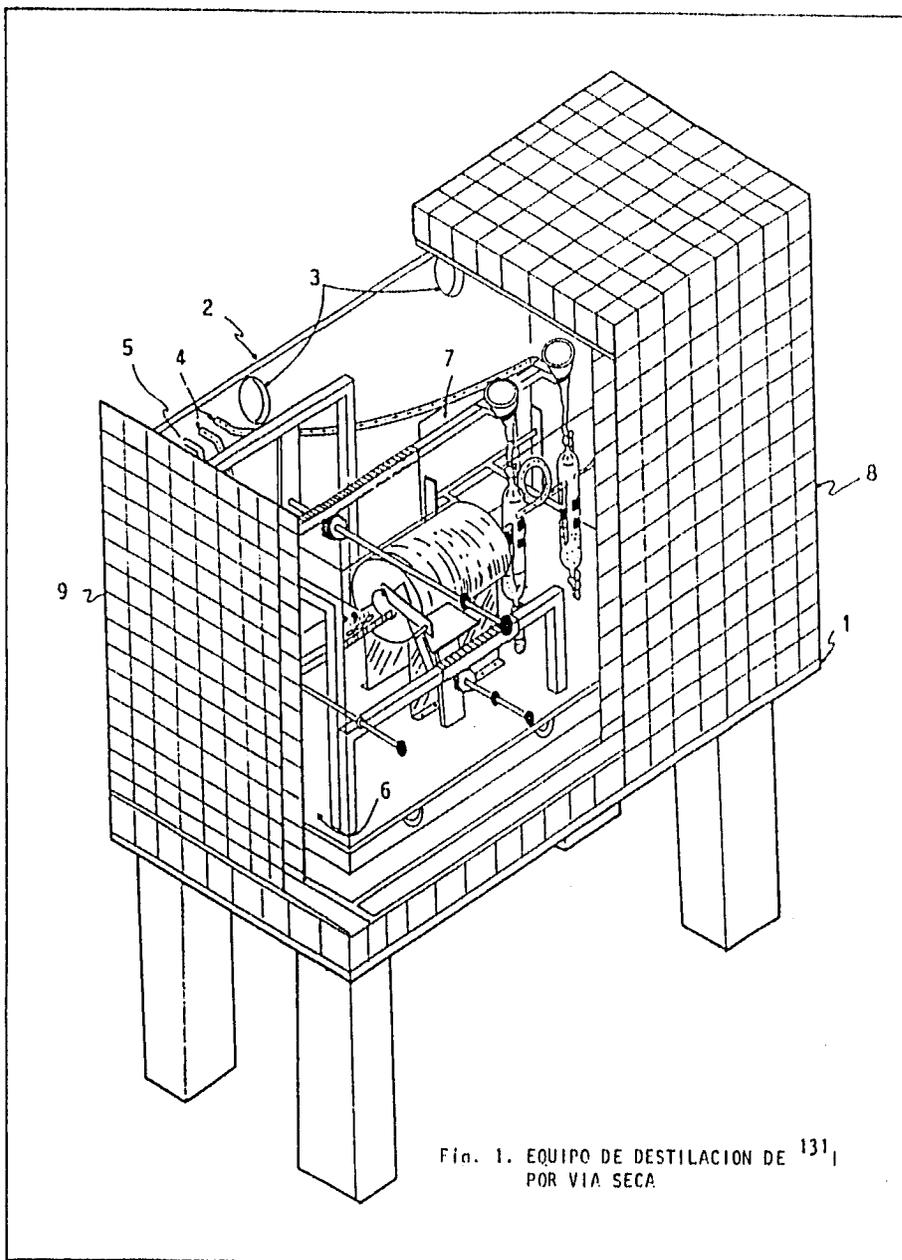


Fig. 1. EQUIPO DE DESTILACION DE ^{131}I
POR VIA SECA.

