DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AJUSTE DE UNA CÁMARA DE DISPERSIÓN AUTOMATIZADA DE ALUMINIO PARA ALTO VACÍO

José Jesús Mena Delgadillo [a], Francisco Hugo Mercado Ramírez [b]

[a] Departamento de Ciencias básicas, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México DF. México. E.mail: jmd_me@hotmail.com

[b] Departamento de Dibujo, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF. México.

ANTECEDENTES

La cámara de dispersión es donde se realizan experimentos de detección de partículas con carga eléctrica por las técnicas RBS (Retrodispersión elástica de iones) y/o RN (Reacciones nucleares), es decir es el lugar en donde se produce el bombardeo de muestras y se genera información sobre la naturaleza de la interacción de los iones con una muestra (blanco). En este caso se construyó una cámara de dispersión automatizada de gran versatilidad y tamaño, de manera que fuera posible realizar en ella el mayor número de experimentos en física nuclear, utilizando una gran variedad de detectores. La cámara de dispersión automatizada es cilíndrica, de aluminio, con un diámetro interior de 77.6 cm y una altura de 45 cm. Para obtener dicha versatilidad la cámara cuenta con las siguientes características:

a) La posibilidad de colocar en el interior de la cámara un número apreciable de detectores de diferentes tipos y tamaños (gaseosos, estado sólido, centelleo, etc.), así como un margen de casi 360 ° de variación radial en la posición de los detectores.

b) La opción de variar simultáneamente la distancia angular entre dos ó más detectores.

c) Baja activación radioactiva del material de la cámara, durante su operación con el haz de partículas.

d) Facilidad para desplazar la cámara y su alineación con el haz.

e) Un sistema de sellos que permite alcanzar y mantener en el interior de la cámara presiones de 10^{-6} – 10^{-7} Torr., sin pérdida de lo mismo para rotaciones y traslaciones del portamuestras y portadetectores.

f) Control remoto para el movimiento de detectores y blancos de la cámara de dispersión.

Los experimentos que se pueden realizar en la cámara de dispersión son:

i) Mediciones de sección eficaz absoluta.

ii) Mediciones de distribuciones angulares de partículas cargadas.

iii) Mediciones de decaimiento en estados excitados.

iv) Mediciones de correlación angular para dispersiones múltiples.

v) Mediciones de sección diferencial.

vi) Mediciones de tiempo de vuelo.

Inicialmente se trabajó simultáneamente en el diseño de la cámara y en la elección del material, también en esta parte fue necesario realizar los cálculos respectivos para estimar las dimensiones de la misma, de acuerdo a la teoría de resistencia en materiales.
Una vez que se terminó el diseño de la cámara, se procedió a su construcción en el taller y en soldadura de precisión del IFUNAM. Posteriormente se realizó el ajuste electromecánico de las partes de la cámara.

El diseño se dividió en las siguientes partes:

A) CUERPO Y TAPAS.

B) PORTAMUESTRAS.

C) PORTADETECTORES.

D) SOPORTE.

E) CAJA DE FARADAY.

F) SISTEMA DE VACIO (bombas, medidores, conexiones y sellos).

G) SISTEMA DE CONTROL REMOTO.

Una vez que se terminó la construcción, se realizaron las pruebas de vacío y la instalación eléctrica del control remoto de la cámara, para dejarla a punto de operación utilizando dos detectores, uno de estado sólido y otro de centelleo para establecer la bondad del sistema.

I.-DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE DISPERSIÓN.

Aluminio fue el material elegido para la construcción del cuerpo cilíndrico y las tapas de la cámara, debido a que reúne excelentes condiciones mecánicas para producir, dentro de la cámara, alto vacío, baja activación radioactiva y relativo bajo costo [1], [2].

Las condiciones críticas que se deben estimar para garantizar la estabilidad estructural de la cámara, bajo condiciones de operación en un laboratorio, están dadas por la teoría de resistencia de materiales [2], [3].

Las consideraciones fundamentales en el diseño son:

1) El espesor del cuerpo cilíndrico de la cámara, debe de tener la suficiente tolerancia para evitar que la cámara se colapse al producir un mediano ó alto vacío en su interior.

2) La longitud máxima permisible del cuerpo cilíndrico de la cámara.

3) El espesor de las tapas de la cámara se calcula en términos del esfuerzo máximo que resiste cada tapa circular, que debe de ser mayor que el esfuerzo producido por la presión atmosférica sobre cada tapa.

