



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

F. E. S. ZARAGOZA



**“OPTIMIZACIÓN DE DISPOSITIVO PARA SEPARACIÓN DE  
RADIOLANTÁNIDOS (DISER)”**

T E S I S

Que para obtener el título de Ingeniero Químico

P R E S E N T A

VERA TREVIÑO ANA LUISA

MÉXICO, D. F.

2009.



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.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme el privilegio  
Mas grande de la vida... mi hija  
Ya que ella me ha dado las  
Fuerzas necesarias para salir adelante  
**Gracias Roxana.**

A mis **Padres** por su  
apoyo incondicional y  
por la paciencia que me  
otorgaron. **Gracias**

A mis **Hermanos**, por su  
Gran ayuda, por estar a mí  
Lado en las buenas y en las malas  
Y por que en la etapa más difícil  
De mi vida siempre estuvieron allí.  
**Gracias Fernando y Estephani.**

A mi asesora, por ser además  
de eso mi amiga, gracias le doy por  
todo el apoyo que me dio en todos  
los aspectos de lo largo de mi  
camino al realizar esta tesis.  
**Gracias Dra. Fabiola Monroy**

Al **conacyt** por el apoyo económico  
que me brindo durante mi estancia  
en el ININ y durante la elaboración del  
presente ejemplar. Gracias.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares**  
Por todo el apoyo económico  
y profesional, por apoyarme en  
sus diferentes áreas como el reactor  
y talleres generales. Muchas Gracias a todos.

# ÍNDICE

CAPITULO	TEMA	PÁG.
	INTRODUCCIÓN	1
	RESUMEN	2
	OBJETIVOS	3
1.	<b>ANTECEDENTES</b>	4
1.1.	Radiactividad	4
1.2.	Unidades utilizadas para medir la radiactividad	5
1.3.	Decaimiento radiactivo	6
1.4.	Detectores de radiación	8
1.5.	La cromatografía	11
1.6.	Los lantánidos o lantanoideos y sus aplicaciones	12
1.7.	Uso de los radionúclidos en la medicina	14
2	<b>DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO DE SEPARACIÓN DE RADIOLANTANIDOS (DISER)</b>	15
2.1.	Metodología general de separación y purificación de los radiolantánidos: $^{151}\text{Nd}/^{151}\text{Pm}$ , $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ , $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$ e $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ .	15
2.2.	Dispositivo de Separación de Radiolantánidos: DISER	18
2.3.	Blindaje de plomo	57
3	<b>FUNCIONAMIENTO DEL DISER</b>	
3.1.	Irradiación de lantánidos	62
3.2.	Preparación previa del DISER para la producción de radiolantánidos	65

3.3.	Procedimiento de obtención radiolantánidos en el DISER	70
4	<b>OPTIMIZACIÓN DEL DISESR</b>	
4.1.	Pruebas en frío en el DISER	82
4.2.	Pruebas con material radiactivo	92
	<b>CONCLUSIÓN</b>	95
	<b>REFERENCIAS</b>	98
	<b>ANEXO</b>	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

- 1.1 Poder de penetración en la materia de las distintas emisiones radiactivas.
- 1.2 Decaimiento exponencial de los núcleos.
- 1.3 Curva de decaimiento del  $C^{14}$ .
- 1.4 Cadena de decaimiento del  $U^{238}$ .
- 1.5 Monitor de radiación portátil.
- 1.6 Detector de Silicio – Litio y Germanio.
  
- 2.1. Metodología de producción de los Radiolantánidos Nd/Pm, Gd/Tb, Dy/Ho e Yb/Lu.
- 2.2. Mesa soporte del DISER.
- 2.3. Celda Caliente.
- 2.4. Ubicación de los marcos en costado derecho.
- 2.5. Pared frontal de la celda del DISER.
- 2.6. Compuerta de la pared lateral derecha del DISER y broches de seguridad.
- 2.7. Pared trasera de la celda.
- 2.8. Sistema de extracción dentro del DISER.
- 2.9. Filtro de carbón activado conectado al DISER.
- 2.10. Accesorios empleados en el sistema de aire.
- 2.11. Base del sistema que inyecta al carrusel principal.
- 2.12. Dirección de la manguera de inyección de aire.
- 2.13. Componentes fijos a la pared superior de la celda del DISER.
- 2.14. Portavasos mediano.
- 2.15. Charola para vasos de precipitados de 25 mL antes de ser montado a la pared superior de la celda.
- 2.16. Portavasos chico de 50 y 25 mL antes de ser montado dentro de la celda.
- 2.17. Montaje de los portavasos en la pared superior de la celda y charola para vasos de precipitados de 50 mL.
- 2.18. Charola de vasos de precipitados de 25 mL.
- 2.19. Base de la pipeta Pasteur colocada en la pared superior del dispositivo.
- 2.20. Vista aérea de la colocación de la base de la pipeta Pasteur en la pared superior.
- 2.21. Base de entrada de reactivos.
- 2.22. Montaje de la base de entrada de reactivos en la pared superior de la celda.
- 2.23. Embudo.
- 2.24. Adaptador de vidrio para la entrada de reactivos y dirección del adaptador hacia la columna cromatográfica.

- 2.25. Sujetador de acrílico y adaptador de vidrio.
  - 2.26. Pared lateral derecha de la celda.
  - 2.27. Base de portacolumnas cromatográficas.
  - 2.28. Columna cromatográfica y válvula.
  - 2.29. Chaquetas.
  - 2.30. Base de la celda del DISER mostrando componentes.
  - 2.31. Carrusel principal de separación.
  - 2.32. Parte inferior y lateral del rodamiento colocado en el carrusel principal.
  - 2.33. Varilla colocada en el carrusel principal.
  - 2.34. Base del carrusel principal.
  - 2.35. Semiplato A.
  - 2.36. Semiplato B.
  - 2.37. Semiplato C.
  - 2.38. Colocación de los semiplatos en el carrusel principal.
  - 2.39. Ensamble de semiplatos principales en el carrusel principal.
  - 2.40. Porta columnas fijada en la varilla del carrusel principal.
  - 2.41. Sistema de apertura de ampolletas.
  - 2.42. Base del sistema de apertura.
  - 2.43. Ejes de desplazamiento y soportes de ampolleta de cuarzo radiactiva y frasco de solución.
  - 2.44. Cortador de ampolletas.
  - 2.45. Tabiques de plomo pintados con pintura automotiva blanca.
  - 2.46. Pared frontal de blindaje.
  - 2.47. Fabricación de los bloques de plomo en el ININ.
  - 2.48. Pared lateral izquierda de plomo.
  - 2.49. Guantes de neopreno colocados fuera y dentro de la celda caliente.
- 
- 3.1 Ampolletas para irradiación de blancos.
  - 3.2 Preparación de la resina de la columna cromatográfica.
  - 3.3 Columna cromatográfica de separación.
  - 3.4 Columna de recuperación.
  - 3.5 Columnas cromatográficas montadas en el carrusel principal.
  - 3.6 Montaje de vasos de precipitados en el carrusel principal.
  - 3.7 Diagrama de flujo de producción de los pares Gd/Tb, Dy/Ho, Nd/Pm e Yb/Lu.
  - 3.8 Giro de carrusel de derecha a izquierda.
  - 3.9 Acceso del material radioactivo al DISER.
  - 3.10 Apertura de la ampolleta de cuarzo.
  - 3.11 Toma de solución de  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L del frasco con ayuda de la pipeta pasteur.
  - 3.12 Disolución del nitrato radiactivo con  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L.
  - 3.13 Introducción de la solución radioactiva a la columna de separación.

- 3.14 Apertura del embudo para ingresar la solución de la columna de separación.
  - 3.15 Solución recuperada en el vaso No.1.
  - 3.16 Recolección del radio isótopo padre en el vaso de precipitado No.2.
  - 3.17 Vaso de precipitado No.3 el cual contiene el radio isótopo hijo.
  - 3.18 Precipitación de  $^{161}\text{Tb}$  adicionado NaOH a la solución de nitratos.
  - 3.19 Adición de la mezcla de neutralización a la columna de recuperación.
  - 3.20 Columna cromatográfica abierta al dejar programa con HCl.
- 
- 4.1 Figuras del aire de la pared lateral derecha y compuesta de acceso de material radioactivo.
  - 4.2 Modificaciones a pared lateral derecha y compuerta con cambio de empaque y espesor.
  - 4.3 Integración de broches y empaque rectangular colocados en la pared lateral derecha.
  - 4.4 Sistema de entrada de radioactivos.
  - 4.5 Colocación de la columna cromatográfica dentro de la barra de sujeción de columnas del carrusel principal.
  - 4.6 Barra de sujeción de columnas.
  - 4.7 Sistema de entrada de reactivos inmovilizada.
  - 4.8 Sujetador de acrílico para sujetar el adaptador del vidrio.
  - 4.9 Barra de sujeción de columnas cromatográficas con tornillos de cabeza rectangular de acrílico.
  - 4.10 Alineación de sistema de entrada de reactivos, columna cromatográfica y frasco.
  - 4.11 Sistema cortador de ampollas antes de las modificaciones.
  - 4.12 Sistema cortador de ampollas modificado.

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>PAG</b>
1.1. Configuraciones electrónicas desde lantano hasta lutecio.	13
2.1. Condiciones de separación de los pares $^{151}\text{Nd}/^{151}\text{Pm}$ , $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ , $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$ y $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ .	16
3.1. Radioisótopos producidos por la irradiación de los nitratos de: Nd, Gd, Dy e Yb y sus vidas medias.	64
3.2. Volúmenes preparados para cada proceso de separación.	69
3.3. Concentraciones y volúmenes de los procesos de separación de radiolantánidos.	79
4.1. Síntesis de volúmenes y concentraciones empleadas en cada proceso.	91
4.2. Tiempo y porcentaje de pureza de cada proceso.	93

## INDICE DE PLANOS

001-A	Ubicación general de los componentes del DISER.
002-A	Mesa base de la celda.
002-B	Mesa del DISER Vista aérea.
003-A	Pared frontal de la celda.
004-A	Pared lateral derecha.
004-B	Compuerta de acceso de material radiactivo.
005-A	Pared trasera de la celda.
005-B	Sistema de extracción.
005-C	Sistema de aire.
006-A	Pared superior de la celda.
006-B	Porta vasos de precipitados mediano.
006-C	Porta vasos de precipitados chico.
006-D	Base porta pipeta Pasteur.
006-E	Sistema de entrada de reactivos.
006-F	Base del sujetador del adaptador de vidrio.
006-G	Sistema general de entrada de soluciones.
007-A	Pared izquierda de la celda.
007-B	Base para columnas cromatográficas.
007-C	Columnas cromatográficas.
008-A	Base de la celda.
008-B	Carrusel principal.
008-C	Broches de seguridad.
008-D	Semiplato A.
008-E	Semiplato B.
008-F	Semiplato C.
008-G	Soporte de semiplatos móviles.
008-H	Porta columnas.
008-I	Soporte de porta columnas.
008-J	Sujetadores para carrusel principal.
008-K	Sistema de apertura de ampollas de irradiación.
008-L	Ejes de desplazamiento.
008-LL	Soporte de ampollas de material radiactivo.
008-M	Base cortadora de ampollas.
009-A	Paredes de Plomo y ventana de visualización.

# INTRODUCCIÓN

El uso terapéutico de la radiactividad representa una importante herramienta para la salud, especialmente en enfermedades cada vez más frecuentes en las sociedades modernas como el cáncer. La medicina nuclear utiliza radiofármacos (moléculas que contienen un átomo radiactivo) constituidos por radionúclidos emisores  $\beta$  (beta), cuyas características nucleares: emisión de  $\beta > 0.6$  MeV, rayos  $\gamma < 0.3$  MeV y vidas medias entre 1 y 2 días, y químicas permiten su uso para el tratamiento del cáncer (BRANDAN). En particular los lantánidos radioactivos ( $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{166}\text{Ho}$ , etc.) unidos a moléculas del tipo: EDTMP, DTPA, DOTA ó Biotin, han demostrado un enorme potencial en radioterapia. En general estos radioisótopos se generan a partir del decaimiento de un radioisótopo padre; por ejemplo, para producir el  $^{149}\text{Pm}$  es necesario irradiar un blanco de  $^{148}\text{Nd}$  con neutrones térmicos que formaran el radioisótopo  $^{149}\text{Nd}$  (padre) que al decaer por emisiones de partículas  $\beta$ - formaran el  $^{149}\text{Pm}$  (hijo), este proceso se representa con la siguiente reacción nuclear:  $^{148}\text{Nd} (n, \gamma) ^{149}\text{Nd} \rightarrow ^{149}\text{Pm}$ . Para poder separar al radioisótopo padre del hijo es necesario recurrir a técnicas de separación extremadamente selectivas, dado que las propiedades químicas de estos pares son muy similares. En trabajos anteriores realizados por el grupo del Laboratorio de Investigación de Materiales Radiactivos (LIMR), se establecieron las condiciones para separar los pares:  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$  mediante la resina Ln SPS de Eichrom y soluciones de ácido nítrico (RICKARDS,SALINAS); a partir de estos resultados se diseñó y construyó un Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER) con el fin de realizar la producción de los radiolantánidos  $^{149}\text{Prometio}$ ,  $^{161}\text{Terbio}$ ,  $^{166}\text{Holmio}$  y  $^{177}\text{Lutecio}$  de manera rutinaria en nuestro laboratorio, para poner a disposición de los centros hospitalarios o instituciones de investigación que requieran estos radioisótopos. Se presenta en este trabajo una descripción detallada de las etapas de diseño, construcción, funcionamiento y optimización del DISER.

La Tesis se divide en cuatro capítulos: en el primer capítulo se muestran antecedentes, donde se describen los fundamentos teóricos en los que se basa este trabajo; en el segundo capítulo se plasma una detallada descripción del Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER); en el tercer capítulo se describe el funcionamiento del DISER ejemplificando el proceso de separación de  $^{161}\text{Gd} / ^{161}\text{Tb}$  y en el cuarto capítulo se explica la optimización que se le realizó al DISER.

## RESUMEN

En la actualidad el cáncer es una de las principales causas de mortalidad en nuestro país, por tanto, su prevención, diagnóstico y tratamiento son de vital importancia para los sistemas de salud. El tratamiento del cáncer y otras enfermedades, a partir de anticuerpos monoclonales, péptidos, macro agregados o aminoácidos marcados con radioisótopos emisores de partículas beta, es un campo sumamente prometedor. Los lantánidos radiactivos:  $^{149}\text{Prometio}$ ,  $^{161}\text{Terbio}$ ,  $^{166}\text{Holmio}$  y  $^{177}\text{Lutecio}$  son emisores beta ( $\beta$ ), los cuales poseen propiedades nucleares y químicas, que han mostrado su factibilidad como radioisótopos de uso radioterapéutico. Sin embargo, estos radioisótopos no se encuentran disponibles comercialmente; a este respecto, el Laboratorio de Investigación de Materiales Radiactivos (LIMR) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ha desarrollado la metodología de producción de estos radioisótopos y en base a estos trabajos, se ha diseñado, construido y montado el Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER) para la producción de radioisótopos de manera rutinaria. Este dispositivo es parte de la celda, la cual cuenta con un servicio auxiliar de aire, un sistema de extracción y está protegido con un blindaje de plomo de 10 cm. El DISER es manual y fácil de manejar. La función principal de este equipo es la separación de los radiolantánidos a partir de la cromatografía extractiva por medio de columnas empacadas con una resina comercial (Ln SPS) y recubiertas en la parte superior e inferior por fibra de vidrio. El DISER está compuesto por un carrusel principal en donde se montan las columnas de separación y los recipientes de elución. Además cuenta con un sistema de apertura de viales de irradiación, porta muestras para columnas y material de vidrio. El presente trabajo presenta una descripción detallada del DISER, así como su manejo, que permite producir los radioisótopos  $^{149}\text{Prometio}$ ,  $^{161}\text{Terbio}$ ,  $^{166}\text{Holmio}$  y  $^{177}\text{Lutecio}$  a partir de la separación de sus elementos padres  $^{149}\text{Neodimio}$ ,  $^{161}\text{Gadolinio}$ ,  $^{166}\text{Disprosio}$  e  $^{177}\text{Iterbio}$  respectivamente.

## OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivos:

- Probar el funcionamiento del Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER).
- Optimizar el DISER, con el fin de producir los radioisótopos:  $^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  con una alta actividad específica, libres de acarreador y con purezas radionúclidas superiores al 99.9%.
- Dibujar los planos definitivos y detallados de los sistemas que conforman el DISER.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1. Radiactividad

Es un fenómeno físico que se origina en los núcleos de ciertos átomos inestables, los cuales en la búsqueda de su estabilidad emiten espontáneamente partículas subatómicas, radiaciones electromagnéticas o ambas (Cuarón).

Las emisiones radiactivas se pueden sistematizar de acuerdo con su naturaleza y en relación con sus características físicas. Estas se clasifican en:

- a) **Partículas alfa:** Están constituidas por núcleos libres de helio común ( ${}^4_2\text{He}$ ). Por lo tanto, se integran por dos protones y dos neutrones, lo que les confiere dos cargas eléctricas positivas y una masa relativa 7346 veces mayor que la del electrón. Las partículas alfa poseen un gran poder de ionización y una muy ligera capacidad de penetración en la materia. Basta una delgada hoja de papel de china para detenerlas (Ver Fig. 1.1).
  
- a) **Partícula beta:** Las partículas beta negativas o positivas de origen nuclear, tienen velocidades que pueden llegar hasta prácticamente la velocidad de la luz. Pese a ello sus energías son menores en general que las de las partículas alfa, ya que en su mayoría no alcanzan los 4 MeV. Estas altas velocidades obligan a tratar la radiación beta en forma relativista. son mucho más penetrantes que las alfa, lo que hace necesario el empleo de métodos muy distintos para las mediciones de absorción. Para tener una idea comparativa hay que tener en cuenta que una partícula alfa, de 3 MeV, tiene un alcance de 2,8 cm en aire en condiciones patrón y produce alrededor de 4000 pares iónicos por mm de recorrido, mientras que una partícula beta de igual energía tiene un alcance en aire de más de 1000 cm y sólo produce 4 pares iónicos por mm. El que sean tan penetrantes permite emplear absorbentes sólidos que resultan más prácticos que el aire.

- b) **Radiación gama:** Esta constituida por haces de radiación electromagnética, por lo que carece de masa y de carga eléctrica. Su naturaleza, energía, frecuencia y longitud de onda, son prácticamente iguales a las de los rayos X, de los que únicamente difiere por su origen nuclear.
- c) **Neutrones:** Son partículas sin carga, de masa aproximada de 1 uma, emitidas con diversas energías. El átomo no cambia su número atómico pero sí su masa. Se presenta en fisiones nucleares de metales pesados, es decir, que cada núcleo se convierte en dos isótopos de elementos distintos generalmente radiactivos.

En la figura 1.1 se muestra la capacidad de penetración que tienen las partículas:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y el neutrón. Cada una tiene la energía suficiente para atravesar diferentes tipos de materiales.

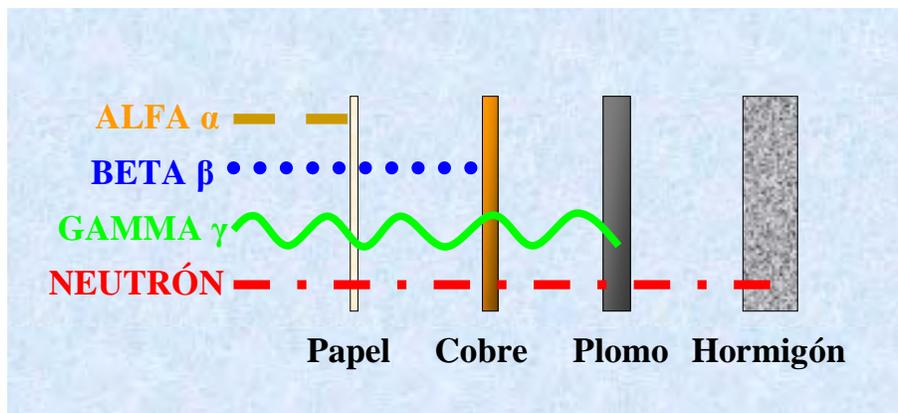


Figura 1.1 Poder de penetración en la materia de las distintas emisiones radiactivas.

## 1.2. Unidades utilizadas para medir la radiactividad

El **Sievert (Sv)**: es una unidad utilizada para describir la dosis equivalente en efectos biológicos. A menudo debe utilizarse en unidades fraccionarias, hasta de millonésimas de Sievert, o micro-Sievert.

El **electronvoltio (eV)**: Unidad de energía equivalente a la energía cinética que adquiere un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial en el vacío de 1 voltio.

Dicho valor se obtiene experimentalmente por lo que no es una cantidad exacta.

$$1\text{eV} = 1.602176462 \times 10^{-19} \text{ J} \dots 1.1$$

Es una de las unidades aceptadas para su uso en el Sistema Internacional de unidades pero que no pertenecen estrictamente a él.

El electronvoltio está muy bien adaptado para trabajar con energías de ionización o de excitación de átomos o para energías de cohesión de moléculas. La energía de ionización es usualmente de unos **eV** a unas decenas de **eV**. La energía térmica de partículas (electrones, neutrones) a la temperatura ambiente es de 23 meV (millelectronvoltios). La energía de los rayos X (y de los electrones que los producen) utilizados para hacer una radiografía es de 50 keV (Kiloelectronvoltio).

Sin embargo, en física de altas energías, el electronvoltio resulta una unidad muy pequeña por lo que son de uso frecuente múltiplos como el Megaelectronvoltio **MeV** o el Gigaelectronvoltio **GeV** llegando en la actualidad y con los más potentes aceleradores de partículas al Teraelectronvoltio **TeV**. Hay objetos en nuestro universo que son aceleradores aún más potentes: se han detectados rayos gamma de decenas de TeV y rayos cósmicos de Petaelectronvoltios (**PeV**, mil TeV) y hasta de decenas de Exaelectronvoltios (**EeV**, equivalente a mil PeV).

### 1.3. Decaimiento radiactivo

El decaimiento radiactivo depende del comportamiento general de cada radioisótopo y esto a su vez depende de la vida media del radioisótopo padre tal como se muestra en la figura 1.2. Las líneas que corresponden a la abundancia del elemento padre y del hijo, son curvas, sigue siendo cierto que uno puede conocer cuánto existe del padre ( $N_{\text{padre}}$ ) y cuánto del hijo ( $N_{\text{hijo}}$ ) en un instante determinado. Desde luego es necesario saber de antemano con cuántos núcleos  $N_0$  existen al inicio del proceso ( $t = 0$ ) y qué tan rápidamente cae la curva exponencial. (Attix)

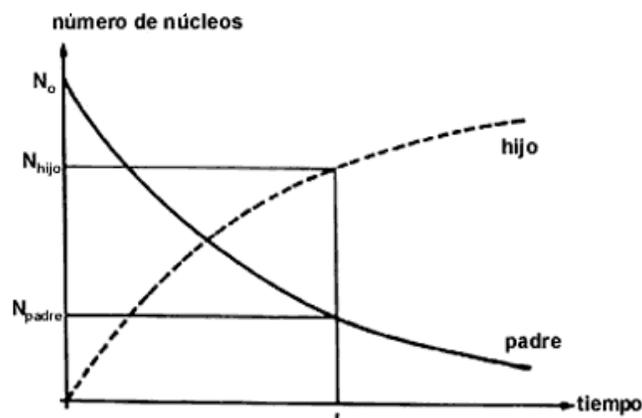


Figura 1.2. Comportamiento general del decaimiento de cada radioisótopo a partir de la vida media del radioisótopo padre.

La ley exponencial de decaimiento radiactivo sucede en virtud de cuántos núcleos del padre hay en cualquier instante para producir núcleos hijos. Cuanto menos núcleos haya padre, menos se transforman en hijo. Otra manera de decirlo es que la probabilidad de decaimiento es constante.

La vida media  $t_{1/2}$ , es el tiempo que tarda el número de núcleos del elemento padre en reducirse a la mitad. En el decaimiento exponencial no importa con cuántos núcleos se comienza; siempre tarda el mismo tiempo en reducirse a la mitad.

La ley exponencial no sólo se aplica al número de núcleos, sino también la actividad de la muestra que los contiene. En el figura 1.3 bien podríamos haber graficado la actividad de la muestra en vez del número de núcleos. Esto es porque la actividad es proporcional al número de núcleos. Al reducirse éste, también disminuye la actividad. (Attix)

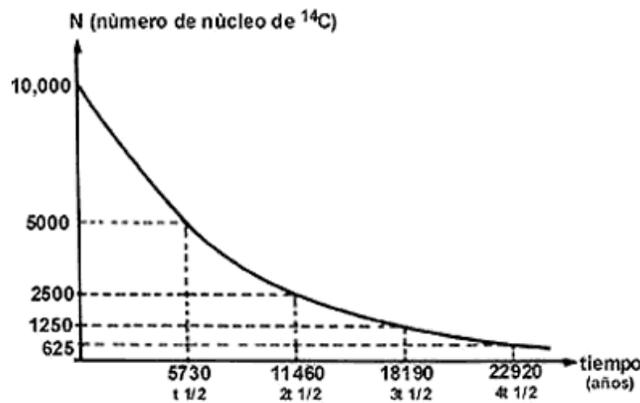


Figura 1.3. Curva de decaimiento del C<sup>14</sup>

La fórmula matemática que describe la ley exponencial de decaimiento es la siguiente:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots 1.2$$

En esta fórmula "N" representa el número de núcleos del padre en el instante t; "N<sub>0</sub>" es el número inicial cuando t = 0; λ se denomina la constante de decaimiento; "e" es la base de los logaritmos naturales. La constante de decaimiento, "λ" representa la probabilidad de que haya decaimiento. Está relacionada con la vida media como sigue:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} \dots 1.3$$

En otras palabras, la probabilidad de decaimiento es inversamente proporcional a la vida media. Cuanto mayor es " $\lambda$ ", más rápidamente decae y menos tiempo tarda.

Es muy frecuente que el producto (el hijo) de un decaimiento sea a su vez radiactivo, generándose entonces nietos y otros descendientes hasta llegar a uno que sea estable. Se habla entonces de cadenas de decaimiento, las cuales pueden constar de más de una docena de pasos, esto se puede observar en la Figura 1.4, donde se plasma el ejemplo del  $U^{238}$  de todas las diferentes vidas medias de los radioisótopos los cuales dan lugar a una serie de efectos, algunos útiles, otros nocivos. (Cember)

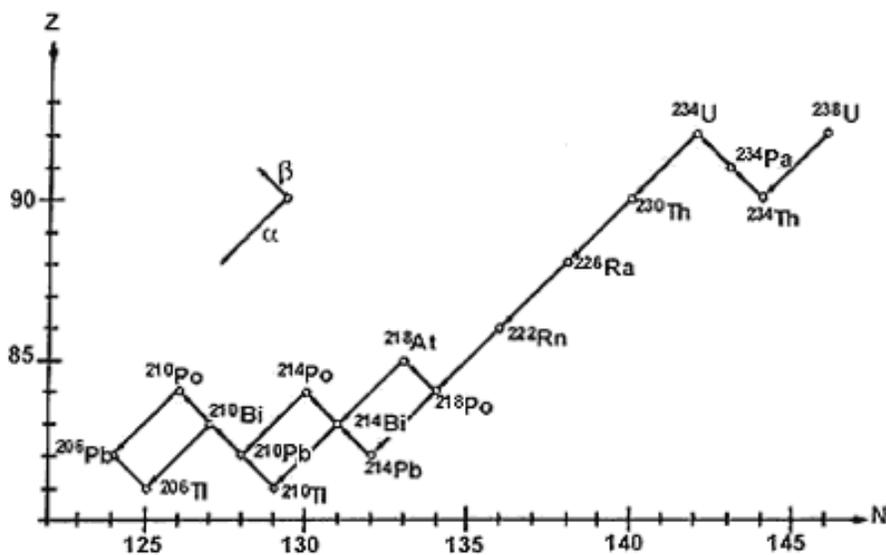


Figura 1.4. Cadena de decaimiento del  $U^{238}$

#### 1.4. Detectores de radiación (Ramírez)

La radiactividad no puede percibirse por nuestros sentidos y por ello para poder determinar la cantidad de radiación presente en algún sitio es necesario valerse de algún medio que nos auxilie.

Una de las primeras formas de detectar la radiación fue por medio de una película fotográfica, que se "vela" en mayor o menor grado dependiendo de la cantidad de radiación recibida. Podríamos llamar a éste, un detector "pasivo", desde el punto de vista eléctrico; los detectores termoluminiscentes (TLD) son otro ejemplo de detectores pasivos. Este tipo de detector, por sí solo no indica los niveles de radiación, se requiere de otros instrumentos para conocerlos. Actualmente existen detectores

“activos”, que pueden proporcionar más información acerca de la radiación y no sólo la cantidad, por ejemplo, la energía asociada y la energía depositada en alguna parte de nuestro cuerpo, cuando nos exponemos a un campo de radiación.

#### **1.4.1. Detectores activos**

El detector activo posee la programación electrónica para indicar los niveles de radiación y otros datos, de acuerdo con cada sistema. Debido a las diferencias tan grandes en las características de la radiación, existe un tipo de detector óptimo para cada aplicación y es fundamental la selección adecuada del detector a utilizar, para que el resultado de las mediciones sea correcto. Cualquier detector basa su funcionamiento en la interacción de la radiación con la materia y, en consecuencia, existe una multitud de diferentes tipos de detectores que satisfacen las más diversas necesidades. Los detectores de radiación son instrumentos muy importantes en experimentos de física nuclear, en protección radiológica, en la industria y en otros campos, ya que son los “ojos” para captar la radiación. Algunos de los detectores más utilizados son:

Los detectores gaseosos, entre los que se cuentan los clásicos detectores Geiger – Muller, las cámaras de ionización y los detectores proporcionales, que son parte fundamental de los monitores de radiación portátiles y fijos empleados en la protección y seguridad radiológica en todas las instalaciones de tipo radiactivo y nuclear. Se puede realizar la detección gracias a que la radiación ioniza de alguna forma el gas contenido en el detector, produciendo una señal eléctrica que se transmite al aplicársele alto voltaje (véase Figura 1.5).



**Figura 1.5. Monitor de radiación portátil**

Las cámaras de ionización tienen una aplicación importante al aprovechar su capacidad para determinar de una forma muy exacta la cantidad de radiación presente. Puede considerárseles patrones de calibración, como sucede en el Centro de Metrología de Radiaciones Ionizantes del ININ. Los detectores proporcionales se emplean, entre otras aplicaciones, en los monitores para pies y manos. Utilizan un gas especial denominado P-10 como medio sensible.

En los detectores de centelleo, se aprovecha la cualidad de la radiación de excitar ciertos materiales llamados centelladores, provocándoles la emisión de fotones; tal es el caso del yoduro de sodio con algunas impurezas de talio que permite detectar la radiación al medir la luz generada. La cantidad de luz generada es muy pequeña, de sólo algunos fotones, por lo que un ojo humano no lograría verla. Es necesario que la luz sea convertida en una señal eléctrica y esa señal eléctrica sea amplificada, ya que también es muy pequeña. Los detectores de centelleo, para el efecto, requieren de un dispositivo electrónico adicional para realizar esta función, a este elemento se le denomina tubo fotomultiplicador y necesita ser alimentado por alto voltaje para su operación. Los detectores de centelleo se utilizan en aplicaciones donde se requiere tener una gran sensibilidad de detección. Se usan en monitores portátiles y en la calibración de dosis en materiales radiactivos, entre otros.

(NRPB)

### 1.4.2. Detectores Pasivos

Los detectores de semiconductor son los más delicados y sensibles a la radiación, ya que emplean un material semiconductor, a base de germanio o silicio, como medio detector. Existen diferentes tipos, siendo los más conocidos los de barrera superficial, de silicio-litio y los de germanio de muy alta pureza. Los detectores de barrera superficial se usan para medir partículas cargadas como radiación alfa y beta y se operan a temperatura ambiente.

Los detectores de silicio-litio y germanio funcionan a muy baja temperatura, aproximadamente a  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Son instrumentos de detección muy delicados utilizados para diferentes tipos de energías. Están formados por dos partes: un termo y una cápsula al vacío. El detector de semiconductor enfriado cuenta con un termo normalmente llamado Dewar, el cual es un recipiente de doble pared aislado al vacío; es frágil y en él se deposita el nitrógeno líquido, lo que provoca una temperatura en el interior de aproximadamente  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$  (véase Figura 1.6). Dentro de dicha cápsula al vacío se encuentra el detector, que tiene una barra de cobre llamada "dedo frío" la cual transfiere la temperatura del nitrógeno líquido al detector.



Figura 1.6. Detector de Silicio- Litio y Germanio

Los detectores de Germanio son los más caros, se utilizan para medir radiación gamma principalmente en aplicaciones de análisis por activación con neutrones, determinación de radiación presente en alimentos, suelo o agua, y en experimentos de física nuclear.

En este trabajo la detección de la radiación fue realizada mediante un detector de Germanio hiperpuro, situado en el Laboratorio de Investigación de Materiales Radiactivos de la Gerencia de Aplicaciones Nucleares a la Salud del ININ.

## **1.5. La cromatografía**

La cromatografía se define como: la separación de una mezcla de dos o más compuestos por distribución diferencial entre dos fases, una estacionaria y otra móvil. Hay varios tipos de cromatografía, según la naturaleza de las dos fases involucradas y si los compuestos son retenidos en la fase estacionaria por adsorción o partición. (Pavia)

### **1.5.1. Tipos de Cromatografía**

Los procesos cromatográficos pueden clasificarse de acuerdo con la relación fase móvil – fase estacionaria, como:

Líquido – sólido

Gas – sólido

Líquido – líquido

Gas – líquido

Los sistemas que emplean un sólido como fase estacionaria pertenecen a la cromatografía de adsorción, y cuando se trata de un líquido inmovilizado por un sólido se llama cromatografía de partición.

El método empleado en este trabajo se basa particularmente en la cromatografía en fase Reversa o cromatografía extractiva que es la técnica de separación en la cual un extractante orgánico no polar es retenido en un soporte inerte (papel, celulosa, kieselguhr, polímeros orgánicos microporosos, etc), mientras que una fase móvil polar es usado como un agente eluyente. La cromatografía de columna de fase reversa ha sido usada satisfactoriamente para la separación de pequeñas cantidades de radionúclidos en los trabajos nucleares (TESTA; HORWITZ).

En la cromatografía de partición de fase reversa, solutos no polares son separados sobre una fase estacionaria menos polar con una fase móvil más polar. Las fuerzas operativas intermoleculares en partición son del mismo tipo que aquellas envueltas en adsorción, llamadas puentes de hidrogeno, fuerzas bipolares inducidas, fuerzas de dispersión y fuerzas de interacción específicas.

Las separaciones resultan debido a que los solutos relativamente más solubles en el líquido estacionario migran más lentamente que aquellos con una solubilidad más grande en el líquido móvil.

Los solutos son más solubles en la fase estacionaria que en la fase móvil, para la separación de mezclas polares, por lo tanto, la fase polar y un líquido menos polar (un solvente orgánico) es el solvente desarrollado.

En este método, una columna es empacada con un soporte sólido con un área superficial alta, la cual es cubierta con la fase líquida estacionaria. La mezcla es aplicada como una zona estrecha y es desarrollada por el paso de un líquido inmiscible móvil con el líquido estacionario a través de la columna.

### **1.6. Los lantánidos ó lantanoides y sus aplicaciones (Geoff)**

El descubrimiento de los elementos lantanoides y actinoides, llamados anteriormente lantánidos y actinidos, ha tenido un impacto importante sobre nuestro conocimiento de la química. La existencia de una serie de elementos metálicos con masas atómicas en el intervalo de 140 a 145 g·mol<sup>-1</sup> preocupó mucho a los químicos a principios del siglo XX porque la tabla periódica de Mendeleev originalmente no tenía lugar para ellos. El químico inglés Sir William Crookes resumió la situación en 1902, colocando este grupo de 14 elementos debajo del cuerpo de la tabla periódica.

En los años cuarenta ya se conocía la mayor parte de los elementos de la tabla periódica hasta el elemento 92. Sin embargo, los elementos del 90 al 92 (torio, proactinio y uranio) se consideraban metales de transición. Durante la década de 1940 se sintetizaron dos nuevos elementos químicos en reactores nucleares: el neptunio y el plutonio. Estos elementos también se consideraron miembros de la serie de transición del periodo 7.

Sin embargo, el neptunio y el plutonio tenían muy poco en común con sus vecinos horizontales: uranio, proactinio y torio. Glenn Seaborg fue el primero en proponer un diseño de la tabla periódica en 1944 y con ello se comprobó que los elementos del 89 al 102 corresponden al llenado de los orbitales 5f.

#### **1.6.1. Propiedades de los elementos de las tierras raras**

Los elementos del lantano al iterbio se conocen como lantanoides, y estos elementos corresponden al llenado del conjunto de orbitales 4f. Sin embargo, otros elementos a menudo se consideran como parte del mismo conjunto: los elementos del grupo 3 escandio, itrio y lutecio. Se usa el

término de “metales de tierras raras” para referir colectivamente a los elementos lantanoides y del grupo 3.