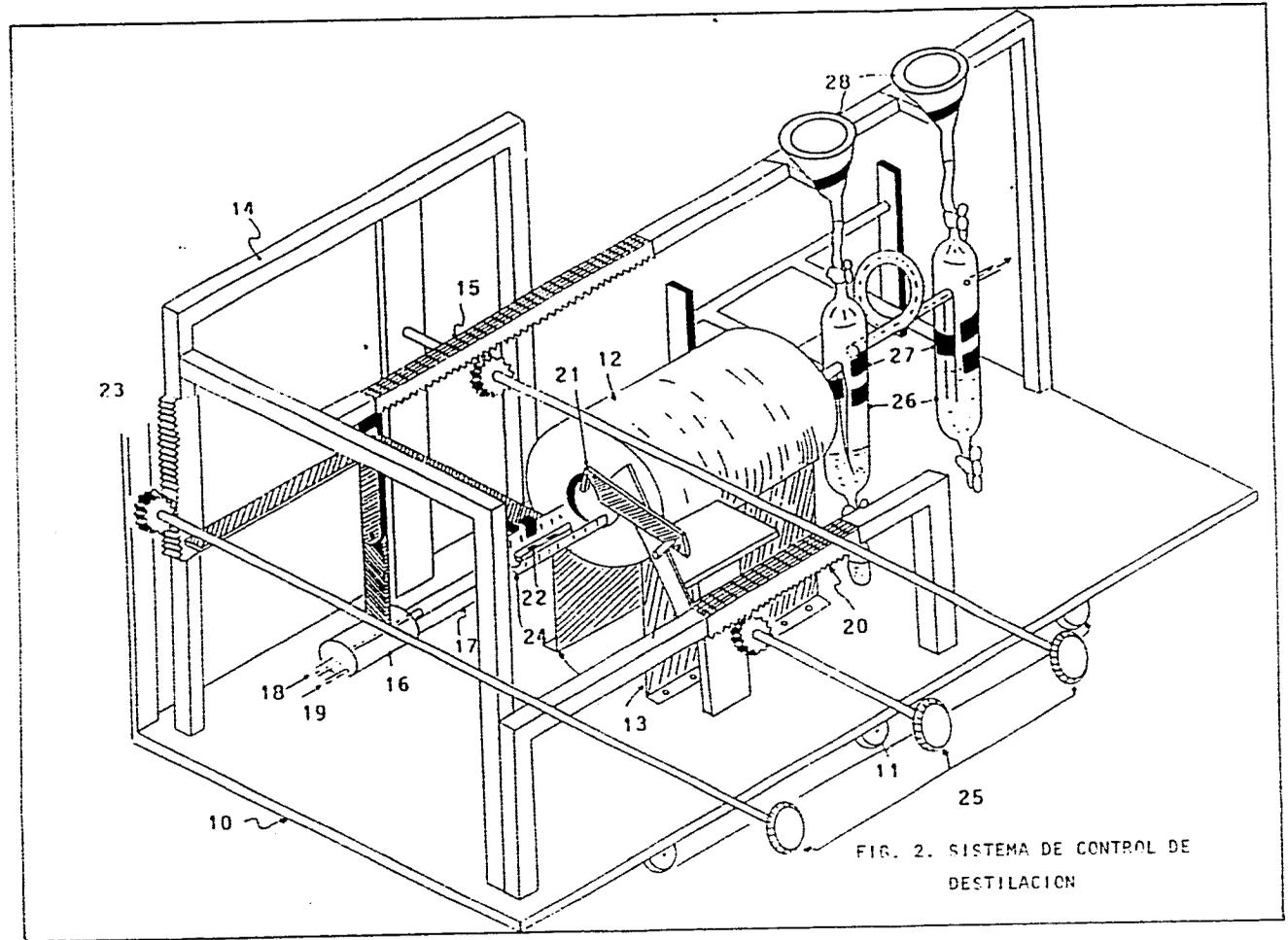


FIG. 2. SISTEMA DE CONTROL DE DESTILACION

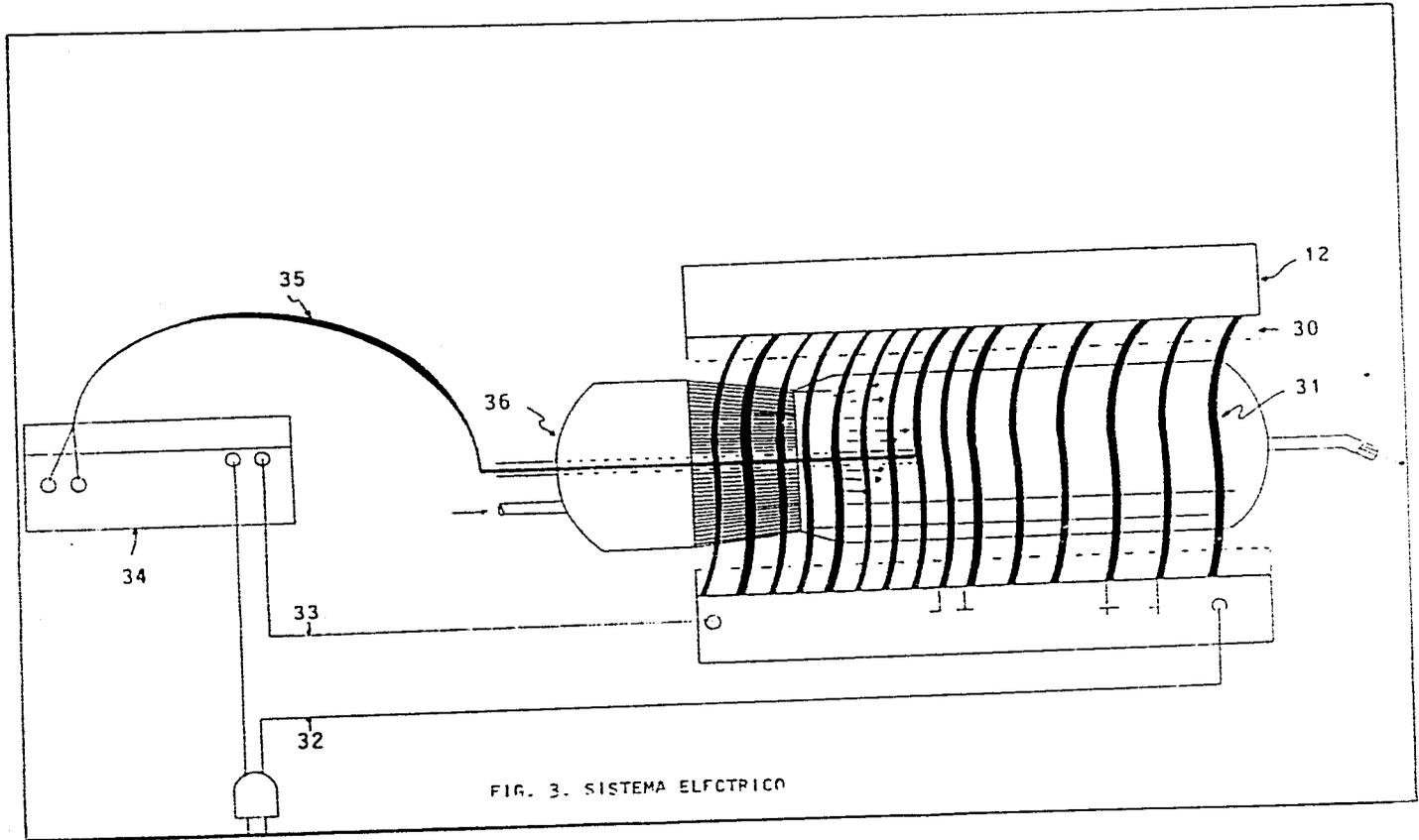


FIG. 3. SISTEMA ELÉCTRICO

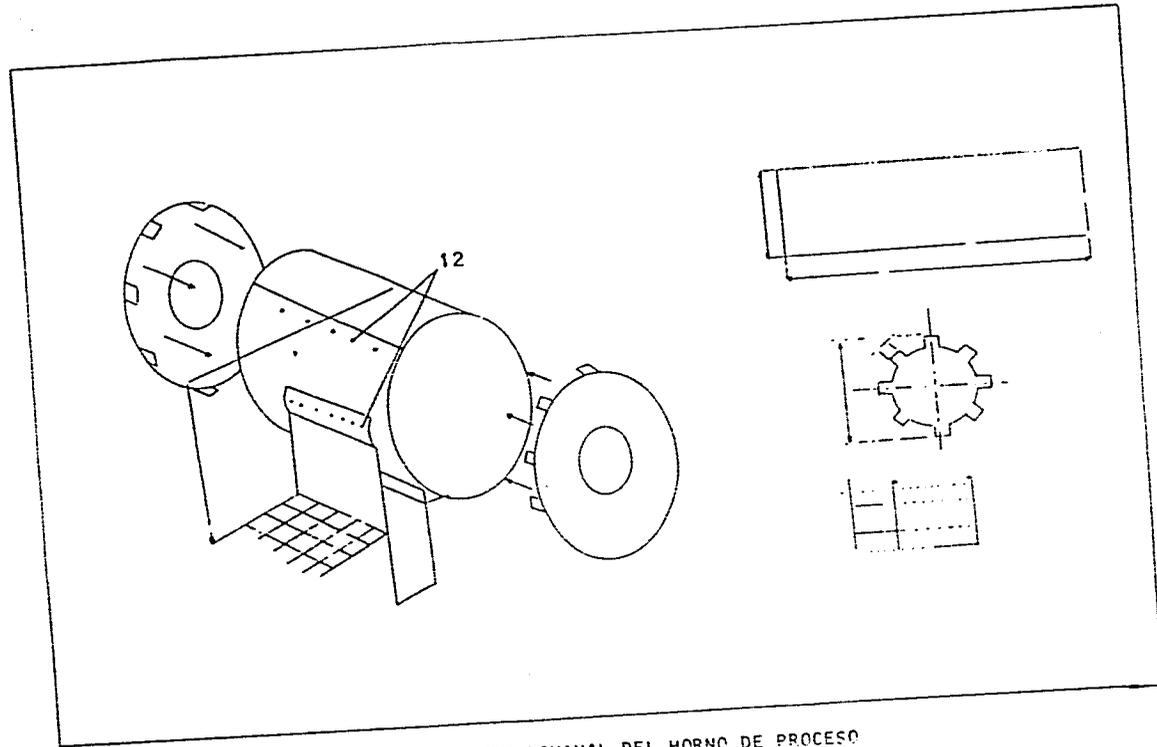


FIG. 4. ESTRUCTURA LAMINAL DEL HORNO DE PROCESO

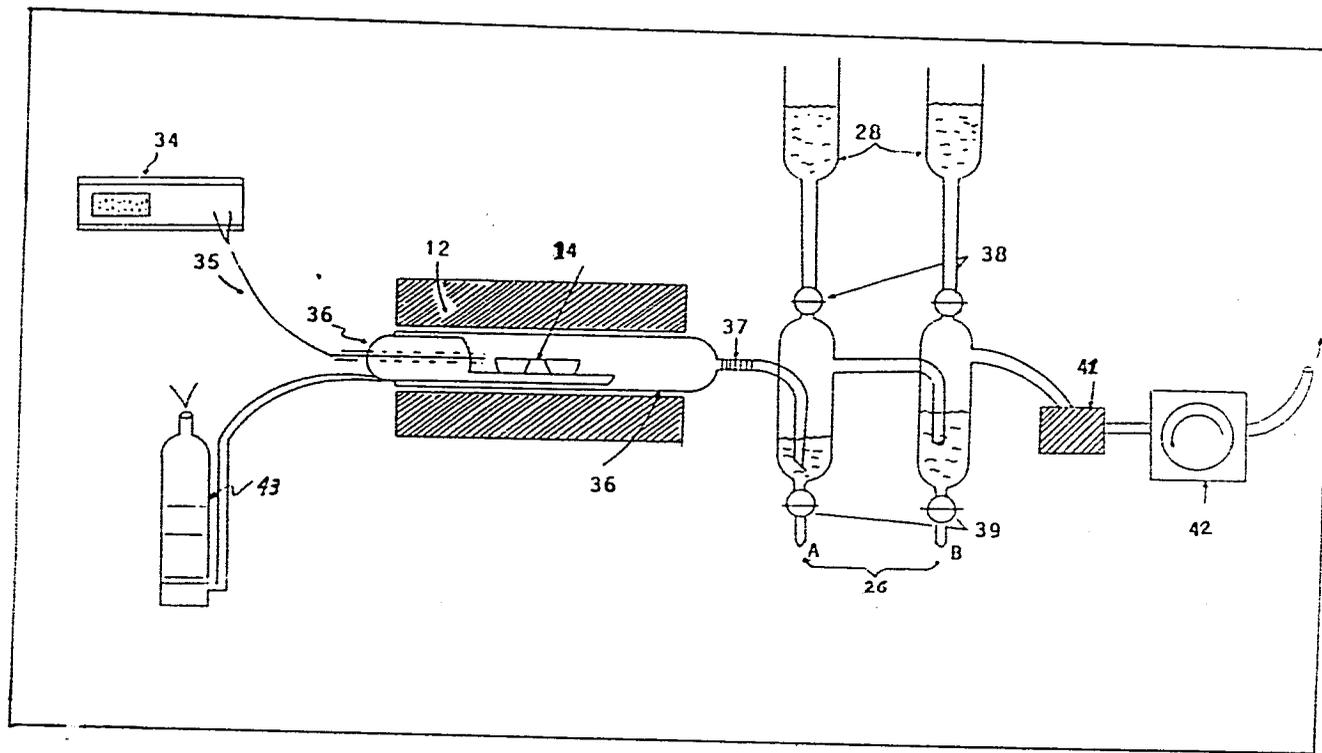


FIG. 5. SISTEMA DE DESTILACION

CAPITULO IV

PRUEBAS OPERACIONALES DEL EQUIPO DE DESTILACION DE ^{131}I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO_2

IV.1. PROCESO DE OBTENCION DE ^{131}I .

IV.1.1. ENCAPSULADO DEL TeO_2 SINTERIZADO (Fig. No. 6).

a). El sinterizado, se coloca en la cápsula de aluminio más chica y esta a su vez en la cápsula de aluminio más grande, se tapa y se recubre la tapa con resina epóxica con el fin de evitar fuga de ^{131}I durante el proceso de irradiación en el reactor nuclear.

b). PRUEBA DE FUGA:

La cápsula que contiene la muestra se introduce por 3 segundos en aire líquido, inmediatamente después se introduce en agua en ebullición. Si se observan desprendimiento de burbujas de la superficie de la cápsula,

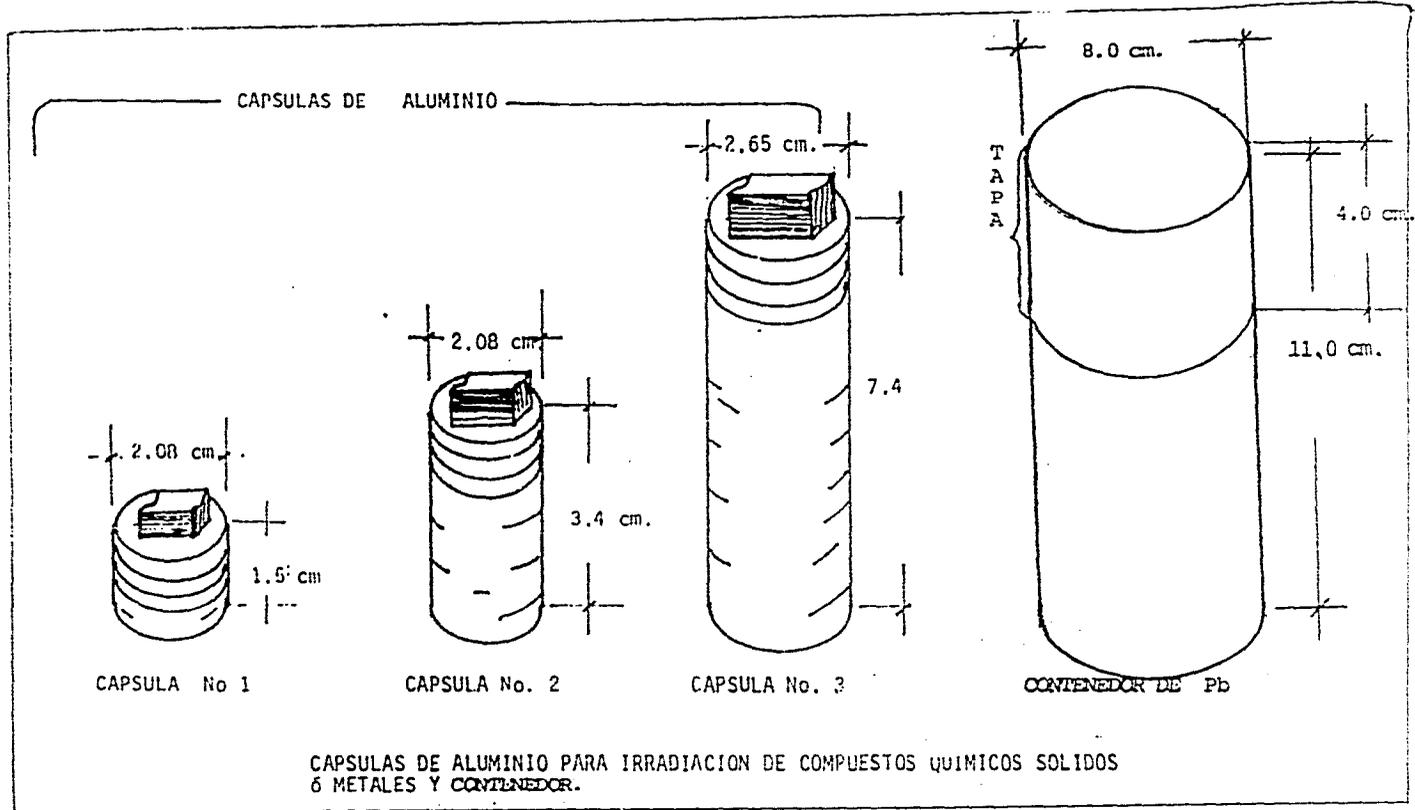


Fig. 6

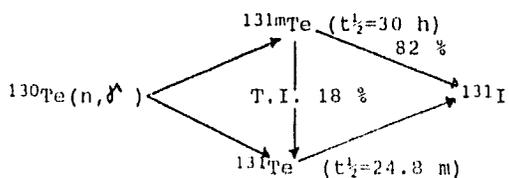
es que existen fugas en la misma, por lo que hay que cubrir mejor con resina epóxica y repetir el experimento hasta no encontrar fugas.

c). La superficie de la cápsula se limpia perfectamente con acetona para descontaminarla, sobre todo de grasas, después se introduce en una bolsa de plástico esterilizada y se manda a irradiar al reactor nuclear, tomando en cuenta el permiso de irradiación.