4) La deflexión máxima en las tapas, que es la producida por la presión atmosférica sobre la superficie de las tapas.

Por tales razones se hizo necesario para cada parte del diseño se realizarán los siguientes cálculos:

A) CUERPO Y TAPAS

La presión para que un material cilíndrico tienda a colapsarse, está dada por la relación [2]:

$$P_{co} = \frac{2\,E}{1-\mu^2}\left(\frac{t}{D}\right)^3 \qquad (1)$$

donde: E módulo de elasticidad de Young, μ radio de Poissón, D diámetro interno del cuerpo cilíndrico.
Se define: P_{co} como la razón del esfuerzo de contracción con respecto al esfuerzo de prolongación.

En el caso particular del aluminio se dan los siguientes valores [2], [4].

$\mu = 0.3$, $E = 74 \text{ X } 10^4$ kg/cm^2, $D = 77.6$ cm, $t = 1.27$ cm.

Sustituyendo los valores anteriores en la relación (B.1) se obtiene:

$$P_{co} = 7.04 \text{ kg/cm}^2 \qquad (2)$$

Nótese que la presión atmosférica $P_{atm} = 1$kg/cm^2.

La máxima presión permisible en la cámara cilíndrica, está dada por la expresión: [1].

$$P_{max} = \frac{K}{n}\,E\left(\frac{t}{D}\right)^3 \qquad (3)$$

En donde n es el factor de seguridad y K es el factor de correlación .En el caso particular se considera n = 2 y K = 2.2 sustituyendo en la ecuación (2) resulta:

$$P_{max} = 3.56\ kg/cm^2 \qquad (4)$$

La longitud crítica para la cámara, considerando n = 2, está dada por la expresión [1].

$$L_c = 1.11\,D\sqrt{\frac{D}{t}} \qquad (5)$$

Para nuestro caso sustituyendo los valores respectivos en (5) se obtiene:

$$L_c = 6.73 \text{ m.} \qquad (6)$$

Nótese que la cámara tiene una altura de 45 cm.

El cálculo para las tapas de la cámara se muestra a continuación:

El cálculo del esfuerzo máximo para placas circulares de aluminio está dado por [2].

$$\sigma_{max} = 0.75\,q\left(\frac{D}{2\,t_1}\right)^2 \qquad (7)$$

En donde q presión por unidad de área de 1 Kg/cm^2 que resiste la tapa circular plana.

En nuestro caso $t_1 = 1.9$ cm y sustituyendo en la ecuación (7) se obtiene:

$$\sigma_{max} = 312.76 \text{ kg/cm}^2 \qquad (8)$$

La deflexión máxima en la tapa está dada por [2].

$$\omega_{max} = 0.171 \frac{q\, D^4}{16\, E\, t_1^{\,3}} \qquad (9)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en (9) se obtiene:

$$\omega_{max} = 0.076 \text{ cm.} \qquad (10)$$

De los resultados anteriores se puede garantizar la estabilidad estructural del cuerpo y las tapas de la cámara, dado el tamaño y el material elegido para la construcción de la misma.