Los 15 elementos del lantano al lutecio poseen características químicas en común y por lo tanto se consideran dentro del mismo grupo. Por ejemplo, el único ion común de todos estos elementos es el de carga 3+, y las configuraciones electrónicas de este ion forman una sucesión sencilla del orbital 4f, de 0 a 14, ver Tabla 1.1.

ELEMENTO	CONFIGURACIÓN DEL ÁTOMO	CONFIGURACIÓN DEL IÓN 3+
Lantano	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>0</sup> 5d <sup>1</sup>	[Xe]4f <sup>0</sup>
Cerio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup>	[Xe]4f <sup>1</sup>
Prasedimio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>3</sup>	[Xe]4f <sup>2</sup>
Neodimio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>4</sup>	[Xe]4f <sup>3</sup>
Prometio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>5</sup>	[Xe]4f <sup>4</sup>
Samario	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>6</sup>	[Xe]4f <sup>5</sup>
Europio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>7</sup>	[Xe]4f <sup>6</sup>
Gadolinio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup>	[Xe]4f <sup>7</sup>
Terbio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>9</sup>	[Xe]4f <sup>8</sup>
Disprosio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>10</sup>	[Xe]4f <sup>9</sup>
Holmio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>11</sup>	[Xe]4f <sup>10</sup>
Erbio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>12</sup>	[Xe]4f <sup>11</sup>
Tulio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>13</sup>	[Xe]4f <sup>12</sup>
Iterbio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup>	[Xe]4f <sup>13</sup>
Lutecio	[Xe]6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup>	[Xe]4f <sup>14</sup>

Tabla. 1.1 Configuraciones electrónicas desde el Lantano hasta el Lutecio

### 1.7. Uso de los Radionúclidos en Medicina (Moreno).

La radiofarmacia es la base principal de la aplicación de los radiolantánidos y esta se define como: “cualquier producto que cuando esté preparado para su uso con finalidad terapéutica o diagnóstica contenga uno o más radionúclidos (isótopos radioactivos)”.

La mayoría de los radionúclidos que se utilizan en Medicina Nuclear, se obtienen artificialmente mediante ciclotrones o a partir de reacciones nucleares en un reactor. La posibilidad de administrar actividades

adecuadas para obtener una buena calidad de imagen queda relegada a los isótopos radiactivos de corto periodo de semidesintegración y que sean emisores de radiaciones gamma. Los isótopos meta estables, término utilizado para aquellos nucleidos que permanecen en estado excitado durante un tiempo medible (superior a 10-15 segundos), cumplen estos requisitos y son los más utilizados en medicina nuclear.

La importancia fundamental que presentan los isótopos radiactivos en el diagnóstico médico es debido, por una parte, "a la propiedad de ser reconocidos (localización) y medidos (cuantificación) en cantidades infinitesimales. Junto a esta doble característica, que viene definida por el adjetivo "radiactivo", también se considera que viene adjunta al término isótopo" y que permite reproducir el comportamiento químico y biológico de los respectivos isótopos naturales no radiactivos.

Los isótopos radiactivos pueden ser utilizados como trazadores y como indicadores.

Los efectos que produce la radiación sobre la salud no son únicos; muchas otras sustancias tienen efectos parecidos. Sin embargo, los producidos por la radiación se conocen mejor, lo que permite fijar niveles de seguridad y establecer sistemas de medida y reglamentos que nos protegen de los posibles daños. No hay que olvidar que la radiación siempre ha existido en el medio ambiente, por lo que es inevitable recibir cierta dosis. Por otro lado, es claro que los beneficios producidos por el uso de la radiación y los radioisótopos, especialmente en la medicina, sobrepasan por mucho a los riesgos.

## CAPÍTULO II

### Descripción del Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER)

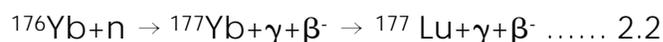
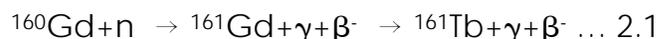
A partir de los estudios de separación de los pares Nd-Pm, Gd-Tb, Dy-Ho e Yb-Lu, elaborados por Edgar J. Salinas, en el Laboratorio de Investigación de Materiales Radiactivos (LIMR) del ININ, se determinó la metodología de obtención de los radiolantánidos  $^{151}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  con una pureza radionúclida mayor al 99.99, a partir de la separación de sus respectivos radioisótopos padres  $^{151}\text{Nd}$ ,  $^{161}\text{Gd}$ ,  $^{166}\text{Dy}$  e  $^{177}\text{Yb}$ . Estos resultados han sido la base del diseño, construcción y optimización del DISER (Dispositivo de Separación de Radiolantánidos) para separar estos radioisótopos de manera fácil, segura y rutinaria.

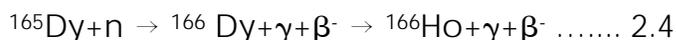
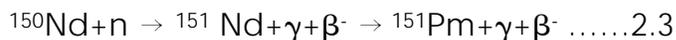
En este capítulo se describen tanto la metodología general de separación de los cuatro pares de radiolantánidos:  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{165}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  e  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ , como cada una de las partes que constituyen al DISER, apoyándose en fotografías y planos, estos últimos mostrados en el anexo A, los cuales fueron empleados para su diseño y construcción. Los planos muestran las dimensiones y el tipo de material empleados para la fabricación de cada componente.

#### 2.1. Metodología general de separación y purificación de los radiolantánidos: $^{151}\text{Nd}/^{151}\text{Pm}$ , $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ , $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$ e $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ .

La metodología de obtención de los radiolantánidos:  $^{151}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  se basa en la producción indirecta de estos radioisótopos a partir del decaimiento de:  $^{151}\text{Nd}$ ,  $^{161}\text{Gd}$ ,  $^{166}\text{Dy}$  e  $^{177}\text{Yb}$ , los cuales son producidos por irradiación de neutrones térmicos de sales de nitratos de estos elementos, como lo esquematizan las reacciones nucleares 2.1 a la 2.4.:

Isótopo	Padre	Hijo
---------	-------	------





Esta metodología está dividida en siete etapas (ver Figura 2.1), en la primera, los nitratos de lantánidos se irradian en el reactor Triga Marck III del ININ con neutrones térmicos para formar los 4 pares de radiolantánidos:  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  e  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ .

En la segunda etapa se disuelven las sales radiactivas en 300  $\mu\text{L}$  de una solución de  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L, en la tercera esta solución se introduce a una columna cromatográfica cargada con la resina Ln SPS de Eichrom de Darien la cual es lavada con una solución de  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L para fijar perfectamente al par padre/hijo. La cuarta y quinta fase consisten en la separación propiamente dicha del padre e hijo, es decir la extracción del padre y la recuperación del hijo.

En este caso se agrega a la columna cromatográfica, que contiene tanto al padre como al hijo, soluciones de  $\text{HNO}_3$ .

En base a los estudios previos realizados por el grupo del LIMR (J. Salinas) se encontraron las concentraciones adecuadas para realizar estas separaciones las cuales se presentan en la Tabla 2.1.

PAR	PADRE		HIJO	
	RADIOISÓTOPO	[ $\text{HNO}_3$ ] mol/L	RADIOISÓTOPO	[ $\text{HNO}_3$ ] mol/L
$^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$	$^{149}\text{Nd}$	0.18	$^{149}\text{Pm}$	1.5
$^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$	$^{161}\text{Gd}$	0.8	$^{161}\text{Tb}$	3
$^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$	$^{166}\text{Dy}$	1.5	$^{166}\text{Ho}$	3
$^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$	$^{177}\text{Yb}$	3.4	$^{177}\text{Lu}$	9

Tabla 2.1. Condiciones de separación de los pares  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$ ,  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ .



Figura 2.1. Metodología de Producción de los Radioisótopos:  
 $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{165}\text{Dy}/^{165}\text{Ho}$  e  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$  (Salinas)

En la sexta etapa el hijo recuperado es precipitado mediante la adición de NaOH para formar los respectivos hidróxidos de lantánidos insolubles y finalmente en la séptima fase es recuperado el hijo mediante la redisolución de los hidróxidos con HCl (SALINAS).

## 2.2 Dispositivo de Separación de Radiolantánidos: DISER

El **DISER** es un Dispositivo para la Separación de Radiolantánidos diseñado y construido por el grupo del Laboratorio de Materiales Radiactivos (LIMR), el técnico Francisco Jiménez Barreiro de Talleres Generales y el departamento de automatización del ININ, tiene como objetivo facilitar la producción de los radioisótopos  $^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  de manera rutinaria y segura.

El Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER) está constituido por:

- Mesa para colocación del DISER.
- Celda Caliente.
- DISER: constituido por un carrusel principal, un cortador de ampollas, 2 porta vasos de precipitados, un sistema de entrada de reactivos y uno de extracción.
- Blindaje de plomo.

El Plano 001-A muestra la ubicación general de cada una de los componentes del DISER, descritos a continuación.

### 2.2.1 Mesa para colocación del DISER

La mesa fue diseñada y elaborada dentro del área de Talleres Generales del ININ, con la finalidad de soportar al Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER) y así brindarle al operador mayor comodidad durante la manipulación. La mesa es rectangular, de acero con dimensiones de 800 mm por 750 mm y con una altura de 1800 mm, incluyendo la altura de las ruedas que la soportan. Las ruedas son de poliuretano sólido, marca US HEAT INDUSTRIAL S.A. DE C. V., tienen un diámetro de 70 mm de diámetro y un espesor de 40 mm (ver Plano 002-A y 002-B).

La mesa se adaptó con ruedas para permitir el desplazamiento el DISER hacia otra área, ya sea para mantenimiento o simplemente para laborar en otro lugar con ella; fue pintada dentro del área de talleres generales, para cubrir un requisito básico de la Secretaria de Salud, con pintura vinilica blanca. La mesa está constituida por: una repisa en la parte media, a 500 mm de altura con respecto al piso y a la base del DISER, una asa cilíndrica de 750 mm de largo y 35mm de diámetro soldado al costado izquierdo de la mesa, la cual nos ayuda a agilizar el movimiento de la mesa

de un lugar a otro y tres rebordes colocados en la parte trasera, en la parte frontal y en el costado izquierdo. Los rebordes están soldados a la mesa, como se puede observar en la Figura 2.2, éstos sirven para retener la celda del DISER y el blindaje, evitando que caiga o resbale de la mesa.

Nótese que no se colocó un cuarto reborde en el costado derecho de la mesa, ya que para poder realizar mantenimiento a la celda caliente es necesario abrir la pared lateral derecha y dicha apertura se hace de arriba hacia abajo.



Figura 2.2. Mesa soporte del DISER

### 2.2.2. Celda caliente y DISER

La celda caliente del DISER es una caja de acrílico de dimensiones generales: 605 mm de ancho, 750 mm de largo y 610 mm de alto (Ver Figura 2.3) cuyas seis caras están sujetadas con tornillos de 1 pulgada por 5/32 pulgada de acero inoxidable.



Figura 2.3. Celda caliente

Dentro de la celda caliente del DISER se encuentran colocados ocho marcos triángulos rectángulos, cada uno de ellos cuenta con dimensiones de: 171mm por 166mm y 240mm de hipotenusa y espesor de 10mm.

Cada marco fue adherido con cloroformo a cada esquina de la celda quedando como se muestra en la Figura 2.4. Estos marcos tienen la función de ayudar a la celda caliente dándole firmeza y con ello se evita que pierda su cuadratura.

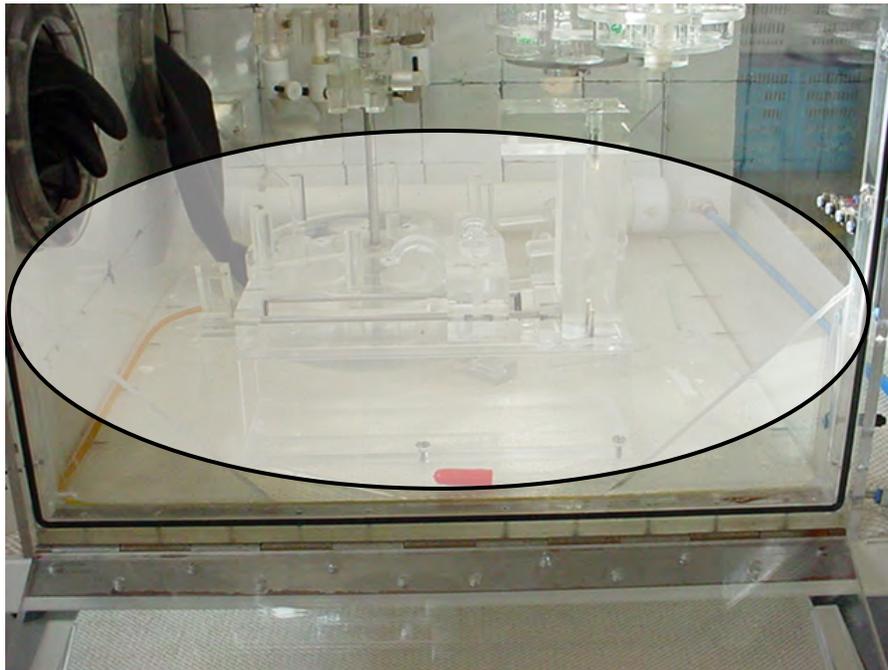


Figura 2.4. Ubicación de los marcos en costado derecho

Para su descripción, la celda se divide en los siguientes componentes: pared frontal, pared lateral derecha, pared lateral izquierda, pared trasera, base y pared superior de la celda, que se definen a continuación.

### 2.2.2.1. Pared Frontal

La pared frontal de la celda tiene dimensiones de 610 mm de alto por 740 mm de largo y un espesor de 10 mm; cuenta con dos perforaciones al centro de 180 mm de diámetro cada una y están colocadas a una altura de 205 mm desde la base del DISER y separados a una distancia de 217 mm (Ver Figura 2.5). Cada una de las perforaciones cuenta con un juego de bridas de Nylon acerado de 180 mm de diámetro; estas bridas están sujetadas a la celda con 8 tornillos de 5/32 pulgada de acero inoxidable. El uso de las bridas es básicamente para sujetar los guantes de neopreno que nos van a ayudar a llevar a cabo la manipulación del proceso dentro del DISER.

La pared frontal esta sujeta a la base del DISER con 8 tornillos de 5/32 pulgada por 1 pulgada de diámetro de acero inoxidable, colocados a una distancia de 45 mm entre cada uno como se muestra en el Plano 003-A del anexo A.



Figura 2.5. Pared frontal de la celda del DISER

### 2.2.2.2. Pared lateral derecha

La pared lateral derecha cuenta con dimensiones de 750 mm de largo por 610 mm de ancho y un espesor de 10 mm, esta sujeta a la base de la celda del DISER con una bisagra de piano de 610 mm de largo y con 7 tornillos de acero inoxidable de 5/32 pulgada por 1 pulgada de diámetro, los cuales van colocados a una distancia de 45 mm entre cada uno (ver Plano 004-A). Contiene 3 broches de presión, dos de ellos son de acero inoxidable de 36 mm por 45 mm sujetos con dos tornillos de ½ pulgada a la celda, uno a la pared superior y el otro a la pared trasera. El tercer broche es de hierro tipo mariposa y está sujeto a la pared frontal de la celda.

Una compuerta semicircular elaborada de acrílico esta colocada sobre la pared a una distancia de 175 mm de la base del DISER, tiene un diámetro de 250 mm y 10 mm de espesor; está sujeta a la pared de la celda con ayuda de una bisagra de piano de hierro de 301 mm y siete tornillos (Ver Plano 004-B). La compuerta abre de izquierda a derecha, cuenta con un "oring" de neopreno de 5/32 pulgadas de diámetro colocado en el contorno circular de la compuerta del DISER con ayuda de cierre hermético y con ello evitar que exista alguna fuga en el contorno durante la operación del DISER (ver Figura 2.6).

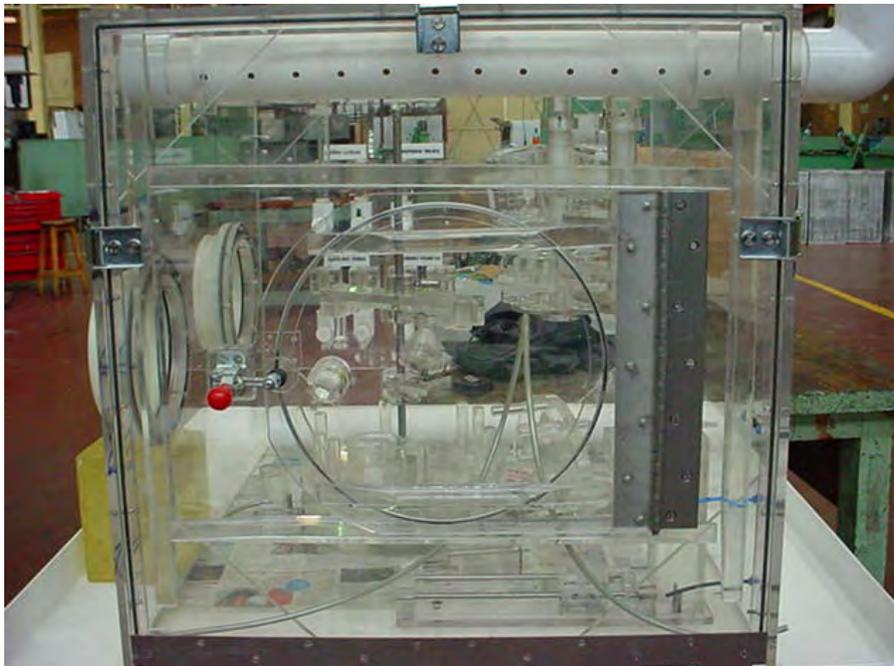


Figura 2.6. Compuerta de la pared lateral derecha del DISER y broches de seguridad

La pared lateral derecha tiene dos funciones: la primera para realizar mantenimiento dentro de la celda del DISER, ya que la pared puede

abrirse totalmente soltando los tres broches descritos anteriormente y la segunda, para la entrada y salida del material radiactivo y no radiactivo de la celda mediante la compuerta central.

### 2.2.3. Pared trasera de la celda

La pared trasera de la celda mide 750 mm de largo por 61 mm de alto y 10mm de espesor; está sujeta a la base de la celda con 7 tornillos de 5/32 pulgadas de acero inoxidable, colocados en la parte inferior de la pared con distancia de 100 mm entre cada uno (ver Figura 2.7, Plano 005-A).

Esta pared cuenta con tres orificios por los cuales se introducen: dos tubos de PVC de 60 mm de diámetro externo y 3mm de espesor, una manguera rígida de 20mm de diámetro, que constituyen el sistema de extracción y de aire del DISER. A continuación se describen ambos sistemas:



Figura 2.7. Pared trasera de la celda

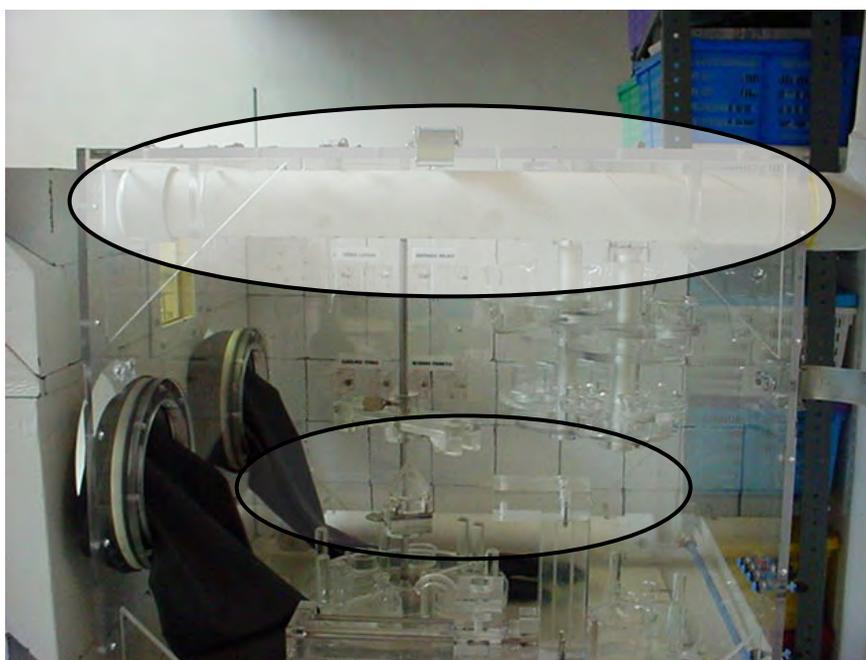
#### 2.2.3.1. Sistema de extracción

El sistema de extracción del DISER fue diseñado y adaptado por el técnico José Carlos Vázquez Maldonado del Departamento de Automatización del ININ, con la finalidad de controlar la liberación de material radiactivo durante la operación del DISER y esta constituido por dos tubos de PVC. El primer tubo de PVC está colocado en la parte superior derecha de la pared trasera de la celda, a una distancia de 200 mm de la base de almacenamiento de columnas (Ver Figura 2.8). El tubo de PVC se encuentra postrado en dos soportes de lucita de dimensiones de 80 mm

de altura y 60mm de diámetro adheridas a la pared superior de la celda con cloroformo; y está horadado con 8 orificios de 50 mm de diámetro situados a una distancia cada uno de 100 mm (ver Plano 005-B). Este tubo está interconectado con un codo de 90° a la manguera del sistema de extracción principal (60mm de diámetro externo), que se dirige al filtro.

El segundo tubo de PVC está colocado en la esquina izquierda de la pared trasera de la celda caliente, sujetado con dos soportes de lucita de 60 mm de diámetro y 80 mm de altura, adheridos a la base de la celda con cloroformo, este tubo está acoplado a la salida de la celda, con un reductor de bronce de 10 mm de diámetro interconectado con una manguera rígida de 10 mm de diámetro y a una válvula de estrangulación tipo aguja de 6 mm de diámetro. La función de este tramo de tubo es inyectar aire dentro del DISER (Ver Figura 2.7 y 2.8).

Todo el aire que es extraído del DISER es enviado a través de un filtro, el cual contiene placas de carbón activado que ayuda a retener partículas radiactivas que pudiesen escapar, para que al salir del filtro se envíe por medio de un sistema de tuberías hacia el ambiente (Ver Figura 2.9).



**Figura 2.8. Sistema de extracción dentro del DISER**



Figura 2.9. Filtro de carbón activado conectado al DISER

### 2.2.3.2. Sistema de aire

El sistema de aire esta constituido por: una manguera rígida de 20mm de diámetro y 900 mm de longitud sujeta a la base de la celda con silicón, que entra por la parte inferior izquierda a 10 mm de altura de la base de la celda, por un orificio de 20 mm de diámetro. La manguera está conectada a un cople reductor de bronce y a una válvula de estrangulación tipo aguja de 6mm de diámetro (Ver Figura 2.10). La función de la perforación, es introducir aire por medio de la manguera rígida a través de la celda caliente en dirección al carrusel principal, con el fin de enfriar la reacción de neutralización que se efectúa durante el proceso de separación.



Figura 2.10. Accesorios empleados en el sistema de aire

El extremo de la manguera está pegada a una base cuadrada de acrílico

de dimensiones de 20 mm de ancho, 50 mm de alto, 40 mm de espesor y un orificio de 10 mm de diámetro por la parte trasera de la base (Ver Figura 2.11 y 2.12, plano 005-C).

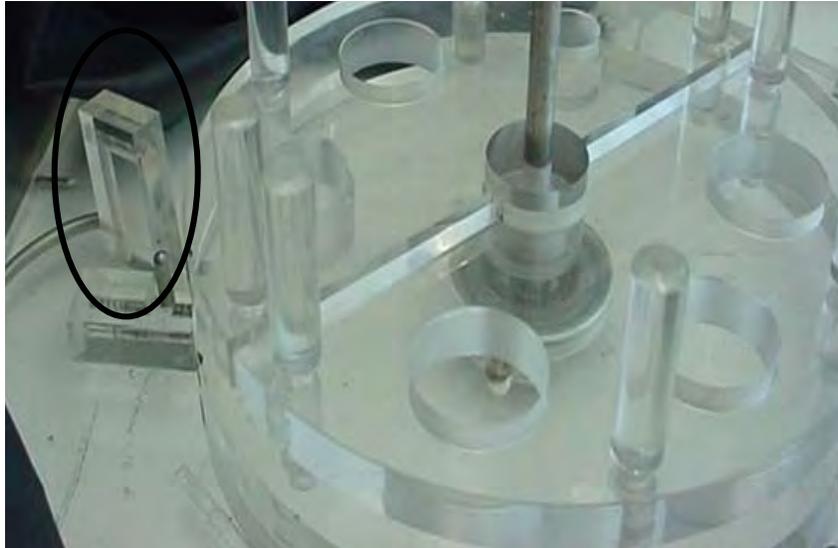


Figura 2.11. Base del sistema que inyecta aire al carrusel principal



Figura 2.12. Dirección de la manguera de inyección de aire

#### 2.2.4. Pared superior de la Celda

La pared superior de la celda mide 730 mm de longitud y 585 mm de ancho, con un espesor de 10 mm, la cual está ensamblada al resto de la celda con 8 tornillos de 3/16" de acero inoxidable. En la pared superior de

la celda están fijos, por la parte interna, los siguientes componentes (Ver Figura 2.13, Plano 006-A):



Figura 2.13. Componentes fijos a la pared superior de la celda del DISER.

#### 2.2.4.1 Porta vasos de precipitado mediano

El porta vasos de precipitados mediano elaborado en acrílico en forma de carrusel, está montado a 70 mm de la pared lateral izquierda, 205 mm de la pared trasera, 280 mm de la base de la celda y 217 mm del carrusel porta vasos de precipitado chico. El carrusel mide 530 mm desde la base de la celda hasta el extremo inferior del carrusel, esta montado a la pared de la celda en una placa circular de 50 mm de espesor y 130 mm de diámetro, atornillada al exterior de la celda con dos tornillos de 3/16 pulgadas de acero inoxidable. Para asegurar que los orificios de los tornillos no presenten alguna fuga son sellados con silicón en la parte interna de la celda.

A la placa circular, está adherida con cloroformo una barra de polietileno de alta densidad de 400 mm de largo y de 50 mm de diámetro, la cual sirve como soporte del portavasos y esta enfundada en una barra de acrílico de 380 mm de longitud, 70 mm de diámetro externo y 50 mm de diámetro interno. Esta barra está seccionada en cuatro tramos de 60 mm y sujeta por el extremo inferior a la barra de polietileno con un tornillo de 3/16 pulgadas de acero inoxidable (ver Figura 2.14)

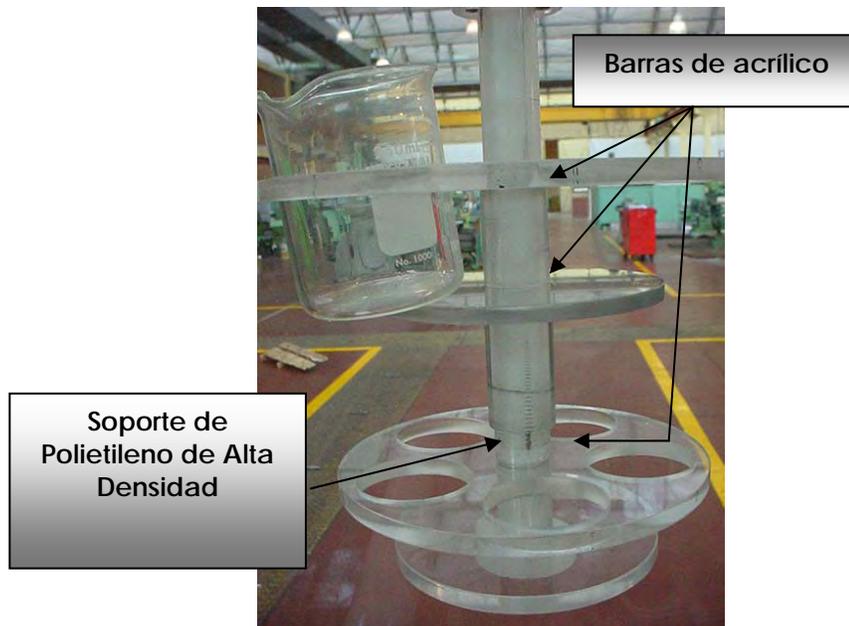


Figura 2.14. Porta vasos mediano

El porta vaso mediano cuenta con 2 charolas las cuales se describen a continuación, la primera charola cuenta con las siguientes características:

➤ **Charola para vasos de 250mL**

El diámetro total de la charola es de 300 mm, un espesor de 50mm y cuenta con cuatro divisiones de 50 mm de diámetro (ver Plano 006-B). Se elaboró con acrílico y tiene una perforación al centro de 70 mm de diámetro por la cual se introduce la barra de polietileno, es soportada con las barras de acrílico. La charola es giratoria ya que no está adherida a la barra de acrílico lo que facilita su manejo.

Además de que se encuentra colocada en la parte media alta de la primera división del carrusel (ver Figura 2.15), en la parte inferior de la charola tiene colocada una placa redonda de 200mm de diámetro y con un espesor de 50mm. La función principal de esta charola es almacenar los vasos de precipitados de 250 mL que se emplean durante los procesos de separación de Yb-Lu y Dy-Ho ya que en estos procesos la cantidad de disolución que se maneja es hasta de 125mL y evitar con ello contaminar vasos del exterior.

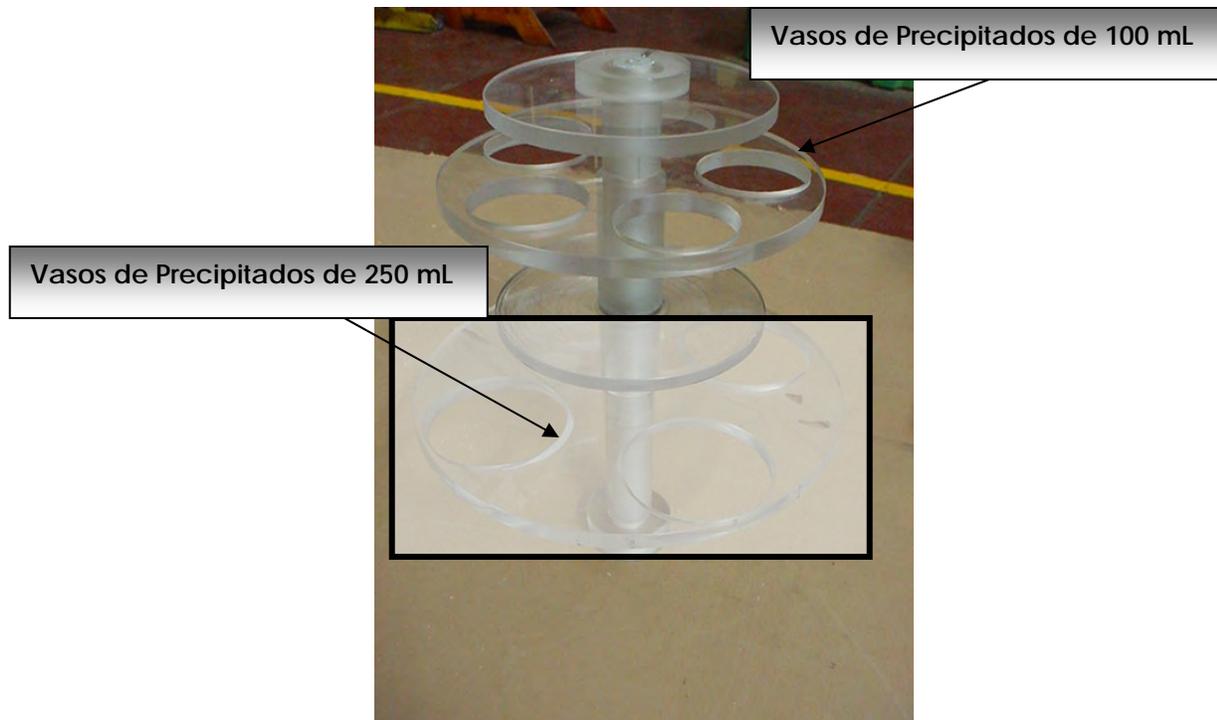


Figura 2.15. Charola para vasos de precipitados de 250mL  
Antes de ser montada a la pared superior de la celda

#### ➤ Charola para vasos de 100mL

La segunda charola tiene seis divisiones de 50 mm de diámetro para colocar los vasos de precipitados de 100 mL. El centro de la charola tiene una perforación de 70 mm de diámetro por la cual se introduce a la barra de polietileno de alta densidad; cuenta con una placa redonda de acrílico de 250 mm de diámetro y 100 mm de espesor, la cual sirve como base para evitar que los vasos de precipitado caigan de la charola. La charola y la placa están colocadas a 60 mm una de la otra (Ver Figura 2.15, Plano 006-B). En general las dos charolas facilitan al operador la manipulación de los procesos ya que con ello se mejora la distribución de espacios en la celda.

#### 2.2.4.2. Porta vasos de precipitado Chico

El portavasos de precipitado chico se encuentra montado a una distancia de 100 mm de la pared trasera de la celda, 70 mm de la pared lateral derecha, 255 mm de la pared frontal y 217 mm del carrusel mediano (Ver Figura 2.16 Plano 006-C). Este portavasos de precipitados fue fabricado siguiendo la misma estructura que el portavasos de precipitados mediano previamente descrito, la única diferencia radica en los diámetros de los orificios donde se colocan los vasos de precipitado.



**Figura 2.16. Portavasos chico de 50 y 25mL  
antes de ser montado dentro de la celda**

Las dos charolas elaboradas en acrílico poseen las siguientes dimensiones:

La primera de 300 mm de diámetro y 50mm de espesor tiene seis divisiones de 45 mm de diámetro cada una, éstas se utilizan para colocar vasos de precipitados de 50 mL y se soportan al carrusel en la parte media con dos tramos de la barra de acrílico de 60mm, colocados uno en la parte superior y otro en la inferior (ver figura 2.17.). La segunda charola contiene seis divisiones de 35 mm de diámetro cada una y 50mm de espesor, en las cuales se colocan vasos de precipitados de 25 mL.

Ambas charolas cuentan con una placa circular de 50 mm de diámetro las cuales van colocadas a una distancia de 60 mm de cada charola, para soportar los vasos de precipitado. La charolas son giratorias para facilitar al operador la manipulación de los vasos de precipitados de las divisiones (Ver Figura 2.18 y Plano 006-C).



Figura 2.17. Montaje de los porta vasos en la pared superior de la celda y charola para vasos de precipitados de 50mL



Figura 2.18. Charola de vasos de precipitados de 25mL

### 2.2.4.3. Base portapipeta Pasteur

La base portapipetas está situada a 220 mm de la pared lateral derecha, 80 mm de la pared frontal, 450 mm de la pared trasera y 600 mm de la base de la celda; está adherida a la pared superior de la celda con

cloroformo (Ver plano 006-D), con el fin de posar una pipeta Pasteur, necesaria para disolver las sales radiactivas que se encuentran dentro de las ampollas de cuarzo, durante el proceso de separación de radiolantánidos. La base portapipetas, fabricada en acrílico, mide 120 mm de largo por 50 mm de ancho, contiene un sujetador de acrílico, el cual consta de un tornillo maleable que sirve para sujetar la pipeta y con ello evitar que se caiga de la base, el cual se encuentra en la parte media de la base como se muestra en la Figura 2.19.

La base portapipetas estaba colocada en la base de la celda, pero para tener mayor espacio en esta zona, se transfirió a la parte superior de la celda, quedando como se muestra en la Figura 2.20 y Plano 006-D.



**Figura 2.19. Base de la pipeta Pasteur  
Colocada en la pared superior del Dispositivo**



**Figura 2.20. Vista aérea de colocación de la base de Pipeta Pasteur en la Pared Superior**

#### 2.2.4.4. Sistema de entrada de reactivos

El sistema de entrada de reactivos está compuesto por (Planos 006-E y 006-F):

- Base de embudo
- Embudo
- Adaptador de vidrio y sujetador

El sistema de entrada de reactivos permite introducir las soluciones  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$  dentro de la celda, necesarias para la separación de los pares:  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ , evitando así posibles contaminaciones.

##### ➤ Base de embudo

Esta base es de acrílico de forma trapezoidal cuyas medidas son: base mayor, 130 mm de largo por 90 mm de ancho y 20 mm de espesor, base menor, 110 mm de largo por 80 mm de ancho, con una inclinación de  $20^\circ$  entre la base mayor y la base menor (Ver figura 2.21). La base del embudo cuenta con un orificio en la parte central de 100 mm de diámetro y dos perforaciones de 5 mm de diámetro, estas últimas atraviesan la pared superior de la celda fijando la base a la celda con ayuda de dos tonillos de cabeza redonda plana de 1/17 pulgadas de cuerda fina. Para que no exista fuga por estos orificios se selló por la parte inferior de la celda con silicón (ver Plano 006-F y Figura 2.22).



Figura 2.21. Base de entrada de reactivos



Figura 2.22. Montaje de la base de entrada de reactivos en la pared superior de la celda

#### ➤ Embudo

El embudo empleado en este sistema de entrada de soluciones es de marca PIREX de 125 mL, reacondicionado con una salida de la soluciones de 60 mm de longitud que por lo general suele ser más larga en este tipo de embudos (ver Figura 2.23).