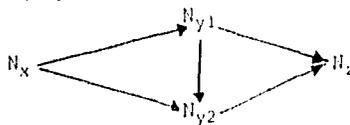
d). En la superficie de la cápsula se marca con un buril la fórmula del elemento a irradiar, fecha y número de muestra.

IV.1.2. CALCULOS MATEMATICOS DE IRRADIACION

Con el fin de predecir la actividad esperada del TeO_2 , se realizan los cálculos matemáticos, tomando en cuenta la masa a irradiar, tiempo de irradiación y flujo de neutrones. Estos datos son manejados en la ecuación matemática que resulta de la reacción nuclear de la obtención de ^{131}I a partir del Te:



Para poder desarrollar un balance de energía, esquemáticamente la reacción anterior adquiere la forma:



Donde: N_x = Número de átomos de ^{130}Te .

N_{y1} = Número de átomos de ^{131m}Te .

N_{y2} = Número de átomos de ^{131}Te .

N_z = Número de átomos de ^{131}I .

Si queremos encontrar la actividad de cada uno de estos isótopos multiplicaremos N_x , N_{y1} , N_{y2} y N_z por su constante de decaimiento respectiva (λ).

Para el desarrollo matemático de la reacción se utiliza la siguiente nomenclatura:

a = Fracción del isótopo ^{130}Te contenida en una muestra de Te normal.

M = Masa atómica del ^{130}Te = 130 g/mol.

N_x , N_{y1} , N_{y2} y N_z = Número de átomos de ^{130}Te , ^{131m}Te , ^{131}Te y ^{131}I respectivamente.

Φ = Flujo de neutrones durante la irradiación en el reactor
= n/cm²s.

λ_1 = Constante de decaimiento del ^{131m}Te = 0.0231 h⁻¹.

λ_2 = Constante de decaimiento del ^{131}Te = 1.6632 h⁻¹

λ_2 = Constante de decaimiento del ^{131}I = $3.5906 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$.

t = Tiempo de irradiación en el reactor en h.

σ_1 = Sección eficaz del ^{130}Te ($^{131\text{m}}\text{Te}$) = 0.02 barns.

σ_2 = Sección eficaz del ^{130}Te (^{131}Te) = 0.22 barns.

A_{131} = Actividad del ^{131}I en mCi.

El desarrollo matemático se divide en 4 etapas:

a). Cálculo de N_{y1} .

$$\frac{dN_{y1}}{dt} = N_x \lambda_1 \Phi - N_{y1} (\lambda_{e2} + \lambda_{18}) \quad (1)$$

$$\text{donde } A = N_x \lambda_1 \Phi \quad \lambda_1 = \lambda_{82} + \lambda_{18}$$

Resolviendo (1):

$$N_{y1} = \frac{A}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad (2)$$

b) Cálculo de N_{y2} .

$$\frac{dN_{y2}}{dt} = N_x \lambda_2 \Phi + 0.18 N_{y1} \lambda_1 - N_{y2} \lambda_2 \quad (3)$$

Resolviendo (3):

$$N_{y2} = \frac{N_x \Phi}{\lambda_2} (\sigma_2 + 0.18 \lambda_1) (1 - e^{-\lambda_2 t}) - \frac{N_x \Phi \cdot 0.18 \sigma_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (4)$$

c) Cálculo de N_z .

$$\frac{dN_z}{dt} = N_{y1} \lambda_1 0.82 + N_{y2} \lambda_2 - \lambda_z N_z \quad (5)$$

Resolviendo (5):

$$N_z = \frac{(N_{y1} \lambda_1 0.82) + (N_{y2} \lambda_2)}{\lambda_z} (1 - e^{-\lambda_z t}) \quad (6)$$

d) Sustituyendo valores de N_{y1} y N_{y2} en (6):

$$A = \left\{ \frac{1.627 \times 10^{-8}}{M} \phi a \left[0.82 \sigma_1 (1 - e^{-\lambda_1 t}) + (\sigma_2 + 0.18 \sigma_1) (1 - e^{-\lambda_2 t}) - \frac{0.18 \sigma_1 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \right] \right\} (1 - e^{-\lambda_z t}) \quad (7)$$

IV.1.3. IRRADIACION DEL TeO_2

Las muestras son irradiadas en posiciones específicas en el reactor nuclear, para esto, los operadores del reactor toman en cuenta el permiso de irradiación.

IV.1.4. TRANSPORTE Y APERTURA DEL BLANCO

a.- La muestra irradiada (blanco), es extraída de la posición de irradiación por operadores del reactor usando pinzas largas con el fin de evitar al máximo la exposición a la radiación.

b.- La cápsula es depositada en un contenedor de plomo manipulado por una grua. Posteriormente se coloca en un carro para ser trasladado a una celda caliente.

c.- La cápsula que contiene el blanco es depositada al interior de la celda caliente por la parte lateral (Fig. 7).

d.- Ya dentro de la celda se coloca la cápsula en un dispositivo equipado con una sequeta, la cual tiene la finalidad de cortar la parte inferior de la cápsula, este mecanismo se activa a través de un interruptor eléctrico, de esta forma se destapa la cápsula y se obtiene la cápsula más chica que contiene el blanco.

e.- La cápsula chica se coloca en un contenedor de plomo y se saca de la celda caliente y es trasladada a una cámara de ionización (CAPINTEC), para medir la actividad.

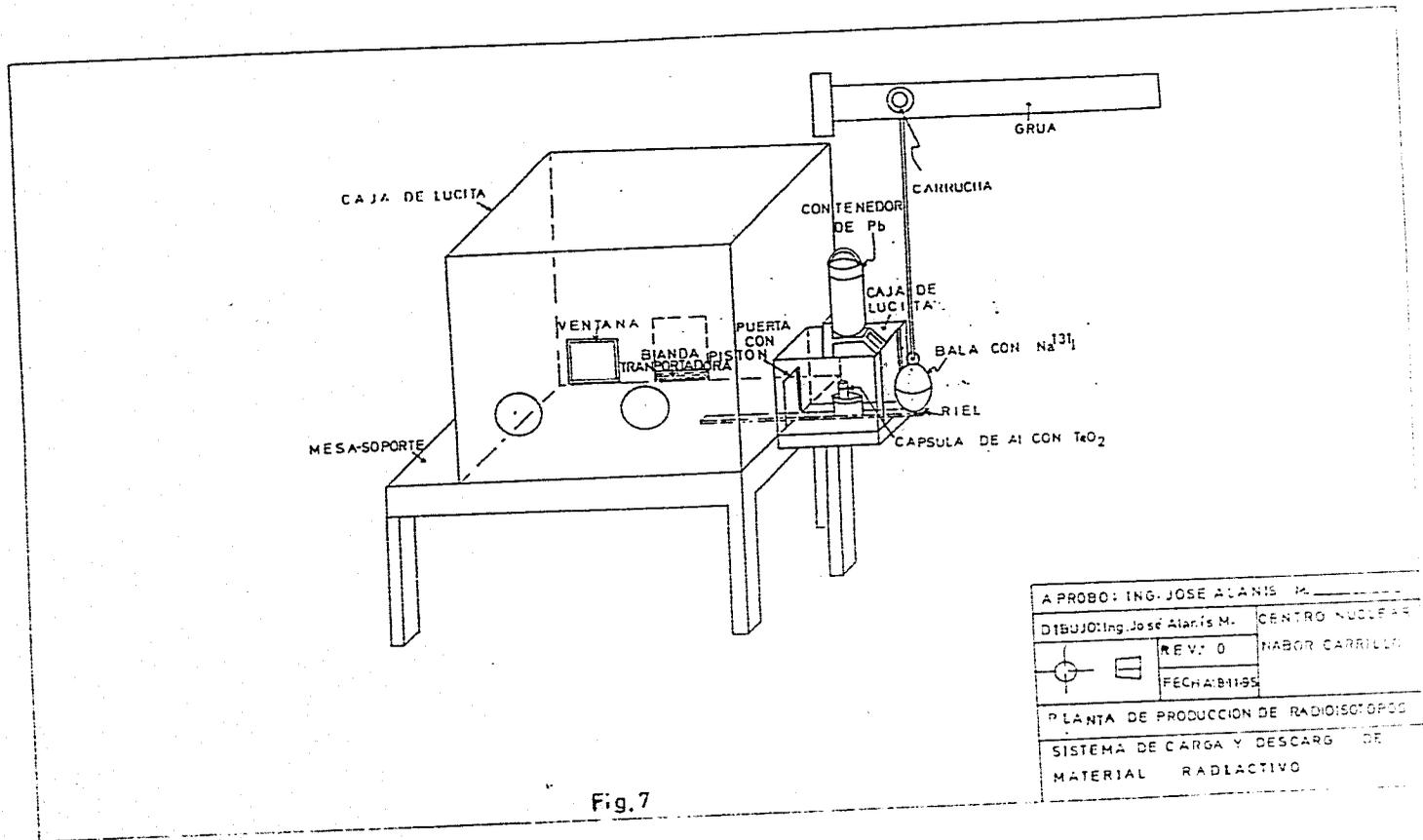


Fig.7

A PROBO: ING. JOSE ALANIS M.	
DIBUJO: Ing. José Alanís M.	
CENTRO NUCLEAR	
REV: 0	NABOR CARRILLO
FECHA: 11/1/55	
PLANTA DE PRODUCCION DE RADIOISOTOPOS	
SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DE MATERIAL RADIOACTIVO	

f.- El blanco es trasladado en su contenedor a la celda de destilación; una vez dentro de la celda, se destapa la cápsula utilizando pinzas y se coloca dentro del equipo de destilación.

IV.1.5. PROCESO DE DESTILACION DE ^{131}I .

Este proceso, se lleva a cabo en el "Equipo de Destilación de ^{131}I por Vía Seca a partir de TeO_2 ", descrito anteriormente, siguiendo las instrucciones del Capitulo III.6 y el procedimiento del Capitulo IV.2.

IV.1.6. TECNICAS DE CONTROL DE CALIDAD.

a). ANALISIS RADIOQUIMICO: Se desarrolla la técnica de Espectrometría Gamma tomando como instrumento analítico el Detector de Germanio Hiperpuro, también se lleva a cabo aplicando una cromatografía en papel. Tiene como objetivo determinar la pureza del ^{131}I con respecto a su forma química.

c). ANALISIS COLORIMETRICO: Sirve para detectar impurezas de Te en el ^{131}I en solución y/o otros elementos.

IV.2. PROCEDIMIENTO DE DESTILACION DEL ^{131}I .

a). Antes de comenzar el proceso de destilación, se verifica el buen funcionamiento del sistema de extracción de aire, el sistema de control de destilación (sistema de vacío y componentes de vidrio).

b). El blanco se coloca dentro de la cápsula de cuarzo que se encuentra dentro del horno de proceso.

c). Se proveen los recipientes receptores con las soluciones:

*- El 1º que se encuentra sujeto a la cápsula de cuarzo con NaOH .1 N.