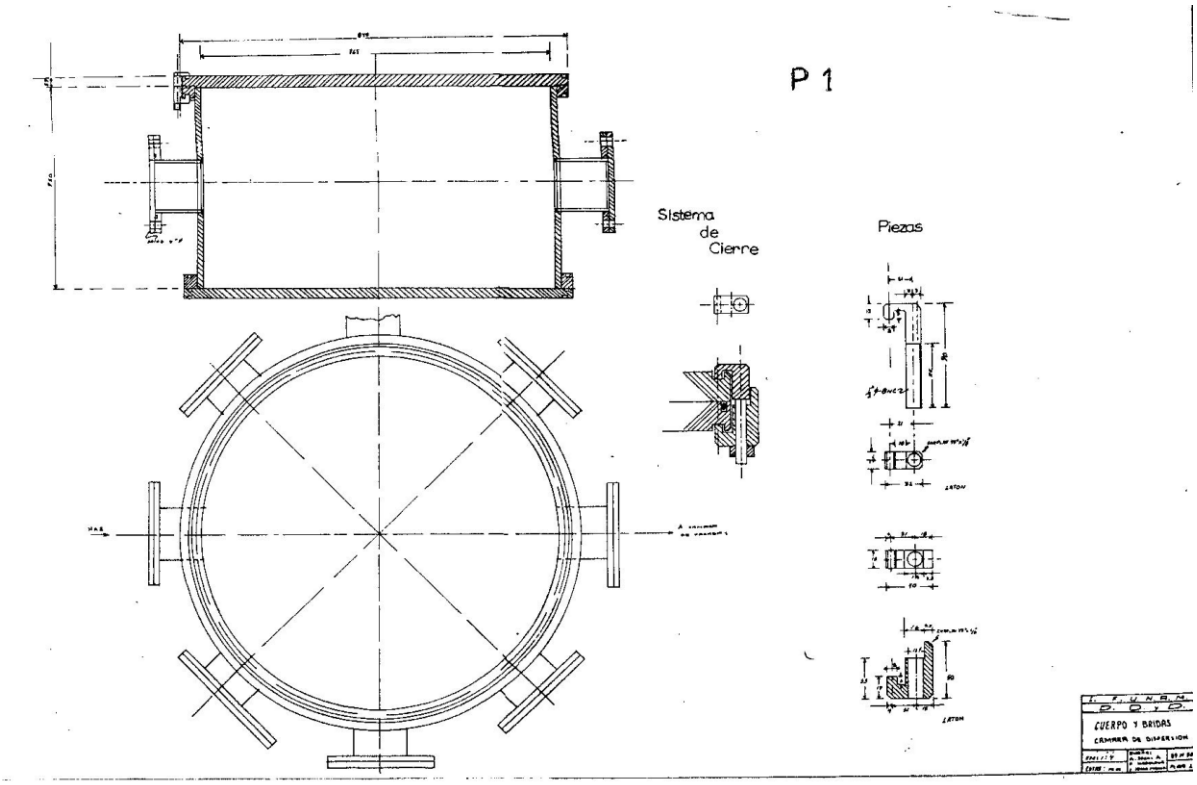

Figura 1 Muestra el plano correspondiente del cuerpo de la cámara

Figura 2 Muestra la fotografía del cuerpo de la camara

B) PORTAMUESTRAS

En experimentos de física nuclear es necesario realizar continuamente cambios de muestras sin romper el vacío dentro de la cámara de dispersión, además de proporcionar seguridad radiólogica a los operarios y ahorrar tiempo de operación del acelerador, Se diseñó un dispositivo electromecánico de desplazamiento vertical para las muestras a control remoto, que consiste en una barra de acero inoxidable de 5/8" de diámetro que soporta una placa de acero inoxidable de 9" de longitud y un espesor de 2mm, la placa se divide en 6 secciones y cada muestra corresponde a cada una de las 6 secciones; cada muestra tiene un diámetro de ¾". El posicionador del portamuestras está automatizado para un desplazamiento vertical de 8" utilizando una cremallera, un motor y un mecanismo eléctrico de control remoto con microswitchs ubicados en la parte inferior de la cámara, sobre el soporte de la misma que, a su vez, están conectados al tablero, que se encuentra en la consola de control del acelerador. El diseño del mecanismo de control remoto del portamuestras se presenta en el plano 10; para fijar la posición vertical del mismo se le coloca una funda de aluminio, en cuyo interior se encuentra una flecha de acero inoxidable de diámetro de 8/5" x 50cm.