Figura 2.23. Embudo

#### ➤ Adaptador de vidrio y sujetador

El adaptador de vidrio es de PIREX y fue construido en el Taller de vidrio del ININ, bajo las siguientes especificaciones: 200 mm de largo y 90 mm de diámetro como se muestra en la Figura 2.24. Este adaptador de vidrio está fijado con el sujetador de acrílico a fin de que permanezca estático.

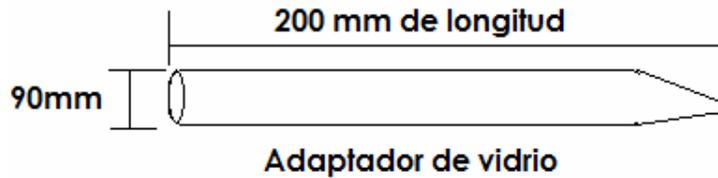


Figura 2.24. Adaptador de vidrio para la entrada de reactivos y dirección del adaptador hacia columna cromatográfica

El sujetador está elaborado de acrílico y mide 150 mm de largo, 5mm de espesor, y está montado en la parte interna de la pared superior de la celda con dos tornillos cabeza plana redonda de 5/32 pulgadas de acero inoxidable, reforzados con silicón para que no se aflojen (Ver Figura 2.25, anexo A plano 006-F). El sujetador contiene 4 tornillos de acrílico, colocados en su parte inferior para dar rigidez y centrar el adaptador de vidrio en dirección de la columna cromatográfica.



Figura 2.25. Sujetador de acrílico y adaptador de vidrio

### 2.2.5. Pared izquierda de la Celda

La pared izquierda de la celda fue elaborada con acrílico, mide 319 mm de largo por 598 mm de alto, tiene un espesor de 10 mm y de ella pende la base de almacenamiento de columnas cromatográficas situada a una altura de la base de 295 mm, a 115 mm de distancia de la pared trasera de la celda, a 120 mm de distancia de la pared frontal y 10 mm a la pared superior de la celda (Ver Figura 2.26, Plano 007-A y 007-B).



Figura 2.26. Pared lateral derecha de la celda

La base de almacenamiento de las columnas cromatográficas está constituida por una placa de acrílico de 259 mm de largo, 315 mm de ancho y 5 mm de espesor, adherida a la pared izquierda de la celda con cloroformo. En la placa se pegaron con cloroformo ocho bases porta columnas, para el proceso de Yb/Lu, Gd/Tb, Dy/Ho y Nd/Pm. Estas bases se encuentran distribuidas de la siguiente forma: En la parte superior izquierda el par de bases para el proceso Yb/Lu y a la derecha de estas el par del proceso Dy/Ho, en la parte inferior de estas las bases para el proceso Nd/Pm y a su izquierda aquellas para el proceso Gd/Tb. Las dimensiones exactas de esta distribución se presentan en el plano 007-B del anexo A (ver Figura 2.27).

Las porta columnas son cilindros semi huecos de acrílico (40 mm de ancho, 50 mm de largo y 36 mm de altura), en donde se sujetan las columnas con ayuda de un tornillo flexible de 1/16 pulgada colocado en uno de los costados del cilindro (Ver Plano 007-B).

La función principal de las portacolumnas es almacenar las columnas

cromatográficas dentro de la celda, empleadas en la producción de cada uno de los lantánidos de: Tb-161, Ho-166, Pm-151 y Lu-177.

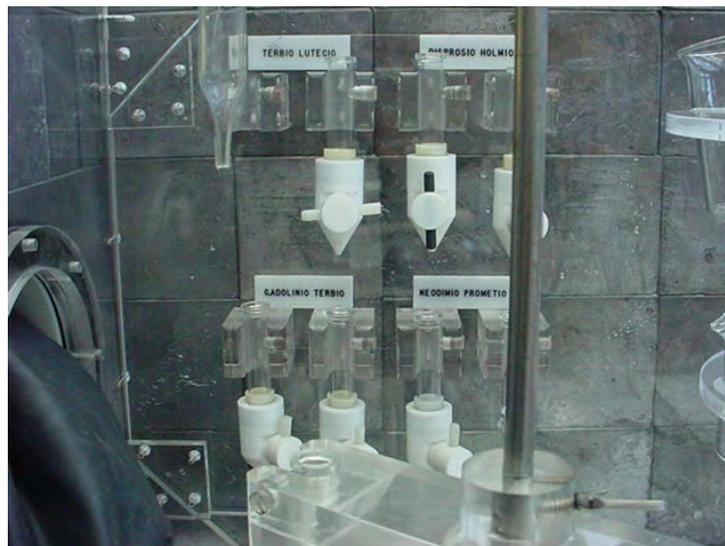


Figura 2.27. Base de porta columnas cromatográficas

### 2.2.5.1. Columnas cromatográficas

Una parte esencial del proceso de separación de los radiolantánidos son las columnas cromatográficas (ver Plano 007-C) que están constituidas por:

- Columnas de vidrio
- Válvulas
- Chaquetas

#### 2.2.5.1.1. Columnas de vidrio

Las columnas cromatográficas utilizadas en el DISER son de vidrio marca Wheaton de 80 mm por 12 mm de diámetro con una frita en su parte inferior; se tienen un total de ocho columnas y cada una cuenta con una válvula de teflón (Ver Figura 2.28).

#### 2.2.5.1.2. Válvulas

Las válvulas de las columnas cromatográficas están elaboradas de teflón, son de forma cónica y tienen las siguientes dimensiones: 40 mm de diámetro exterior en la parte superior, 20 mm de diámetro interno, altura de 65 mm y una salida de 4 mm de diámetro.

La válvula tiene una llave de teflón de 20 mm de diámetro por 43 mm de largo colocada dentro de ella (ver Figura 2.28).

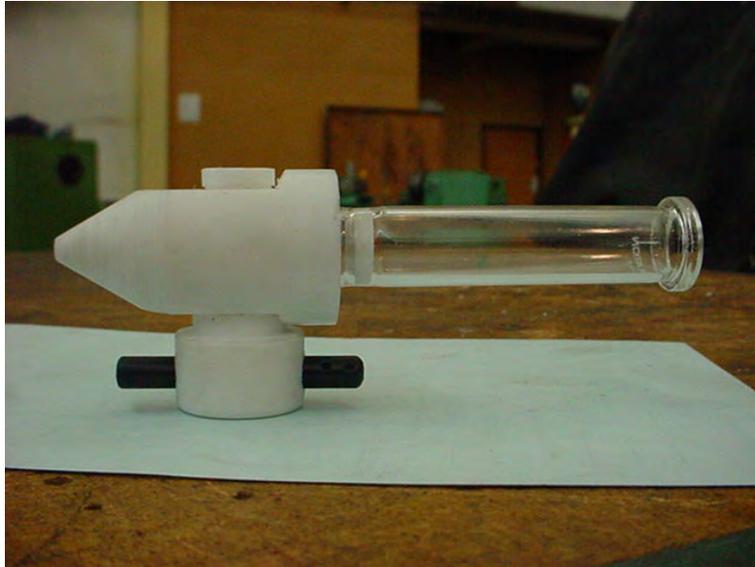


Figura 2.28. Columna cromatográfica y válvula

### 2.2.5.1.3. Chaquetas

Alrededor de las columnas de vidrio llevan colocadas dos camisolitas de teflón de 30 mm de diámetro y 40 mm de largo, con un espesor de 0.1 mm, las cuales dan soporte y seguridad a las columnas cromatográficas como se muestra en la Figura 2.29.



Figura 2.29. Chaquetas

### 2.2.6. Base de la celda

La base de la celda fue fabricada con acrílico de 15 mm de espesor ya que en la parte inferior de la celda van atornilladas las demás paredes de la celda. La base mide 590 mm de ancho por 74 mm de largo. A la base están sujetos los siguientes componentes: el carrusel principal y el cortador de ampollas, los cuales se describen a continuación (Ver Figura 2.30, Plano 008-A).

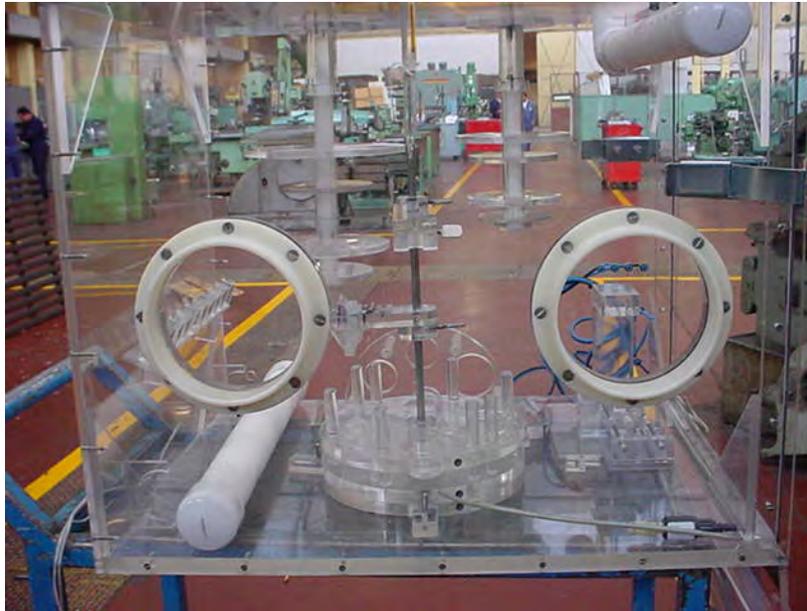


Figura 2.30. Base de la celda del DISER mostrando Componentes que están fijados en ella

#### 2.2.6.1. Carrusel Principal

El carrusel principal es la parte medular del DISER ya que es donde se realiza la separación de los radiolantánidos y la recuperación de los radioisótopos Pm-149, Tb-161, Ho-166 y Lu-177. El carrusel es de forma circular (257 mm de diámetro), elaborado en acrílico, sujeto a la base de la celda con tres seguros fijos a la base, y contiene un eje de acero inoxidable colocado en la parte central del carrusel, el cual lo ayuda a girar de derecha a izquierda y viceversa (Ver Figura 2.31, Plano 008-B y 008-C).

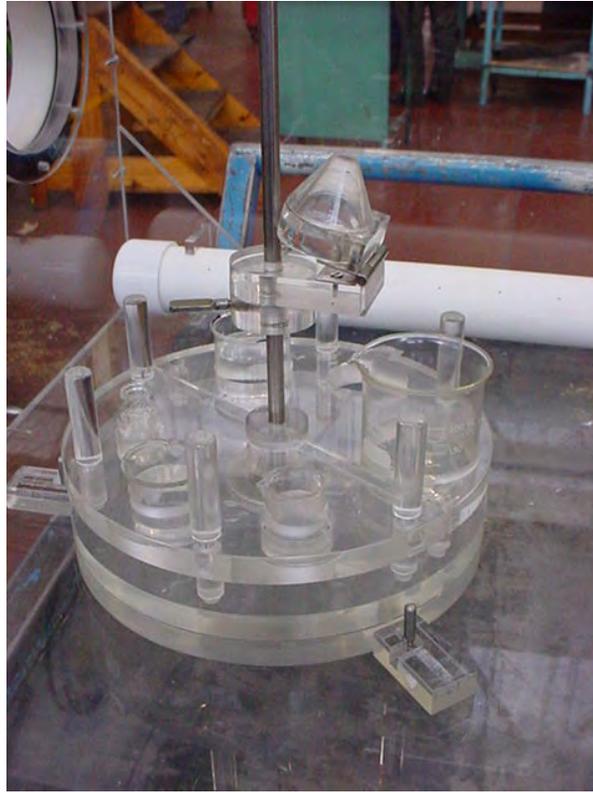


Figura 2.31. Carrusel principal de separación

Las partes principales del carrusel son:

- 2.2.6.1.1. Rodamiento
- 2.2.6.1.2. Base circular y broches de seguridad
- 2.2.6.1.3. Varilla
- 2.2.6.1.4. Semiplatos intercambiables
- 2.2.6.1.5. Porta columnas cromatográficas

A continuación se describen brevemente cada una las partes:

#### **2.2.6.1.1 Rodamiento**

Este dispositivo es de acero inoxidable marca KOYO hecho en Japón modelo 8305ZX y sirve para dar movimiento al carrusel permitiéndole girar en ambos sentidos, ya que cuenta con un mecanismo rotatorio mostrado en la Figura 2.32.

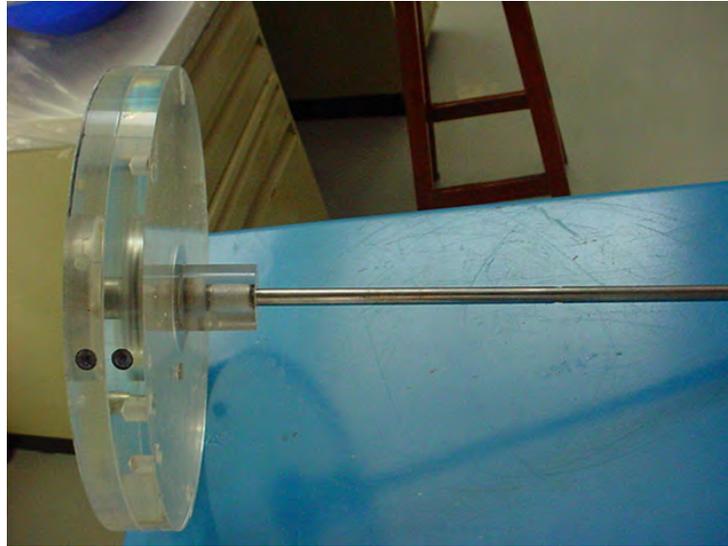


Figura 2.32. Parte inferior y lateral del rodamiento colocado en el carrusel principal

#### 2.2.6.1.2 Varilla

Esta varilla esta atornillada a la base del carrusel principal y tiene la función de soporte ya que en él se coloca el porta columnas cromatográficas. La varilla es de acero de 15 mm de diámetro y 470 mm de largo. Ver Figura 2.33 y Plano 008-B

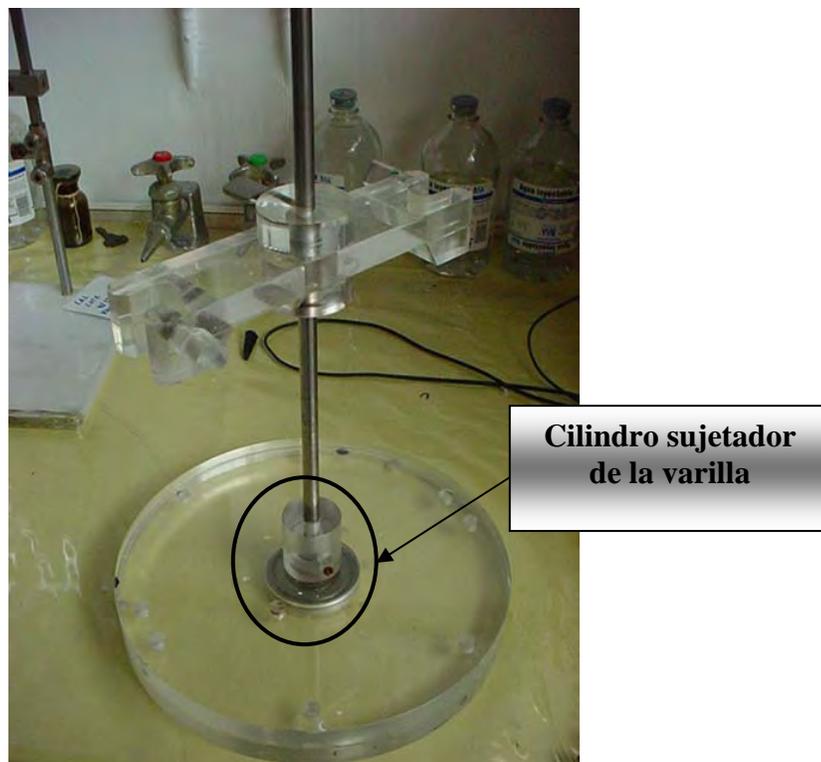


Figura 2.33. Varilla colocada en el carrusel principal.

### 2.2.6.1.3. Base circular y broches de seguridad

La base circular consta de 8 perforaciones de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro situadas prácticamente alrededor de su diámetro, como se muestra en la Figura 2.34 y Plano 008-B. Estas sirven para fijar los semiplatos intercambiables a la base giratoria. El carrusel principal esta sujetado con tres broches, los cuales permiten fijar completamente al carrusel a la celda impidiendo así que éste se mueva (Ver Plano 008-C).

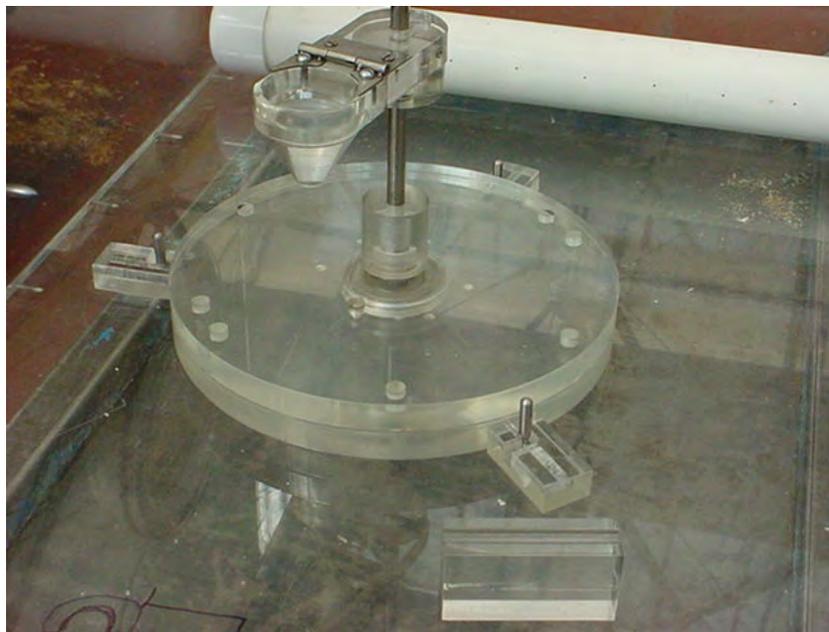


Figura 2.34. Base del carrusel principal

### 2.2.6.1.4 Semiplatos intercambiables para vasos de precipitado

El carrusel principal consta de tres semiplatos, en donde se colocan los vasos de precipitados que se emplean en cada proceso de separación. Los semiplatos son de acrílico y cada uno de ellos cuenta con tres agarraderas cilíndricas de acrílico macizo, de 60 mm de largo y 10 mm de diámetro, adheridas a los semiplanos con cloroformo. Las agarraderas están a una distancia de 80 mm cada una.

Los semiplatos están clasificados con base a los diámetros de los vasos de precipitado de la siguiente forma:

- Semiplato A
- Semiplato B
- Semiplato C

Dos de los tres semiplatos (B y C) son intercambiables, ya que ellos se pueden colocar en el carrusel principal de acuerdo al proceso de separación que se vaya emplear, el semiplato (A) es fijo. Los semiplatos son la mitad de un círculo y cada uno se encuentra rotulado con pequeñas placas cuadradas de 10mm por 10 mm, los cuales fueron serigrafiados con el número de la etapa que se realiza en cada proceso y remarcados con pintura acrílica negra.

A continuación se describen cada uno de los semiplatos:

### ➤ **Semiplato A**

El semiplato A es un semicírculo fijo con las siguientes dimensiones: 257 mm de diámetro y espesor de 10 mm, y cuenta con tres orificios de diámetros: 29.3, 39.5 y 10 mm, en los cuales se colocan vasos de precipitados de 25mL, 50 mL y un frasco de 10 mL. La parte superior del semiplato está rotulada con las etapas 1, LAV y 5 del proceso de separación de radiolantánidos realizada en el DISER (Ver Figura. 2.35, y Plano 008-D). Cuatro pernos sujetadores de acrílico macizo (10 mm de diámetro por 60 mm de largo), colocados en la periferia del semicírculo a una distancia de 100 mm entre ellos, están adheridos al semiplato con cloroformo y tienen la función de permitir su montaje en la base del carrusel principal para sujetar el semiplato. (Ver sección 2.2.6.1.4.1.).



Figura 2.35. Semiplato A (fijo)

### ➤ **Semiplato B**

El semiplato **B** tiene un diámetro de 257 mm y un 10 mm de espesor, cuenta con tres orificios circulares de 420 mm de diámetro, en donde son colocados vasos de precipitado de 50 mL. Al igual que el semiplano A, el semiplano B cuenta con cuatro pernos sujetadores para su fácil inserción en el carrusel principal, con la misma distribución y dimensiones descritos anteriormente, así como con sus rótulos respectivos; en este caso la numeración es 2, 3 y 4 para identificar la fase de separación que se lleva a cabo dentro del carrusel. (Ver Figura 2.36, Plano 008-E)



Figura 2.36. Semiplato B (móvil)

### ➤ **Semiplato C**

El semiplano C posee las mismas dimensiones y distribución que los semiplanos A y B, la diferencia únicamente estriba en los diámetros de sus tres orificios que son, uno de 69.5 mm para el vaso de precipitado de 150 mL y dos de 51.5 mm para los vasos de precipitados de 100 mL. La numeración del semiplano C y B es la misma: 2, 3 y 4. (Ver Figura 2.37, Plano 008-F).



Figura 2.37. Semiplato C (móvil)

#### 2.2.6.1.4.1. Montaje de Semiplatos en Carrusel Principal

Para montar los semiplatos móviles B y C en el carrusel, es necesario colocar los pernos sujetadores en los orificios de la base del carrusel. En la Figura 2.38 muestra el carrusel con el semiplato fijo (A) sin los semiplatos móviles y los orificios en donde embonarán los pernos sujetadores de los semiplanos móviles; en tanto que en la Figura 2.39 se muestra el ensamble del semiplato móvil en el carrusel.

El semiplano móvil que no se utiliza en el proceso está colocado en su soporte que se encuentra ubicado en la base de la celda como se muestra en el Plano 008-G.

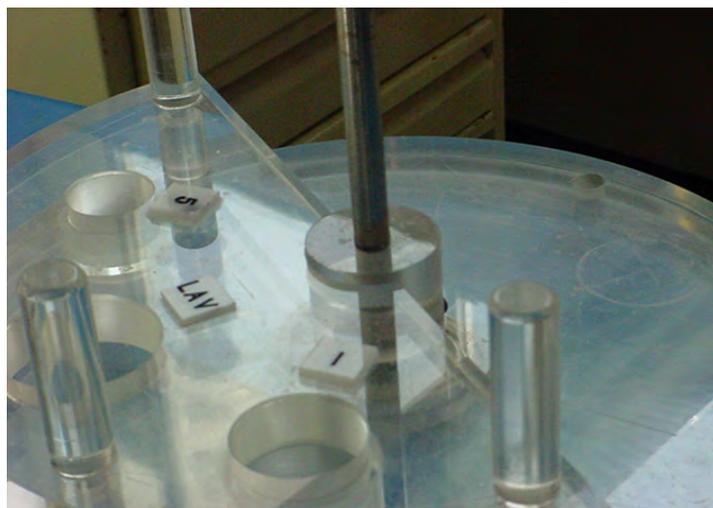


Figura 2.38. Colocación de los semiplatos en el carrusel principal.

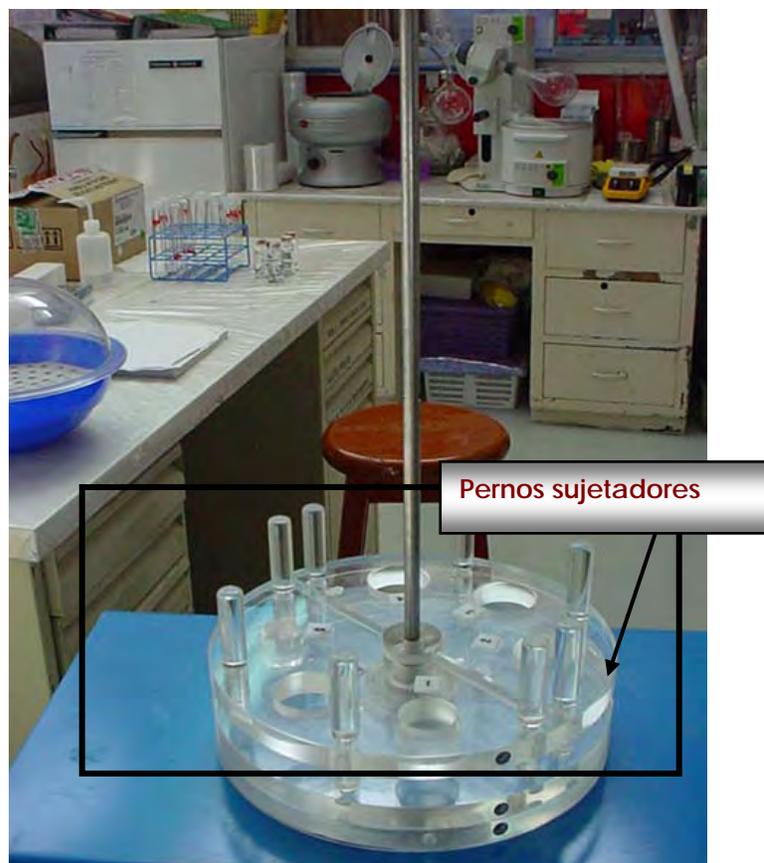


Figura.2.39. Ensamble de semiplatos principales en el carrusel principal.

#### 2.2.6.1.5 Porta-columnas

El porta columnas, como su nombre lo indica, tiene la función de sujetar las dos columnas cromatográficas que se utilizan durante el proceso de separación de radiolantánidos en el DISER (Ver Capítulo 3 sección 3.3.7). El porta columnas está constituido por:

➤ Base de columnas

La base de las columnas es un prisma rectangular de 160 mm de largo y 40mm de espesor y está elaborado de acrílico. Sus extremos están acanalados en forma semicircular (10mm de diámetro) en los cuales se colocan las columnas cromatográficas con ayuda de un tornillo de 5/32 pulgadas de acrílico que funciona como seguro para evitar que resbalen o se muevan durante el proceso de separación de los lantánidos. La base se fija a la varilla del carrusel principal con ayuda de dos sujetadores, uno colocado por la parte inferior de la base y el otro por su parte superior, los cuales se describen a continuación (Ver plano 008-H).

## ➤ Sujetadores

Los sujetadores son tubos de acrílico de 380 mm de diámetro externo, 100 mm de diámetro interno y 17 mm de largo, en un extremo de los sujetadores se tiene un barrenado de 2.5mm en el cual se introduce un tornillo de acero inoxidable de 52 mm de largo y  $\frac{1}{4}$  de pulgada de cuerda fina, mediante el cual se fija el sujetador a la varilla del carrusel principal, a la altura deseada. (Ver Figura 2.40 y Planos 008-H, 008-I).

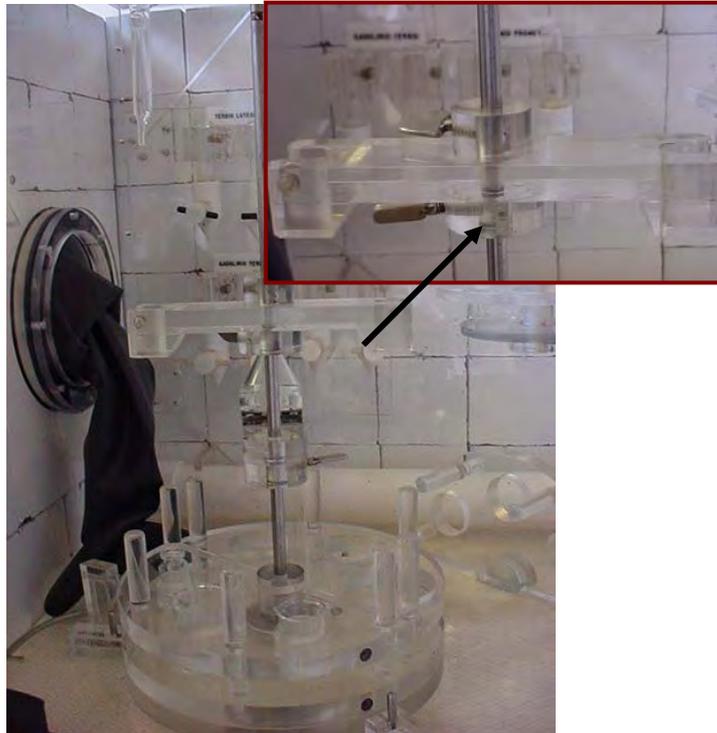


Figura 2.40. Portacolumnas fijado en la varilla del carrusel principal

### 2.2.6.2 Sistema de apertura de ampolleta de irradiación

Este sistema fue elaborado con material de acrílico y creado con la finalidad de abrir de manera fácil y sencilla la ampolleta de cuarzo que contiene el material radiactivo (Ver Figura 2.41 y Plano 008-J). Las ampolletas de cuarzo, miden 5 mm de diámetro y 50 mm de largo, son de forma cilíndrica y son elaboradas especialmente para este dispositivo en el taller de vidrio del ININ por el técnico Sabino Hernández.

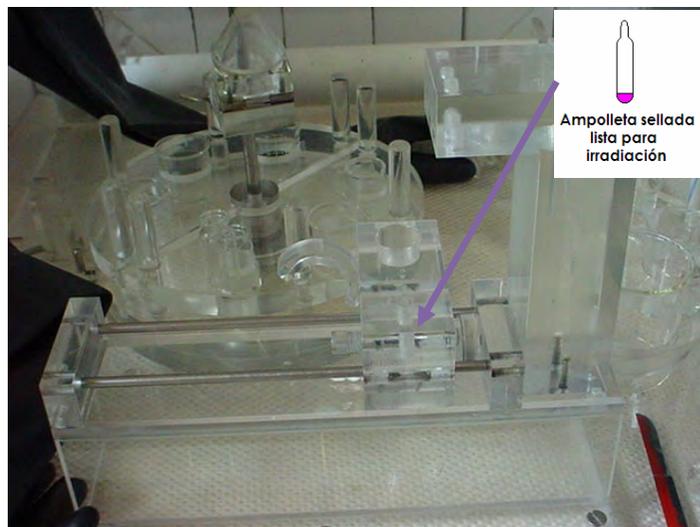


Figura 2.41. Sistema de apertura de ampolletas

El sistema de apertura de ampolletas está constituido de:

- a) Base principal del sistema de apertura
- b) Ejes de desplazamiento de soporte de ampolleta y solución
- c) Soporte de ampolleta y solución radiactiva
- d) Base cortadora de ampolletas

**a) Base principal del sistema de apertura**

La base del sistema de apertura tiene la forma de un tetraedro o prisma rectangular de acrílico de 310 mm de largo por 80 mm de altura y espesor de 90 mm. La base está montado con ayuda de dos tornillos de 6/32 pulgadas a la base de la celda caliente del DISER. (Ver Figura 2.42).

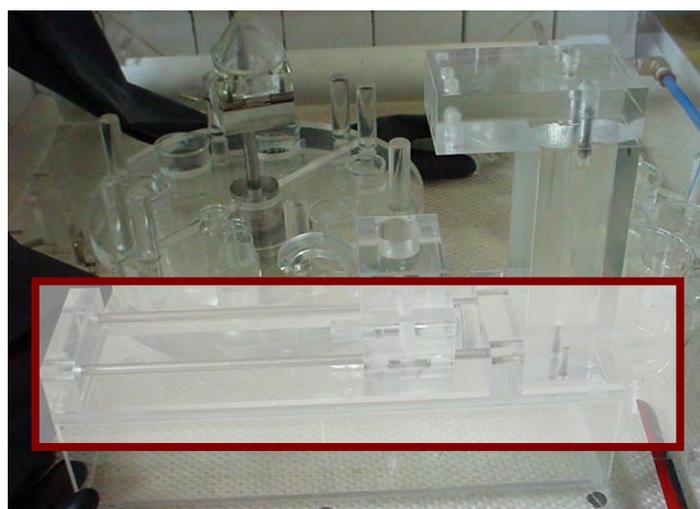


Figura 2.42. Base del sistema de apertura.

### **b) Ejes de desplazamiento de soporte de ampollita y solución**

En los extremos de la base están adheridos con cloroformo dos octaedros, también de acrílico de 10 mm de alto por 15 mm de largo, barrenados (10 mm de largo) en una de sus caras. En total se tiene dos barrenos por octaedro, por donde se atornillan los ejes de desplazamiento para el soporte de la ampollita y la solución radiactiva. Los ejes de desplazamiento constan de 2 varillas cilíndricas de acero inoxidable de 5mm de diámetro y de 200 mm de largo. Ambos ejes tienen en cada extremo, roscas de 10 mm de largo, que se atornillan en la base principal del sistema de apertura como se aprecia en las Figuras 2.42 y 2.43, (ver Plano 008-K).

### **c) Soporte de ampollita radiactiva y solución**

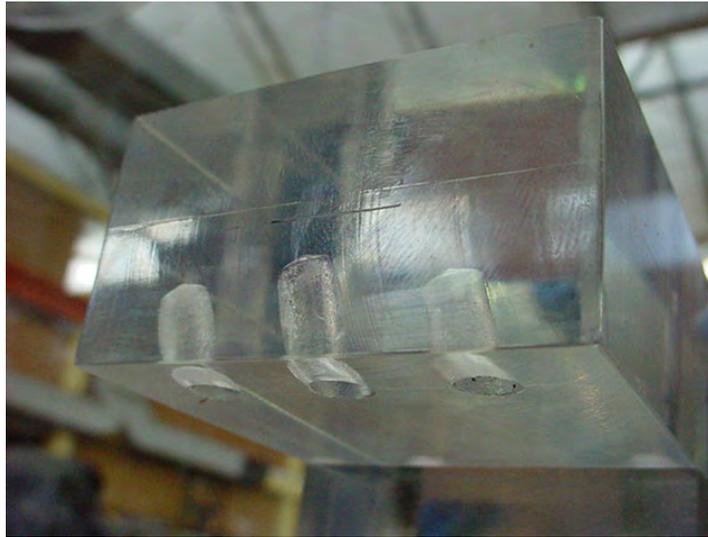
El soporte de ampollitas y soluciones radiactivas es un prisma rectangular macizo de 80 mm de largo por 40 mm de ancho y 50 mm espesor, elaborado en acrílico. La parte superior del prisma tiene dos orificios; el del lado izquierdo se utiliza para colocar un frasco de vidrio de 10 mL de 30 mm de diámetro y el del lado derecho, un orificio de 5 mm de diámetro, se coloca la ampollita de cuarzo. El soporte puede deslizarse manualmente por los ejes, con ayuda de un gancho adherido con cloroformo en la parte frontal del prisma como se muestra en la Figura 2.43. El soporte también cuenta con un tope, colocado en la parte frontal del prisma, fabricado en acrílico en forma de tornillo de cuerda fina de 5mm de diámetro y 20mm de largo, éste se emplea para que el soporte no golpee directamente con la base (ver Plano 008-L).



**Figura 2.43. Ejes de desplazamiento y soporte de ampollita de cuarzo y frasco de solución radiactiva**

#### **d) Base cortadora de ampolletas**

El cortador de ampolletas, es un octaedro de acrílico de 150mm de altura y 45mm de ancho fijado a un prisma rectangular de 310 mm de largo, 80 mm de altura y 90 mm de espesor, adherido éste último a la base principal del sistema de apertura de ampolletas (ver Figura 2.42 y 2.43). Por la parte inferior del cortador, éste tiene tres orificios de 2 mm, 3 mm y 4 mm de diámetro, por donde es introducida la ampolleta para su apertura (ver Figura 2.44). El mecanismo de apertura se detalla en el capítulo 3 (ver Plano 008-LL).



**Figura 2.44. Cortador de ampolletas**

### **2.3 Blindaje de plomo**

Las paredes frontal e izquierda de la celda caliente del DISER, están recubiertas por paredes de plomo, construidas de tabiques de plomo (300 mm de alto por 300 mm de ancho y 100 mm de espesor), elaborados en los Talleres Generales del ININ, en las áreas de fundición y tornos por los técnicos Julian Del Río Ponce y Francisco Jiménez Barreiro. Una vez elaborados todos los tabiques de plomo, enumerados para facilitar su ensamblado, fueron llevados al área de pintura de los Talleres Generales del ININ, donde fueron pintados por los técnicos Fernando Lima Aguilar y José Antonio Cesario Villalobos. Los tabiques se cubrieron primeramente con una capa de anticorrosivos con la finalidad de facilitar la fijación de la laca automotiva blanca (nitrocelulosa) empleada para ello (Ver Figura 2.45). Cada tabique recibió tres manos de laca automotiva, en un tiempo aproximado de 8 horas de las cuales 4 fueron exclusivamente para el secado.



**Figura 2.45. Tabiques de plomo pintados con pintura auto motiva blanca**

Ambas paredes fueron pintadas para evitar cualquier tipo de desprendimiento de plomo, y por exigencias de la Secretaría de Salud para proteger los equipos involucrados en la producción de radiofármacos. La finalidad de que los bloques fueran enumerados, es facilitar el desmonte y re-ensamblaje del blindaje cuando así se requiera.