*- El 2º con una solución amortiguadora de Na_2CO_3 0.02 M Na_2HCO_3 2.5×10^{-3} M con una relación 5-3 en volumen.

d). Se activa el horno, aumentando la temperatura con incrementos de 100°C , y así sucesivamente hasta mantenerla en la temperatura de fusión del TeO_2 .

e). El sistema de vacío es activado a partir de la temperatura de 400°C , ya que a esta temperatura comienza el desprendimiento de ^{131}I de la matriz.

f). Se activa el sistema de extracción, manteniendo una presión negativa en el interior de la celda de 0.5 cm de agua.

g). El tiempo de destilación depende de la actividad que se desee obtener tomando en cuenta la actividad original del blanco (aprox. 1:20 h. Para obtener 260 mCi)

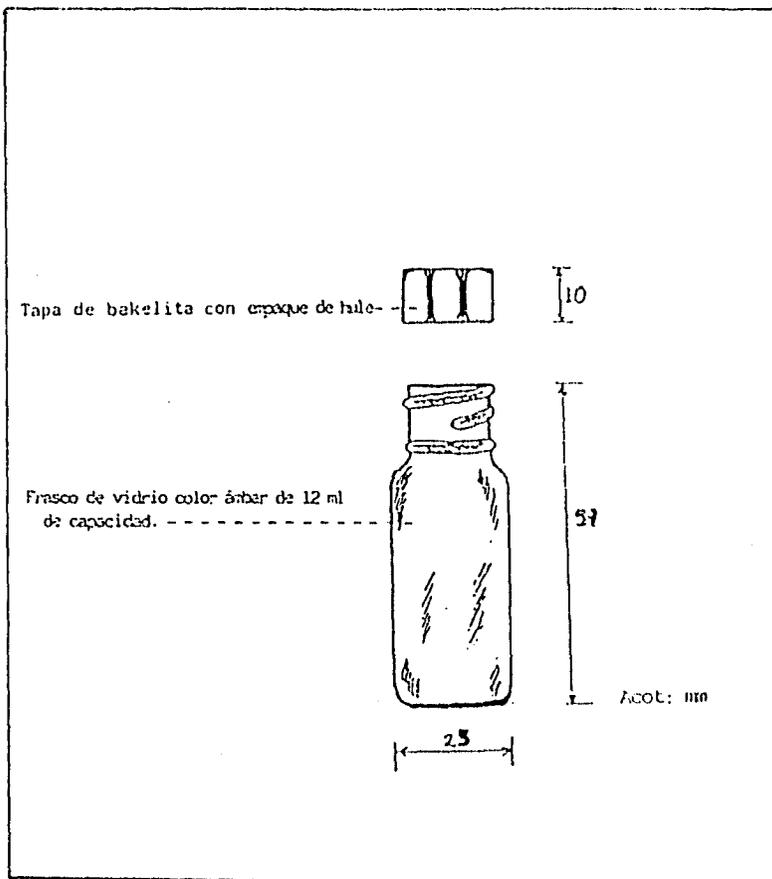
h). Terminada la destilación, se desactiva el horno, con el fin de bajar la temperatura lentamente y se desactiva el sistema de vacío pero continúa encendido por 0.5 h el sistema de extracción de aire.

i). Se procede a obtener el $\text{Na}^{131}\text{I}^-$ en solución, auxiliándose con el sistema de manipulación. El $^{131}\text{I}^-$ es recuperado en frascos de 10 ml color ambar (Fig. No. 8).

j). Cada frasco que contiene $\text{Na}^{131}\text{I}^-$ sale de la celda de producción en un contenedor de plomo y es conducido a una cámara de ionización (CAPINTEC), para medir la actividad obtenida.

k). Una pequeña cantidad de la solución que contiene $\text{Na}^{131}\text{I}^-$ destilado (aprox. 2 mCi) se manda al área de control de calidad donde se le aplican los estudios correspondientes (apartado VI.1.6.).

FIG. 8. FRASCO PARA SOLUCION DE ^{131}I



IV.3. EXPERIMENTOS.

Para demostrar la factibilidad del equipo de destilación de ^{131}I a partir de TeO_2 , se llevaron a cabo dos experimentos de irradiación bajo parámetros diferentes, dos procesos de destilación, uno para cada experimento y el análisis de pureza radioquímica también fue diferente. En cada una de las etapas de los experimentos se siguieron las técnicas de control de calidad ya mencionadas (apartado IV.2.).

IV.3.1. CONDICIONES Y PARAMETROS DE OPERACION:

EXPERIMENTO I

1. Se sinterizaron 13.75 g de TeO_2 .
2. Se encapsularon en aluminio .
3. Irradiación en el Reactor Triga Mark III por 39.35 h en forma discontinua.
4. La actividad del blanco antes del proceso de destilación es de 35.5 mCi.
5. Tiempo de destilación de 52 minutos
6. Actividad del ^{131}I destilado de 18.75 mCi.
7. Pureza radioquímica del ^{131}I es de 99.58 %

EXPERIMENTO II

A. Se prepararon 4 muestras de TeO_2 (ver VI.1.1), se irradiaron en el Reactor Triga Mark III (ININ), bajo régimen continuo. La Tabla 3 muestra los parámetros y condiciones de irradiación.

No. DE CAPSULAS	No. DE MUESTRAS	GEOMETRIA DEL SINTERIZADO.	POSICION DE IRRADIACION	MASA g	TIEMPO DE IRRADIACION h	ACTIVIDAD OBTENIDA mCi
1	1	CILINDRICO	TUBO SECO	16.5	72	102.7
	1	CILINDRICO	TUBO SECO	15.25	72	92
1	1	CILINDRICO	SIFCA	14.90	72	58.3
	1	CILINDRICO	SIFCA	16.57	72	62.4

Tabla 3

B. PROCESO DE DESTILACION DEL ^{131}I

- a. Se llevó a cabo en el equipo de destilación de ^{131}I .
- b. Se aplicó la técnica (apartado VI.4.5.)
- c. Se desarrolló el proceso de destilación
- d. La masa a destilar de TeO_2 , es la suma de las 4 muestras = 62.67 g.
- e. Tiempo de destilación = 1:20 h.

IV.4. CONTROL DE CALIDAD.

METODOS DE ANALISIS RADIOQUIMICO:

EXPERIMENTO I

A). PREPARACION DE LA MUESTRA: Se prepararon 450 ml de NaI 0.1 N, en un recipiente (marinelli, que sirve como portamuestras durante el análisis por espectrometría gamma), que permanece durante 24 horas con esta solución, con el fin de que el NaI se impregne en las paredes del recipiente.

Después de 24 h se vacía la solución, quedando listo el marinelli para depositar la solución problema ($\text{Na}^{+131}\text{I}^{-}$) (ver IV.2.k).

Se toma una muestra de $\text{Na}^{+131}\text{I}^{-}$ (menos de 5000 Bq aproximadamente, ver IV.2.k), la cual se diluye en 10 ml de agua destilada. Se toma una alícuota de tal forma que esta cantidad al diluirla en 450 ml de agua destilada nos dé una actividad de 5000 Bq. Posteriormente se aplica la técnica (ver IV.1.6.a.).

B). Se toma 1 ml de solución de $\text{Na}^{131}\text{I}^-$ (menos de 5000 Bq aprox. de ^{131}I destilado, ver IV.2.k), y se efectúa una cromatografía en capa fina con la técnica correspondiente⁵ (ver IV.1.6.b.).

EXPERIMENTO II

PREPARACION DE LA MUESTRA: Se toma una alícuota de 1 ml de solución de Na^{131}I (destilado), cuya actividad es de 8.525 mCi, se diluye a 10 ml. De esta solución se toman 20 μl y se depositan en un portamuestras (plancheta, dispositivo que sirve para colocar la muestra durante su análisis).

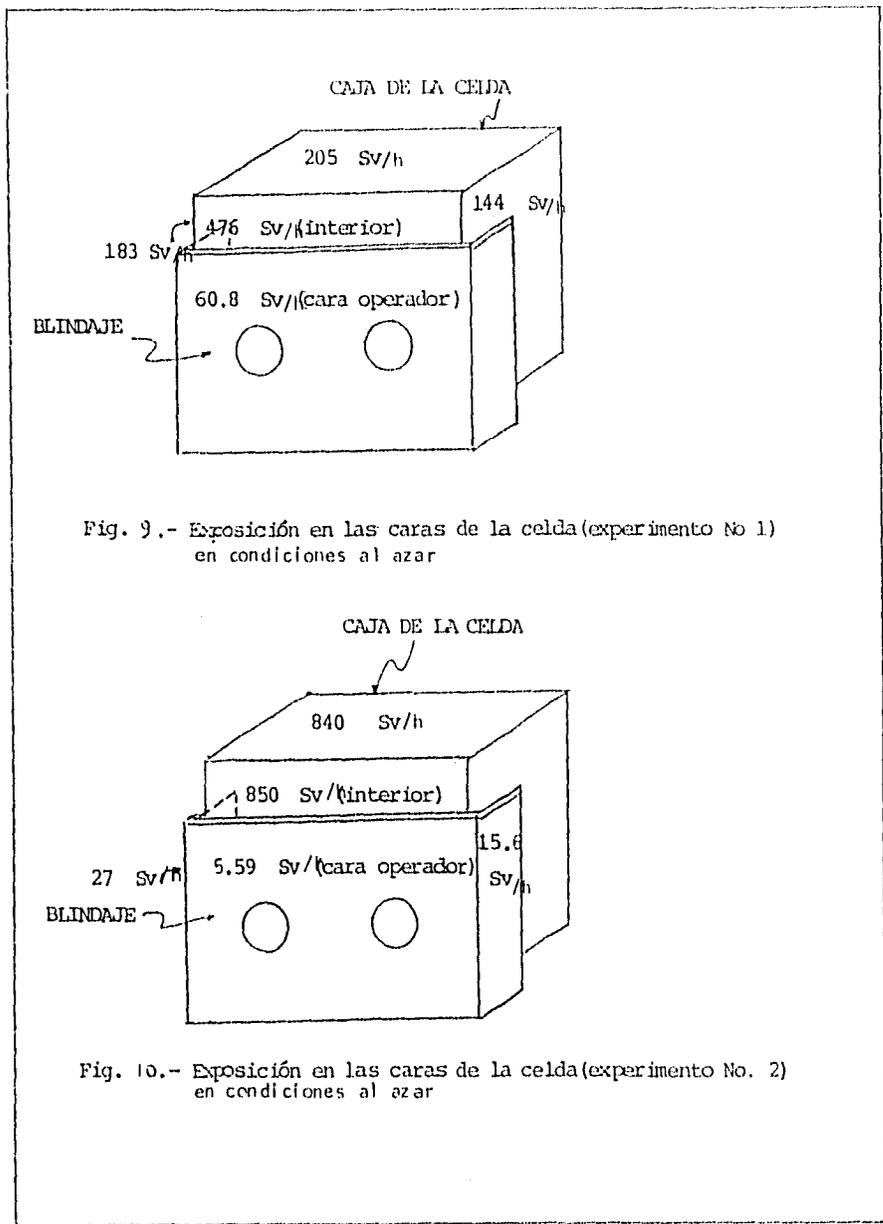
La actividad de la plancheta es de 1.7045 μCi .

La plancheta se analiza, aplicando la técnica de espectrometría gamma (ver IV.1.6.a.).

D I S C U S I O N Y R E S U L T A D O S

V.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DEL PROCESO DE DESTILACION DE
 ^{131}I

La hermeticidad de la celda es buena debido a que las juntas de las tapas están provistas de empaques de hule de 3/16" recubiertas con silicón, de esta forma, no se permite que salgan los gases al medio ambiente, además que el sistema de extracción de aire nos ayuda a mantener una presión negativa dentro de la celda. Durante los dos experimentos de destilación de ^{131}I , se tomaron lecturas de exposición con un detector (TELETECTOR), por fuera de la celda , tanto en la superficie externa del blindaje de plomo que es de 10 cm, como en la superficie externa de las paredes de la celda, dieron los siguientes resultados (Figs. 9 y 10):



V.2. SISTEMA DE EXTRACCION DE AIRE

El sistema de extracción de aire de la celda de proceso, está compuesta por:

1.- 1 filtro de aire de carbón activado (fig 5), ubicado en la alimentación de aire a la celda. Esto es con el fin de garantizar la entrada de aire limpio a la celda y también con el fin de evitar la salida de gases o vapores contaminados de la celda en caso de alguna falla del sistema de extracción de aire.