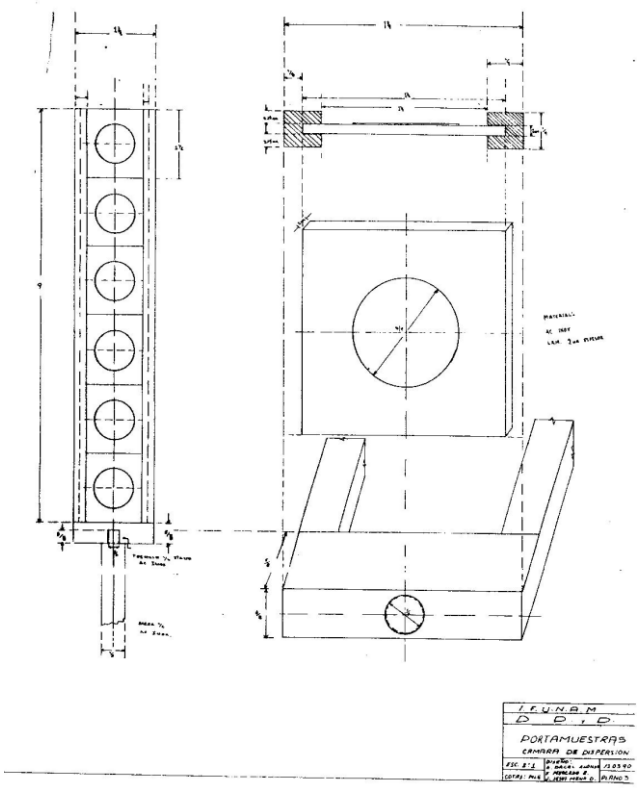

Figura 3 Muestra el plano del portamuestras

C) PORTADETECTORES

Los portadetectores están constituidos por dos brazos concéntricos de placa de aluminio de 15 x 36 cm y 2/3" de espesor, donde se colocan los diferentes detectores dispuestos de tal manera que el movimiento de giro para cada brazo es independiente y a control remoto por medio de dos motores y sus respectivos potenciómetros. La diferencia de altura entre los planos de los dos brazos es de 28 mm. El giro para cada brazo puede ser en dirección de las manecillas del reloj o en contra, además para evitar en lo posible efectos de fricción entre el tubo que sirve como eje de los brazos se colocaron dos baleros de 1" de diámetro para cada uno, así como ruedas de teflón en los extremos de los brazos. El mecanismo de control del portadetectores, se muestra en el plano 9; la libertad de giro para el brazo inferior es de 345° y para el superior es de 360°. Para la estabilidad de los brazos se utilizan dos soportes circulares de acero inoxidable.

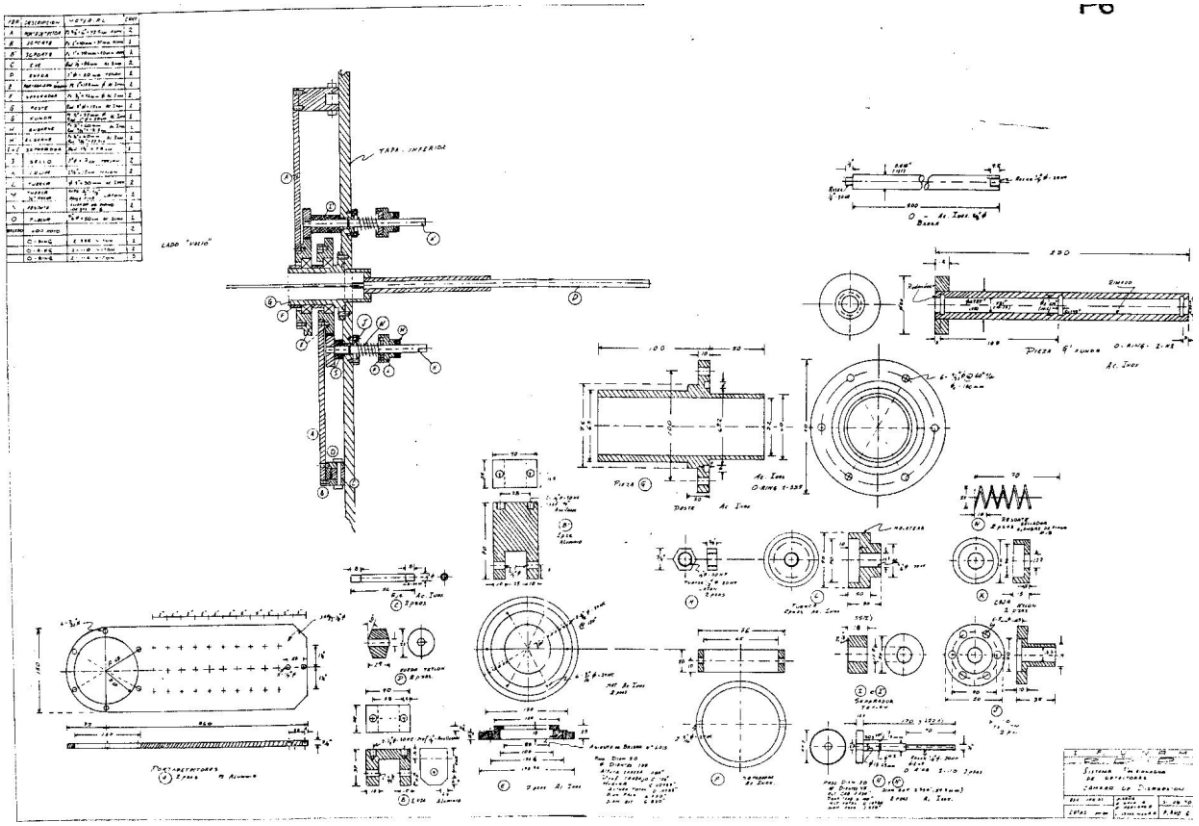

Figura 4 Muestra el plano del portadetectores

Figura 5 Muestra la fotografia del portamuestras y portadetectores

D) ESTRUCTURA DEL SOPORTE

Las funciones de la estructura de la cámara de dispersión son:

a) Ubicar la cámara a la altura del haz con un tornillo de nivelación que es colocado en cada una de las tres patas del soporte y proporciona e1ajuste “fino” de la altura y la nivelación de la cámara, a la vez que hace la función de "gato".

b) Facilitar el desplazamiento con un sistema de tres ruedas (rueda loca) con un diámetro de 4” x 3” de ancho con una placa junto a los tornillos niveladores, para el ajuste “fino” del desplazamiento de la cámara en el plano horizontal.

c) Disposición para soportar al sistema de desplazamiento del portamuestras (gato mecánico, cremallera y motores de inducción) e instalación del sistema de bombeo (bomba de difusión y bomba mecánica).

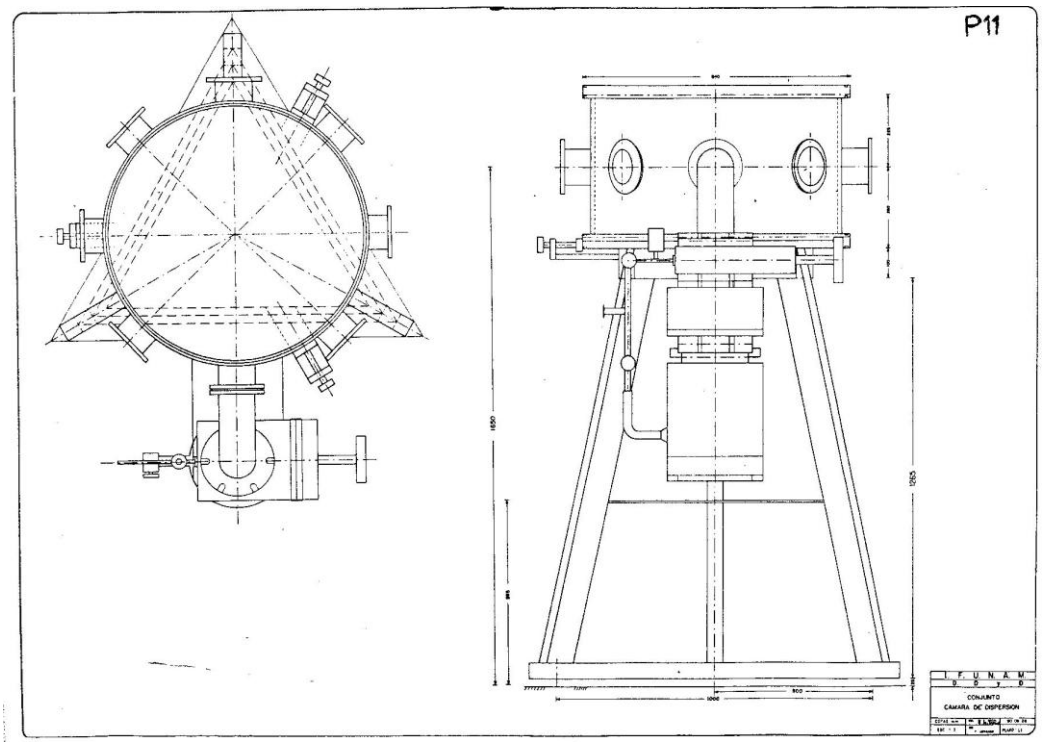

Figura 6 Muestra el plano de la estructura del soporte de la càmara

Figura 7 Muestra la fotografia de la estructura del soporte de la càmara

E) SISTEMA DE ELEVACIÓN PARA LA TAPA

Antes de realizar un experimento en la cámara es necesario ponerla a punto, es decir, manipular y disponer en su interior el arreglo de los detectores y su electrónica asociada, el montaje de las muestras que serán bombardeadas, así como verificar los sellos y la limpieza para evitar problemas de contaminación y fugas virtuales, porque la cámara se abre y se cierra frecuentemente. Como la tapa tiene un peso aproximado de 25 kg la ejecución no es fácil para una sola persona, por lo que se diseñó un sistema de elevación simple de la tapa para que una persona la eleve, con un esfuerzo mínimo.