La pared frontal tiene dimensiones de 850 mm de ancho x 600 mm de alto, y fue montada con 36 tabiques enumerados de forma consecutiva para su fácil ensamblado o desmontaje. Veintiocho de estos tabiques tienen dimensiones de 100 mm de espesor, 100 mm de ancho y 105 mm de alto; Dos de 300 mm de alto por 300 mm de ancho y 100mm de espesor. A estos dos bloques de plomo se les perforaron dos orificios en la parte central de 180 mm de diámetro, en donde son colocados un par de guantes de neopreno sujetos a la celda caliente con ayuda de bridas (véase plano 003-A y Plano 009-A, Figura 2.46).

El resto de los tabiques (6) forman el marco que soporta a la ventana de vidrio emplomado, la cual se encuentra a 395mm de la base y 225mm de lado izquierdo y derecho de la pared emplomada. La ventana permite visualizar lo que se encuentra dentro de la celda caliente protegiendo la visibilidad del operador. En la Figura 2.47 se muestra la fabricación de los tabiques de plomo ensamblados en la parte central de la pared frontal de la celda.



Figura 2.46. Pared frontal de blindaje de Plomo



Figura 2.47. Fabricación de los bloques de plomo en el ININ

El blindaje de la pared lateral izquierda (810 mm de ancho por 600 mm de alto) fue montado con 42 tabiques de plomo de 100 mm de ancho por 100 mm de largo y 100 mm de espesor, (Ver Figura 2.48 y Plano 009-A).



Figura 2.48. Pared lateral izquierda de Plomo

El DISER contiene un par de guantes de neopreno (largo de 200 mm), los cuales son introducidos por la pared frontal del DISER hacia el interior de la celda caliente, fueron adaptados también a la celda caliente utilizando dos chaquetas de 180 mm de diámetro y oring circular de 1/16 pulgadas para cada uno de los guantes a una altura de la base de la celda de 100mm. La función principal de estos es manejar los vasos de precipitados, el material radiactivo (ampolleta) y el sistema en general sin que haya una contaminación fuera del DISER, confinando así todo el material radiactivo utilizado durante los diversos procesos de separación y purificación de los lantánidos y con ello evitar que se dispersen al ambiente. (Véase Figura 2.49).



Figura 2.49. Guantes de neopreno colocados fuera y dentro de la celda caliente

## CAPÍTULO III

### FUNCIONAMIENTO DEL DISER

En este capítulo se presenta un ejemplo de separación de radiolantánidos, específicamente el par Gadolinio – Terbio, para ilustrar el funcionamiento del DISER.

#### 3.1. IRRADIACIÓN DE LANTÁNIDOS

En esta sección se presenta la preparación de las sales de lantánidos necesarias para su irradiación, se mencionan también tanto las condiciones de preparación de las sales, como de irradiación.

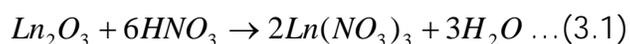
##### 3.1.1. Preparación de Nitratos de Lantánidos (SALINAS).

A partir de los óxidos de Nd, Dy, Yb y Gd, se preparan sus correspondientes nitratos ya que éstos son más fáciles de disolver.

Para la preparación de los nitratos, fueron pesados 2 g de óxido de neodimio ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ), óxido de disprosio ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ), óxido de iterbio ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ) y óxido de gadolinio ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ), cada uno fue colocado en un vaso de precipitado de 25 mL.

Los óxidos de disprosio ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) y gadolinio ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) fueron disueltos en 3 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado, y calentado durante 20 minutos respectivamente en baño maría a  $75^\circ\text{C}$  y 300 rpm. En el caso del neodimio ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) no fue necesario aplicar calor sólo se agitó a 300 rpm durante 30 min. El óxido de iterbio ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ) fue disuelto con 3 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado, aplicando agitación durante 20 minutos a una temperatura de  $85^\circ\text{C}$  en baño maría y utilizando como catalizador 0.2 mL de  $\text{H}_2\text{O}$ .

La reacción 3.1 muestra la reacción estequiométrica que sigue el procedimiento descrito para preparar los nitratos de lantánidos:



Donde:

Ln representa al: Gd, Nd, Dy e Yb.

Una vez que se forman los nitratos, se cristalizan. Para ello se evaporaron los nitratos de Gd, Yb, Dy y Nd dentro de un dispositivo especial diseñado por García Montes de Oca y Salinas (SALINAS, GARCÍA).

### 3.1.2. Condiciones de irradiación de Lantánidos

Una vez producidos cada uno de los nitratos, se colocan 10 mg de  $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Yb}(\text{NO}_3)_3$  y  $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$  en ampolletas de cuarzo y se sellan como se muestra en la Figura 3.1; ya selladas las ampolletas se colocan dentro de los rabbits (contenedores de polietileno de alta densidad), indicando la fecha, el elemento contenido dentro y el tiempo de irradiación al que estará expuesto el blanco (SALINAS).



Fig.3.1. Ampolletas para irradiación de blancos

Las sales contenidas en las ampolletas se irradian con neutrones térmicos en el reactor TRIGA MARK III del ININ, a un flujo de neutrones de  $1.65 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>seg. Se irradian los nitratos de Gd, en el sistema neumático de irradiación de cápsulas (SINCA), los de Nd y Dy en el sistema rotatorio de irradiación de cápsulas (SIRCA) y los de Yb en el sistema fijo de irradiación de cápsulas (SIFCA). El Gadolinio se irradió por 25 minutos, el Disproseo y el Neodimio se irradian por un periodo de 3 horas e Iterbio por 20 min. Después de la irradiación, el Nd se dejó decaer 14 horas, el Dy 16 horas y el Yb por 7 días, en el caso del Gd no se deja decaer porque su tiempo de vida media es muy corto.

El reactor TRIGA MARK III es de tipo piscina abierta, con una potencia de 1MWatt y un flujo de neutrones comprendido entre  $1 \times 10^{11}$ - $1 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>s en el cual se utiliza uranio enriquecido entre el 20 y 25 % en <sup>235</sup>U como combustible (SALINAS).

Por ejemplo, al irradiar el  $Gd(NO_3)_3$  se produce el  $^{161}Gd$  que por decaimiento radiactivo forma al  $^{161}Tb$  como se presenta en la siguiente reacción nuclear:



Las sales se dejan decaer dentro del reactor, para que por la emisión de partículas  $\beta^-$  de los radionúclidos padres formen los radioisótopos hijos, cabe mencionar que este decaimiento ayuda a que otros radionúclidos presentes en la muestra que no son deseados desaparezcan. En la tabla 3.1 se muestran todos los radiolantánidos que se forman al irradiarse las sales de nitrato (ERDTMANN).

Isótopo	Reacción	Vida media	Energía (KeV)
$^{143}Nd$	$^{143}Nd (\eta,\gamma)^{144}Nd$ Natural		
$^{144}Nd$	$^{144}Nd (\eta,\gamma)^{145}Nd$ Natural		
$^{145}Nd$	$^{145}Nd (\eta,\gamma)^{146}Nd$ Natural		
$^{146}Nd$	$^{146}Nd + \eta \rightarrow ^{147}Nd + \beta^- \rightarrow ^{147}Pm + \gamma \rightarrow ^{147}Sm$	11.06 d	531
$^{148}Nd$	$^{148}Nd + \eta \rightarrow ^{149}Nd + \beta^- \rightarrow ^{149}Pm + \gamma \rightarrow ^{149}Sm$	1.73 h	114.32; 270.10
$^{150}Nd$	$^{150}Nd + \eta \rightarrow ^{151}Nd + \beta^- \rightarrow ^{151}Pm + \gamma \rightarrow ^{151}Sm$	12.44 h	1180.6; 255.6
$^{152}Gd$	$^{152}Gd + \eta \rightarrow ^{153}Gd + \beta^- \rightarrow ^{153}Eu + \gamma$	241.6 d	97.5; 103.2
$^{154}Gd$	$^{154}Gd (\eta,\gamma)^{155}Gd$ Natural		
$^{155}Gd$	$^{155}Gd (\eta,\gamma)^{156}Gd$ Natural		
$^{156}Gd$	$^{156}Gd (\eta,\gamma)^{157}Gd$ Natural		
$^{157}Gd$	$^{157}Gd (\eta,\gamma)^{158}Gd$ Natural		
$^{158}Gd$	$^{158}Gd + \eta \rightarrow ^{159}Gd + \beta^- \rightarrow ^{159}Tb + \gamma$	18.56 d	363.56
$^{160}Gd$	$^{160}Gd + \eta \rightarrow ^{161}Gd + \beta^- \rightarrow ^{161}Tb + \gamma \rightarrow ^{161}Dy$	3.7min	361
$^{161}Tb$		6.91 d	48.92; 74.6
$^{156}Dy$	$^{156}Dy + \eta \rightarrow ^{157}Dy + \beta^- \rightarrow ^{157}Tb + \gamma \rightarrow ^{157}Gd$	8 hs	326.4
$^{158}Dy$	$^{158}Dy (\eta,\gamma)^{159}Dy \rightarrow ^{159}Tb$	144 d	58.2
$^{160}Dy$	$^{160}Dy (\eta,\gamma)^{161}Dy$ Natural		
$^{161}Dy$	$^{161}Dy (\eta,\gamma)^{162}Dy$ Natural		
$^{162}Dy$	$^{162}Dy (\eta,\gamma)^{163}Dy$ Natural		
$^{163}Dy$	$^{163}Dy (\eta,\gamma)^{164}Dy$ Natural		
$^{164}Dy$	$^{164}Dy (\eta,\gamma)^{165}Dy$ Natural		
$^{165}Dy$	$^{165}Dy (\eta,\gamma)^{166}Dy \rightarrow ^{166}Ho \rightarrow ^{166}Er$	2.3 h	94.7
$^{166}Ho$		1.117 d	80.57
$^{168}Yb$	$^{168}Yb (\eta,\gamma)^{169}Yb \rightarrow ^{169}Tm$	30.7 d	177.18; 197.97
$^{170}Yb$	$^{170}Yb (\eta,\gamma)^{171}Yb$ Natural		
$^{172}Yb$	$^{172}Yb (\eta,\gamma)^{173}Yb$ Natural		
$^{173}Yb$	$^{173}Yb (\eta,\gamma)^{174}Yb$ Natural		
$^{174}Yb$	$^{174}Yb + \eta \rightarrow ^{175}Yb + \beta^- \rightarrow ^{175}Lu + \gamma$		
$^{176}Yb$	$^{176}Yb + \eta \rightarrow ^{177}Yb + \beta^- \rightarrow ^{177}Lu + \gamma \rightarrow Hf^{177}$	1.9 h	150.39
$^{177}Lu$		160.9 d	208.36

Tabla 3.1 Radioisótopos producidos por la irradiación de los Nitratos de: Nd, Gd, Dy e Yb y sus vidas medias

Una vez irradiados los 10 mg de las sales de nitrato, se disuelven en 300  $\mu$ L de  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L; a estas soluciones se les denominó: **soluciones madre** que contiene al par padre/hijo, en donde el elemento irradiado es el elemento padre y el elemento formado es el elemento hijo. El seguimiento del proceso de separación de los pares:  $^{151}\text{Nd}/^{151}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  e  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$  se realiza con los radioisótopos hijos:  $^{151}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$ , y con los radioisótopos:  $^{147}\text{Nd}$  con 11 días de vida media,  $^{157}\text{Dy}$

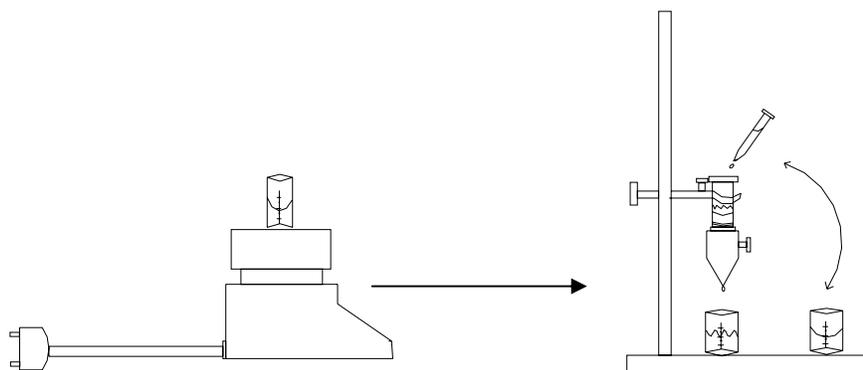
8 horas de vida media,  $^{175}\text{Yb}$  4.19 días de vida media y el  $^{159}\text{Gd}$  18.5 horas, debido a que la vida media de los respectivos radioisótopos padres  $^{151}\text{Nd}$ ,  $^{161}\text{Gd}$ ,  $^{166}\text{Dy}$  e  $^{177}\text{Yb}$  poseen vidas medias del orden de minutos y horas imposibles de cuantificar en los tiempos empleados en esta metodología.

### 3.2. Preparación previa del DISER para la producción de radiolantánidos

Antes de comenzar la separación de radiolantánidos el DISER se debe limpiar completamente el DISER utilizando una franela limpia, agua destilada para limpiar las zonas del interior y agua corriente para limpiar el exterior, verificando que no haya existencia de contaminación radiactiva, en caso que se detecte la presencia de material radiactivo emplear guantes para su limpieza y verificar los niveles de radiación.

#### 3.2.1 Preparación de columnas cromatográficas

Para preparar las columnas cromatográficas es necesario lavarlas previamente con jabón y agua destilada. Posteriormente se ensamblan a su respectiva válvula adaptándolas con dos capuchas, las cuales sujetan la columna (ver sección 2.2.5.1.1 del capítulo II y Figura 3.2). Previamente al montaje, se lavan perfectamente las válvulas y las capuchas.



**Fig. 3.2 Preparación de la Resina De columnas cromatográficas**

### 3.2.1.1.2. Preparación de columna cromatográfica de separación

Se utiliza una columna de vidrio marca Wheaton de 80 x12 mm que contiene una frita de fibra de vidrio a 1cm de su parte inferior y en la parte superior de la frita se coloca un papel Whatman del No.1, seguido de un espesor de 0.5 cm de altura de lana de vidrio previamente humedecida en agua destilada. Se adiciona la resina Ln SPS previamente acondicionada como se describió en el inciso 3.3.1.1 y se cubre con una capa de 0.5 cm de lana de vidrio húmeda. Se equilibra la columna con 20mL de  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L y se coloca en la base de porta columnas cromatográficas del DISER (véase figura 3.3 y 2.26 del capítulo II).

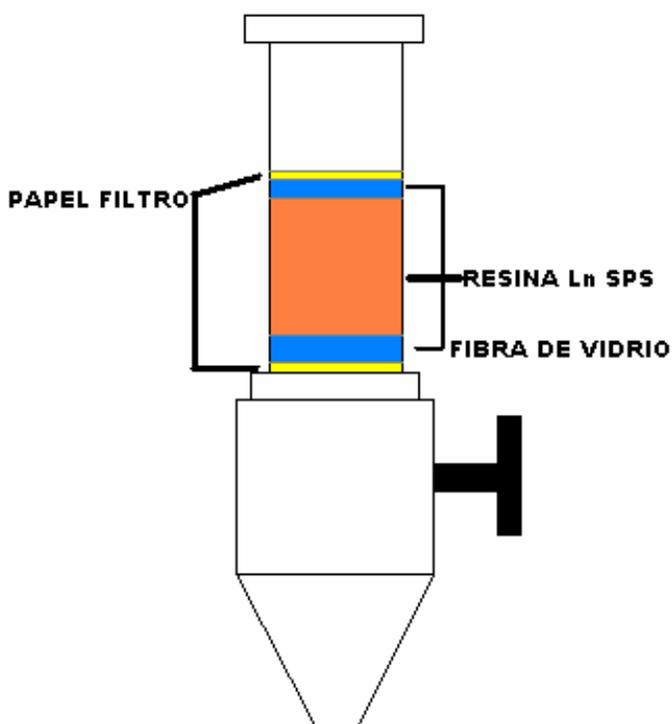


Fig. 3.3 Columna cromatográfica de separación

### 3.2.1.2. Preparación de columnas de recuperación

Para preparar la columna de recuperación también se utiliza una columna cromatográfica de vidrio marca Wheaton de 80 x12 mm. En este caso se coloca en la parte inferior de la columna un círculo de papel Whatman No.1 de 12 mm de diámetro, seguido de 3 cm de fibra de vidrio húmeda bien empacada sin que tenga formación de burbujas de aire y se le vuelve a colocar en la parte superior otro círculo de papel Whatman No.1;

finalmente se sujeta a la base de portacolumnas cromatográficas del DISER. (Ver Fig.3.4 y 2.26 del capítulo II).

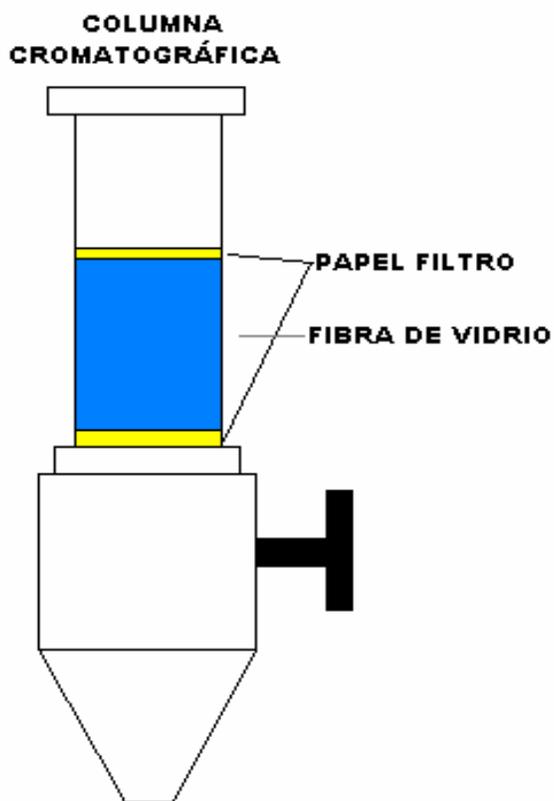


Fig. 3.4 Columna de recuperación

Una vez definido el proceso que se va a realizar en el DISER, tanto la columna cromatográfica de separación como de recuperación del proceso elegido se colocan en la barra de sujeción de columnas del DISER atornillando perfectamente para que no se caigan o se muevan (ver figura 3.5).

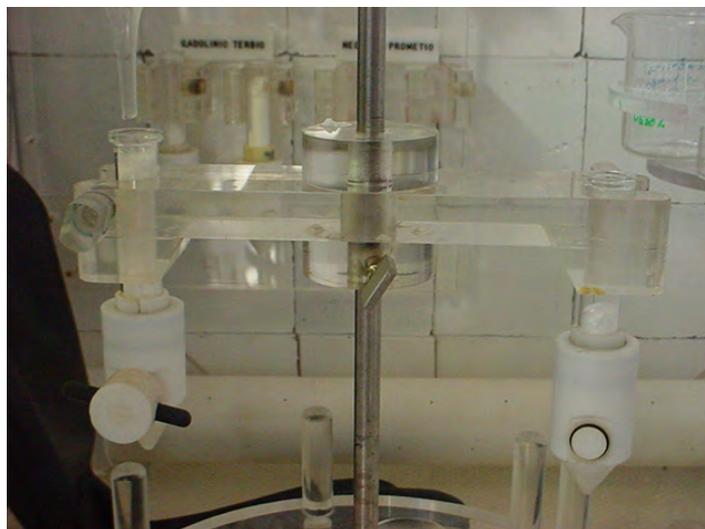


Figura 3.5. Columnas cromatográficas montadas en carrusel principal

### 3.2.2. Preparación de soluciones y material de vidrio.

Todos los vasos de precipitado deberán estar perfectamente limpios y etiquetados con los siguientes datos:

- Nombre del proceso en el que se va a utilizar.
- El número de etapa en la que se va a requerir.
- Fecha de la producción de este proceso, esto es para saber en que día se elaboró.

Los vasos se introducen al DISER y se colocan en los portavasos correspondientes. Una vez que se determine que proceso se va a realizar, se toman de los portavasos y se acomodan en los semiplatos del carrusel en la etapa respectiva. Previamente se deberá instalar el semiplato correspondiente al proceso (ver Figura 3.6).



3.6. Montaje de vasos de precipitados en el carrusel principal

Se introduce a la celda una pizeta con agua destilada, un agitador de vidrio y la pipeta Pasteur para la disolución de la sal.

Preparar todas las soluciones que se van a emplear durante el proceso de acuerdo a las concentraciones y volúmenes mostrados en la Tabla 3.2.

<b>FASE</b>	<b>Gd/Tb</b>	<b>Nd/Pm</b>	<b>Dy/Ho</b>	<b>Yb/Lu</b>
<b>Disolución y Fijación</b>	50 mL HNO <sub>3</sub> 0.15 mol/L	50 mL HNO <sub>3</sub> 0.15 mol/L	50 mL HNO <sub>3</sub> 0.15 mol/L	50 mL HNO <sub>3</sub> 0.15 mol/L
<b>Extracción del Padre</b>	50 mL HNO <sub>3</sub> 0.8 mol/L	250 mL HNO <sub>3</sub> 0.18 mol/L	50 mL HNO <sub>3</sub> 1.5 mol/L	250 mL HNO <sub>3</sub> 3.4 mol/L
<b>Extracción del Hijo</b>	50 mL HNO <sub>3</sub> 3 mol/L	50 mL HNO <sub>3</sub> 1.5 mol/L	10 mL HNO <sub>3</sub> 3 mol/L	250 mL HNO <sub>3</sub> 9 mol/L
<b>Disolución del Hijo</b>	10 mL HCl 0.1 mol/L	10 mL HCl 0.1 mol/L	10 mL HCl 0.1 mol/L	10 mL HCl 0.1 mol/L

Tabla 3.2. Volúmenes preparados para cada proceso de separación

Se introduce a la celda un frasco de 10 mL con 2 mL de HNO<sub>3</sub> 0.15 mol/L y se coloca en el sistema de apertura de ampolletas.

### 3.3. Procedimiento de obtención radiolantánidos en el DISER

Para ilustrar el funcionamiento el DISER se describe el proceso de separación del par  $^{161}\text{Gd} / ^{161}\text{Tb}$  basándonos en la metodología mostrada en la sección 2.1 y esquematizada en la Figura 3.7 y la Tabla 3.2.

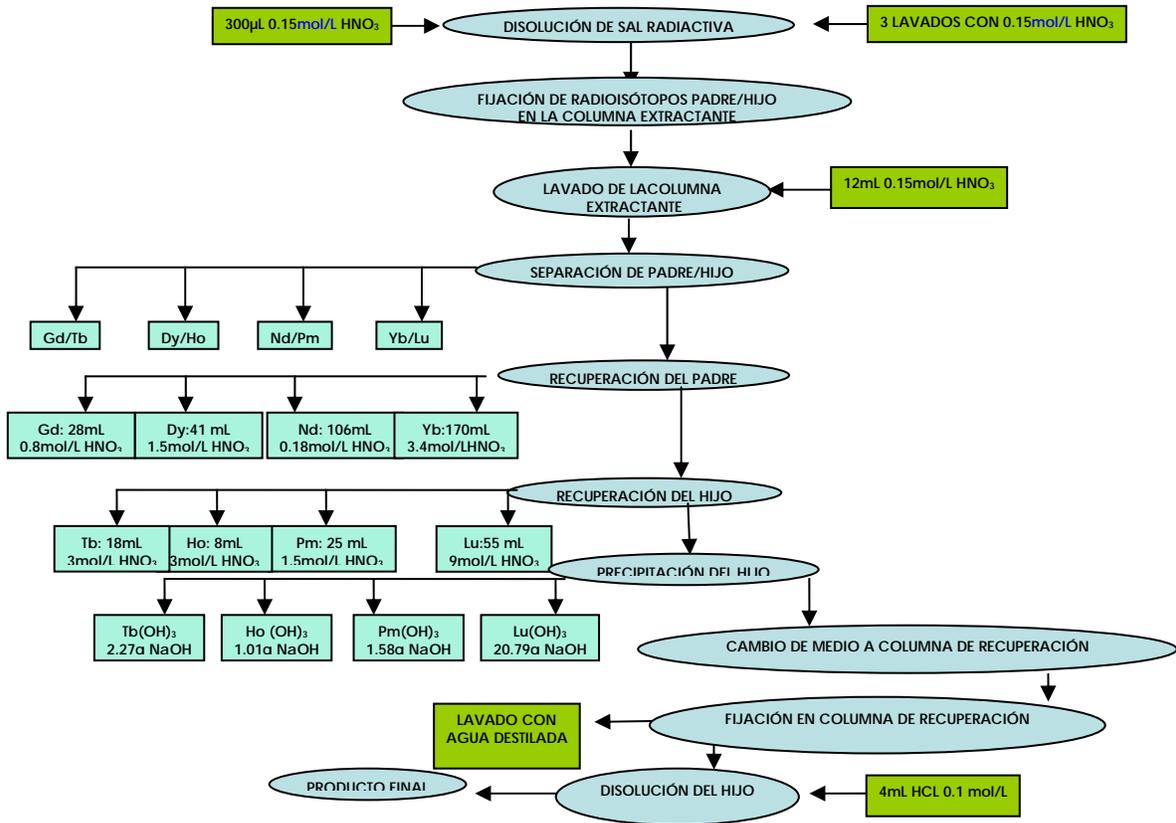


Figura 3.7. Diagrama de flujo de producción de los pares Gd/Tb, Dy/Ho, Nd/Pm e Yb/Lu

#### 3.3.1. Actividades previas al proceso de separación

Una vez efectuada la preparación previa del DISER descrita en la sección 3.2, se procede a realizar las siguientes actividades particulares para el proceso del par Gd/Tb:

1. Colocar dentro del carrusel principal el semiplato B y tres vasos de precipitado de 50 mL, dos de 25 mL y un frasco de 10 mL, de acuerdo a las posiciones marcadas en la Figura 3.8.

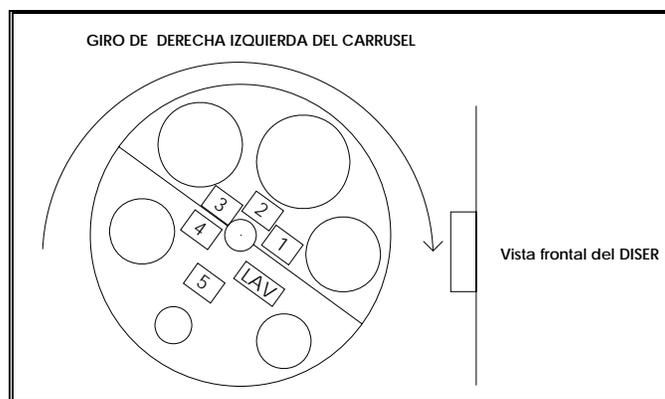


Figura 3.8. Giro del carrusel de derecha a izquierda

2. Se preparan las soluciones indicadas en la tabla 3.1 para el proceso de separación del par Gd/Tb: 50 mL de HNO<sub>3</sub> 0.15, 0.8 y 3 mol/L y 25 mL de HCl 0.1 mol/L.

Estas soluciones se prepararon a partir de los siguientes reactivos:

- Ácido Nítrico marca J. T Baker cuya conc. 14.45 mol/L del frasco de 1L
- Ácido Clorhídrico, marca Mallinckrodt conc. 11.97 mol/L del frasco de 2.5L

3. Encender la campana de extracción y abrir la llave del sistema de aire.

4. Abrir la compuerta del DISER para introducir un frasco con 300 μL de HNO<sub>3</sub> 0.15 mol/L y colocarlo en la base del cortador de ampollitas.

5. Se agrega en el embudo de separación del sistema de entrada de reactivos 12 mL de HNO<sub>3</sub> 0.15 mol/L (ver Figura 2.22 del capítulo II),

### 3.3.2. Procedimiento de obtención del Tb-161 en el DISER

1. Introducir la ampollita que contiene el nitrato radiactivo de <sup>161</sup>Gd/<sup>161</sup>Tb y colocarlo en el soporte de la ampollita del sistema de apertura de ampollitas (ver Figura 3.9 y Figura 2.41 del capítulo II) y cerrar la compuerta del DISER.



Figura 3.9. Acceso del material radiactivo al DISER

2. Para abrir la ampolleta se desliza el soporte hacia la base cortadora. Se toma la ampolleta de cuarzo de la base con una mano y se introduce dentro uno de los orificios de la base cortadora, de acuerdo al diámetro de la cabeza de la ampolleta. Una vez adentro del orificio, se jala la ampolleta hacia la parte frontal de la celda, esto permitirá romper la ampolleta de cuarzo. En la Figura 3.10 se muestran los pasos a seguir para la apertura de las ampolletas. Se debe asegurar que la punta de la ampolleta quede completamente dentro del orificio de la base cortadora para evitar tener un diámetro menor de apertura lo cual dificulta introducir la pipeta Pasteur. Abierta la ampolleta se vuelve a colocar en el soporte de la base cortadora y se desliza hacia su punto inicial.

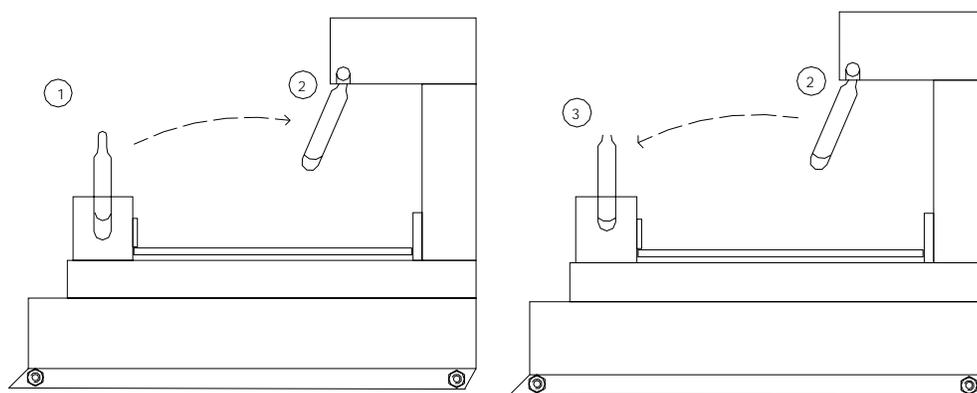


Figura 3.10. Apertura de la ampolleta de cuarzo

3. Se sujeta la pipeta Pasteur de su base, situada en la parte superior de la celda caliente (Ver Figura 2.20 del capítulo II) y se toman del frasco ubicado en el soporte de ampolleta, 300  $\mu$ L de la solución

0.15 mol/L de  $\text{HNO}_3$ . Se introduce esta solución a la ampolleta como se muestra en la Figura 3.11.

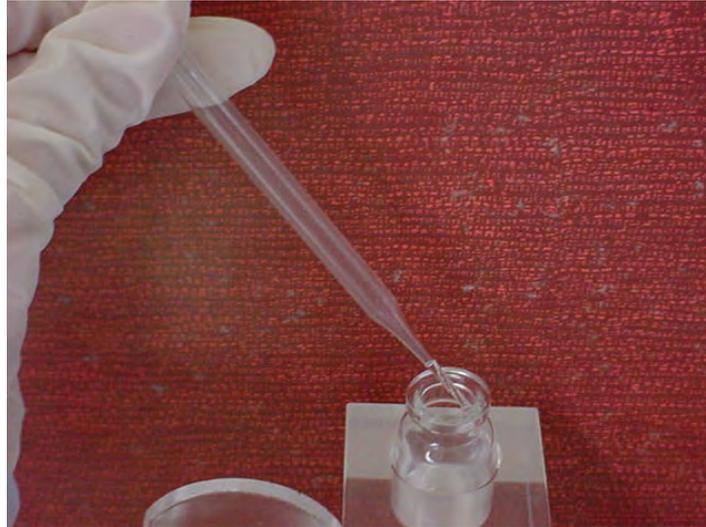


Figura 3.11. Toma de la solución de  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L del frasco con ayuda de la pipeta Pasteur

4. Para facilitar la disolución de la sal radiactiva se succiona y se adiciona la solución de  $\text{HNO}_3$  de la ampolleta, por lo menos tres veces hasta asegurarse de que sal este completamente disuelta (ver Figura 3.12).



Figura 3.12. Disolución del nitrato radiactivo con  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L

5. Se agrega toda la solución radiactiva a la columna de separación previamente preparada (ver Sección 3.2.1.1.2.), con ayuda de la pipeta Pasteur. La columna cromatográfica debe estar cerrada para evitar que se salga nuestra solución (ver Figura 3.13).



**Figura 3.13. Introducción de la solución radiactiva a la columna de separación.**

6. Se abre la llave del embudo de separación del sistema de entrada de reactivos, poco a poco, y la válvula de la columna de separación (Ver Figura 3.14 y 3.15). La solución de elución se recupera en el vaso de precipitado No.1 (Figura 3.8 y 3.15). Una vez que la solución termina de fluir hacia la columna, se cierra el embudo y se adicionan 28 mL de  $\text{HNO}_3$  0.8 mol/L. Cuando la solución termina de difundirse por la columna de separación, se cierra su válvula y se concluye de esta forma la etapa II de fijación del par  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$  (Ver Tabla 3.2).



**Figura 3.14. Apertura del embudo para ingresar las soluciones a la columna de separación**



Figura 3.15. Solución recuperada en el vaso no.1

7. Para comenzar la etapa III de extracción del  $^{161}\text{Gd}$  (ver Tabla 3.2), se procede a girar el carrusel de derecha a izquierda para direccionar la columna con el vaso No. 2 (ver Figura 3.16). Se abre la llave del embudo de separación y se dejan pasar los 28 mL de  $\text{HNO}_3$  0.8 mol/L a través de la columna de separación. Inmediatamente se abre la válvula de la columna y se deja pasar la solución, recuperándose el  $^{161}\text{Gd}$  en el vaso no. 2. Concluida esta etapa se cierra la válvula de la columna de separación y la llave del embudo de decantación.



Figura 3.16. Recolección del radioisótopo padre en el vaso de precipitado No.2

- Para la etapa IV, la recuperación del  $^{161}\text{Tb}$  (ver Tabla 3.2), se vuelve a girar el carrusel de derecha a izquierda y se alinea la columna al

vaso de precipitado No. 3, donde se almacenara al  $^{161}\text{Tb}$ . Se adicionan al embudo de separación 18 mL de  $\text{HNO}_3$  3 mol/L y se abre la llave del embudo. Inmediatamente se abre la válvula de la columna de separación (ver Figura 3.17) y se deja fluir la solución hasta que se termine y se cierran nuevamente la llave del embudo y la válvula de la columna.



**Figura 3.17. Vaso de precipitado No.3 el cual contiene al radioisótopo hijo**

8. En la etapa V se pesan 2.27g de NaOH en un vaso de precipitados de 50 mL, se introduce a la celda a través de la compuerta del DISER, se cierra la compuerta y se coloca cerca del carrusel principal. La sosa se introduce poco antes de su utilización debida a sus propiedades higroscópicas. Al vaso No. 3, el cual contiene la solución de nitrato de Tb-161, se le agregan los 2.27 g de NaOH para neutralizar la solución de  $\text{HNO}_3$  que se empleo durante su extracción. El NaOH se disuelve perfectamente con ayuda del agitador hasta su completa disolución. La siguiente reacción muestra las transformaciones químicas que ocurren en este proceso:



Esta reacción es exotérmica y para poder controlar la temperatura del vaso no.3, el DISER cuenta con un sistema de aire que permite

mantenerla equilibrada. Es necesario tener mucho cuidado al momento de agregar las perlas de soda a la solución ya que la reacción es tan violenta que despiden vapores y puede proyectarse la solución hacia el exterior del vaso (ver Figura 3.18).



Figura 3.18. Precipitación de  $^{161}\text{Tb}$  adicionando NaOH a la solución de nitratos.

9. Se gira el porta columnas  $180^\circ$  para trabajar con la columna de recuperación, previamente empacada como se describe en la sección 3.2.1.2 así como el carrusel principal, dejando el vaso No. 4 alineado a la columna de recuperación.

Se agrega la mezcla neutralizada que contiene el hidróxido de terbio-161 del vaso No.3 a la columna de recuperación. Se abre la válvula de la columna, quedándose la fase sólida soportada dentro de la columna y con ello nuestro radioisótopo hijo (Tb-161), la fase líquida se recupera en el vaso No.4. (Ver Figura 3.19) y se cierra la válvula de la columna.