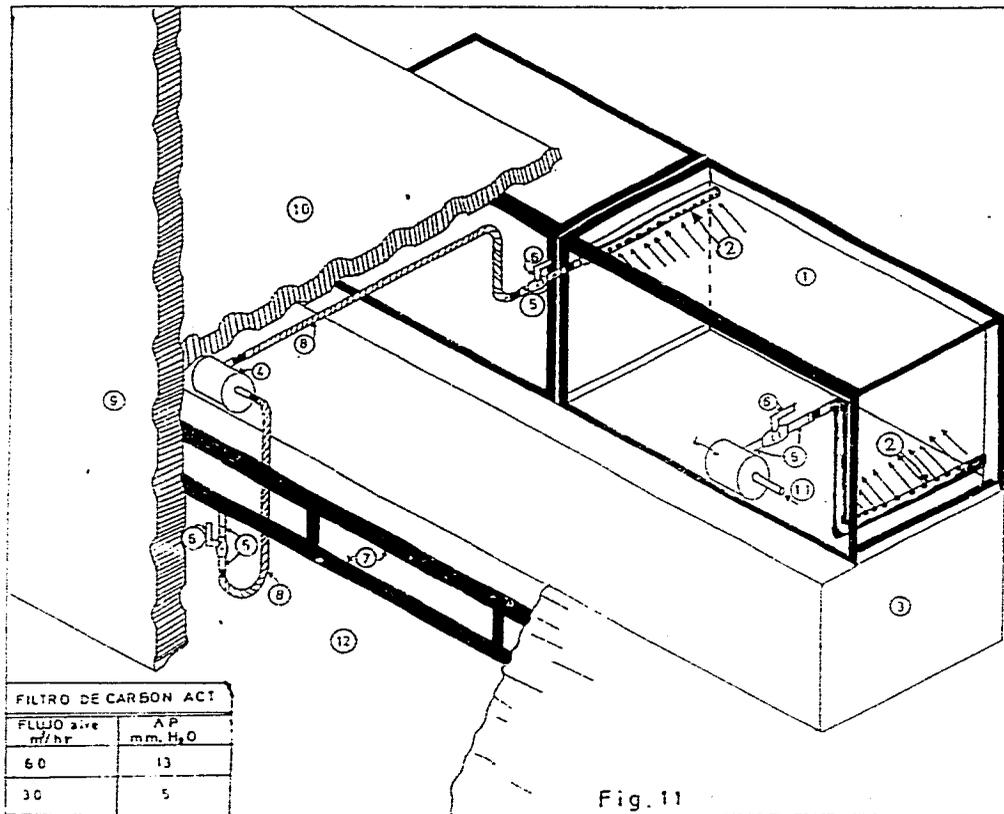
2.- 2 filtros de carbón activado (MARCA ININ), conectados a la salida de la celda, con el fin de evitar el escape de ^{131}I al medio ambiente durante el proceso de destilación (Fig.11).

3.- Un extractor de aire provisto de un filtro de carbón activado con capacidad de evacuación de 5 m^3 . Este aparato es la parte medular del sistema de extracción ya que permite desalojar los gases de la celda y además mantener una presión negativa en el interior de la misma.

Tomando en cuenta el funcionamiento del equipo descrito en el apartado anterior, se obtuvo que, durante el proceso de destilación de ^{131}I del 2º experimento, se tomaron medidas de exposición del medio ambiente dando los siguientes resultados (tabla 4):

TIEMPO h	EXPOSICION c. p. m.
0,0	150
0:30	450
1:0	700
1:20	1000

Tabla 4



FILTRO DE CARBON ACT	
FLUJO aire m ³ /hr	ΔP mm. H ₂ O
60	13
30	5

DIBUJOS: José Alanís M. CENTRO NUCLEAR

FECHA: 8-VIII-68 NABOR CARRILLO
ACQ: cm.

PLANTA DE PRODUCCION
DE RADIOISOTOPOS (IININ)

SISTEMA DE EXTRACCION DE AIRE (IININ)

① Caja de lucida de teclas
② 26 orificios de 1/2" en tubo de 2"
③ Soporte de concreto
④ Filtros de carbón activado
⑤ Niple 2" x 4" largo
⑥ Válvula de compuerta 2" x 2"
⑦ Tiro de tubería
⑧ Manguera de PVC
⑨ Muro
⑩ Techo de acero
⑪ Inyección de aire
⑫ Pasillo caliente

REVISION: 3

Fig. 11

Estos resultados, nos muestran que el sistema de extracción carece de efectividad, ya que la contaminación ambiental aumenta con el tiempo, por lo que es necesario contar con un nuevo sistema de extracción mejorado para futuros experimentos de tal forma que la contaminación ambiental sea mínima (< 500 c.p.m.), y que no aumente con el paso del tiempo.

Una vez terminada la destilación del ^{131}I , se extrajo el filtro de carbón activado que se encuentra sujeto a la entrada de la bomba de vacío (Fig. 5) y el ^{131}I atrapado durante el proceso de destilación nos marcó una exposición de 6000 c. p. m., esto, se podría mejorar si se colocara antes del filtro un receptor con una solución buffer de Na_2CO_3 y Na_2HCO_3 .

V.3. EXPERIMENTOS DE DESTILACION

En los experimentos 1 y 2, se observó que la separación de ^{131}I en forma de gas de la matriz del TeO_2 , comienza ligeramente a la temperatura de 400°C y se estabiliza la separación del ^{131}I a la temperatura de 733°C , a partir de esta temperatura se da el tiempo que se requiera para destilar, esto, depende de la cantidad de masa y actividad del TeO_2 que se toma en cuenta antes de la destilación. También cuando se llega a esta temperatura el sistema de vacío debe operar lentamente, de tal forma que la velocidad de burbujeo en el recipiente receptor de ^{131}I que contiene NaOH 0.1 N sea de 1 burbuja/s, esto permite el tiempo suficiente para que la burbuja de ^{131}I , determine el tiempo de reacción entre el ^{131}I y el NaOH para producir $\text{Na}^{131}\text{I}^-$. Manteniendo esta velocidad

de burbujeo, se garantiza que, casi el 100 % del ^{131}I que proviene del TeO_2 , sea atrapado en el primer receptor.

Los resultados de los procesos de destilación fueron (tabla 5):

No. DE EXPERIMENTO	TeO_2 g	ACTIVIDAD DE TeO_2 mCi	TIEMPO DE DESTILACION h	ACTIVIDAD DE ^{131}I DESTILADO mCi	% EFICIENCIA	VOLUMEN DEL DESTILADO (ml.)	pH
1	37.7	35.2	0:52	18.75	53.8	25	14
1	62.9	315.4	1:20	260.48	82.6	34	14

Tabla 5

NOTA: La eficiencia está en función del tiempo de destilación, de esta manera se puede alcanzar el 100 % si aumentamos el tiempo de destilación.

Haciendo un análisis preliminar del destilado, podemos observar el pH con relación al volumen. Por otro lado, el ^{131}I para ser procesado y salir al mercado, debe de ser diluido, de tal forma, que si salen al mercado 200 mCi, estos, no deben rebazar el pH de 7-9 marcado por la Farmacopea.

Lo anterior nos obliga, que para los próximos procesos de destilación el volumen de NaOH necesario para atrapar el ^{131}I , debe de ser mínima (2 a 4 ml), con el fin de facilitar la dilución y distribución de dosis de Yodo-131 con $\text{pH} < 14$.

En lo que respecta al segundo receptor que contiene una solución reguladora de Na_2CO_3 0.02 M, Na_2HCO_3 2.5×10^{-3} M con relación 5-3, este receptor, tiene la función de atrapar al posible ^{131}I que no reaccionó en el primer receptor, con el fin de evitar la fuga de ^{131}I hacia la bomba de vacío, desde luego este ^{131}I en solución no se usa en ningún proceso. Los resultados fueron (Tabla 6):

^{131}I ATRAPADO μCi	No. DE EXPERIMENTO
6	I
8	II

Tabla 6

Si comparamos estos resultados de la tabla No. 6 con la tabla No. 5, observamos que aproximadamente el 100 % del ^{131}I es atrapado en el primer receptor, por lo que considero que la cantidad de ^{131}I que se atrapa en el 2º receptor es despreciable. Por lo tanto, podemos concluir que la concentración del NaOH de 0.1 N es ideal para capturar el ^{131}I .

V.4. MODELO DE IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR TRIGA MARK III (ININ) PARA PRODUCIR ^{131}I

Son de suma importancia los datos obtenidos de la actividad de ^{131}I , porque nos sirven para deducir un modelo de irradiación en forma particular del TeO_2 para futuros experimentos, los pasos que sigue el modelo son:

- 1.-Se toma en cuenta el desarrollo del 2º experimento, ya que la irradiación del TeO_2 fue en forma continua (72 horas).
- 2.-Se emplea la ecuación matemática que gobierna el desarrollo de irradiación del TeO_2 , hasta obtener ^{131}I (Ecuación No. 7).
- 3.-De la ecuación matemática, se despeja el flujo de neutrones. Empleando la actividad obtenida del ^{131}I en las posiciones de irradiación tanto en Tubo Seco como en Sifca.
- 4.-Se calcula el nuevo flujo de neutrones. Este flujo de neutrones gobernará para futuros cálculos de irradiación, siempre y cuando se aplique la misma geometría del TeO_2 a irradiar. Los flujos de neutrones obtenidos se presentan a continuación (tabla 7).

POSICION DE IRRADIA CION	FLUJO DE NEUTRONES $n/\text{cm}^2\text{seg.}$
TUBO SECO	2.669×10^{12}
SIFCA	1.651×10^{12}

Tabla 7

Con estos flujos de neutrones, ya estamos en condiciones para irradiar cualquier cantidad de masa de TeO_2 , ya sea en Tubo Seco o en Sifca, de esta manera, obtenemos las gráficas de irradiación de TeO_2 (figs 12 y 13).

V.5. CALCULOS DE OBTENCION DE ^{131}I APLICANDO IRRADIACION CONTINUA Y DISCONTINUA

Para fines de producción rutinaria de ^{131}I , es necesario considerar ambas irradiaciones, CONTINUA y DISCONTINUA, esto es, con el fin de optimizar los parámetros de irradiación (masa de TeO_2 , tiempo de irradiación y flujo de neutrones). Las tablas (8 a 11), nos presentan una comparación de ambos tipos de irradiación.

VI.5.1. CALCULOS DE IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR (TUBO SECO).

a).- IRRADIACION CONTINUA:

TIEMPO h	ACTIVIDAD (mCi)				
	100 g	200 g	300 g	400 g	500 g
24	220	440	650	880	1090
48	440	880	1300	1760	2200
72	650	1300	1950	2600	3250

Tabla 8

b).- IRRADIACION DISCONTINUA (4 semanas):

TIEMPO h/semana	ACTIVIDAD (mCi)				
	100 g	200 g	300 g	400 g	500 g
4	412	825	1237	1650	2062
48	825	1650	2475	3300	4125
72	1300	2343.7	3515.5	4687.4	5859.1

Tabla 9

V.5.2. CALCULOS DE IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR (SIFCA).

A).- IRRADIACION CONTINUA:

TIEMPO h	ACTIVIDAD (mCi)				
	100 g	200 g	300 g	400 g	500 g
24	135	270	405	540	675
48	270	540	810	1080	1350
72	390	780	1170	1560	1950

Tabla 10

b).- IRRADIACION DISCONTINUA (4 semanas):

TIEMPO h/semana	ACTIVIDAD (mCi)				
	100 g	200 g	300 g	400 g	500 g
24	250	500	750	1000	1250
48	506.25	1012	1112	2024	2530
72	731.25	1462.5	2193.75	2925	3656.25

Tabla 11

V.6. CONTROL DE CALIDAD

VI.6.1. ANALISIS DEL Na^{131}I EN SOLUCION

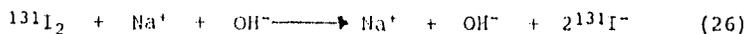
ANALISIS DE PUREZA RADIOQUIMICA.- Como se puede observar (apéndice 1), Los resultados de la pureza radioquímica del Na^{131}I en solución son muy aceptables ya que rebasa los límites de aceptación de la farmacopea para ser procesado.

En la tabla (12), se observan los resultados, en los que se muestra solamente la presencia de ^{131}I , porque en el proceso de destilación no intervienen otros elementos excepto el aire seco y además los isótopos de Te no pueden ser arrastrados a esta temperatura de destilación y en caso que fuesen arrastrados estos, no pasarían porque existe el filtro de lana de vidrio ubicado en la salida de la cápsula de cuarzo, o sea antes del primer receptor de ^{131}I , por esto en los espectros que nos reporta el detector de GERMANIO HIPERPURO (Técnica de Espectrometría Gamma), no aparecen otros isótopos.

Comentario: Creo que lo anterior se debe a:

1.- En el proceso de destilación, no intervienen otros elementos,, por lo que este proceso se considera muy limpio y por lo tanto no se producen desechos radiactivos.

2.-La reacción que se lleva a cabo en el 1^{er} receptor es:



Esta, es la única reacción que se lleva cabo, ya que el Te no reacciona con el NaOH.

TIPO DE ANALISIS	EXPERIMENTO No. 1	EXPERIMENTO No. II			
RADIOQUIMICO	99.75 % (ver apéndice 1)	99.58 %			
RADIOQUIMICO	(ver apéndice 2)	tipo de decaimiento	ENERGIA KeV	Cuentas c.p.s.	ISOTOPO
		gamma	364.5	2327	¹³¹ I
		gamma	282.22	149244	¹³¹ I
		gamma	364.98	1588269	¹³¹ I
		gamma	637.21	84888	¹³¹ I
		gamma	723.0	19690	¹³¹ I
		gamma	177.67	6418	¹³¹ I
		gamma	503.22	2525	¹³¹ I

Tabla 12

FIG. 12. IRRADIACION DE TeO_2 EN EL REACTOR TRIGA MARK III
TUBO SECO ($\Phi = 2.669 \times 10^7 \text{ n/cm}^2\text{seg}$)

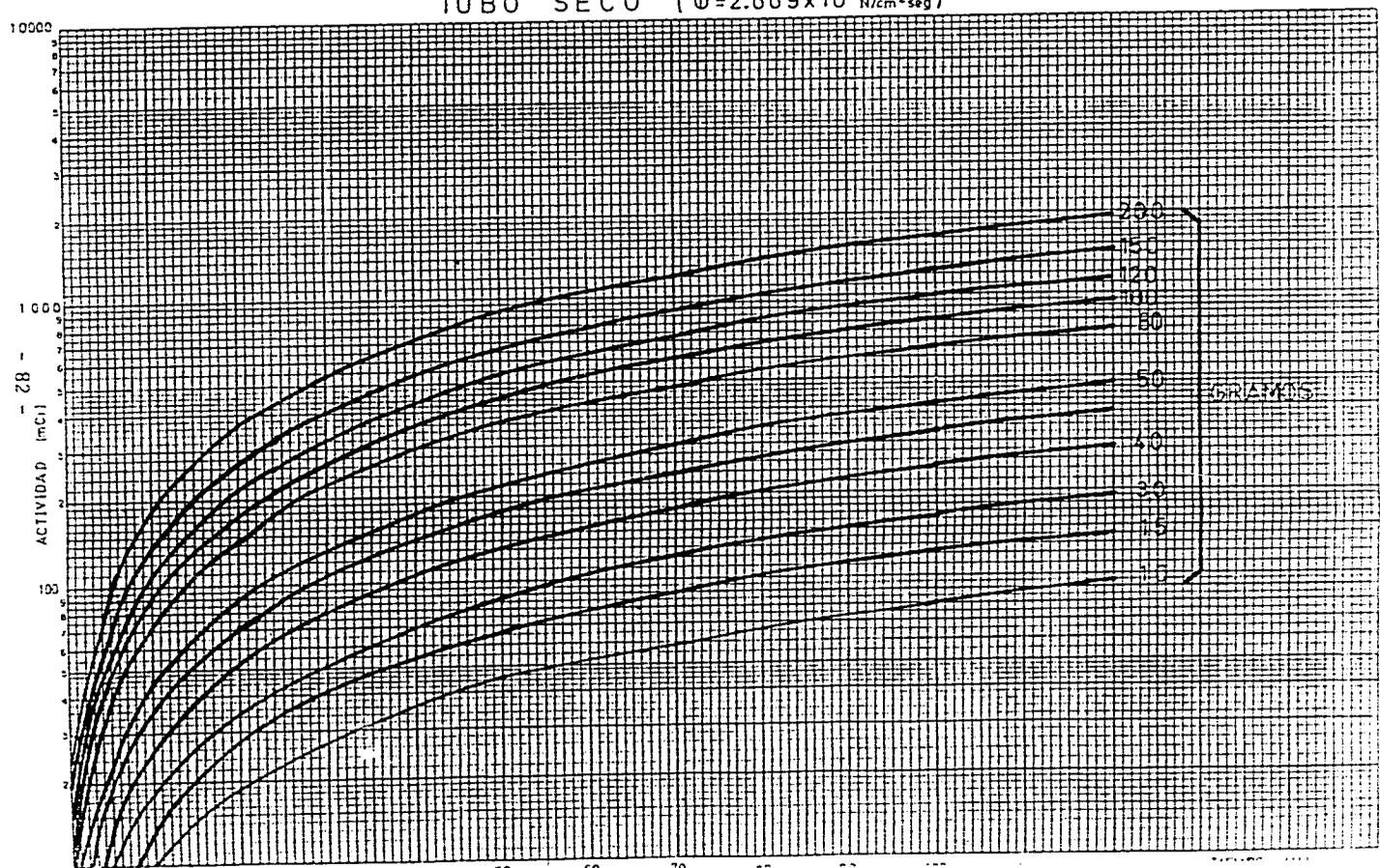
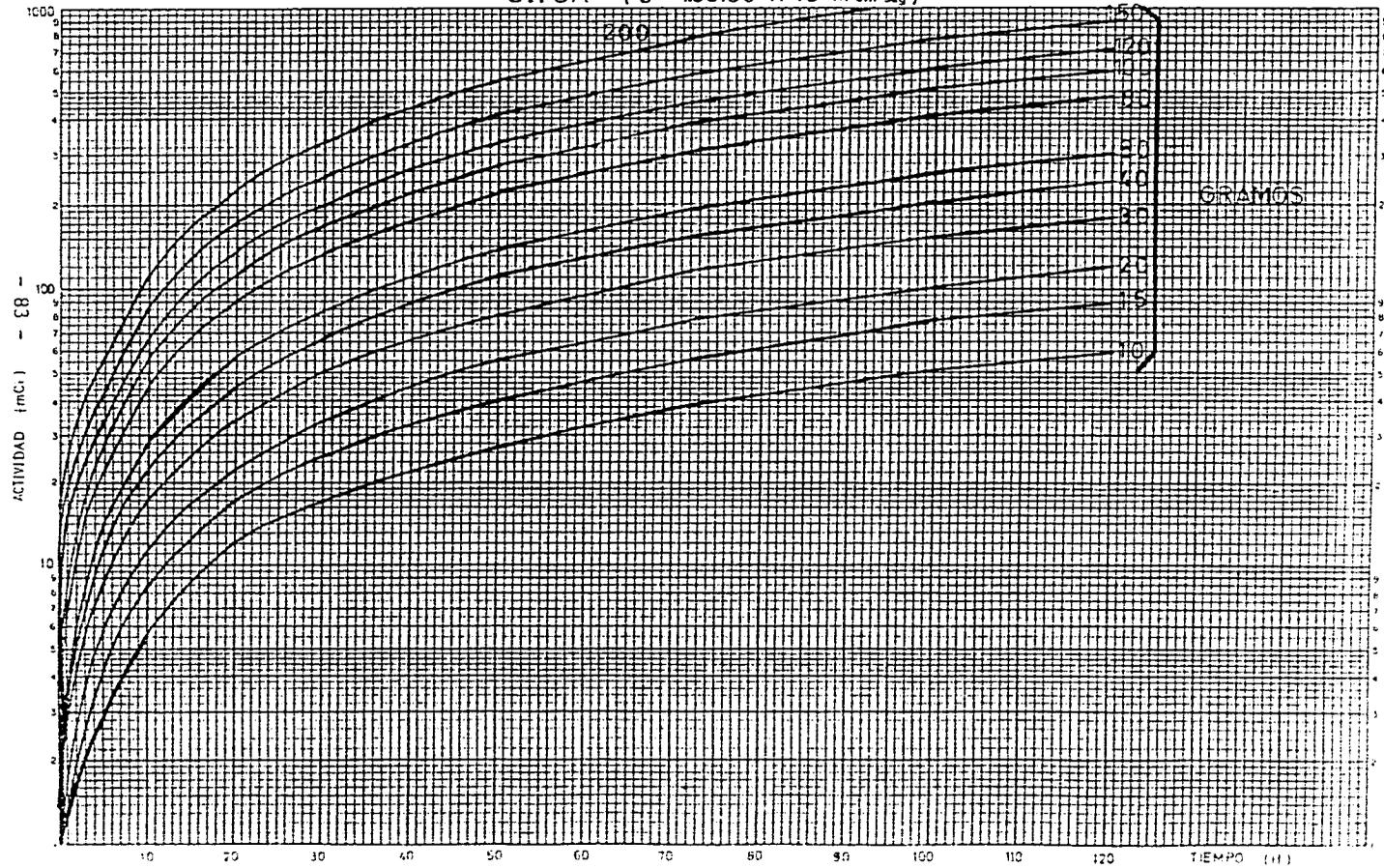


FIG. 13. IRRADIACION DE Ta^{99} EN EL REACTOR TRIGA MARK III
 SIFCA ($\phi = 1.65106 \times 10^{-7} \text{ n/cm}^2\text{-seg}$)



CAPITULO VI

CONCLUSIONES

VI.1. EQUIPO DE DESTILACION DE ^{131}I POR VIA SECA A PARTIR DE TeO_2 .