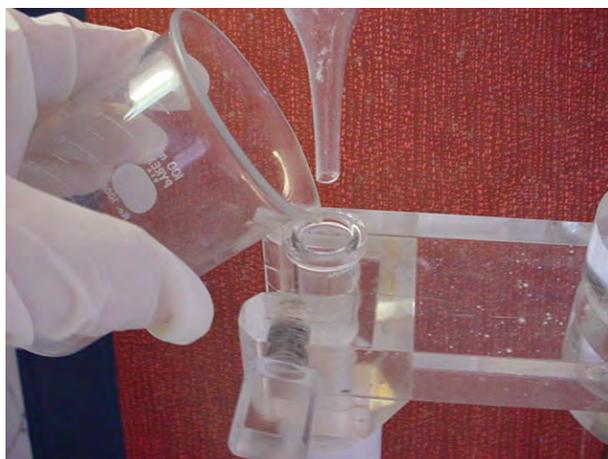


Figura 3.19 Adición de la mezcla de neutralización a la columna de recuperación

10. Finalmente en la etapa VI se disuelve el  $^{161}\text{Tb}(\text{OH})_3$  previamente precipitado (ver Tabla 3.2). Se gira el carrusel nuevamente de izquierda a derecha y se coloca el frasco a la misma distancia que la columna de recuperación, cerrando la válvula de la columna. Se agregan 4 mL de HCl 0.1 mol/L al embudo del sistema de entrada de reactivos y se abre la llave del embudo para dejar pasar esta solución a la columna de recuperación, se deja reposar por 10 min y se abre la válvula de la columna para recuperar al  $^{161}\text{Tb}$  en una solución de cloruros (ver Figura 3.20) como se muestra en la siguiente reacción:

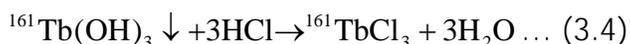


Figura 3.20. Columna cromatográfica abierta al dejar reposar con HCl

### 3.3.2. Cuantificación del producto final del DISER

- 1) Se colocan guantes de plástico en ambas manos.
- 2) Se abre la compuerta del DISER y se toma el frasco con ayuda de unas pinzas y se coloca en el contenedor de plomo.
- 3) El frasco se lleva al detector de Ge-Hp, marca Canberra y se coloca a una distancia de 1cm entre el detector y la muestra, para realizar el conteo de actividad por 400 segundos; en este conteo se cuantifica la actividad de  $^{161}\text{Tb}$  y de  $^{159}\text{Gd}$ , debido a la corta vida media del  $^{161}\text{Gd}$  se hace el seguimiento de la presencia de Gd en el producto final (ver Tabla 3.1). Cabe mencionar que este estudio se realizó a nivel de trazas, es decir con actividades menores a  $60 \mu\text{Ci}$

pero cuando se trabaja con actividades mayores su cuantificación se realiza en un contador CANPITEC.

4) Se etiqueta el frasco con la siguiente información:

- Lote
- Fecha de obtención del producto
- Nombre del radioisótopo
- Vida media

Todo el procedimiento de producción de  $^{161}\text{Tb}$  descrito en esta sección se aplica en la producción del:  $^{151}\text{Pm}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  variándose únicamente los volúmenes y las concentraciones de  $\text{HNO}_3$  como lo muestra la tabla 3.3.

PROCESO	DISOLUCIÓN I	FIJACIÓN II	EXTRACCIÓN DEL PADRE III	RECUPERACIÓN DEL HIJO IV	PRECIPITACIÓN DEL HIJO V	DISOLUCIÓN Y RECUPERACIÓN DEL HIJO VI
<b>Gd / Tb</b>	300 $\mu$	12 mL 0.15 mol/L $\text{HNO}_3$	28 mL 0.8 mol/L $\text{HNO}_3$	18 mL 3 mol/L $\text{HNO}_3$	2.27 g NaOH	4 mL HCl 0.1 mol/L
<b>Nd / Pm</b>	300 $\mu$	12 mL 0.15 mol/L $\text{HNO}_3$	106 mL 0.18 mol/L $\text{HNO}_3$	25 mL 0.18 mol /L $\text{HNO}_3$	1.58 g NaOH	4 mL HCl 0.1 mol/L
<b>Dy / Ho</b>	300 $\mu$	12 mL 0.15 mol/L $\text{HNO}_3$	41 mL 1.5 mol/L $\text{HNO}_3$	8 mL 3 mol/L $\text{HNO}_3$	1.01 g NaOH	4 mL HCl 0.1 mol/L
<b>Yb / Lu</b>	300 $\mu$	12 mL 0.15 mol/L $\text{HNO}_3$	170 mL 3.4 mol/L $\text{HNO}_3$	55 mL 9 mol/L $\text{HNO}_3$	20.79 g NaOH	4 mL HCl 0.1 mol/L

Tabla 3.3. Concentraciones y volúmenes de los procesos de separación de radiolantánidos

### 3.3.2. Medidas de seguridad

Todo tipo de proceso requiere tomar medidas de seguridad las cuales van desde la protección del personal que está manipulando el equipo hasta el área de trabajo en general.

Los implementos de seguridad personal que se emplean dentro del laboratorio durante el proceso son:

1. Dosímetro personal: el cual sirve para determinar la dosis de radiación recibida por el operador durante el proceso.
2. Bata blanca de laboratorio: Evita que la ropa se maltrate y protege nuestro cuerpo de cualquier derrame de ácidos cuando se estén empleando.
3. Goggles o lentes de protección visual
4. Guantes de látex: Sirven para la preparación de las soluciones, y para introducir y sacar las fuentes radiactivas del DISER.
5. Zapatos cerrados: Protegen la piel de algún derrame de cualquier tipo de ácido y evitan también el contacto directo con la sustancia irradiada.
6. Se realiza un levantamiento de niveles de radiación en el laboratorio antes y después del proceso de separación para conocer las condiciones radiológicas del lugar de trabajo en todo momento.
7. La celda tiene la función de controlar la dispersión del material radiactivo hacia el exterior en tanto que el blindaje de la celda protege al operador de la radiación gama que emiten los radiolantánidos. La ventana de vidrio emplomado nos protege los ojos disminuyendo la cantidad de dosis radiactiva que pudiese salir por ella, además de que permite visualizar el proceso dentro de la celda desde el exterior.
8. El sistema de extracción sirve para controlar la diseminación de materiales radiactivos ya sean gases o partículas que se encuentran dispersos dentro de la celda y que son confinados en el filtro del sistema de extracción.
9. El sistema de aire nos ayuda a controlar la reacción de calentamiento que se lleva a cabo durante la etapa de precipitación del radioisótopo hijo.

## CAPÍTULO IV

### OPTIMIZACIÓN DE DISER

En este capítulo se presenta la optimización del Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER), y se clarifica de la siguiente forma:

#### 4.1. Pruebas en frío en el DISER:

##### 4.1.1. Con agua

##### 4.1.2. Con Ácidos

#### 4.2. Pruebas con Material Radiactivo

##### 4.2.1. Modificaciones al DISER

##### 4.2.2. Verificación del funcionamiento del DISER

#### **4.1. Pruebas en frío en el DISER.**

##### **4.1.1. Con agua**

La primera prueba realizada en el DISER fueron hechas en frío, la cual consistió en probar cada uno de los instrumentos involucrados dentro del proceso de separación de los radiolantánidos con agua: sistema de aire y extracción, sistema de apertura de ampollas, sistema de entrada de reactivos y carrusel principal.

A continuación se describen las fallas localizadas en el DISER así como las modificaciones realizadas en cada caso:

#### 4.1.1.1 Sistema de aire y extracción

Para probar el sistema de aire y extracción se realizaron las siguientes actividades:

- a) Se cerró completamente la compuerta de entrada de material radiactivo.
- b) Se abrió la llave general del sistema de aire.
- c) Se abrieron las dos válvulas de aguja de izquierda a derecha regulando el flujo de aire dentro de la celda. Las válvulas permiten el paso del aire en dos direcciones al carrusel principal y a la pared lateral izquierda donde se encuentran la base de almacenamiento de las columnas cromatográficas.
- d) Se procede a encender el sistema de extracción el cual se encuentra colocado en la parte superior derecha de la celda caliente.

Una vez realizada la regulación del aire y el encendido de la extracción, se procede a deslizar la mano humedecida previamente con agua por las orillas de la celda caliente, con el fin de localizar posibles fugas, observándose lo siguiente:

- En la pared lateral derecha y en el contorno de la compuerta de acceso del material radiactivo, se localizó una fuga de aire (Figura 4.1).



Figura 4.1. Fugas de aire de la pared lateral derecha y compuerta de acceso de material radiactivo

#### 4.1.1.1.1 Modificaciones

Al detectarse la fuga se procedió a modificar lo siguiente:

- A) Se cambió el espesor de la pared lateral derecha de 5mm a 10mm y se cambió el empaque circular de 3/16 pulgadas a 1/4 pulgada que se encuentra colocado en el contorno de la compuerta de acceso de material radiactivo (ver Figura 4.2).

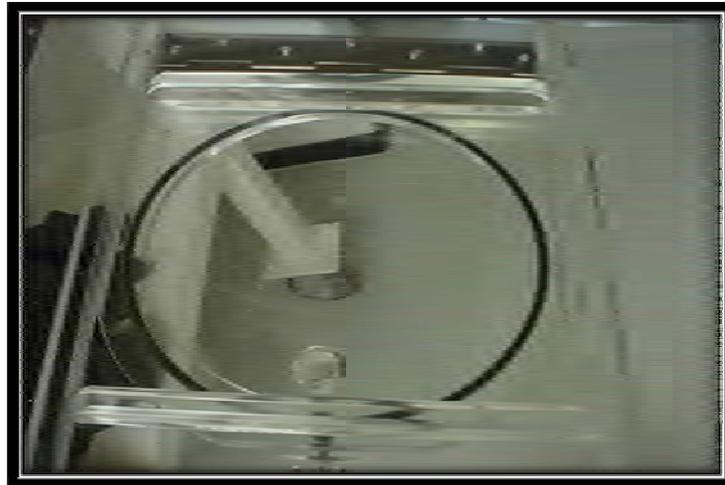


Figura 4.2. Modificaciones a pared lateral derecha y compuerta con cambio de empaque y espesor.

- B) Se colocó un broche de seguridad con tornillo de cabeza plana para generar mas presión entre la pared lateral derecha y la pared frontal de la celda caliente; además de que se cambió el empaque circular del contorno de la pared lateral derecha de 3/16 pulgada por un empaque cuadrado de 1/4 pulgada (Ver Figura 4.3).

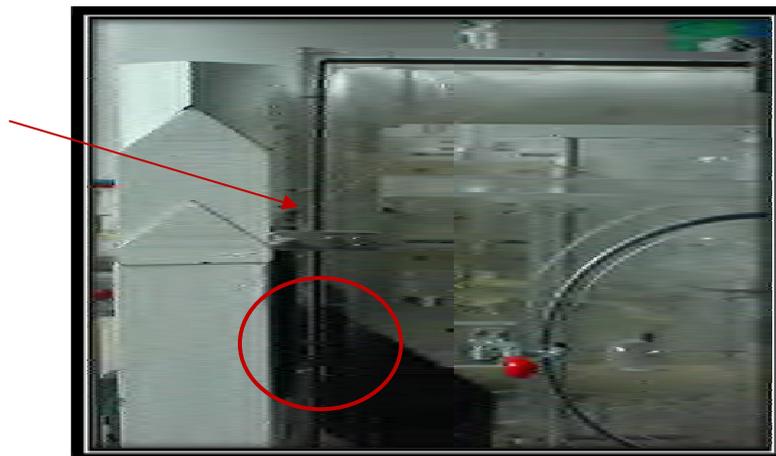


Figura 4.3. Integración de broche y empaque rectangular colocados en la pared lateral derecha.

#### 4.1.1.2. Alineación del Sistema de entrada de reactivos, Barra de sujeción de columnas cromatográficas y Carrusel principal.

Para probar la alineación del sistema de entrada de reactivos, la barra de sujeción de columnas cromatográficas y el carrusel principal fue necesario realizar los siguientes pasos:

1. Se colocó sobre la celda el adaptador de vidrio, introduciéndolo a través de la celda caliente; después se colocó la base del embudo de decantación sobre la pared superior de la celda y por último se introdujo dentro de la base el embudo de decantación (ver Figura 4.4).



Figura 4.4. Sistema de entrada de reactivos.

2. Una vez montado el sistema de entrada de reactivos se procedió a colocar en la barra de sujeción de columnas giratorias dos columnas cromatográficas previamente empacadas, la primera con: dos círculos de papel Whatman y fibra de vidrio; la segunda con dos círculos de papel Whatman, fibra de vidrio y la resina comercial Ln-SPS. La barra de sujeción de columnas cromatográficas se gira hasta quedar

completamente alineada con el adaptador de vidrio del sistema de entrada de reactivos (ver Figura 4.5).



**Figura 4.5. Colocación de las columnas cromatográficas dentro de la barra de sujeción de columnas del carrusel principal**

3. Se colocaron dentro de las charolas intercambiables del carrusel principal, los vasos de precipitados que se emplean durante los procesos de separación de los radiolantánidos. Para comprobar que todos los frascos del carrusel quedaran alineados con las columnas cromatográficas y el sistema de entrada de reactivos, se fueron girando de izquierda a derecha, primero las charolas intercambiables que contienen los vasos de precipitados y después la barra de sujeción de columnas que contiene las columnas cromatográficas.

Se observó, en el caso del carrusel principal, que no quedaban por completo alineados todos los vasos de precipitados al momento de ir girándolos, dejando inmóvil la barra de sujeción de columnas. En el caso de la barra de sujeción de columnas se observó que al ir girándola de izquierda a derecha no quedaba alineada con el adaptador de vidrio del sistema de entrada de reactivos y con los vasos de precipitados del carrusel principal. Estos problemas se originaron por:

- 3.1. La barra de sujeción de columnas no sujetaba con firmeza las columnas cromatográficas ya que los tonillos no aplicaban la presión que se requería (ver Figura 4.6a).
- 3.2. El tornillo del sujetador de la barra de sujeción no quedaba bien sujeto a la varilla del carrusel principal lo cual ocasionaba que en algunas ocasiones se moviera desplazándose hacia abajo, desequilibrando la barra de sujeción (ver Figura 4.6 b).

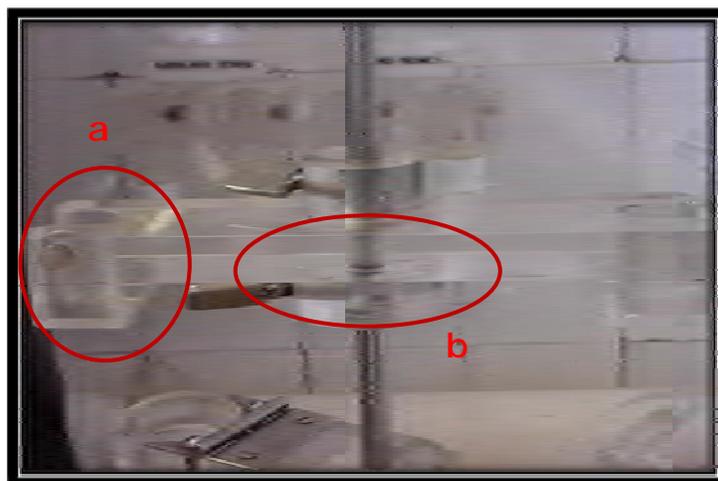


Figura 4.6. Barra de sujeción de columnas

#### 4.1.1.2.1. Modificaciones

Dado que al ir ingresando la solución al embudo de decantación a las columnas cromatográficas y a los vasos de precipitados no se mantenía estático el sistema de entrada de reactivos, se sugirió que se inmovilizara la base de la entrada de reactivos a la celda caliente de manera que ya no se moviera al momento de emplearlo.

Para inmovilizar la base del sistema de entrada de reactivos se alineó primeramente la base del embudo a la columna cromatográfica colocada en la barra de sujeción y posteriormente se realizaron dos horadaciones, una en la parte superior derecha y otra en la parte inferior izquierda, atravesando tanto la base del embudo de decantación como la pared superior de la celda, para colocar dos tornillos de cabeza plana. Por la parte interna de la celda se colocaron las tuercas para inmovilizar por completo el sistema, quedando como se observa en la Figura 4.7.



Figura 4.7. Sistema de entrada de reactivos inmobilizado.

Para inmobilizar al adaptador de vidrio se construyó un sujetador de acrílico, el cual con la ayuda de cuatro tornillos de cabeza rectangular se sujetó el adaptador evitando que quede flojo (ver Figura 4.8).

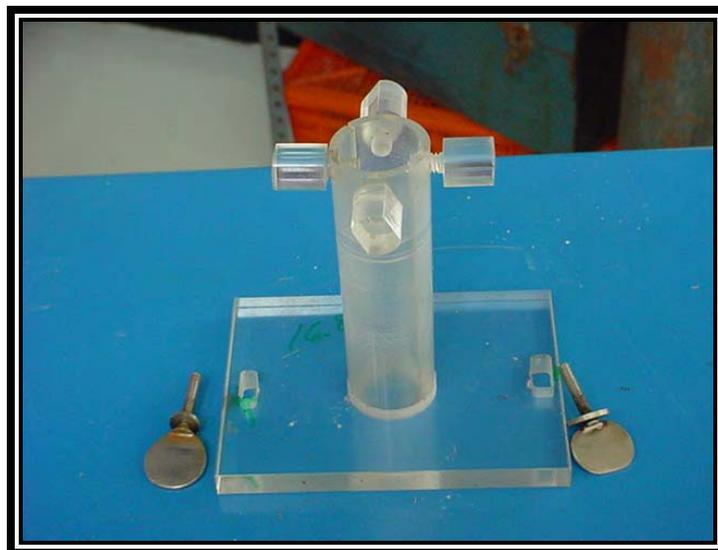


Figura 4.8. Sujetador de acrílico para sujetar el adaptador de vidrio

Por último, para evitar que la columna cromatográfica resbale o se mueva de la barra de sujeción, se sustituyeron los tornillos de la barra de sujeción de columnas cromatográficas, por tornillos de acrílico de cabeza rectangular elaborados dentro del área de talleres generales. (Ver Figura 4.9).



Figura 4.9. Barra de sujeción de columnas cromatográficas con tornillos de cabeza rectangular de acrílico

En la Figura 4.10 se observa como se alineó tanto el adaptador de vidrio, la columna cromatográfica y el frasco que contendrá el producto final de manera que las soluciones no caigan fuera del frasco, con las modificaciones anteriormente descritas.



Figura 4.10. Alineación de sistema de entrada de reactivos, columna cromatográfica y frasco.

#### 4.1.1.3. Guantes de manipulación

Se modificó el largo de los guantes de manipulación de 45cm a 30cm ya que no se podía sostener ni manipular el material con facilidad.

#### 4.1.2. Pruebas con ácido

Las pruebas con ácido se elaboraron básicamente para probar el tiempo de absorción y desorción de las ocho **Columnas cromatográficas** empacadas y equilibradas con  $\text{HNO}_3$  a diferentes concentraciones, además de probar físicamente el estado de las columnas cromatográficas.

A continuación se describen los pasos que se realizaron para probarlas:

a) Se colocaron las dos columnas cromatográficas en la barra sujetadora de columnas que se encuentra en el carrusel principal, una cargada con la resina Ln-SPS previamente equilibrada con  $\text{HNO}_3$  0.15 mol/L y la otra con la cama de fibra de vidrio.

b) Se agregó por medio del sistema de entrada de reactivos las soluciones de  $\text{HNO}_3$  y HCl correspondientes a cada uno de los pares: Nd/Pm, Gd/Tb, Dy/Ho, Yb/Lu como se describió en el capítulo 3 sección 3.3.2. La tabla 4.1 sintetiza los volúmenes y las concentraciones empleadas en cada proceso, realizados por duplicado.

Par de radiolantánidos	Etapas	Volumen $\text{HNO}_3$	Concentración $\text{HNO}_3$
Gd/Tb Dy/Ho Nd/Pm Yb/Lu	Disolución de la sal radiactiva	300 $\mu\text{L}$	0.15 mol/L
Gd/Tb Dy/Ho Nd/Pm Yb/Lu	Fijación	12 mL	0.15 mol/L
Gd/Tb	Recuperación de Gd	28 mL	0.8 mol/L
Gd/Tb	Recuperación del Tb	18 mL	3 mol/L
Dy/Ho	Recuperación de Dy	41 mL	1.5 mol/L
Dy/Ho	Recuperación del Ho	8 mL	3 mol/L
Nd/Pm	Recuperación de Nd	106 mL	0.18 mol/L
Nd/Pm	Recuperación del Pm	25 mL	1.5 mol/L
Yb/Lu	Recuperación de Yb	170 mL	3.4 mol/L
Yb/Lu	Recuperación	55 mL	9 mol/L

	del Lu		
Gd/Tb Dy/Ho Nd/Pm Yb/Lu	Disolución de los radioisótopos hijos	HCl 10 mL	HCl 0.1 mol/L

Tabla 4.1. Síntesis de volúmenes y concentraciones empleadas en cada proceso

c) Se anotaron los tiempos de adsorción y desorción de cada proceso de separación.

Se observó que nueve válvulas de las columnas cromatográficas presentaban fuga en su base debido a problemas en el empaque, enchaquetado y orificio de descarga.

#### 4.1.2.1. Modificaciones

Se cambió el empaque a tres válvulas que presentaban fuga por la base de la columna, ya que eran muy delgadas y no generaban la suficiente presión entre la válvula y la columna, así como las chaquetas correspondientes. Se fabricaron otras tres válvulas que presentaban problemas en la llave. Y finalmente las tres válvulas que goteaban se les realizaron una perforación más amplia en la descarga.

### 4.2. Pruebas con material radiactivo

#### 4.2.1. Modificaciones al DISER

Las pruebas con material radiactivo se realizaron para probar el **Sistema de corte de las ampollitas** ya que con ello se verifica que el cortador funciona correctamente al momento de emplearse.

Se ingresó una ampollita que contenía trazas de material radiactivo y se colocó en la canastilla del cortador y se siguió el mismo procedimiento descrito en el capítulo 3 sección 3.3.2, para la separación y purificación de radiolantánidos estudiados.

Se observó que el sistema cortador de ampollitas estaba un poco alejado, por lo que dificultaba la manipulación y visualización de la ampollita (ver Figura 4.11).

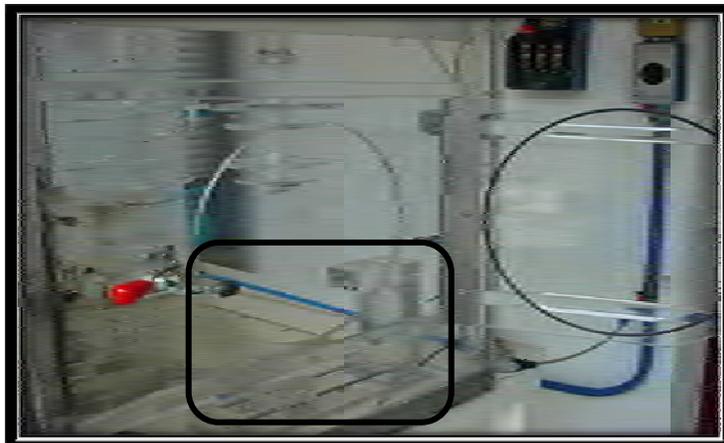


Figura 4.11. Sistema cortador de ampollas antes de las modificaciones.

#### 4.2.2. Modificaciones

Se recorrió el cortador de ampollas 50 mm hacia la pared frontal de la celda caliente, quedando entonces a 90 mm de la pared frontal. Se modificó la altura del cortador aumentándole 50mm de altura y se sujetó a la base de la celda con dos tornillos de 2/16 pulgadas para evitar que se mueva el sistema y para poder manipular mejor con los guantes las ampollas, al mismo tiempo poder visualizar por medio de la ventana todo lo que ocurre dentro de la celda caliente (ver Figura 4.12).



Figura 4.12. Sistema cortador de ampollas modificado

#### 4.3.3. Verificación del funcionamiento del DISER

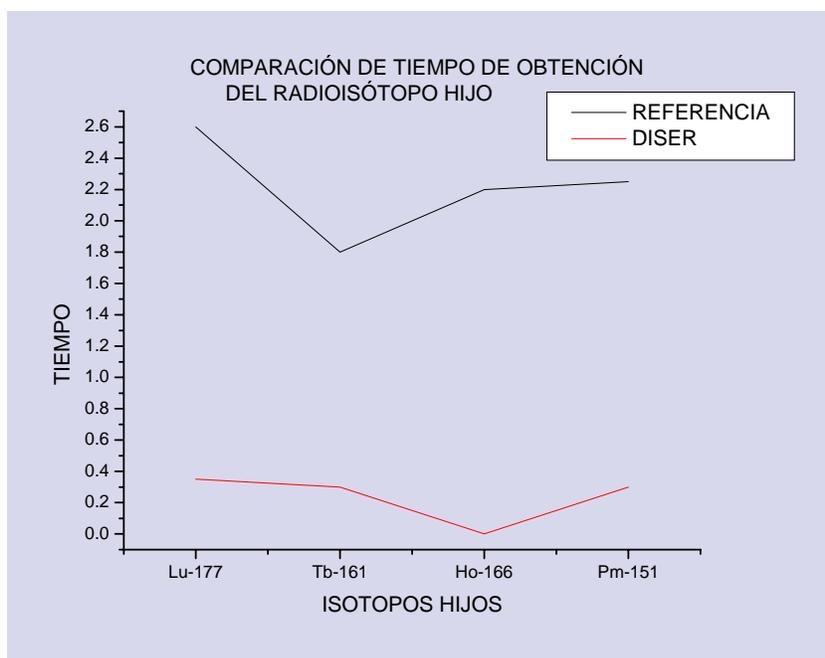
Para corroborar que el DISER funciona bien se realizaron tres corridas dentro del DISER con: agua, tres con ácido y tres con los radioisótopos: Gd,

Dy, Nd, Yb, produciendo a su vez a los lantánidos: Tb, Ho, Pm y Lu respectivamente.

Uno de los parámetros más importantes que se midieron dentro del DISER fue el tiempo y el porcentaje de pureza radionuclida, ya que con ello se pudo comparar estos resultados con los obtenidos anteriormente por J. Salinas. A continuación se muestra en la Tabla 4.2 y en la Grafica 4.1

PAREJA	REFERENCIA CON TRAZAS (E. JAIMES)			DISER CON 10mg			
	EFICIENCIA DE SEPARACIÓN	ISOTOPO	PUREZA RADIONÚCLIDA	EFICIENCIA DE SEPARACIÓN	TIEMPO (min)	ISOTOPO	PUREZA RADIONÚCLIDA
<sup>177</sup> Yb / <sup>177</sup> Lu	65.14%	<sup>177</sup> Lu	99.90%	83%	335	<sup>177</sup> Lu	99%
<sup>151</sup> Nd / <sup>151</sup> Pm	89.45%	<sup>151</sup> Pm	99.90%	66.67%	165	<sup>151</sup> Pm	100%
<sup>161</sup> Gd/ <sup>161</sup> Tb	100%	<sup>161</sup> Tb	99.90%	100%	65	<sup>161</sup> Tb	100%
<sup>166</sup> Dy/ <sup>166</sup> Ho	99.64%	<sup>166</sup> Ho	99.90%	99%	156	<sup>166</sup> Ho	99.20%

Tabla 4.2. Tiempo y porcentaje de pureza de cada proceso de obtención.



Grafica 4.1. Comparación de tiempos obtenidos por el DISER y la referencia

En el caso del <sup>151</sup>Pm se tuvo el 67%, ya que parte de la actividad se quedó en la columna de recuperación, obstruyendo el paso de la solución a través de la válvula.

En general, el porcentaje de efectividad obtenido en cada proceso comprueba que el DISER es confiable y seguro, además de que da resultados satisfactorios.

## RESULTADOS

El Dispositivo de Separación de Radiolantánidos (DISER) diseñado, construido y montado gracias al trabajo conjunto de los grupos del Laboratorio de Investigación de Materiales Radiactivos (LIMR), del Departamento de Fabricación de Prototipos y del Departamento de Automatización e Instrumentación del ININ tiene como finalidad el separar los radioisótopos  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$  para producir los radioisótopos  $^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  que poseen características nucleares y químicas prometedoras para ser utilizados con fines terapéuticos. El DISER permite realizar este proceso de producción de manera segura y eficiente, además de evidenciar la capacidad del ININ para desarrollar de manera integral y total un sistema que tendrá repercusiones sociales claras, dado que, dará la posibilidad de poner a disposición estos radioisótopos a nuestros sistemas de salud que contribuirán a mejorar el nivel de vida de nuestra población.

A partir de los estudios de separación de los pares Padre/Hijo:  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  e  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$  mediante cromatografía en fase reversa, elaborados por Edgar J. Salinas, en el Laboratorio de Investigación de Materiales Radiactivos (LIMR) del ININ, se determinó la metodología de obtención de los radiolantánidos  $^{151}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  con una pureza radionúclida mayor al 99.99%, a partir de la separación de sus respectivos radioisótopos padres.

La metodología de separación de estos radiolantánidos está dividida en siete fases fundamentales: (1) irradiación de nitratos de Nd, Gd, Dy o Yb, (2) disolución de sal radiactiva, (3) fijación de la solución radiactiva en una columna cromatográfica cargada con la resina Ln SPS, (4) recuperación de radioisótopo padre mediante elución de columna con  $\text{HNO}_3$ , (5) recuperación del radioisótopo hijo mediante elución con  $\text{HNO}_3$  a una concentración diferente al punto "4", (6) precipitación de radioisótopo hijo, (7) redisolución de precipitado y producto final.

Esta metodología fue la base del diseño y construcción del DISER el cual está constituido por tres sistemas principales: (1) sistema de entrada de reactivos, (2) sistema de apertura de ampollita de irradiación (3) sistema de separación integrado por una columna de separación y una columna de recuperación y (4) sistema de extracción y aire. El DISER está colocado dentro de una celda de acrílico, blindada con dos paredes de plomo de 10 cm de espesor.

La optimización del DISER, parte medular de este trabajo, fue realizada en tres etapas, en la primera el funcionamiento de todos los sistemas se llevó a cabo únicamente con agua destilada. En esta etapa se detectaron fallas generales en el sellado de la puerta de la celda y la alineación de los sistemas de entrada de reactivos y de separación, corrigiéndose estos problemas. En la segunda etapa se realizaron pruebas de funcionamiento en el DISER para cada proceso de separación de los pares  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ , utilizando únicamente material inactivo.

Se detectaron fallas en el sistema de apertura de ampollas y en las válvulas de las columnas cromatográficas, las cuales fueron arregladas.

Una vez ajustado el DISER, fueron determinados los tiempos óptimos de separación para obtener  $^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$ , así como los pasos a seguir para llevar a cabo todo el proceso de manera segura. Las instrucciones precisas para utilizar el DISER en el proceso de separación de radiolantánidos, detalladas en el capítulo 3, son por tanto la síntesis de las pruebas realizadas en esta etapa de optimización.

Finalmente en la última etapa, se llevaron a cabo las pruebas de separación para cada par:  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$ , utilizando material radiactivo a nivel de trazas.

Las purezas radionúclidas de los radioisótopos hijos:  $^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$  obtenidas en el DISER, mediante la metodología propuesta por Salinas, son superiores al 99 %, en tanto que las eficiencias de separación de los pares estudiados en este trabajo fueron, en el caso del par  $^{161}\text{Gd}/^{161}\text{Tb}$  del 100%, para  $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$  del 99 %, para  $^{177}\text{Yb}/^{177}\text{Lu}$  del 83 % y para el  $^{149}\text{Nd}/^{149}\text{Pm}$  del 67 %.

## CONCLUSIONES

- Se probó el funcionamiento del DISER detectando fugas y malos diseños de piezas, las cuales fueron reparadas y reediseñadas para una mejor operación.
- Se optimizó el DISER, produciendo los radioisótopos:  $^{149}\text{Pm}$ ,  $^{161}\text{Tb}$ ,  $^{166}\text{Ho}$  y  $^{177}\text{Lu}$ , se logró una alta actividad específica, libre de acarreador y con purzas radionúclidas de más del 99.9%. además de que se optimizó el tiempo de producción de dichos radioisótopos.
- Se dibujaron los planos detallados, definitivos del DISER y de cada uno de los sistemas que lo componen.

## REFERENCIAS

**American IRPA Congress 2006.** Memorias en CD Acapulco, Guerrero, (2006).

Brandan, Ma. E.; Díaz Perches, R.; Ostrosky, P., " **La radiación al servicio de la vida**"; p. 21-22, 87. Editorial: Fondo de Cultura Económica. (2007)

Erdtman, G; Soykaw, W; " **The gamma rays of the radionuclides**". Verlag Chemie Weinheim, New York. (2000).

García, Montes de Oca F. G.; " **SEPARACIÓN DE LANTÁNIDOS MEDIANTE HIDROXIAPATITA**". Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México,(2006).

Horwitz, E. P., Bloomquist, C.A.A., " **The Preparation, Performance and Factors Affecting Band Spreading of High Efficiency Extraction Chromatographic Columns for Actinide Separations**", *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **Vol. 34**, p. 3851-3871 (1972).

Iturbe, J. L.; " **Fundamentos de radioquímica**", UAEM, Toluca, México, (2000).

Mancini, A. Rev. Arg, " **Radionucleídos para la terapia paliativa del dolor en metástasis ósea**", Dentro atómico Ezeiza de la Comisión Nacional de Energía Atómica, Revista Argentina Nuclear, No. 59, (1996).

Monroy, Guzmán F. y Salinas, Jaime, E; " **PREPARACIÓN DE Ho-166 Y Lu-177 PARA RADIOTERAPIA**". *Memorias de la sección de Química Nuclear del XLII Congreso Mexicano de Química*, p.1-13,. [www.quimicanuclear.org](http://www.quimicanuclear.org) (2007)

Rayner, Canham, G; " **Descriptive inorganic**" Chemistry, second. Edition. Publish W.H. Freeman and Company, New York, NY, U.S.A., p.518-521 (2000).

Rickards, Campbell, J., " **Las radiaciones: reto y realidades**"; Editorial: Fondo de Cultura Económica. (2006).

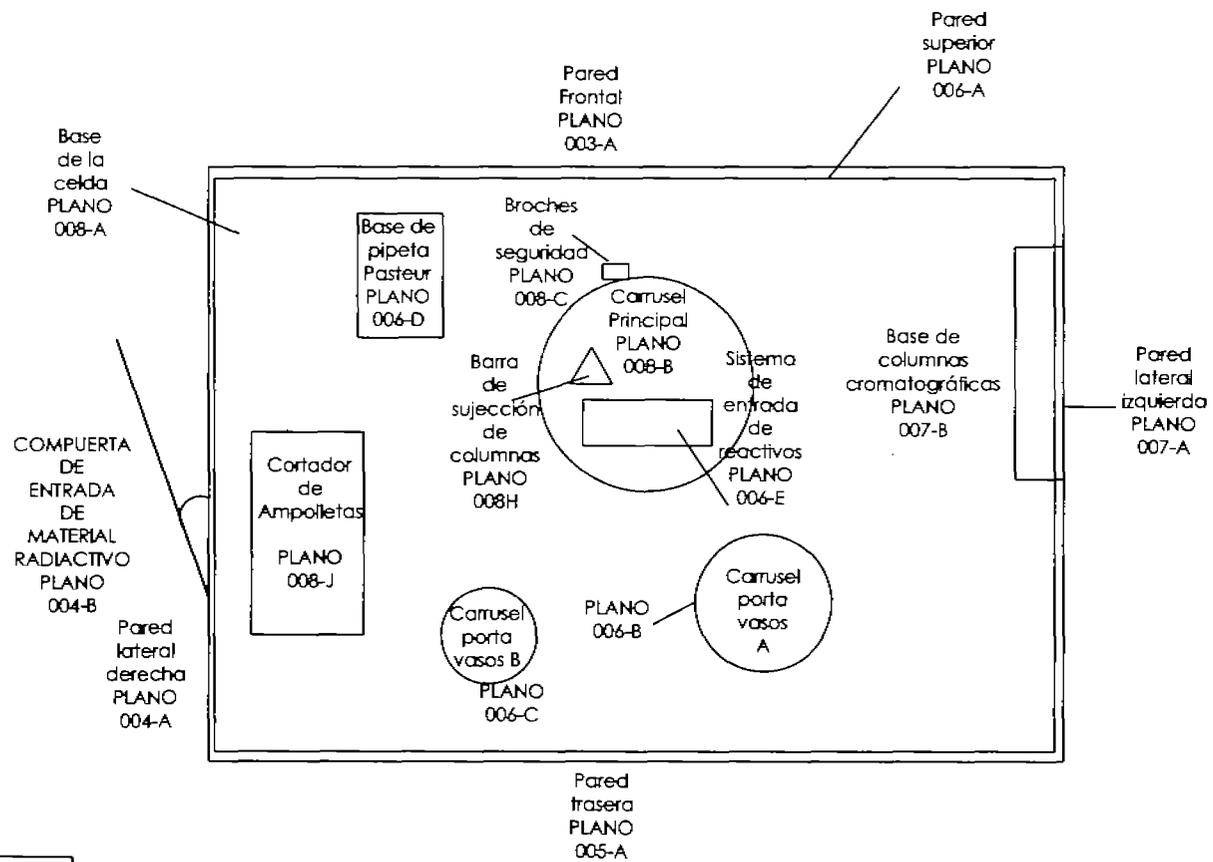
Salinas, Jaime E., "**Producción y Purificación de los Radioisótopos: Tb-161, Pm-149, Ho-166 y Lu-177**"; Tesis Licenciatura, Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos (2007).

Salinas, Jaime, E.; Monroy, Guzmán, F.; "**OBTENCIÓN Y PURIFICACIÓN DE  $^{161}\text{Tb}$  POR IRRADIACIÓN DE Gd**". XVII Congreso Anual de la SNM y First Salinas, Jaime, E.; Monroy, Guzmán, F.; "**SEPARACIÓN DE Nd y Pm, Gd y Tb MEDIANTE CROMATOGRFÍA EXTRACTIVA**". Memorias del XLI Congreso Mexicano de Química. SQM, p. 1-9, [www.quimicanuclear.org](http://www.quimicanuclear.org) (2006).

Testa, C., "**Column Reversed-Phase Partition Chromatography for the Isolation of some Radionuclides from Biological Materials**", *Handbook of Chromatography*, Vol. II, CRC Press, USA (1972).

## ANEXOS

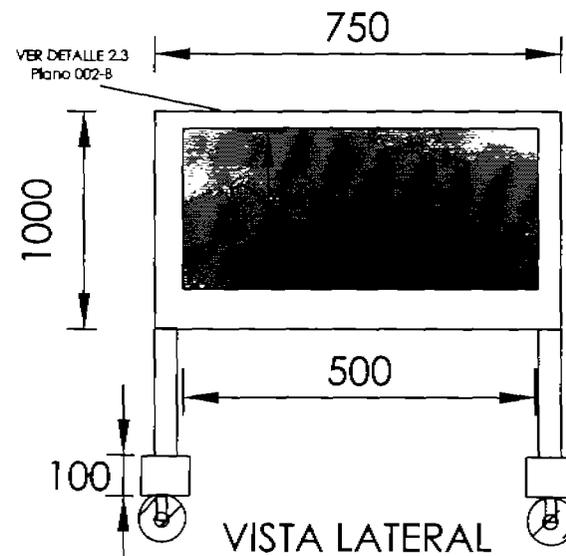
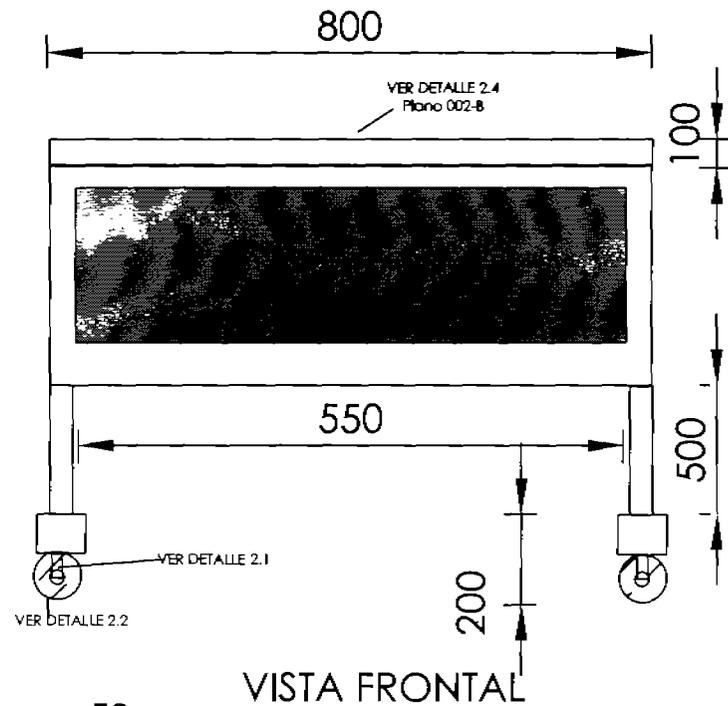
A continuación se muestran los planos realizados para el diseño, construcción y optimización del DISER.



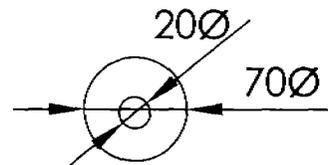
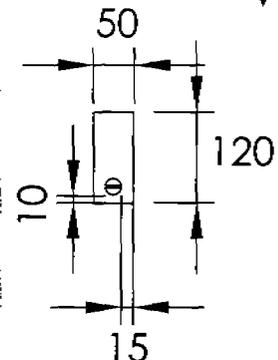
VISTA DE LA CELDA COLOCADA EN LA MESA

VER PLANO 002-A

PES-ZARAGOZA  ININ L I M R	DISER		
	TÍTULO UBICACIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES DEL DISER		DESARROLLO Amenez Bareño Francisco Manroy Guzmán Fabiolo
	LOCALIZACIÓN LIMR		
	TERCERO Vera Treviño Ana Luisa		DISEÑO E.C. SAN Acol. 198 Plano No. 001-A



2

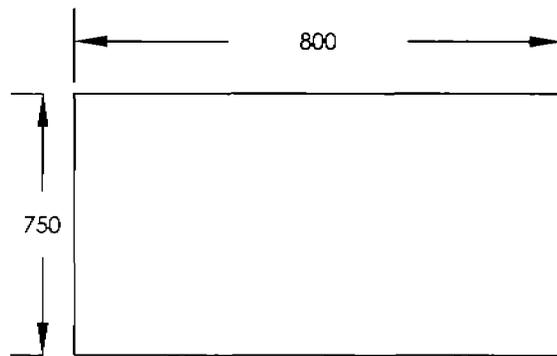


DETALLE 2.1

DETALLE 2.2  
Rueda

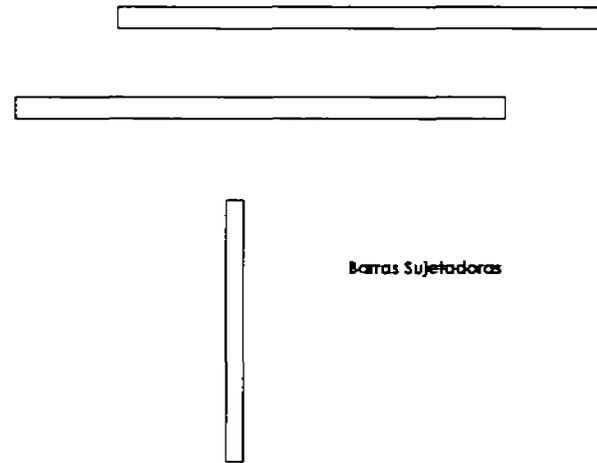
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
2	1	Mesa soportadora del char	Hierro
2.2	4	Fundas de 20mm de espesor y 50mm de grosor	Plástico duro
2.1	4	Soportes 4"	Acero inoxidable
2.1	4	Varcas 4"	Acero inoxidable
2.1	4	Roto de ruedas	Acero inoxidable

FES-ZARAGOZA		DISEÑO Y ELABORÓ		
 <b>ININ</b> LIMR	TÍTULO	MESA BASE DE LA CELDA Martín Lugo Hernández Anselmo Palacios Nava José Casares V. Margarita Campos Ballesteros Monroy Guzmán Fabiola		
	LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa Esc. Acot. Plano No. S/N m 002-A		
	LIMR	LIMR		



VISTA SUPERIOR DE LA  
MESA

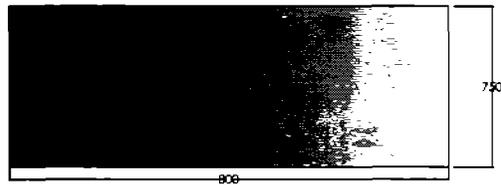
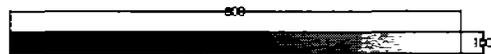
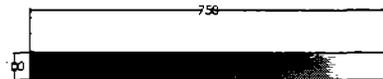
Detalle 2.3



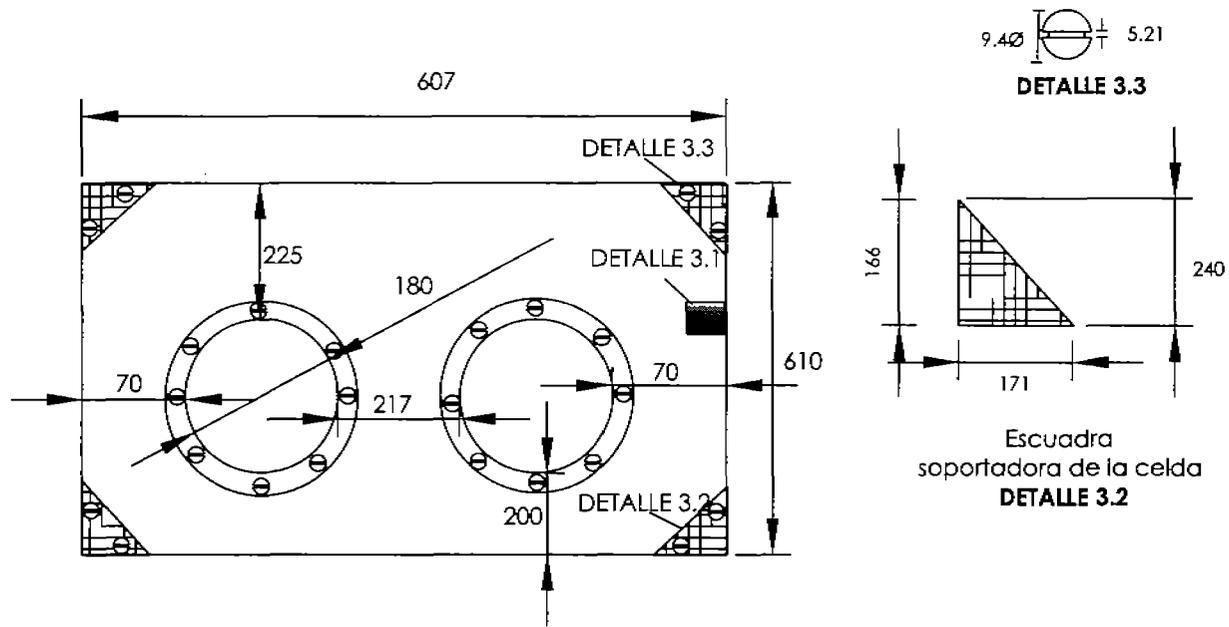
Barras Sujetadoras

Detalle 2.4

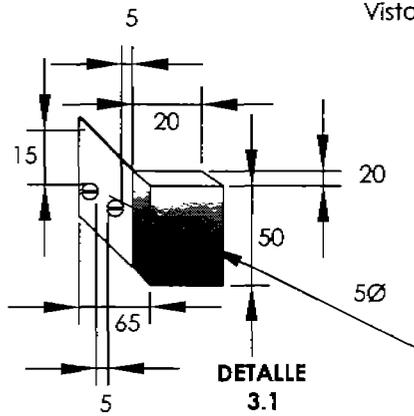
FES-ZARAGOZA	DISER								
 ININ	TÍTULO	VISTA SUPERIOR DE LA MESA	DISEÑO Y ELABORACIÓN Martín Lugo Hernández Anselmo Palacios Nava						
	LOCALIZACIÓN	LIM R	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa						
LIM R			<table border="1"> <tr> <td>Esc.</td> <td>Acot.</td> <td>Plano No.</td> </tr> <tr> <td>3/40</td> <td>mm</td> <td>002-A</td> </tr> </table>	Esc.	Acot.	Plano No.	3/40	mm	002-A
Esc.	Acot.	Plano No.							
3/40	mm	002-A							



<b>FES-ZARAGOZA</b>		<b>DISER</b>		
 <b>ININ</b> <b>L I M R</b>	TÍTULO		DISEÑO Y ELABORÓ	
	<b>MESA DEL DISER VISTA AEREA</b>		Martín Lugo Hernández Anselmo Palacios Nava José Casares V. Margarito Campos Ballesteros Monroy Guzmán Fabiola	
LOCALIZACIÓN		DIBUJÓ		
<b>L I M R</b>		Vera Treviño Ana Luisa		
		Esc.	Acot.	Plano No.
		S/N	mm	002-B



Vista frontal de la celda

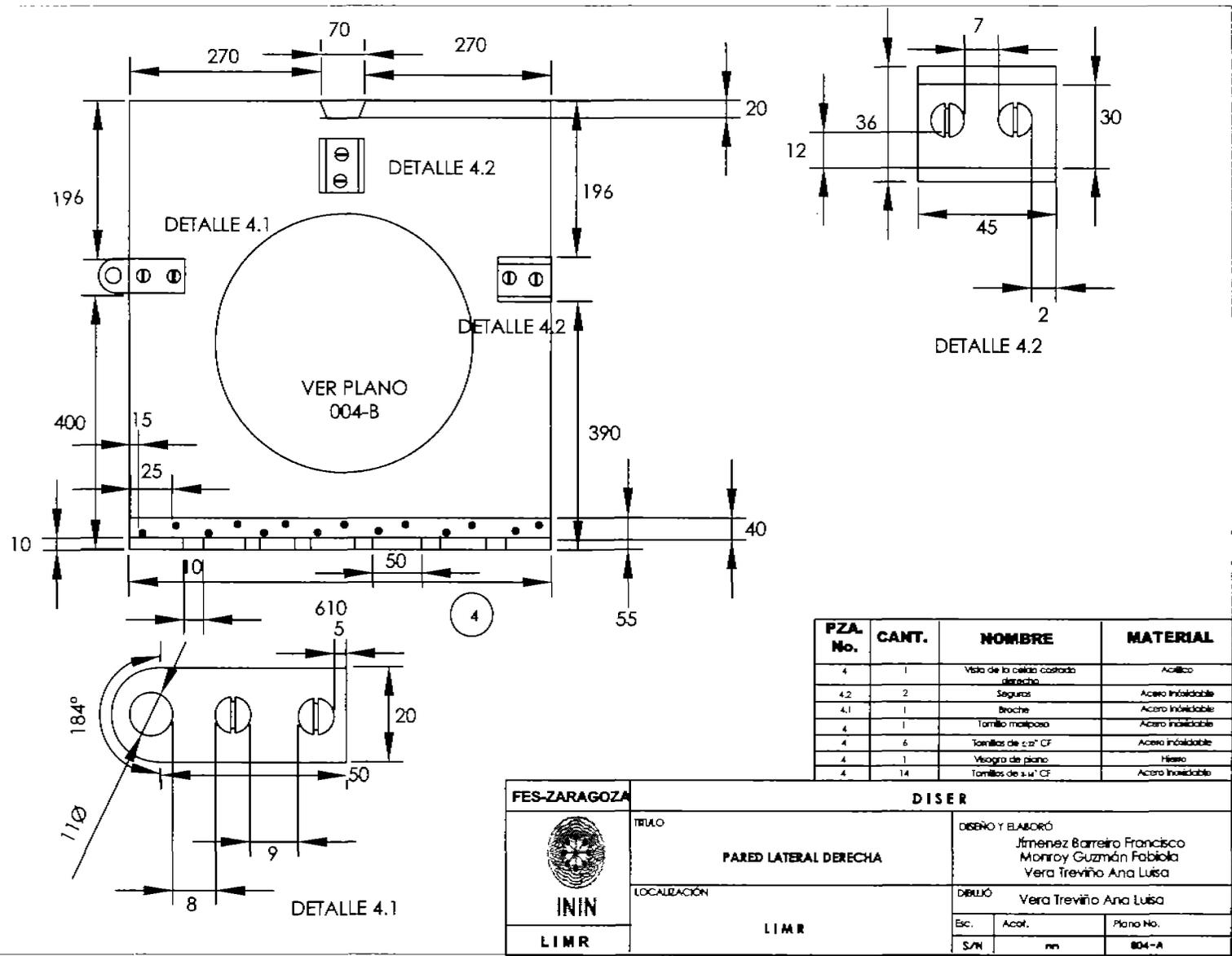


DETALLE 3.1

3

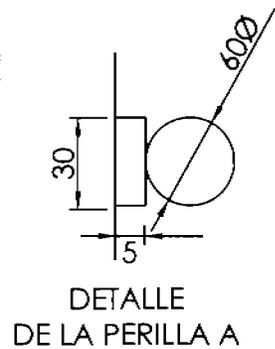
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
3	1	Vista de la celda frontal	Acilico
3.2	4	Escuadras	Acilico
3	2	lirios	Acilico
3	1	Empaque de 150 mm Ø	Olen
3.3	8	Tornillos de 1/2" CF	Acero inoxidable
3.1	1	lirio de ajuste	Acero inoxidable
3	2	Clampas de 1"	Acero inoxidable
3	16	Tornillos de 1" CF	Acero inoxidable

 <b>FES-ZARAGOZA</b>  <b>LIN</b>	<b>DISER</b>		
	<b>TITULO</b> PARED FRONTAL DE LA CELDA		DISEÑO Y ELABORÓ Jiménez Barreiro Francisco Morroy Guzmán Fabiola
	<b>LOCALIZACIÓN</b> DISER		DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa
	Esc	Acot.	Plano No.
	S/N	mm	003 - A

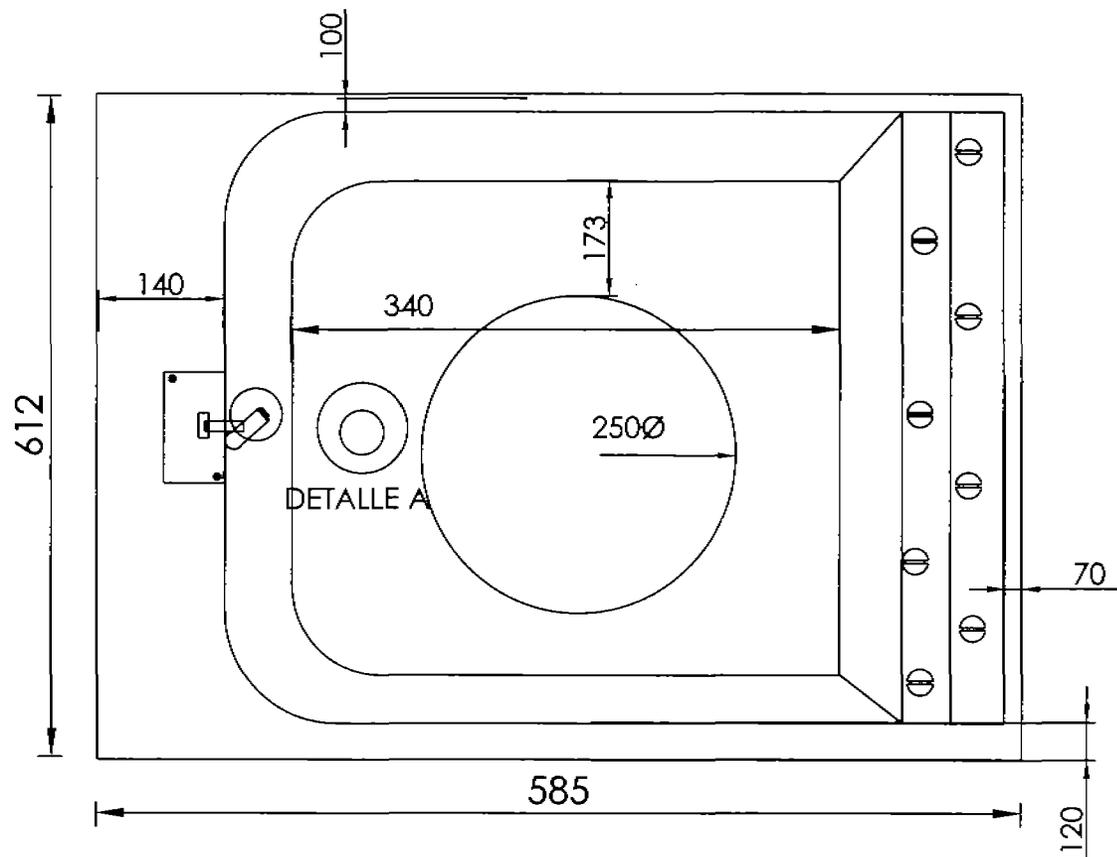


PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	1	Vista de la celosa costada derecha	Acilco
4.2	2	Seguros	Acero inoxidable
4.1	1	Broche	Acero inoxidable
4	1	Tornillo matorosa	Acero inoxidable
4	6	Tornillos de 2" CF	Acero inoxidable
4	1	Visagra de plano	Hieso
4	14	Tornillos de 1/4" CF	Acero inoxidable

FES-ZARAGOZA		DISER		
 <b>ININ</b>	TRILLO	DISEÑO Y ELABORÓ Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa		
	LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa		
LIMR	LIMR	Esc.	Acol.	Plano No.
		S/N	mm	004-A

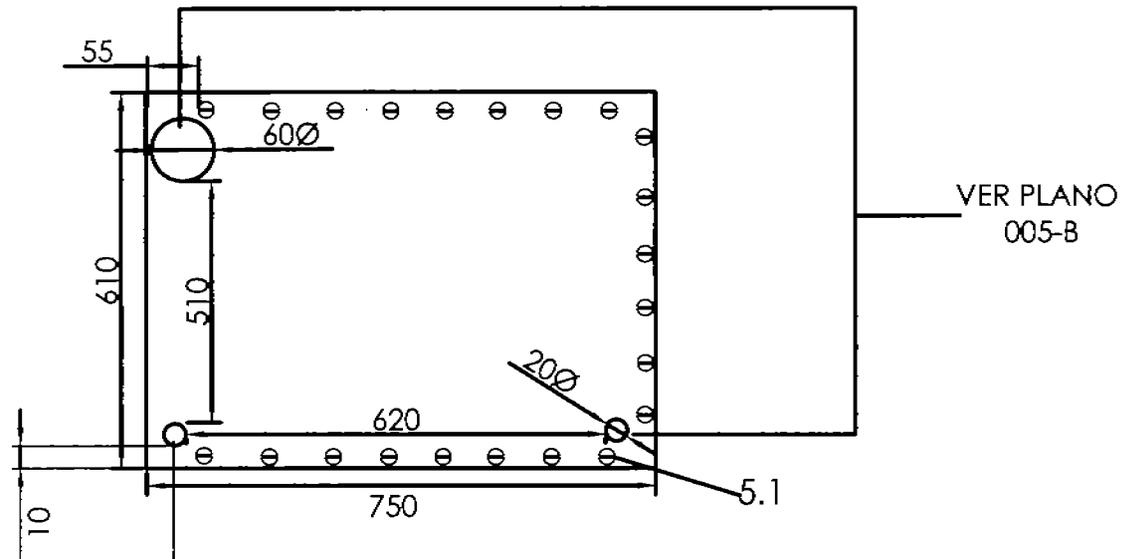


4



PIZA No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL	DESCRIPCION
4	1	BRAGUETA	ACERO INOX.	P/COMPUERTA PRINCIPAL
4	8	TORNILLO	ACERO INOX.	CABEZA PLANA C7
4	1	EMPALME	ORIN	DE 3/4"
4	1	COMPUERTA	ACRILICO	ENTRABA DE MATERIAL RADIOACTIVO
4	1	PERILLA	ACRILICO	P/SUJETAR LA COMPUERTA

FES-ZARAGOZA		DISER		
 <b>ININ</b> I N I N	TITULO	DISEÑO Y ELABORO Vera Treviño Ana Luisa Jimenez Barreira Francisco Morray Guzmán Fabiola		
	LOCALIZACIÓN	DIBUJO Vera Treviño Ana Luisa		
	PARED LATERAL DERECHA	Esc.	Acat.	Plano No.
		S/N	mm	004-B



**DETALLE DE PA PARED TRASERA DE LA CELDA**

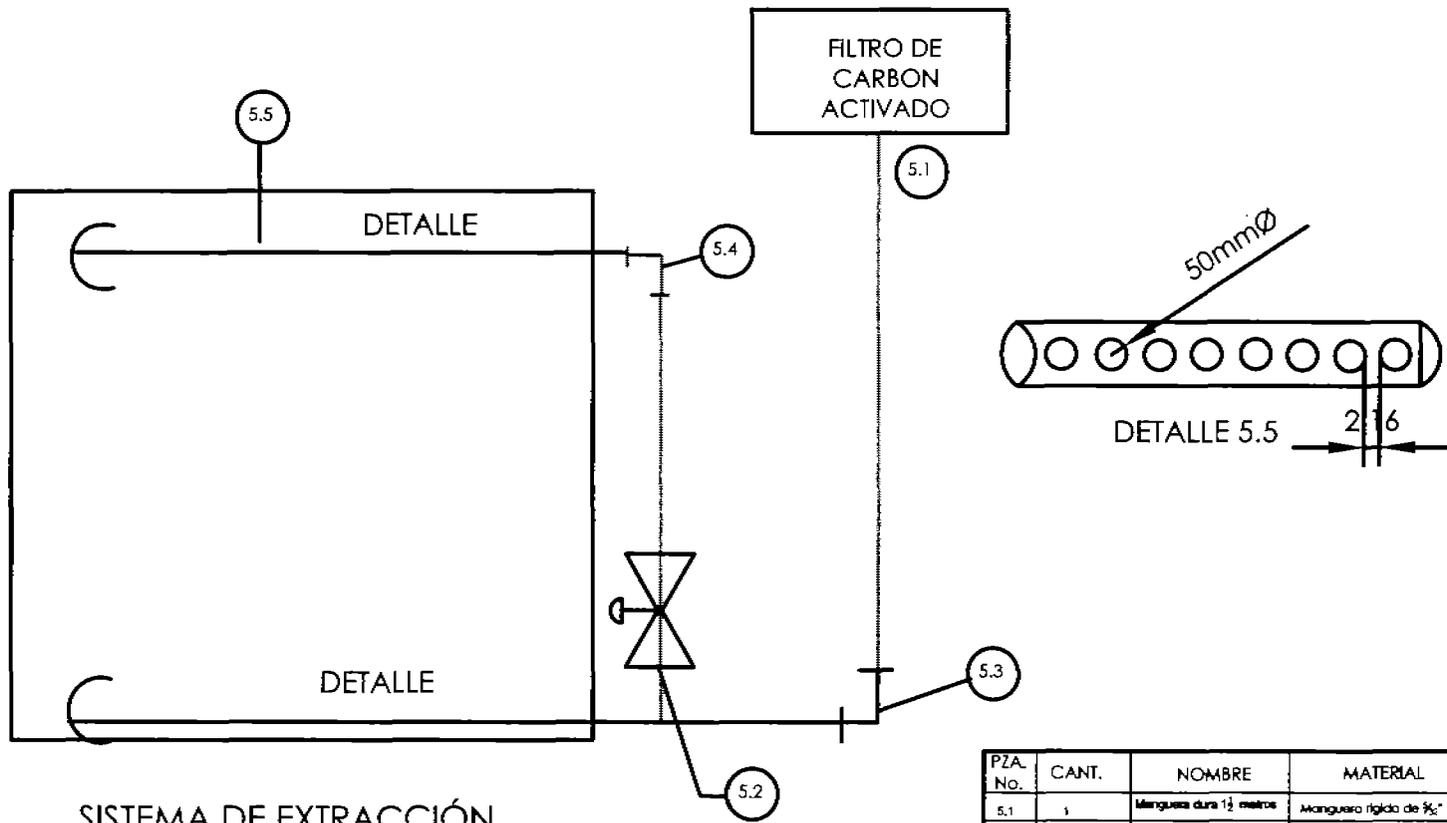
VER PLANO  
005-C

VER PLANO  
005-B

5

PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	1	Vista de la celda trasera	Acilico
5.1	22	Tornillos de iso" CF	Acero inoxidable VER PLANO 003-A

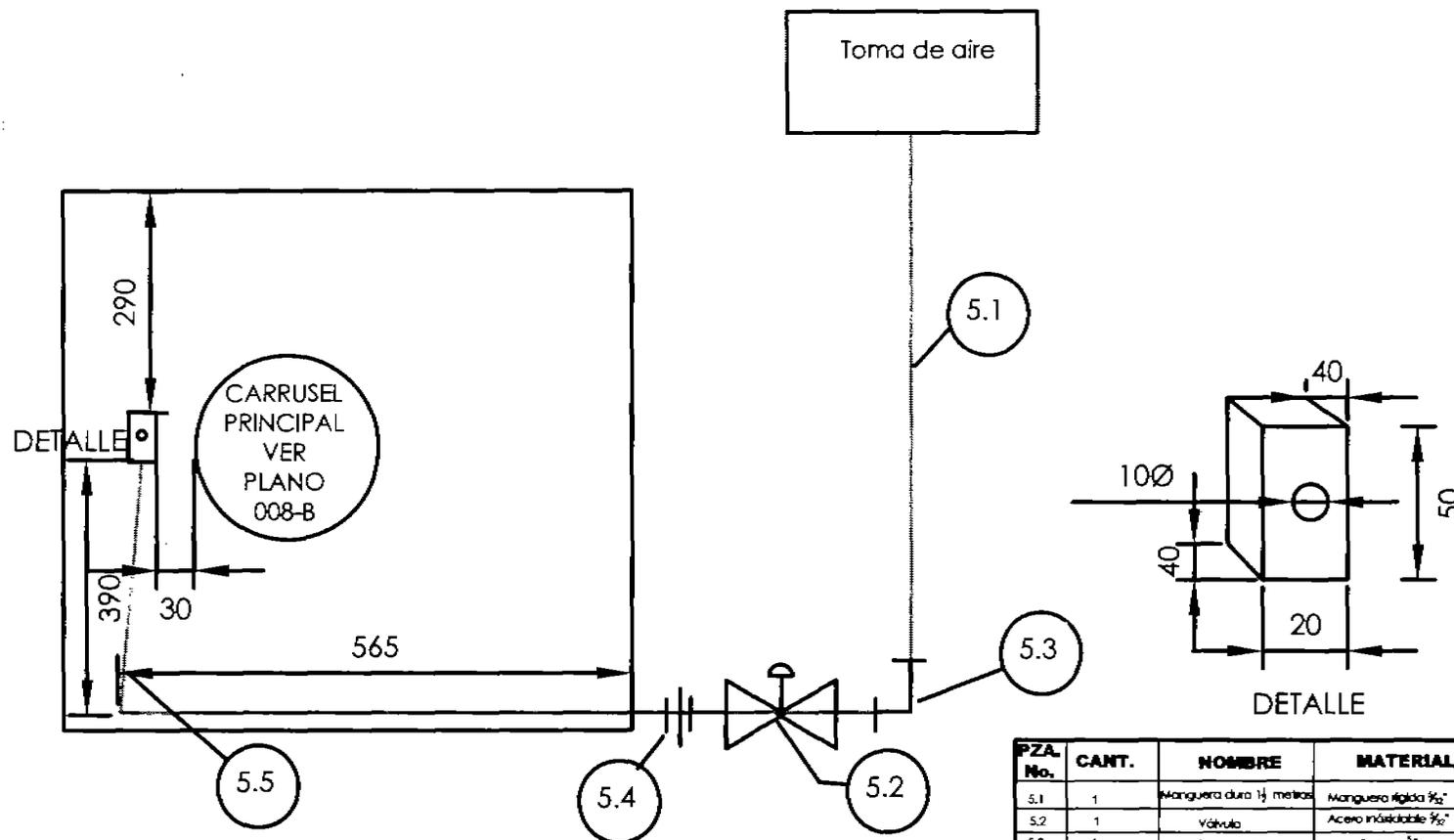
FES-ZARAGOZA		<b>DISEÑO</b>		
 <b>ININ</b>	TITULO		DISEÑO Y ELABORÓ	
	<b>PARED TRASERA DE LA CELDA</b>		<b>Jimenez Barreiro Francisco</b> <b>Monroy Guzmán Fabiola</b>	
LOCALIZACIÓN		DIBUJÓ		
<b>LIMR</b>		<b>Vera Treviño Ana Luisa</b>		
		Esc	Acol.	Plano No.
		S/N	mm	005-A



SISTEMA DE EXTRACCIÓN

PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5.1	1	Manguera dura 1 1/2 metros	Manguera rígida de 3/4"
5.2	1	Válvula	Acero inoxidable
5.3	1	Codo de 90°	PVC de 1/2"
5.4	1	Cople reductor	1/2" Bronce
5.5	2	Trazos de tubería recta	PVC 1 metro de 1/2"

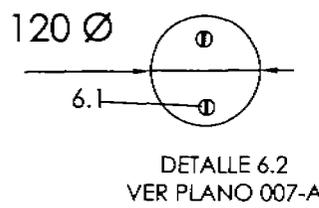
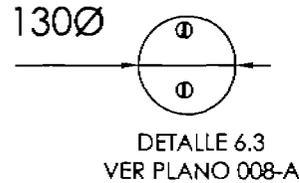
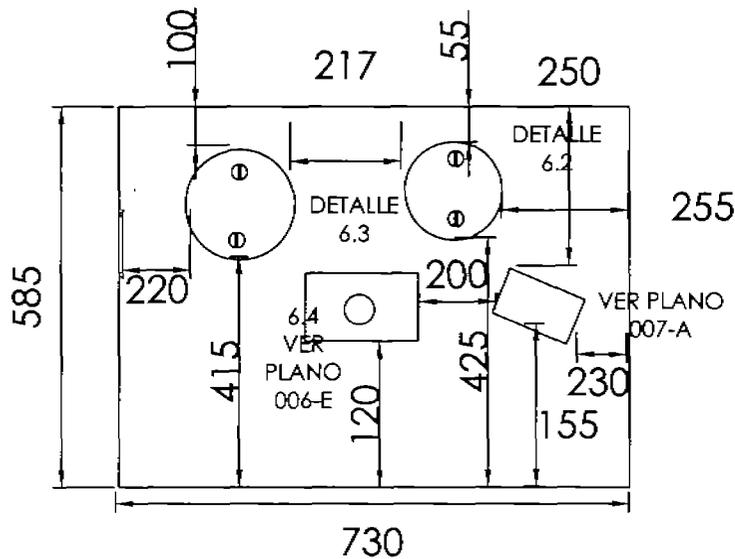
FES-ZARAGOZA	D I S E Ñ O		
 <b>ININ</b> L I M A	TÍTULO	DISEÑO Y ELABORÓ	
	SISTEMA EXTRACCIÓN	José Carlos Vázquez Maldonado Monrey Guzmán Fabiola	
	LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ	
	CELDA CALIENTE - UMR	Vera Treviño Ana Luisa	
		Esc	Acot.
		mm	Plano No.
			005-B



VISTA SUPERIOR DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5.1	1	Manguera dura 1/2 metros	Manguera rígida 1/2"
5.2	1	Válvula	Acero inoxidable 1/2"
5.3	1	Codo de 90°	Bronce 1/2"
5.4	1	Cople	1/2" Bronce
5.5	1	Entrada de aire	Acilico

FES-ZARAGOZA	DISEÑO		
 <b>ININ</b>	TÍTULO	DISEÑO	
	SISTEMA DE AIRE	Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
<b>LIMR</b>	LOCALIZACIÓN	DIBUJO	
	BASE DE LA CELDA	Vera Treviño Ana Luisa	
		Esc.	Plano No.
		S/N	005-C



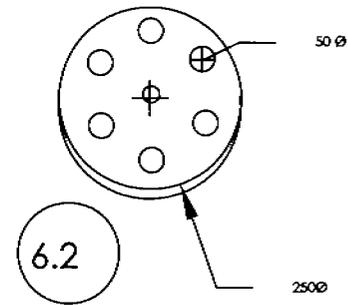
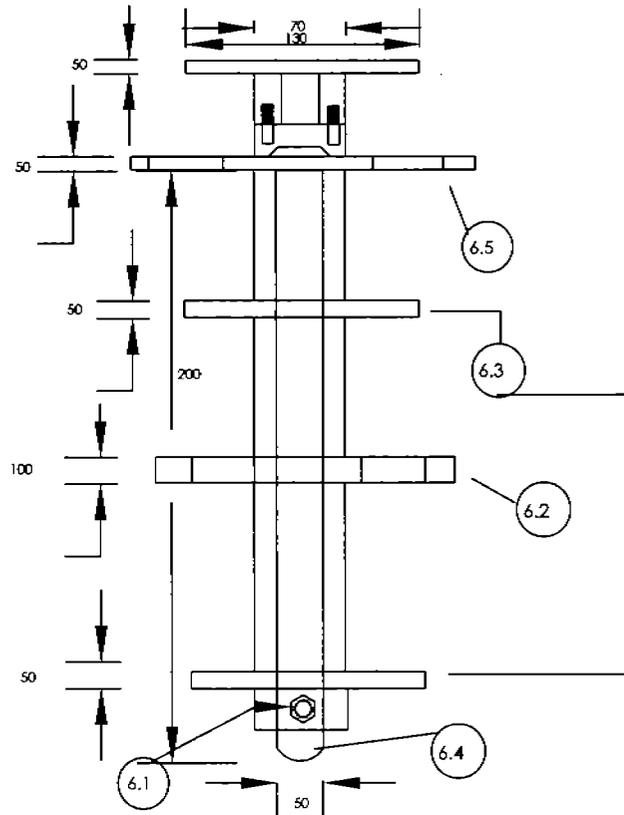
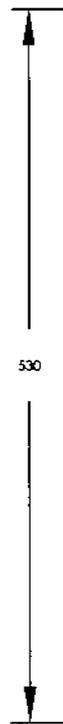
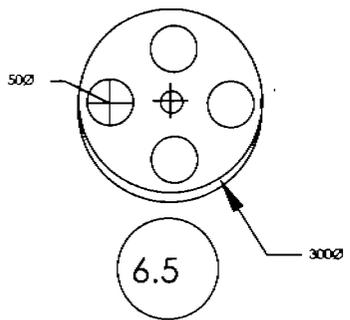
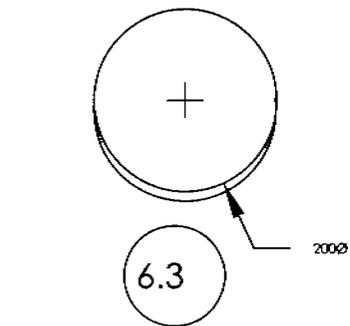
FRENTE DE LA CELDA