1. El equipo de destilación de ^{131}I por vía seca a partir de TeO_2 , que cuenta con un sistema de control de destilación, un sistema eléctrico y un sistema de destilación, caracterizado porque el equipo de destilación de ^{131}I por vía seca, está encerrado herméticamente en una celda, la cual, se compone de una mesa metálica que sirve de soporte a una caja de lucita provista con una entrada y una salida de aire para mantener la presión negativa interna de la caja, y una entrada y salida de aire como parte del proceso de destilación de ^{131}I ; la cara izquierda de la caja está constituida por la puerta principal de la celda; en la cara de atrás de la caja, se encuentra una ventana por donde se introducen las muestras irradiadas hacia el interior de la celda; la caja está rodeada de ladrillos de plomo por cinco de sus caras, quedando libre la cara posterior; la cara lateral izquierda puede deslizarse

a lo largo de un riel para proporcionar acceso hacia el centro de la caja de lucita; el equipo de destilación de ¹³¹I por vía seca, está colocado en una plataforma de aluminio que es deslizable por medio de balines; sobre la plataforma está sujeto el horno tubular; todos los demás componentes del equipo están colocados en soportes de aluminio sujetos a la plataforma; en la parte media superior está una primera cremallera que sujeta a una tapa esmerilada de cuarzo compuesta por un platillo, una entrada para termopar y una entrada para el aire de proceso; en la parte frontal se encuentra una segunda cremallera que sujeta al brazo manipulador; en la parte posterior de la caja, se encuentra una tercera cremallera la cual sujeta a un elevador de aluminio sobre el cual descansa la muestra de TeO₂ dentro de una charola de cuarzo.

2. El equipo de destilación de acuerdo con el punto 1, caracterizado por que las tres cremalleras son accionadas por respectivos manipuladores por medio de manguillos.

3. El equipo de destilación de acuerdo con el punto 1, caracterizado porque se proveen unos receptores de vidrio resistentes a altas temperaturas, sujetos con pinzas; en la parte superior de cada receptor se encuentra un embudo sujeto al soporte de aluminio.

4. El equipo de destilación de acuerdo con el punto 1, caracterizado por que el sistema eléctrico está compuesto de un horno eléctrico, el cual consta de un tubo de alúmina en el que se enrolla alambre nicromel de una manera especial,

de tal forma que se produzca un gradiente ascendente de temperaturas a lo largo del horno, a continuación, tiene una recubierta de material refractario y de fibra de vidrio como aislante térmico y el conjunto de estos componentes está dentro de una estructura laminar remachada de lámina de acero al carbón; del horno, se desprenden dos cables eléctricos, uno conecta con la alimentación de corriente y el otro está conectado a un controlador de temperatura del cual sale un termopar tipo K que se introduce a la tapa esmerilada de cuarzo.

5. El equipo de destilación de acuerdo con el punto 1, caracterizado porque el sistema de destilación, está compuesto por una cápsula de cuarzo que está dentro de un horno eléctrico; en su parte derecha se encuentra una boquilla en cuyo interior está sujeto un filtro de lana de vidrio; la boquilla, embona en un tren de receptores de destilado; en la parte inferior de cada receptor, está adaptada una válvula inferior de paso y en la parte superior están adaptadas válvulas superiores de paso que unen a los receptores con los embudos de alimentación; de la boquilla del receptor derecho se desprende un ducto que va a un filtro de carbón activado y que continúa hasta una bomba de vacío; en la parte izquierda de la cápsula de cuarzo, se encuentra la tapa esmerilada de cuarzo embonada, a la cual llega un ducto desde el filtro de alúmina y de carbón activado y un termopar tipo K que viene del controlador de temperatura; en el centro de la cápsula de cuarzo se encuentra la charola de cuarzo que contiene la muestra de TeO_2 irradiado.

Si se observamos detenidamente el proceso, se ve que es sencillo, en su operación, la mano de obra resulta barata ya que dos personas son suficientes para llevar a cabo este proceso a nivel industrial.

Es un proceso en el que los desechos radiactivos son mínimos y además estos son reciclables al mismo proceso.

El equipo de destilación es muy económico en lo que respecta a su construcción y mantenimiento y fácil de manejar de manera mecánica aunque se puede automatizar completamente.

El proceso de destilación de ^{131}I , se lleva a cabo en un tiempo demasiado corto comparado con otros métodos de obtención (1:30 h), es decir, si el blanco se extrae del reactor a las 9:30 h, podemos afirmar que a las 3:00 h ya ha sido destilado y pasaría al proceso de dilución para entregarse más tarde al mercado.

Otra ventaja que presenta este método, es que una vez que se encuentra el blanco irradiado dentro del equipo de destilación, el ^{131}I se encuentra atrapado en la porosidad del blanco, y este es liberado en función de la temperatura de destilación y del tiempo que se desee destilar, de tal manera que un operador puede almacenar el ^{131}I dentro del equipo de destilación y obtenerlo cuando se desee, dependiendo de la actividad almacenada.

Una vez concluido este trabajo, en base a la demostración experimental a nivel laboratorio, a nivel piloto en escala pequeña e intermedia, se puede afirmar que la obtención de ^{131}I es posible y a escala industrial. De acuerdo a resultados basados en cálculos numéricos también se puede afirmar que es factible el proceso de fabricación e irradiación de la materia prima (TeO_2), utilizando el reactor Triga Mark III para llevar a cabo este proceso.

VII

REFERENCIAS

1. Vicent Lopez-Majano, M. D.
NUCLEAR MEDICINE BASICS
CHAIRMAN-NUCLEAR MEDICINE DIV. COOK COUNTY HOSPITAL
1825 WES HARRISON STREET
CHICAGO, ILLINOIS 60612

2. José Alanis Morales
OBTENCION DE TeO_2 . INFORME TECNICO MR-RAD-03
CENTRO NUCLEAR DE MEXICO (ININ), 1991

3. Omar Palacios Gonzalez
TESIS: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE DESTILACION DE ^{131}I POR VIA SECA. Asesor: José Alanis Morales
INSTITUTO TECNOLOGICO DE TOLUCA, 1993

4. José Alanis Morales
OBTENCION DE ^{131}I POR DESTILACION SECA DE TELURIO Y/O
DIOXIDO DE TELURIO
INFORME TECNICO MR-RAD-04
CENTRO NUCLEAR DE MEXICO (ININ), 1993

5. Kirk-Othmer
MANUAL DE TECNOLOGIA QUIMICA
Edit. BOARD, 1966

6. RADIOISOTOPE PRODUCTION AN QUALITY CONTROL
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA AUTRIA, 1971

7. Aw. Feng John W. More, William Harwood
Robert B. Gayhart
DIVITION OF CHEMICAL EDUCATION OF THE AMERICAN CHEMICAL
SOCIETY
SFTWARE; VERSION 4.1 ; OCTOBER 1988

8. Chart of the Nuclides
KNOLLS ATOMIC POWER LABORATORY
GENERAL ELECTRIC COMPANY
NAVAL REACTORS, U. S. DEPARTAMENT OF ENERGY
THIRTEENTH EDITION REVISED TO JULY 1983

9. R. Correia A.E.A. Mitta
MANUAL DE CONTROLES RADIOFARMACEUTICOS
BUENOS AIRES, ARGENTINA, 1970

10. Raddecay 2.02
For The IBM PC DOS 2.1
GROVE ENGENEERING, ING.
SOFTWARE, OCTOBER, 1987

11. Juan Azorin Nieto
EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SIU) Y LAS CIENCIAS
NUCLEARES
CUADERNOS DEL INIH, 1988
12. SERIES # 1. IAEA, (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY).
SAFE HANDLING OF RADIOISOTOPES SAFETY.
VIENNA AUSTRIA, 1962.
13. TECHNICAL REPORTS SERIES.
MANUAL RADIOISOTOPE PRODUCTION.
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
VIENNA AUSTRIA, 1966
14. BRUCE F. R., MC. GRAW HILL
PROGRES IN NUCLEAR ENERGY, SERIES III. PROCESS CHEMISTRY
NEW YORK, 1956
15. GETOFF, N., PARKER., W.
SEPARATION OF RADIODIODINE FROM TELLURIUM BY MEANS OF
COLUMN CHROMATOGRAPHY.
NATURE LONDON, 1963.
16. CHIOTAN. C.
PREPARATION OF IODINE-131 WITH HIGH SPECIFIC ACTIVITY.
1961.
17. CHIEN-CHANG LIN, CHAU-TING CHANG
PREPARATION OF CARRIER-FREE ¹³¹I WITH ADSORPTION METHOD.

HIPPOH, 1963

18. JACQUELINE BEYDON. CONSTANCIA PAGANO GONCALVES DA SILVA
PRODUCTION DE L'IODE PAR VOIE A PARTIR DE TELLURE
ELEMENTAIRE IRRADIE A LA PILE, PAR ANDRE BRADY
CENTRED'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY, FRANCIA, 1967

19. Antonio Ponce M.
PUBLICACION DE DIFUSION: EL REACTOR TRIGA MARK III DEL
CENTRO NUCLEAR DE MEXICO.
CENTRO NUCLEAR DE MEXICO (ININ), 1980

20. JOSE A. BABOR- JOSE IBARZ AZNAREZ
QUIMICA GENERAL MODERNA
EDIT. NACIONAL. NOVENA EDICION, 1978

21. EDWARDS-PENNEY
ECUACIONES DIFERENCIALES ELEMENTALES.
EDIT. PRENTICE-HALL, 1979

22. A. GUIDEBOOK
MEASUREMENT OF RADIONUCLIDES IN FOOD AND THE ENVIRONMENT
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA AUSTRIA, 1989.

23. G. W. LEDDICOTTE
THE RADIOCHEMISTRY OF TELLURIUM
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES U. S. ATOMIC ENERGY COMMIS-
SION WASHINGTON 25 D. C. 1961

CAPITULO VIII

APENDICE



Fecha: 10 de febrero de 1994
REPT. ZPE DEL 001/94
BOMIA 1/1994

instituto nacional de investigaciones nucleares

CERTIFICADO DE ANALISIS RADIOACTIVO

DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE: GERENCIA DE SERVICIOS TECNICOS NUCLEARES, PFI
A LA ATENCION DE: ING. JOSE ALANIS MORALES
DEPTO. DE MATERIALES RADIOACTIVOS
UBICACION: EDIFICIO DEL REACTOR
TEL. EXT.: 1088 CODIGO POSTAL: _____ ENTIDAD: _____

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE MUESTRA: NAI-1-131 (0.45 l de muestra)
NUMERO DE IDENTIFICACION: MUESTRA PREPARADA EL 10-FEB-94
ISOTOPO BUSCADO: RADIOISOTOPOS EMITENTES GAMMA

REPORTE DE ANALISIS

TIPO: CUANTITATIVO
METODO: ESPECTROMETRIA GAMMA
EQUIPO UTILIZADO: ESPECTROMETRO 1
RESULTADO: I-131: 7172.8 CBq/l ± 0.0%
Te-131: INFERIOR A 4.4 CBq/l