6

DETALLE DE LA PARED SUPERIOR DE LA CELDA

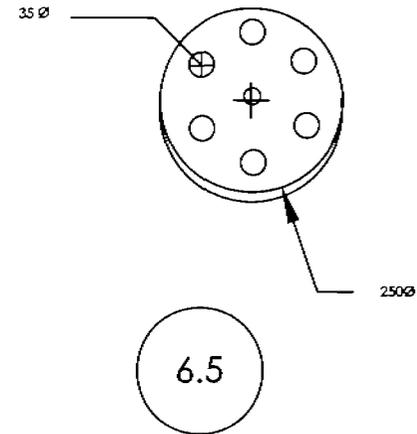
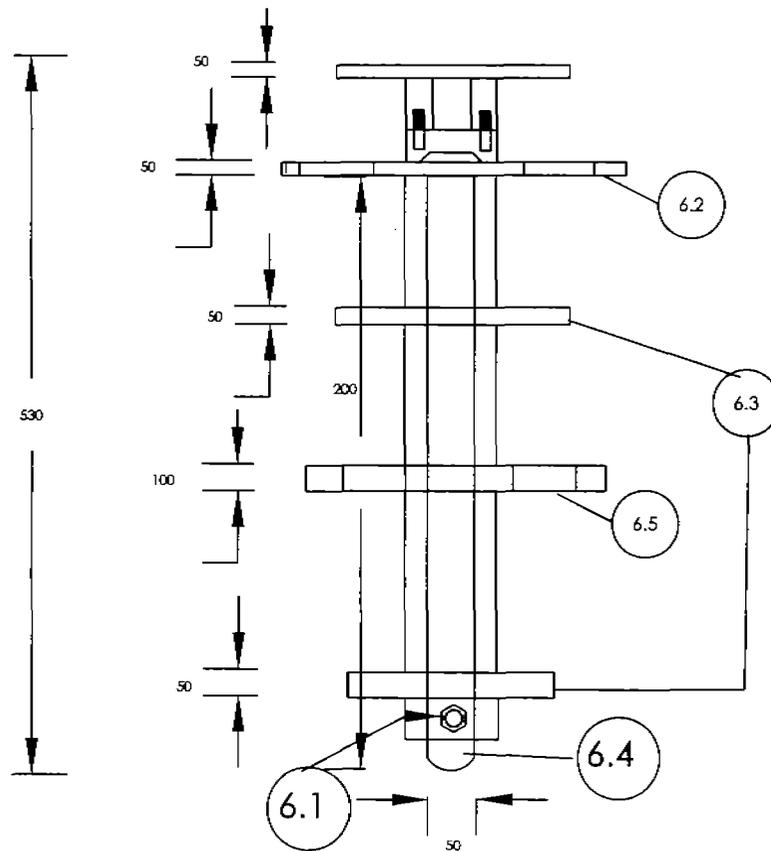
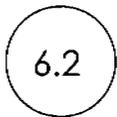
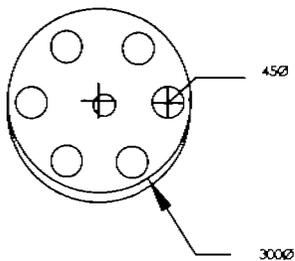
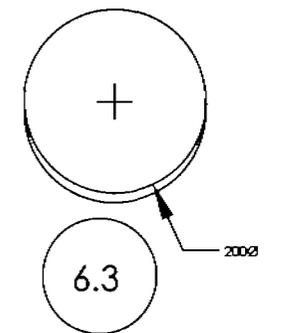
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	Vista superior de la celda	Acrylic
6.1	4	Tornillos 2" CF	Acero Inoxidable
6.2	1	Carusel secundario A (ver plano)	Acrylic
6.3	1	Carusel secundario B (ver plano)	Acrylic
6.4	5	Base de entrada de soluciones (ver plano)	Acrylic

FES-ZARAGOZA		DISER		
 ININ	TITULO	PARED SUPERIOR DE LA CELDA		
	LOCALIZACION	DISER		
LIMR	DISEÑO Y ELABORÓ		Jimenez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
	DIBUJO		Vera Treviño Ana Luisa	
Esc.	Acot.	Plano No.		
S/N	mm	006-A		



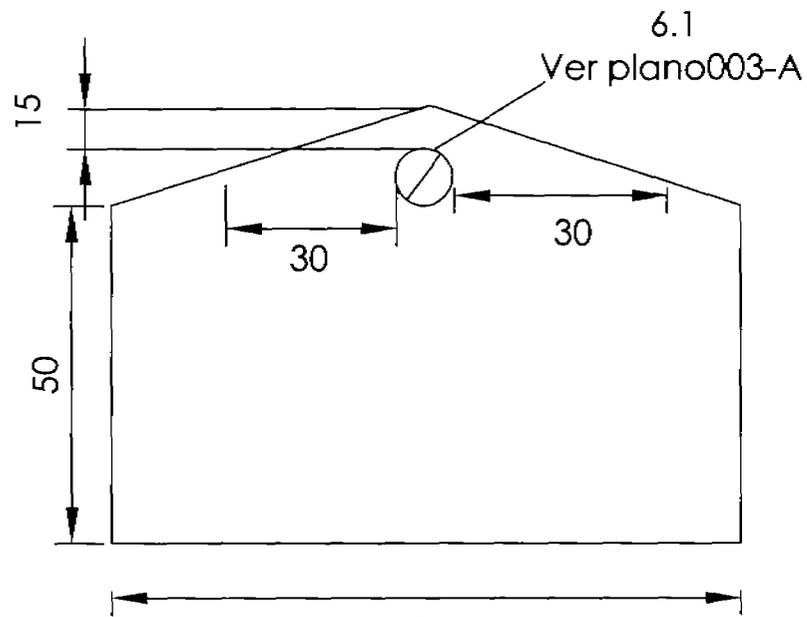
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	FORNABASIA	ACRILICO
6.1	2	RODILLO CAR. HEB.	ACRILICO
6.2	1	GRADILLA DE FASOS DE 150#	ACRILICO
6.3	2	SOPORTE INFERIOR	ACRILICO
6.4	1	BARRA PARA SOPORTE	POLEBLINDO DE ALTA DENSIDAD
6.5	1	GRADILLA DE FASOS DE 250#	ACRILICO

<b>FES-ZARAGOZA</b>		<b>DISER</b>	
 <b>ININ</b>	TITULO		DIBUJANTE
	<b>PORTA VASOS DE PRECIPITADOS MEDIANO</b>		Vera Treviño Ana Luisa
L I M R	LOCALIZACIÓN		ELABORÓ
	<b>PARED SUPERIOR DE LA CELDA</b>		Jímenez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola
Esc.	Acot.	Plano No.	
S/N	mm	006-B	

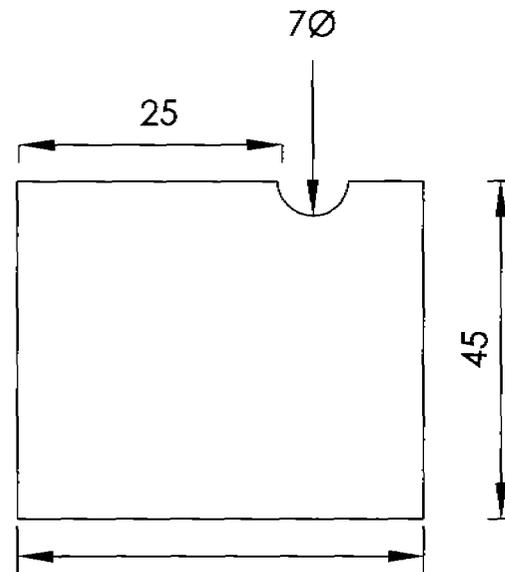


PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	CARRUSEL MEDIANO	ACRILICO
6.1	3	TORNILLO CARL HEX	ACRILICO
6.2	1	GRANILLA DE VASOS DE 20ml	ACRILICO
6.3	#	SOPORTE INFERIOR	ACRILICO
6.4	1	BARRA PARA SOPORTE	POLETILERO DE ALTA DENSIDAD
6.5	1	GRANILLA DE VASOS DE 30 ml	ACRILICO

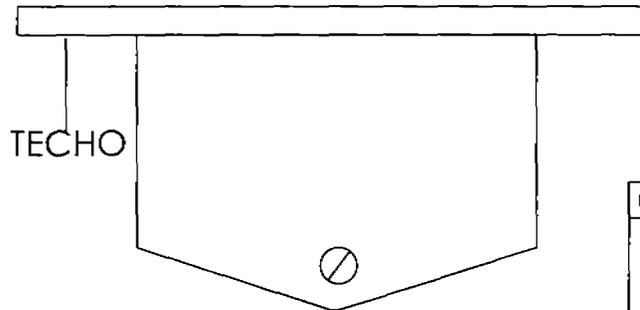
FES-ZARAGOZA		DISER	
 <b>ININ</b>	TITULO	ELABORÓ	
	LOCALIZACIÓN	Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
LIMR	PARED SUPERIOR DE LA CELDA	DIBUJANTE	
		Vera Treviño Ana Luisa	
ESC.	Acot.	Plano No.	
S/N	mm	004-C	



87  
DETALLE FRONTAL



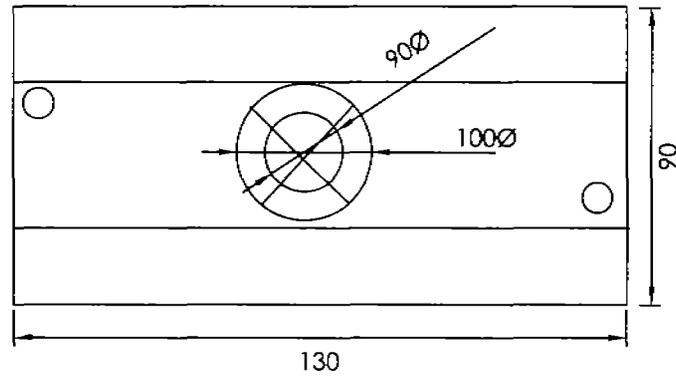
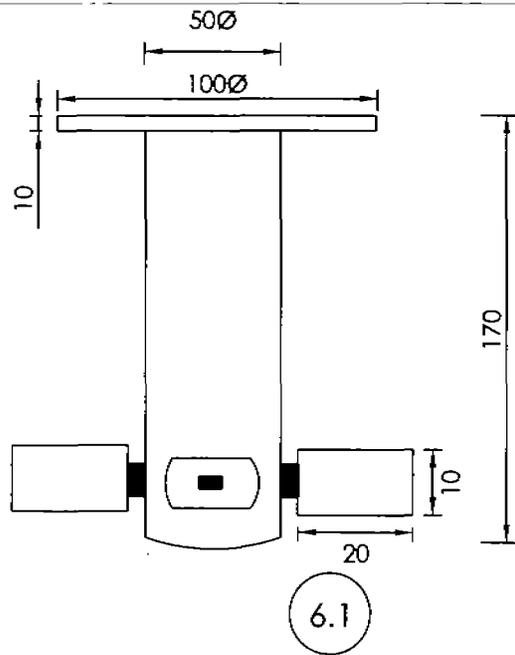
36  
DETALLE LATERAL



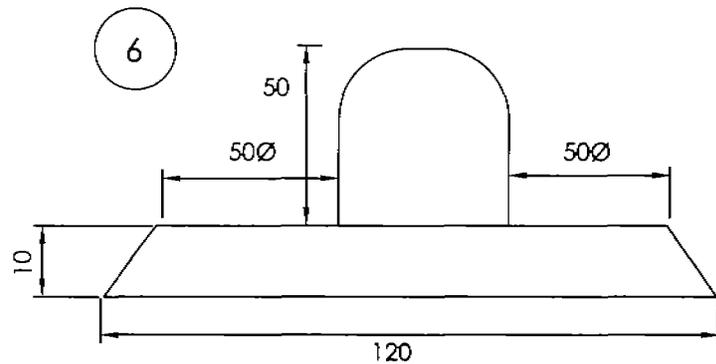
DETALLE SUPERIOR

PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	1	Fofo pipeta	Acilico
6	1	Seguro semil	Acilico
6	1	Baculo 5.5 mmØ	Acero inoxidable
6.1	1	Tornillo cabeza plana 4" CF	Acilico

FES-ZARAGOZA	DISER		
 <b>ININ</b> L I M B	TITULO	DISEÑO Y ELABORÓ Vera Treviño Ana Luisa Jiménez Barreiro Francisco Manroy Guzmán Fabiola	
	LOCALIZACIÓN	DIBUJO Vera Treviño Ana Luisa	
		Esc.	Acot.
		S/N	Plano No.
		mm	006-D

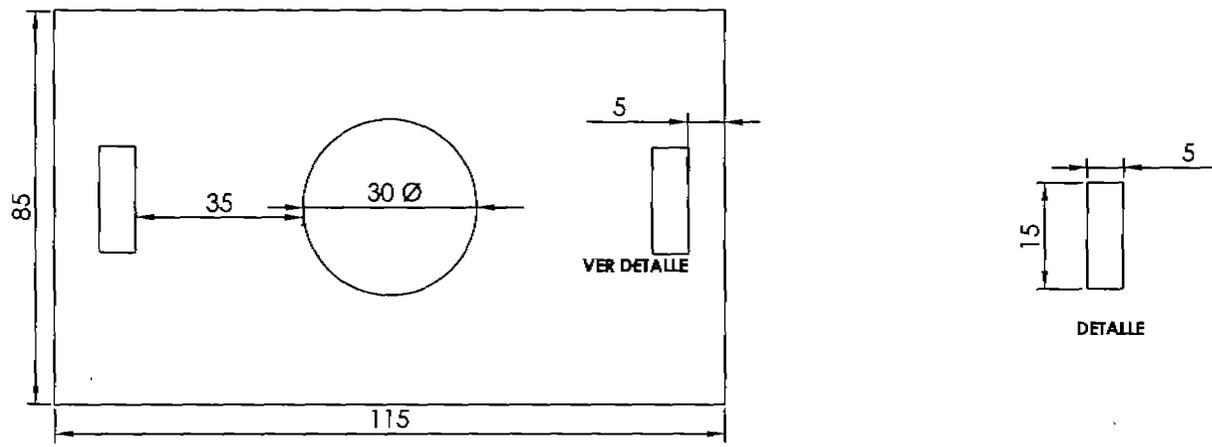


CORTE  
TRANSVERSAL  
6



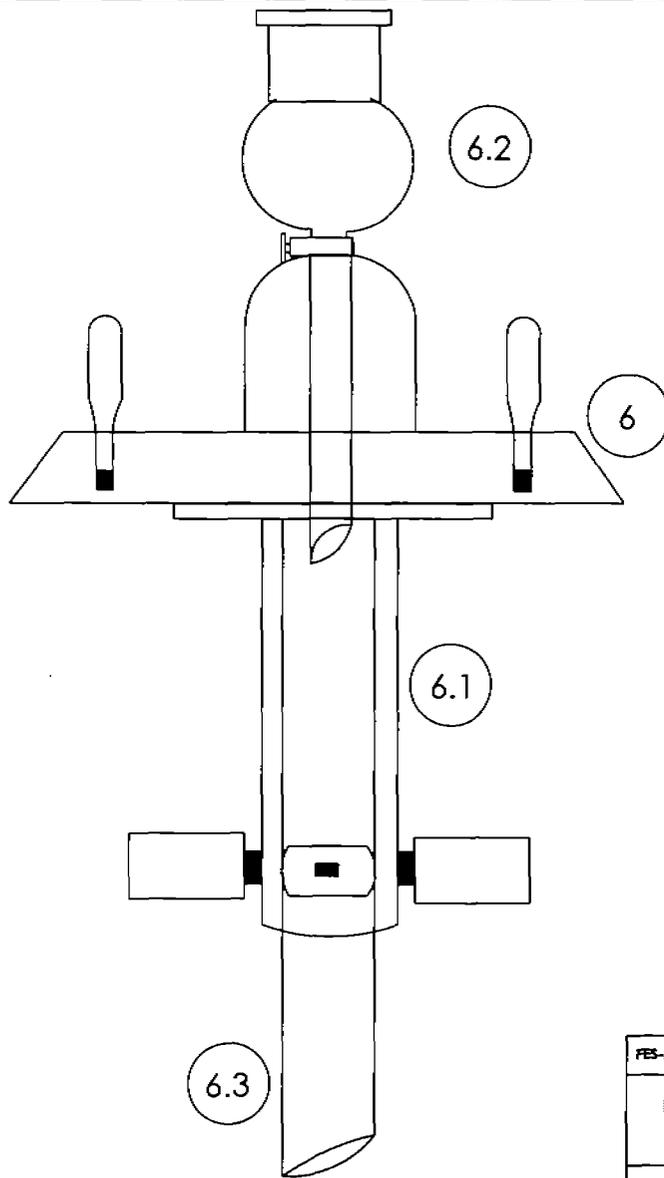
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	Columna o sustentado de adaptador de vidrio	Acilico
6	2	Tornillo cabeza redondeo plano UNF CF.	Acero inoxidable
5	2	Tuerca 1/2" CF.	Acero inoxidable
6	4	Tornillos separadores	Acilico
4.1	1	Base de entrada de conexiones	Acilico
6.1	2	Tornillo cabeza plano alargado 1/2" CF	Acero inoxidable
6.1	2	Barridos o presión 1/2"	Acero inoxidable
4.1	1	Base de colocación del embudo de separación	Acilico

FELIZARAGOZA		DISEÑO		
 WWIN LIME	TITULO	DISEÑO Y ELABORÓ		
	SUBTITULO	Vera Treviño Ana Luisa Jiménez Barbero Francisco Manroy Guzmán Fabiola		
DISEÑO		DIBUJO Vera Treviño Ana Luisa		
DISEÑO		Esc.	Acot.	Plano No.
		1/4"	mm	006-E



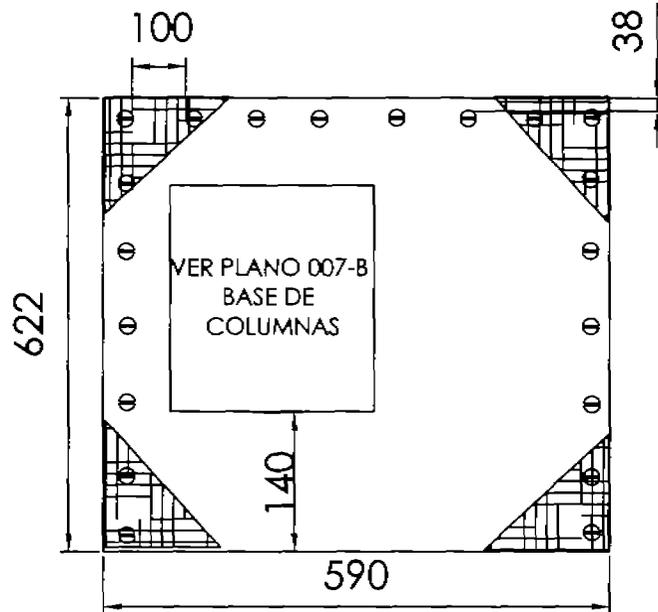
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	1	BASE SUJETADORA DEL ADAPTADOR DE VIDRIO DE 10mm DE ESPESOR	ACRILICO

FES-ZARAGOZA		DISER		
 <b>ININ</b> LIMR	TITULO		DISEÑO Y ELABORÓ	
	BASE DEL SUJETADOR DEL ADAPTADOR DE VIDRIO		Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
LOCALIZACIÓN		DIBUJO		
DISER		Vera Treviño Ana Luisa		
		Esc.	Acat.	Plano No.
		S/N	mm	006-F



PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	Base de la entrada de soluciones	VER PLANO 006-A
6.1	1	Columpio sustentado del adaptador de vidrio	VER PLANO 006-E
6.2	1	Empujador de separación de 125 art.	VIDRIO
6.3	1	Adaptador de vidrio de 25mm de longitud	VIDRIO

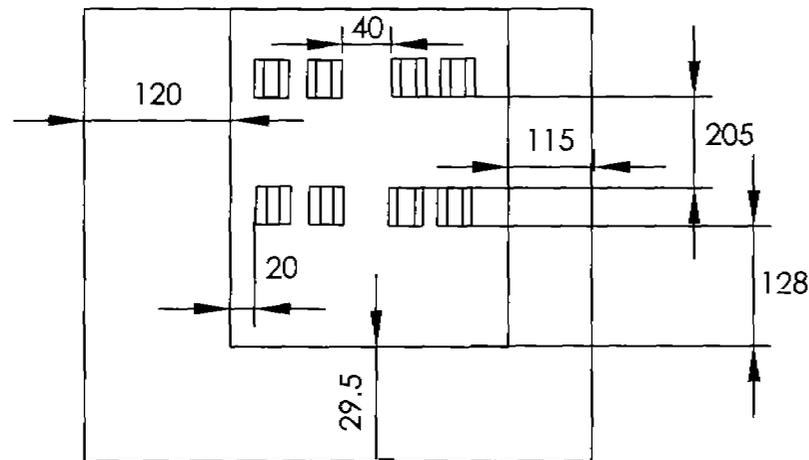
FES-ZARAGOZA		DISEÑO		
 ININ	TÍTULO	DISEÑO Y ELABORÓ		
	SISTEMA GENERAL DE ENTRADA DE SOLUCIONES	Vera Treviño Ana Luisa Jiménez Ramírez Francisco Morán Guzmán Fabiola		
LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ			
PARED SUPERIOR DE LA CELDA	Vera Treviño Ana Luisa			
LMR	Esc.	Acor.	Plano No.	
	5/8	mm	006G	



DETALLE FRONTAL DE LA PARED LATERAL IZQUIERDA

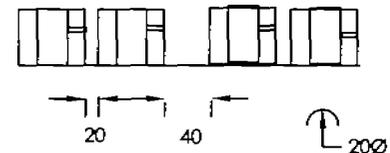
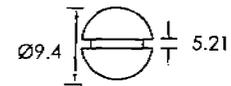
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
7	1	Vista de la celda lateral	Acilico 10mm de espesor
7	20	Lonjales de 2x2" CF	Acero inoxidable Ver plano 003A
7	4	Marcos para pared	Acilico. Ver plano 003A
7	1	Placa base de las columnas	Acilico

FES-ZARAGOZA		DISER		
 <b>ININ</b>	TITULO	DISEÑO Y ELABORÓ Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola		
	LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa		
LIMR	DISER	Esc.	Acat.	Plano No.
		5/N	mm	007-A



PLACA BASE DE  
COLUMAS  
PARED LATERAL  
IZQUIERDA

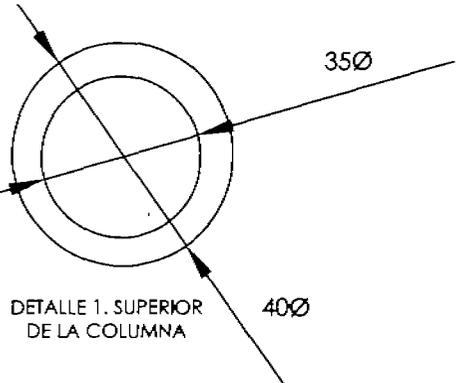
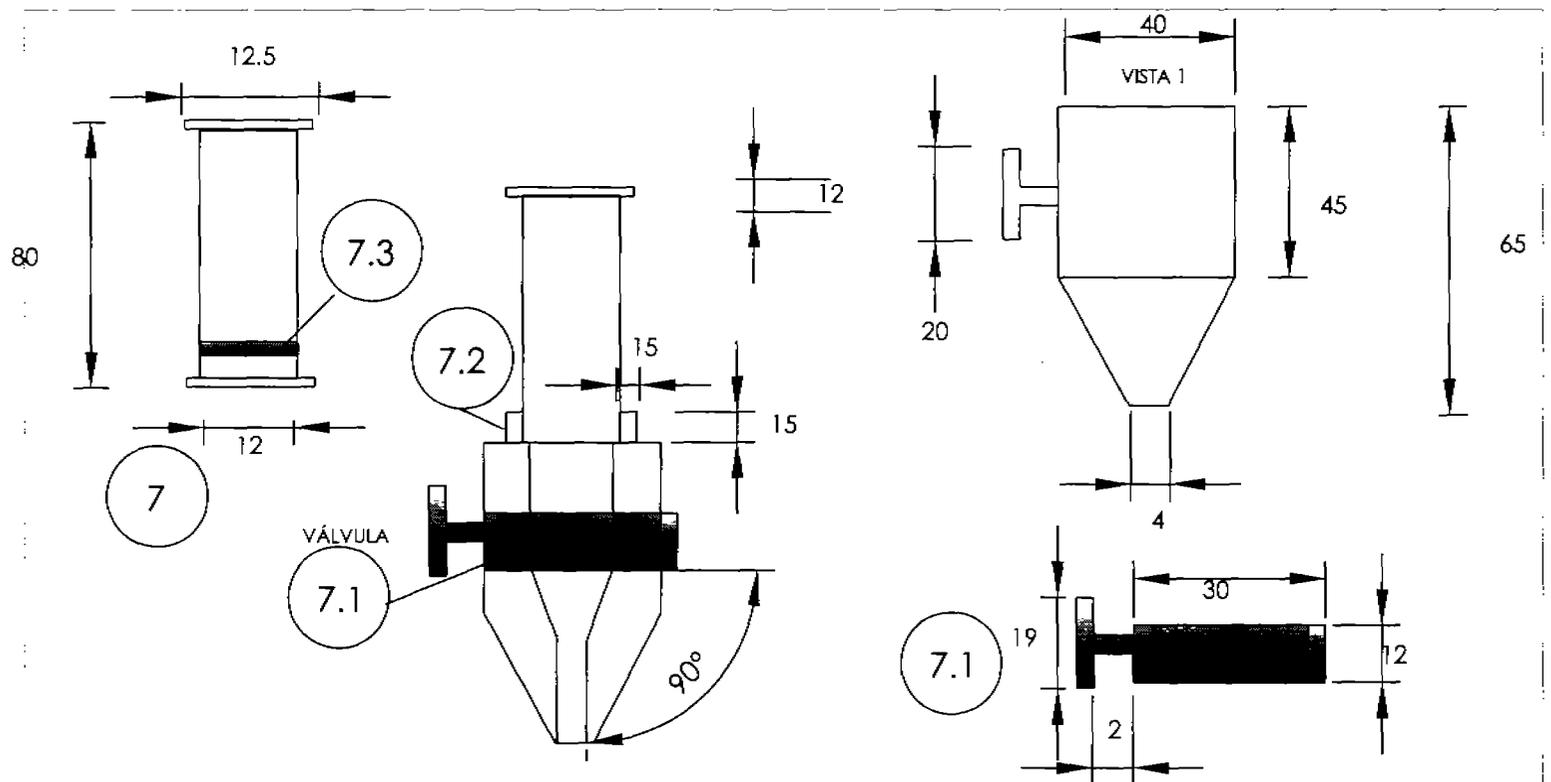
7



DETALLE DE COLUMNAS

PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
7	8	Bases de colocacion de columnas	Acrílico
7	8	Tornillos sujetadores 1/16" C.F.	Acrílico
7	8	Resortes 0.5cm (50mm)	Acero Inoxidable

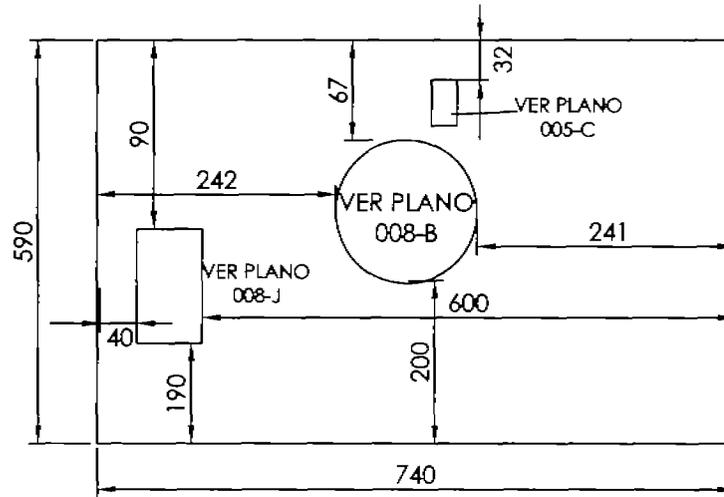
FES-ZARAGOZA		DISER		
 ININ L I M R	TÍTULO	DISEÑO Y ELABORÓ		
	LOCALIZACIÓN	Base para columnas cromatográficas Jiménez Barreiro Francisco Morán Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa		
		Esc.	Asel.	Plano No.
		S/M	mm	007-B



PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
12	8	Colinetes	Vidrio
12.1	8	Válvulas	Teflón
12.1	8	Llaves	Teflón
12.2	16	Chaquetas	Nylon
12.3	8	Soportes	Silica de vidrio

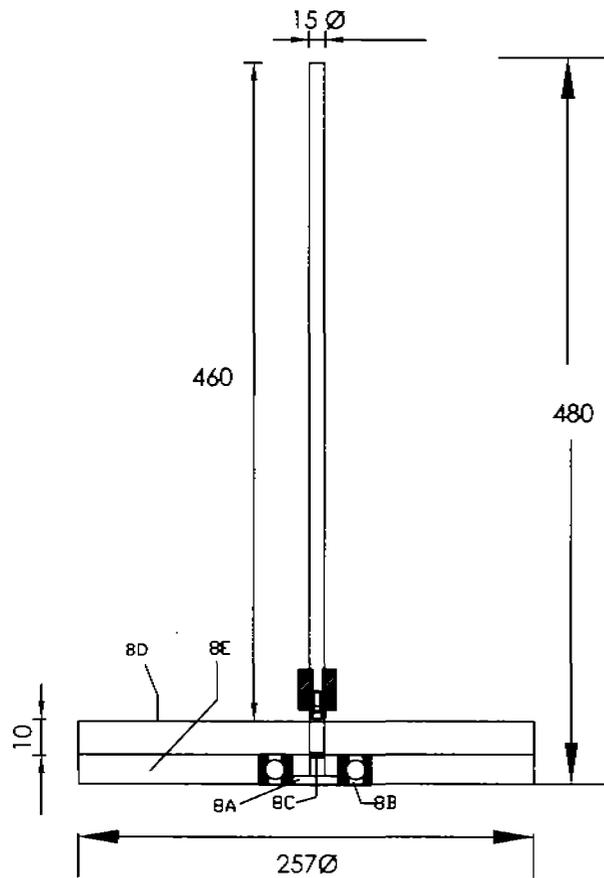
FES-ZARAGOZA	DISEÑO		
 <b>ININ</b> L I M R	TITULO	COLUMNA CROMATOGRÁFICA	
	LOCALIZACION	CARRUSEL PRINCIPAL	
DISEÑO Y ELABORÓ		Jiménez Barreiro Francisco Manroy Guzmán Fabiola	
DIBUJÓ		Vera Treviño Ana Luisa	
Esc.	Acot.	Plano No.	
SN		007-C	

VISTA DE LA CELDA  
DIAGONAL

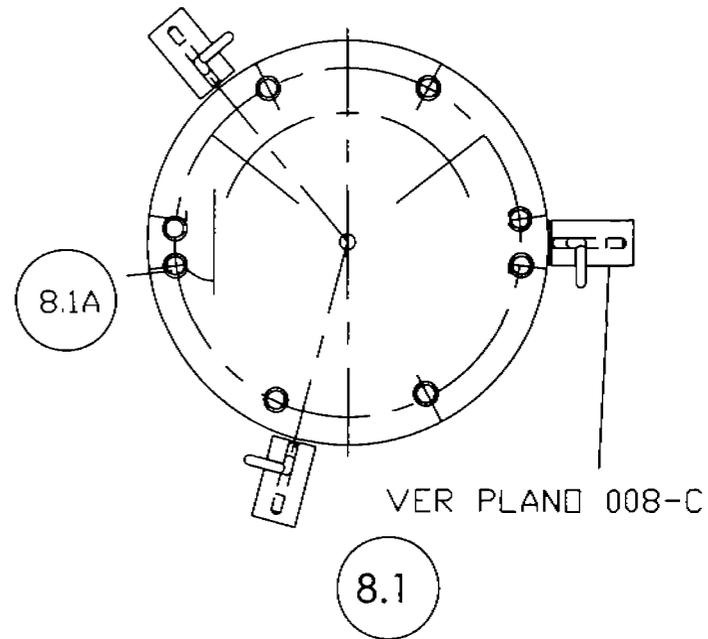


PZA. NO.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
1	1	BASE DE LA CELDA	ACRILICO

FES ZARAGOZA		D I S E Ñ O		
 <b>ININ</b> L I M A	TÍTULO	BASE DE LA CELDA		
	LOCALIZACIÓN	CELDA CALIENTE		
		DIBUJANTE	Vera Treviño Ana Luisa	
		ELABORÓ	Jimenez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
		Esc. S/N	Acot. mm	Plano No. 008-A

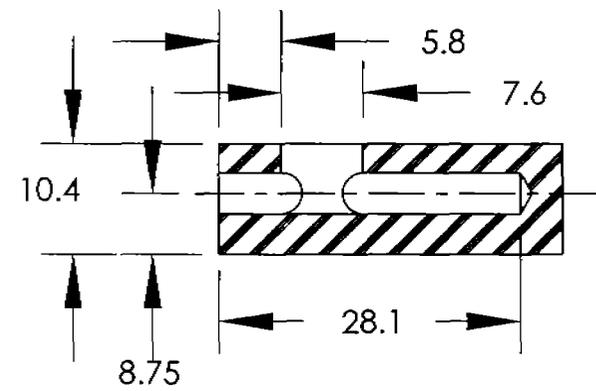
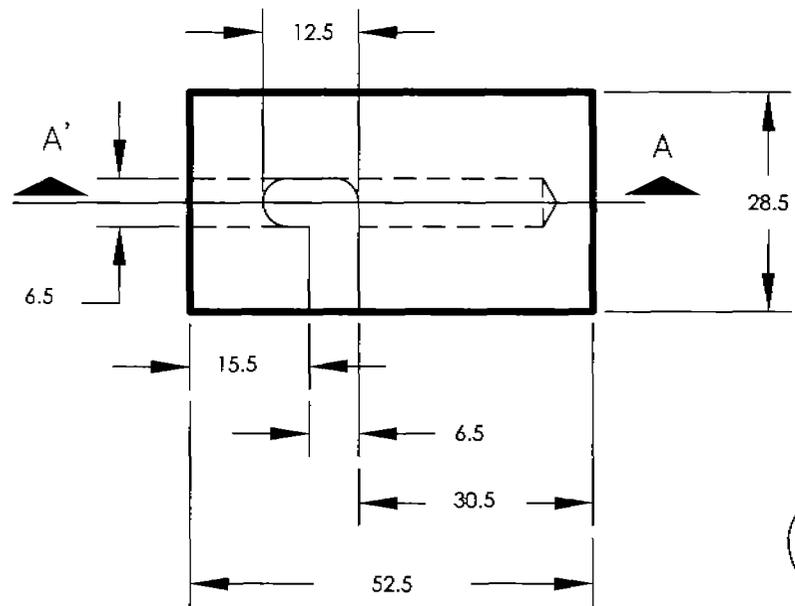


8

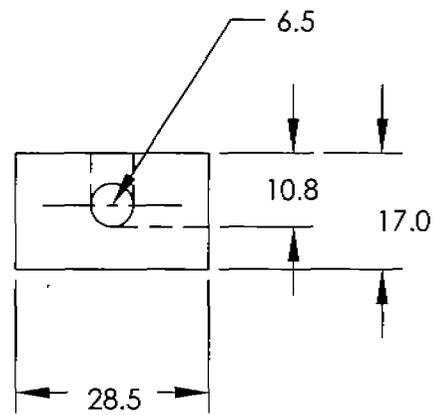


PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
8A	2	Rotamiento 201 E13-27	Acero inoxidable
■	2	Tornillo de cabeza hexagonal 1/4"	Acero inoxidable
8C	1	Piezo control	Acero inoxidable
8D	1	Plata base	Acilico
8E	1	Plata interior	Acilico
8F	1	Piezo control	Acero inoxidable
8.1A	3	Seguros de cañón (por plano 15)	Acero inoxidable

FES ZARAGOZA	D I S E Ñ O		
 <b>ININ</b> L I M R	TÍTULO	ELABORÓ Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
	LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa	
	CARRUSEL PRINCIPAL	Esc. S/N	Acot. mm
	CARRUSEL PRINCIPAL		Plano No. 008-8



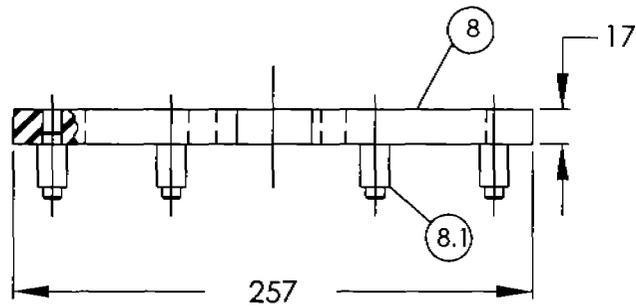
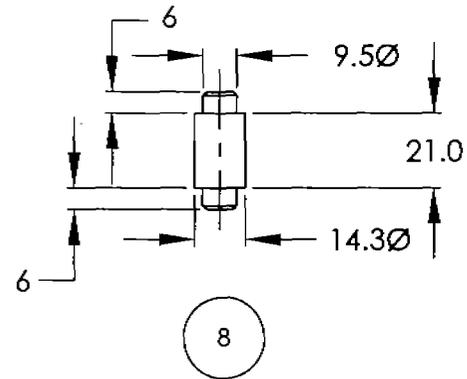
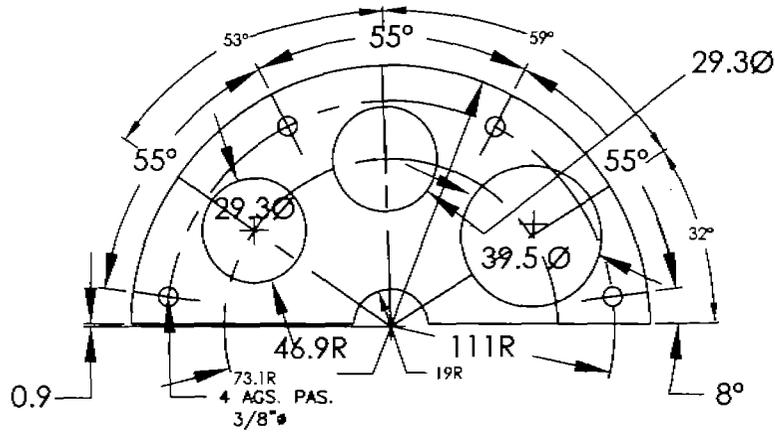
8



8.1

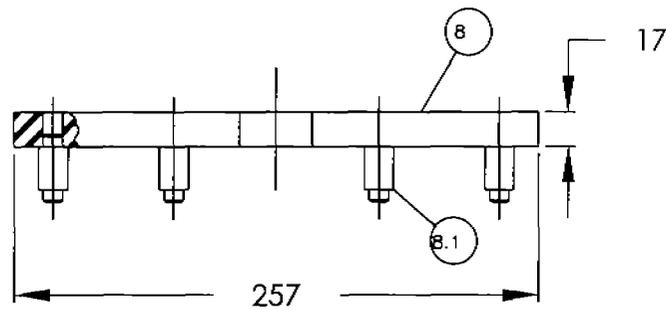
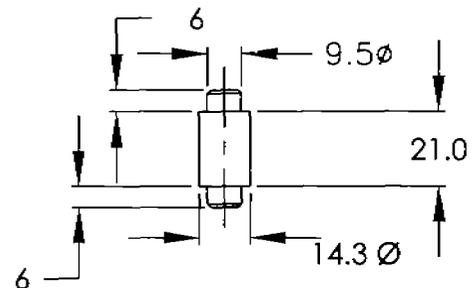
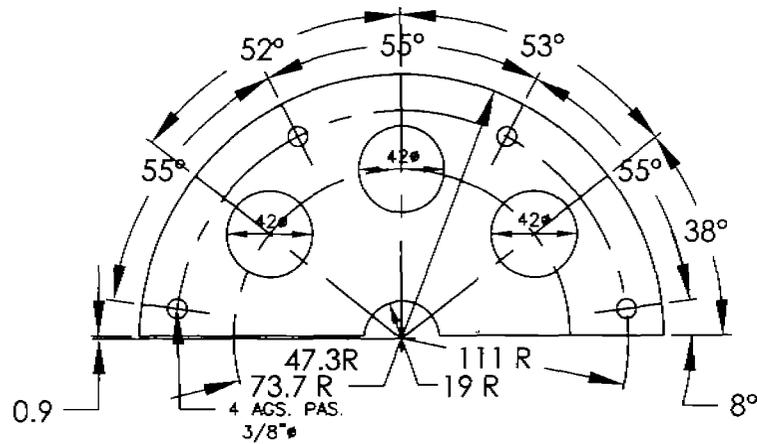
PZA. NO.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
14	3	broches de seguridad	Acero Inoxidable
14	3	bases y brachos de seguridad	Acilico

FES-ZARAGOZA	D I S E Ñ O		
 <b>ININ</b>	TITULO	BROCHES DE SEGURIDAD DEL CARRUSEL PRINCIPAL	
	LOCALIZACIÓN	CARRUSEL PRINCIPAL	
L I M R	DEBLIJANTE	Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
	ELABORÓ	Vera Treviño Ana Luisa	
	E.sc.	Acot.	Plano No.
	5/4	mm	008-C



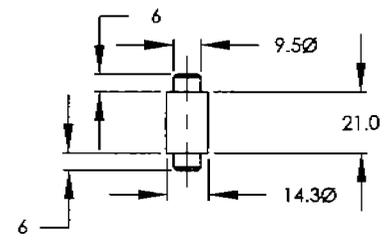
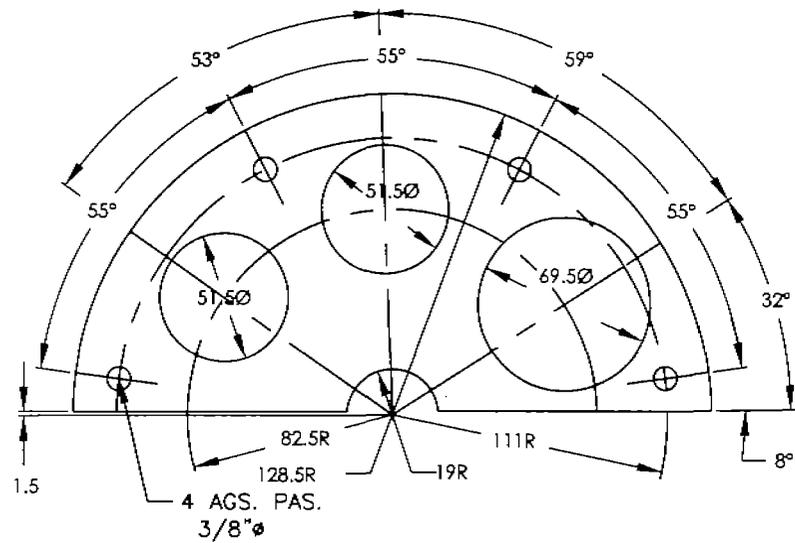
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
8	1	Soporte pivote de pasaplatos de 50.26 y 10 mm	Acilco
8.1	4	Pines apiladores	Acilco

FES-ZARAGOZA		D I S E Ñ O		
 <b>ININ</b>	TITULO	SEMIPLATO A		
	LOCALIZACION	CARRUSEL PRINCIPAL		
	DISEÑO Y ELABORÓ	JIMÉNEZ Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola		
	DIBUJO	Vera Treviño Ana Luisa		
	Esc.	Acot.	Plano No.	
	S/N	mm	008-D	

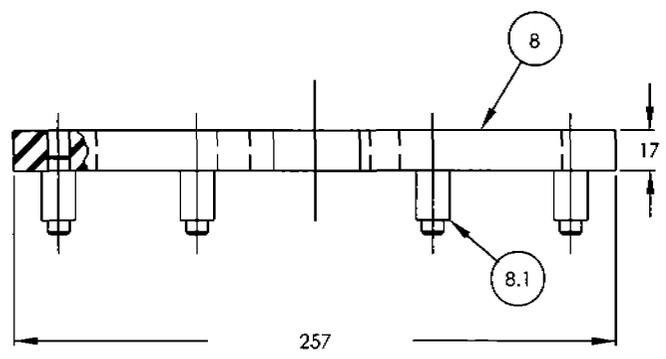


PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
8		Carilla pinzas de precisadas de 21mm	Acilto
8.1	4	Pernos sujetadores	Acilto

FES-ZARAGOZA	DISEÑO		
 <b>ININ</b>	TÍTULO	DISEÑO y ELABORÓ Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola	
	LOCALIZACIÓN	DIBUJO Verá Treviño Ana Luisa	
LIMR	CARRUSEL PRICIPAL	Esc.	Plano No.
		S/N	008-E

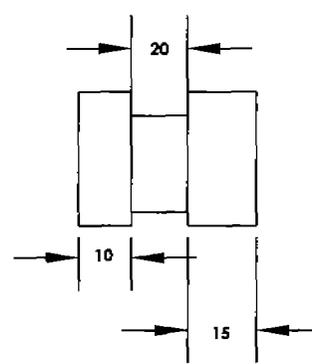
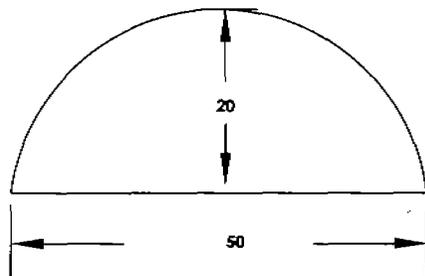


DETALLE 8.1



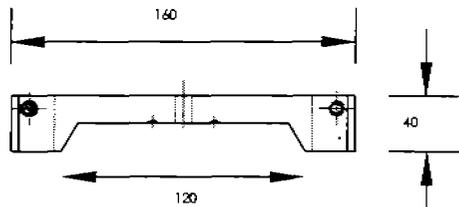
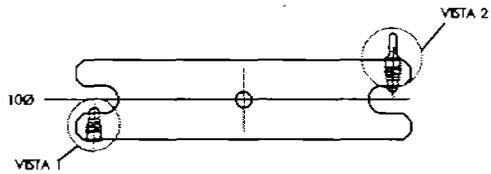
FZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
3	1	Cuchillo para cortar de precipitados de 150 y 100 ml	Acilico
8.1	4	Pernos sujetadores	Acilico

FES-ZARAGOZA		D I S E Ñ O		
 <b>ININ</b> LIME	TITULO	SEMIPLATO C		
	LOCALIZACION	CARRUSEL PRINCIPAL		
	DIBUJANTE	Vera Treviño Ana Luisa		
	OPERIO	Jímenez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola		
	Esc.	Acot.	Plano No.	
	SN	mm	008-F	

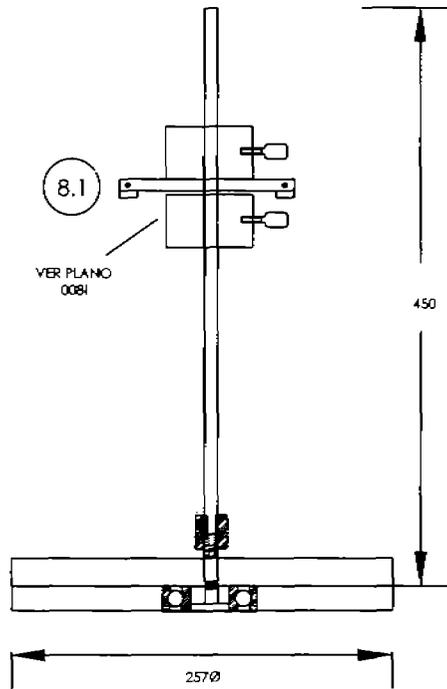


DETALLE LATERAL

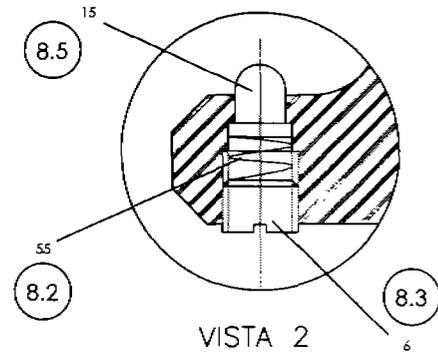
FES-ZARAGOZA	DISER		
 <b>ININ</b> L I M R	TITULO	DIBUJANTE Vera Treviño Ana Luisa	
	BASE DE SEMIPLATOS MÓVILES	DISEÑO Jimenez Barreiro Francisco Moray Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa	
LOCALIZACIÓN	BASE DE LA CELDA	Esc. S/N	Acol. mm  Plano No. 008-G



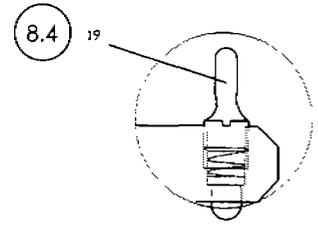
8.1



8



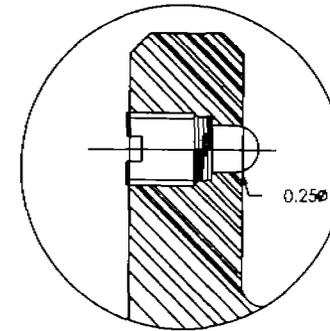
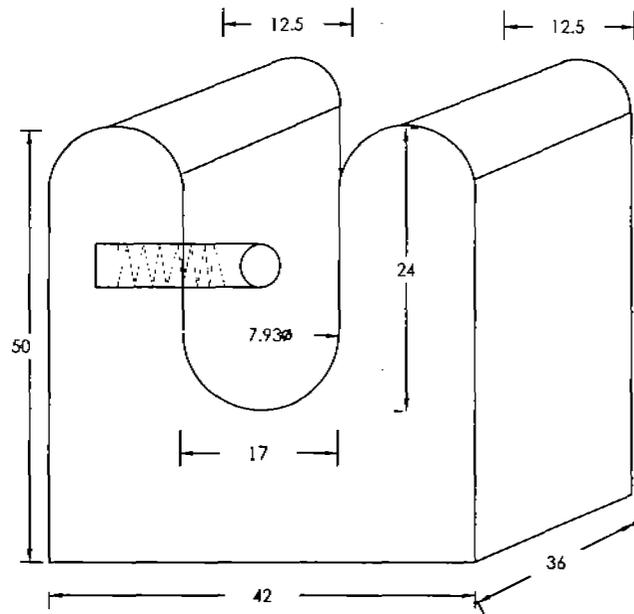
VISTA 2



VISTA 1

PZA.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
8	1	Carrusel principal	Acrílico
8.1	2	Porta columnas giratorio	Acrílico
8.2	2	Resorte	Acero inoxidable 1.5 x 5.50
8.3	2	Tornillo cabeza plana larga	Acero inoxidable de 43 de largo x 16.5 cabeza plana x 19 CF
8.4	2	Tornillo especial cabeza oval	Acrílico de CF (cuerda fina) 12 x 5/160, cabeza 19 x 17
8.5	2	Seguro flexible	Acrílico de 1.5x6 y 50

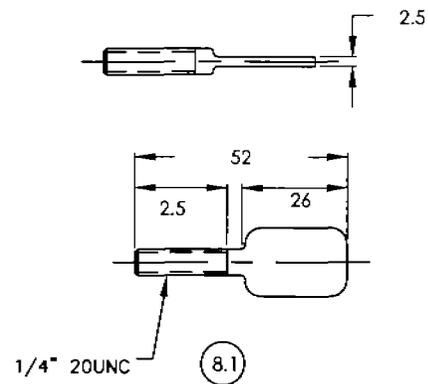
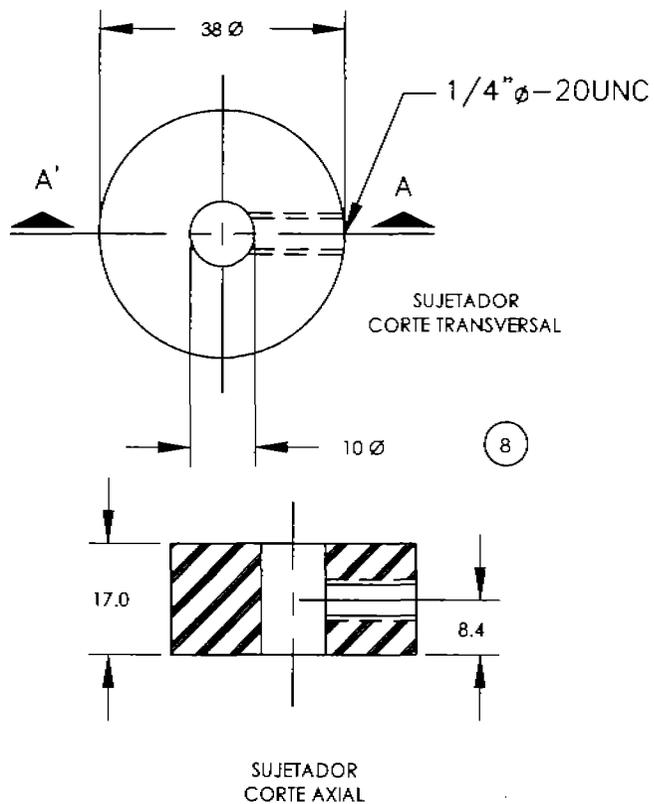
	<b>DISER</b>		
	TITULO	DIBUJANTE	
	<b>PORTA COLUMNAS</b>	Vera Treviño Ana Luisa	
LOCALIZACIÓN	DISEÑO		
<b>CARRUSEL PRINCIPAL</b>	Jimenez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola		
	Esc. S/N	Acot. mm	Plano No. 008-H



DETALLE 1

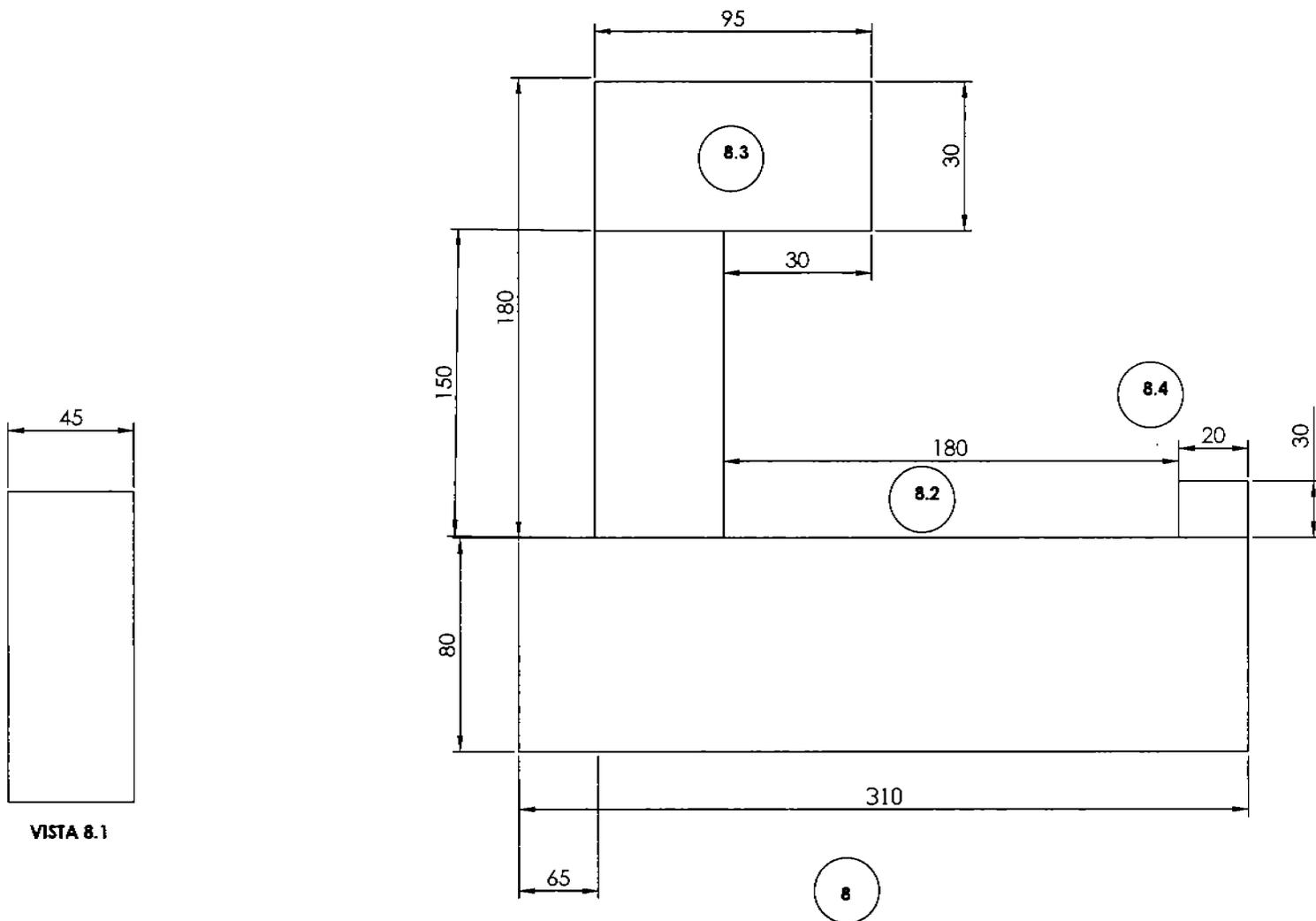
PZA. NECANT.		NOMBRE	DESCRIPCION
8.4	8	PORTA COLUMNAS	ACRILICO
8.5	8	TORNILLO	ACRILICO
8.6	8	TOPE	ACRILICO
8.7	8	RESORTE	ACERO INOX.304

FES ZARAGOZA		DISER		
 <b>ININ</b> LIMIR	TITULO		DISEÑO Y ELABORÓ	
	BASE DE PORTA COLUMNAS CROMATOGRAFICAS		Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa	
LOCALIZACIÓN		DIBUJO		
DISER		Vera Treviño Ana Luisa		
	Esc	Acot.	Plano No.	
	S/N	mm	008-1	



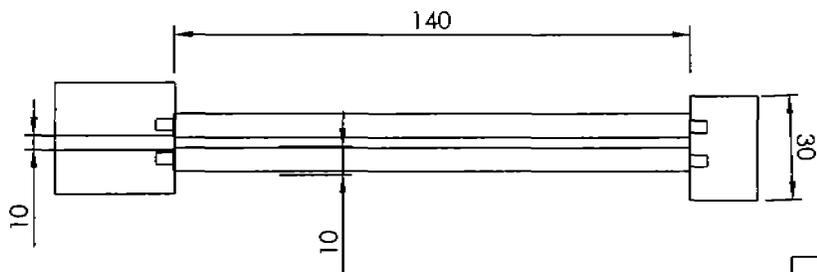
PZA. No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
8	2	Superfies	Acero
8.1	2	Tornillo cabeza plana	Acero Inoxidable

FES-ZARAGOZA		DISER		
 <b>ININ</b>	TITULO	DISEÑO Y ELABORÓ Jimenez Barreira Francisco Monroy Guzmán Fabiola		
	LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa		
<b>L I M R</b>	<b>CAREUSEL PRINCIPAL</b>	Esc. S/N	Acor. mm	Plano No. 008-I



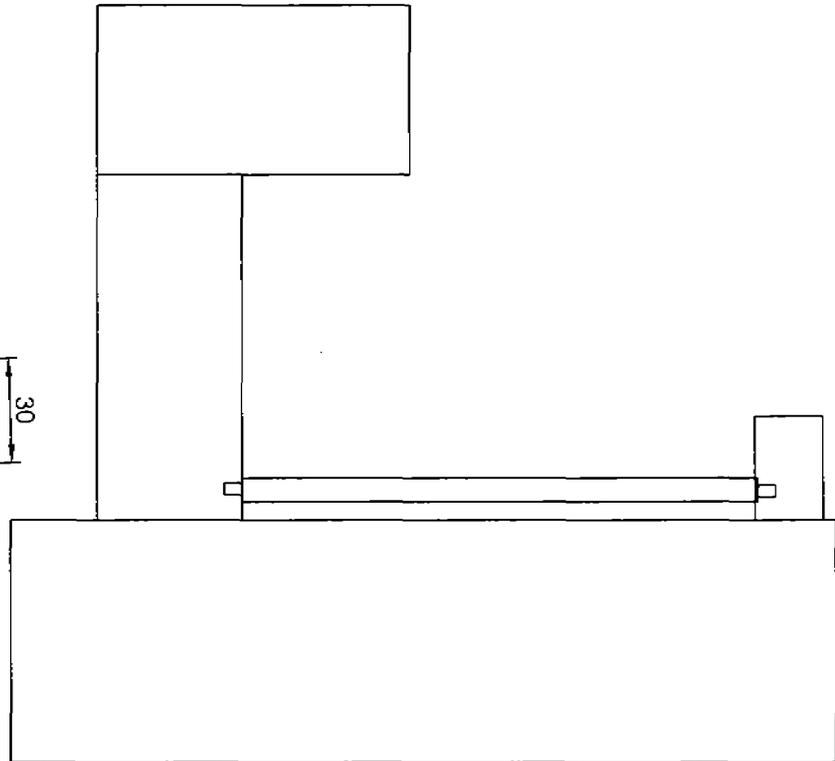
VISTA 8.1

Pza. No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FES ZARAGOZA	D I S E R			
					TÍTULO	DISEÑO Y ELABORÓ		
8	1	Sistema de apertura de ampollitas	Acrílico macizo	 <b>ININ</b>	<b>SISTEMA DE APERTURA DE AMPOLLETAS DE IRRADIACION</b>	Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa		
8.1	1	Prisma rectangular	Acrílico macizo			<b>LOCALIZACIÓN</b>  DISER	<b>DIBUJÓ</b> Vera Treviño Ana Luisa	
8.2	2	Ejes de desplazamiento (plano 009-B)	Acero inoxidable		<b>Esc</b> S/N		<b>Acot.</b> mm	<b>Plano No.</b> 008-J
8.3	1	Base cortadora de ampollitas (plano 009-C)	Acrílico macizo					
8.4	1	Soporte de ampollita de material radiactivo (plano 009-D)	Acrílico macizo		LIMIR			



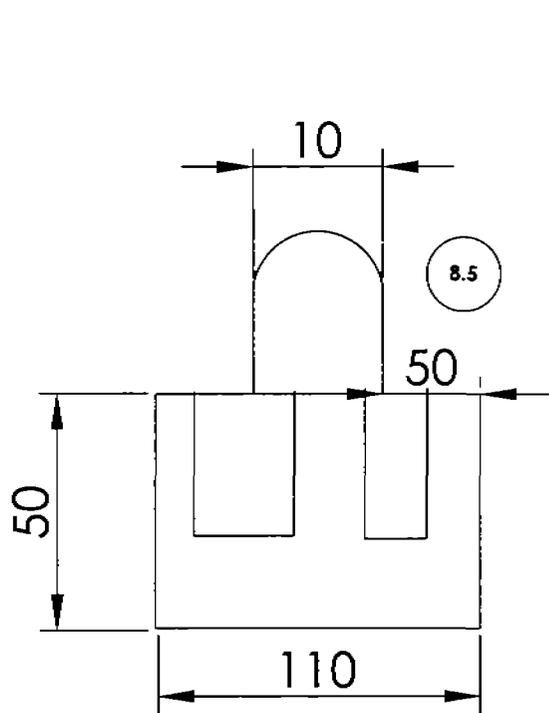
VISTA AEREA DE LOS EJES DE DESPLAZAMIENTO

8.2



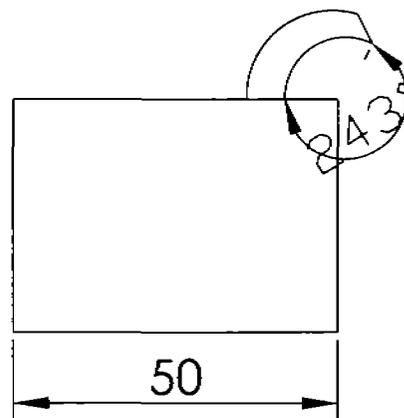
8

Pza. No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FES ZARAGOZA	D I S E R			
8	1	Sistema de apertura de ampollitas	Acrílico macizo	 <b>ININ</b>	TÍTULO	DISEÑO Y ELABORÓ		
					EJES DE DEPLAZAMIENTO	Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa		
8.2	2	Ejes de desplazamiento (plano 009-B)	Acero inoxidable		LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ Vera Treviño Ana Luisa		
				L I M I R	D I S E R	Esc	Acot.	Plano No.
						S/N	mm	008-K



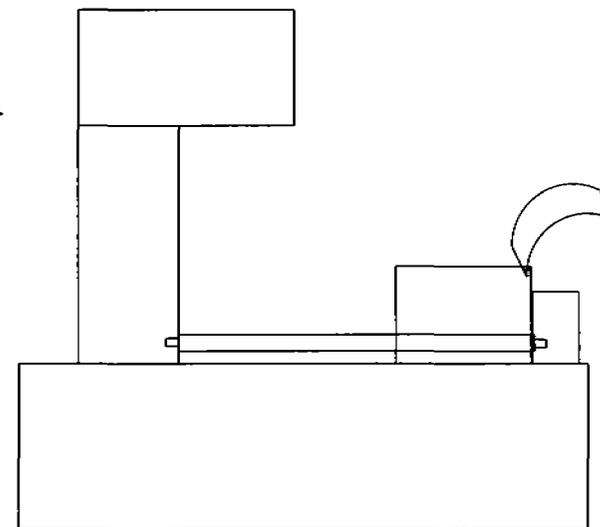
VISTA FRONTAL DEL SOPORTE DE MATERIAL

8.4



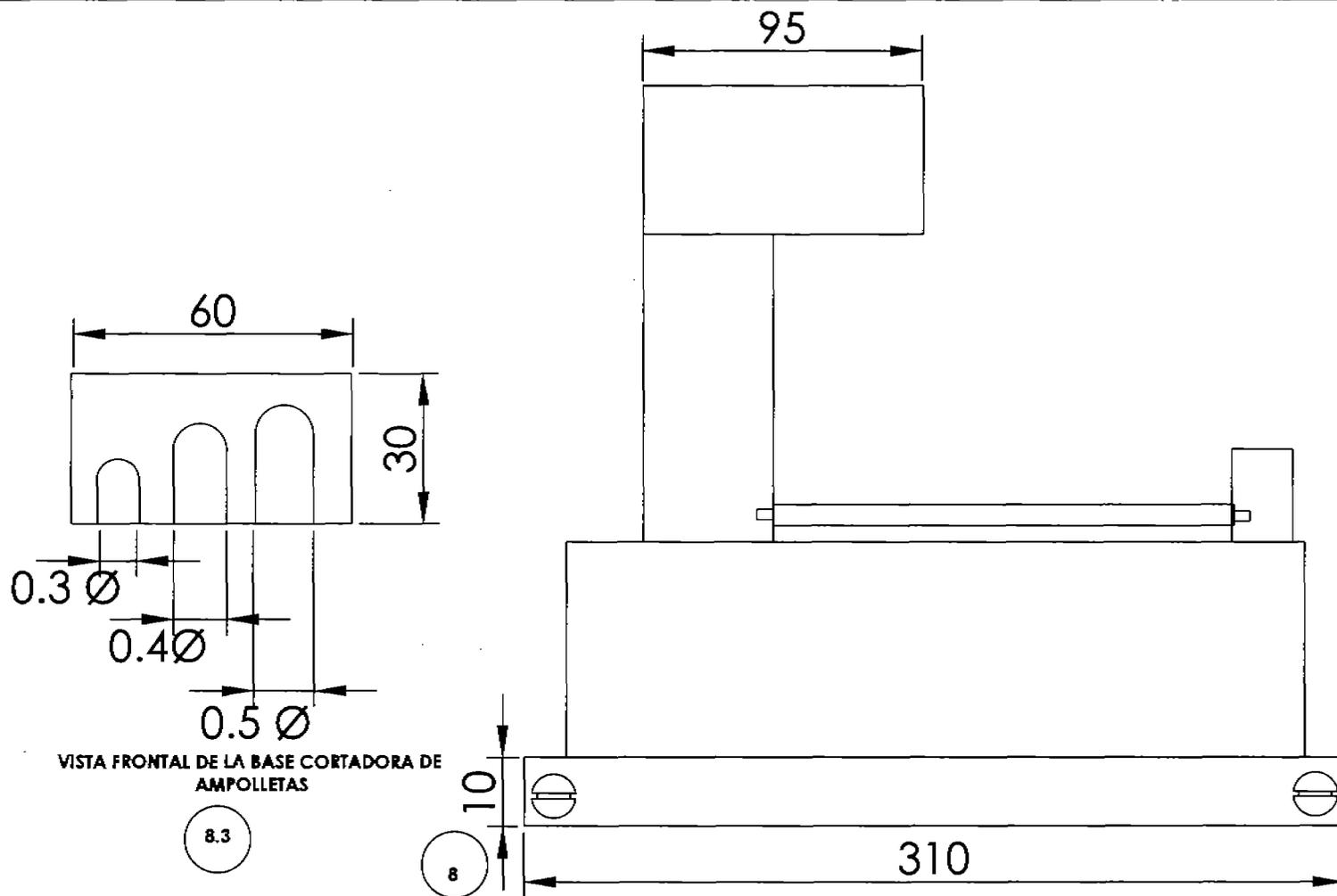
VISTA LATERAL DEL SOPORTE DE MATERIAL

8.5

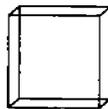
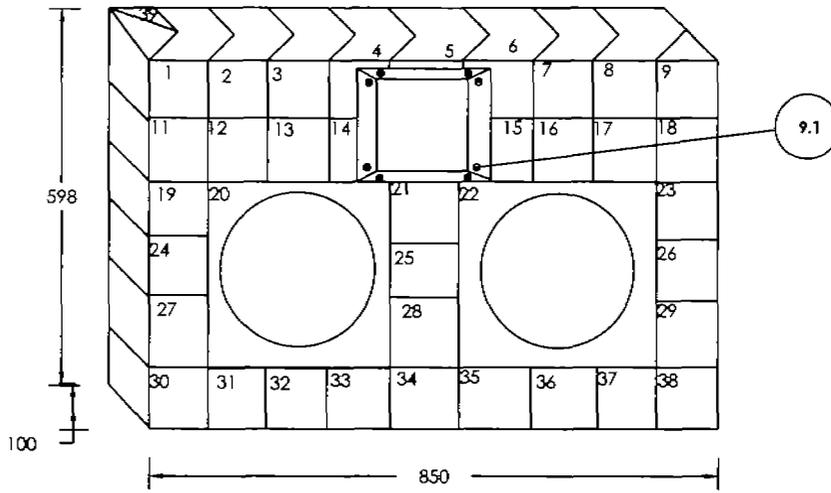
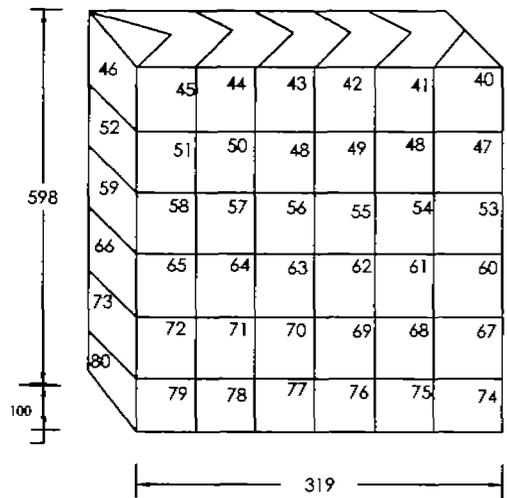


8

Pza. No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FES ZARAGOZA	D I S E R		
8	1	Sistema de apertura de ampollitas	Acrílico macizo	 <b>ININ</b> LIMIR	TÍTULO	DISEÑO Y ELABORÓ	
						Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa	
8.4	1	Soporte de material radiactivo	Acrílico		LOCALIZACIÓN	DIBUJÓ	
				D I S E R	Vera Treviño Ana Luisa		
8.5	1	Gancho sujetador	Acrílico		Esc	Acof.	Plano No.
					S/N	mm	008-L

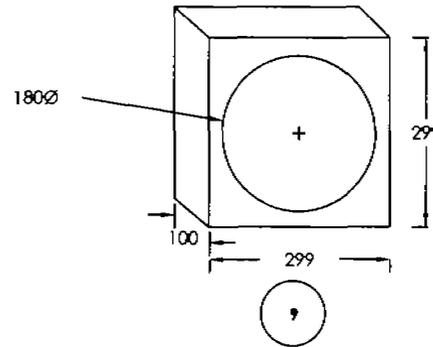


Pza. No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FES ZARAGOZA	DISER		
8	1	Sistema de apertura de ampollitas	Acrílico macizo	 <b>ININ</b> LIMIR	TÍTULO	<b>DISEÑO Y ELABORÓ</b> Jiménez Barreiro Francisco Monroy Guzmán Fabiola Vera Treviño Ana Luisa	
8.3	1	Base cortadora de ampollitas	Acrílico		<b>BASE CORTADORA DE AMPOLLETAS</b>	<b>DIBUJO</b> Vera Treviño Ana Luisa	
					<b>LOCALIZACIÓN</b> DISER	<b>Esc.</b> S/N	<b>Acot.</b> mm



9.3

9.2



9

PIZA No.	CANT.	NOMBRE	MATERIAL	DESCRIPCION	FES-ZARAGOZA	DISEÑO Y ELABORACIÓN					
9	2	BLOQUES	PLOMBO	PARED GANITES DE REEMPLENO		<b>TÍTULO</b> PAREDES DE PLOMO Y VENTANA DE VISUALIZACION			DISEÑO Y ELABORACIÓN		
9.1	4	TERNILLAS	ACERO INOX.	CARCELA PLUMB. CF					Jimenez Barreiro Francisco Manroy Guzman Fabiola		
9.2	8	PLACA	PLOMBO	DE VISUALIZACION		DIBUJO					
9.2	80	BLOQUES	PLOMBO	BRANCHA PROTECTORA		Vera Treviño Ana Luisa					
9.4	2	ORNAMES	REEMPLENO	LARGOS Y DETALLA	LIAM R	LOCALIZACION					
						MESA			Esc.	Acot.	Plano No.
									5/11	mm	00-A