Esperanza
QUIM. ESPERANZA QUINTERO PONCE
LABORATORIO DE VIGILANCIA
RADIOLÓGICA AMBIENTAL

Arturo
P.A. DR. ARTURO LORANDINI
GERENTE DE SEGURIDAD
RADIOLÓGICA

PANEJICE 3. ANALISIS DE PUREZA RADIOQUIMICA

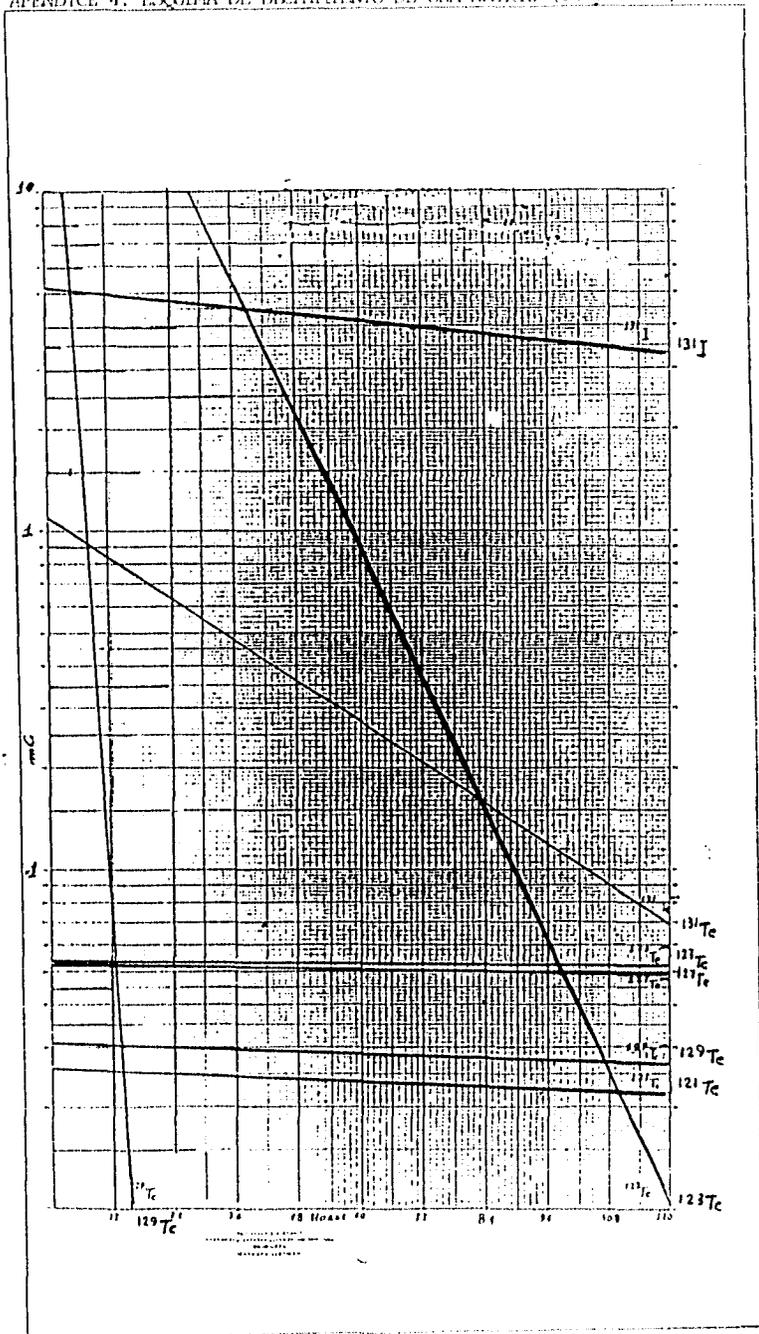
Feb 24 1994 12:26:34 am Elt: 01800 Seconds
 ID: 1000-131
 Memory Size: 8192 Chls Conversion Gain: 2048 Adc Offset: 0000 Chls

Calibration:

#	Channel	Energy
01	30.49 CHL	70.84 keV
02	478.06 CHL	511.00 keV
03	630.93 CHL	662.00 keV
04	1252.56 CHL	1274.50 keV

ROI:01	Beq: 0028 Chn	68.35 keV	End: 0037 Chn	77.20 keV
	Ctrd: 0.00 Chn	364.98 keV		
	Fwhm: 2.42 Chn	2.33 keV		
	Gross Integral:	160129 cts	Net Integral:	2327 cts
ROI:02	Beq: 0039 Chn	79.17 keV	End: 0056 Chn	95.89 keV
	Ctrd: 0.00 Chn	364.98 keV		
	Fwhm: 2.42 Chn	2.33 keV		
	Gross Integral:	304794 cts	Net Integral:	-9561 cts
ROI:03	Beq: 0102 Chn	141.14 keV	End: 0131 Chn	169.67 keV
	Ctrd: 114.91 Chn	153.84 keV		
	Fwhm: 12.24 Chn	12.04 keV		
	Gross Integral:	347726 cts	Net Integral:	36826 cts
ROI:04	Beq: 0133 Chn	171.64 keV	End: 0148 Chn	186.39 keV
	Ctrd: 139.14 Chn	177.67 keV		
	Fwhm: 1.71 Chn	1.69 keV		
	Gross Integral:	239517 cts	Net Integral:	6418 cts
ROI:05	Beq: 0163 Chn	201.15 keV	End: 0193 Chn	230.67 keV
	Ctrd: 171.52 Chn	209.54 keV		
	Fwhm: 11.37 Chn	11.18 keV		
	Gross Integral:	406789 cts	Net Integral:	15027 cts
ROI:06	Beq: 0239 Chn	275.93 keV	End: 0258 Chn	294.63 keV
	Ctrd: 248.03 Chn	284.82 keV		
	Fwhm: 2.00 Chn	1.97 keV		
	Gross Integral:	249117 cts	Net Integral:	149284 cts
ROI:07	Beq: 0284 Chn	320.21 keV	End: 0300 Chn	335.96 keV
	Ctrd: 290.04 Chn	326.16 keV		
	Fwhm: 1.74 Chn	1.71 keV		
	Gross Integral:	72050 cts	Net Integral:	3707 cts
ROI:08	Beq: 0321 Chn	366.53 keV	End: 0338 Chn	373.58 keV
	Ctrd: 329.48 Chn	364.98 keV		
	Fwhm: 2.41 Chn	2.37 keV		
	Gross Integral:	1648383 cts	Net Integral:	1588269 cts
ROI:09	Beq: 0460 Chn	493.46 keV	End: 0475 Chn	508.23 keV
	Ctrd: 469.99 Chn	503.29 keV		
	Fwhm: 1.80 Chn	1.77 keV		
	Gross Integral:	15421 cts	Net Integral:	2525 cts
ROI:10	Beq: 0477 Chn	510.20 keV	End: 0480 Chn	513.15 keV
	Ctrd: 0.00 Chn	503.29 keV		
	Fwhm: 1.80 Chn	1.77 keV		
	Gross Integral:	2581 cts	Net Integral:	-139 cts
ROI:11	Beq: 0596 Chn	627.58 keV	End: 0616 Chn	647.08 keV
	Ctrd: 605.98 Chn	627.21 keV		
	Fwhm: 2.41 Chn	2.37 keV		
	Gross Integral:	69851 cts	Net Integral:	84858 cts
ROI:12	Beq: 0687 Chn	713.07 keV	End: 0703 Chn	732.78 keV
	Ctrd: 693.07 Chn	723.00 keV		
	Fwhm: 2.53 Chn	2.49 keV		
	Gross Integral:	22101 cts	Net Integral:	12690 cts
ROI:13	Beq: 1452 Chn	1451.56 keV	End: 1451 Chn	1470.31 keV
	Ctrd: 1441.43 Chn	1460.26 keV		
	Fwhm: 3.06 Chn	3.01 keV		
	Gross Integral:	650 cts	Net Integral:	560 cts

APENDICE 4. ESQUEMA DE DECAIMIENTO DE UNA MATRIZ (Te y I-131)



COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.

A continuación se dan las composiciones químicas aproximadas de las partes del prototipo de composición más específica o dudosa.

El acero AISI 410 usado para construir los engranes se compone de un 11.5 a un 13.5% de Cromo, un 0.15% de Carbono un 1% de Manganeso, un 0.04% de Fósforo y un 0.03% de Silicio, por lo que podemos clasificarlo como un acero inoxidable.

Para el caso de los manipuladores y del perfil PTR la composición química aproximada es de 0.15 a 0.20 de Carbono, 0.6 a 0.9 de Magnesio, 0.04 de fósforo y 0.050 de Silicio.

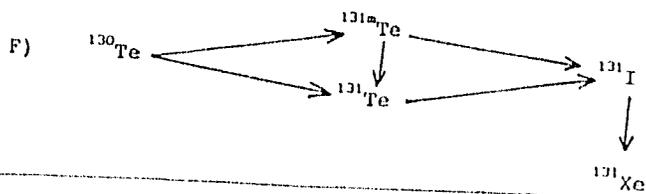
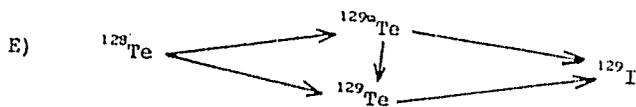
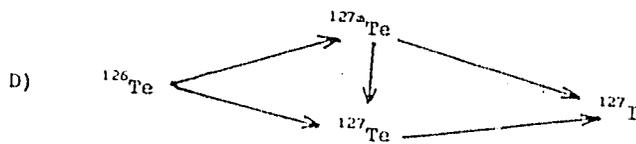
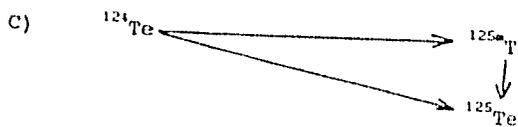
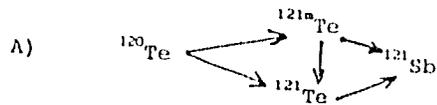
Para el caso de los materiales de Bronce y Laton pueden considererse las composiciones clásicas de los contenidos porcentuales de cobre, como componente principal y de Estaño y Zinc respectivamente.

Las composiciones de los aluminios empleadas varían de acuerdo a la serie comercial empleada, las cuales son la serie 3000, 3105, y 6463, las cuales varían en los contenidos de Magnesio, Manganeso y Silicio en porcentajes menores al uno por ciento, por lo cual no repercutirán en ningún caso significativamente en el comportamiento mecánico ni fisicoquímico.

APENDICE 6, COMPOSICION ISOTOPICA DEL TELURIO (Te)^B

ISOTOPO ESTABLE	ABUNDANCIA (%)
¹²⁰ Te	0.095
¹²² Te	2.60
¹²³ Te	0.908
¹²⁴ Te	4.816
¹²⁵ Te	7.14
¹²⁶ Te	18.95
¹²⁸ Te	31.69
¹³⁰ Te	33.80

APENDICE 7. REACCIONES DE DECAIMIENTO DE ISOTOPOS DEL TELURO



APENDICE 8. PROPIEDADES NUCLEARES DEL I-131⁶

IODINE-131

NUCLEAR DATA

1. NUCLEAR PROPERTIES

1.1. Half-life

8.05 d [1]

Recent values: 8.073 ± 0.008 d [2]

8.070 ± 0.009 d [3]

1.2. Type of decay, and energy (MeV) [1]

beta (β^-)	0.25 (1.6%)	gamma	0.080 (5.0%) γ IC (e_K/γ 1.7)
	0.33 (6.9%)		0.177 (0.2%) γ
	0.47 (0.5%)		0.284 (5.0%) γ
	0.508 (90.4%)		0.325 (0.2%) γ
	0.81 (0.6%)		0.364 (85.5%) γ
			0.503 (0.3%) γ
			0.637 (6.9%) γ
			0.723 (1.6%) γ
			0.164 (0.6%) (e_K/γ 29)
			via 11.8 d $^{131}\text{Xe}^m$

1.3. Decay scheme [1]