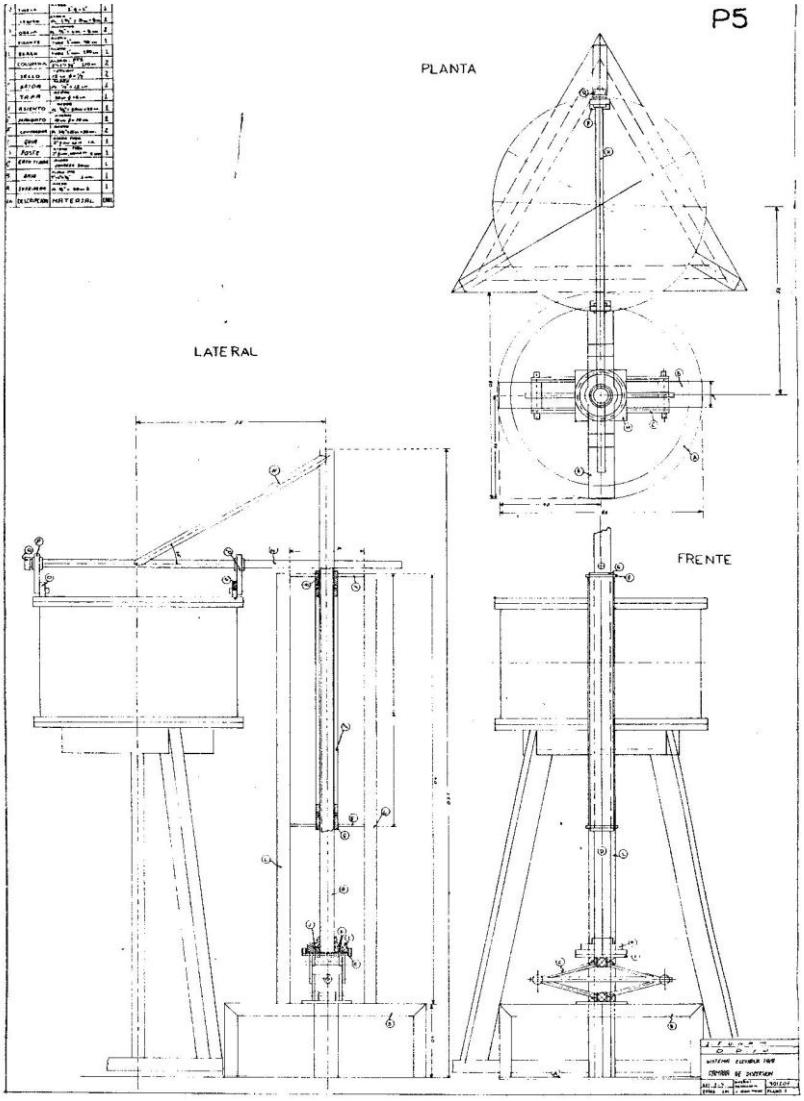

Figura 8 Muestra el sistema de elevaciòn de la tapa de la càmara

F) CAJA DE FARADAY

Un dispositivo asociado a la cámara de dispersión es la caja de Faraday, cuya finalidad es medir la corriente del haz que incide sobre los blancos, así como alinear el haz con la entrada de la caja. La caja está constituida por dos cilindros concéntricos, el exterior es un tubo de aluminio de 25 cm y diámetro de 4" y el interior es un tubo de cobre de 20 cm y diámetro de 2". El colector de corriente es una placa de Tantalio con espesor de 1/8" que evita la emisión de electrones secundarios y fluctuaciones; para la recolección de la corriente se aplica un voltaje de 180 V al cilindro interno de cobre aislándolo con lucita; la conexión hacia el exterior se realiza con un conector BNC en un extremo de la caja. Es usual introducir un imán en la entrada para disminuir el efecto de los electrones secundarios y la ionización del gas residual producido en el colector de la caja de Faraday.
El conjunto de la cámara de dispersión es acoplada a una bomba de difusión en su soporte, como se muestra en la figura 9.

Figura 9 Muestra la fotografía de la caja de Faraday de la càmara

G) CONTROL REMOTO.

Es frecuente que se produzcan neutrones en experimentos de física nuclear, por lo cual el área experimental se hace inaccesible al momento de realizarlos por los altos niveles de radiación presente, añadiendo que no es recomendable cambiar la potencia o dejar fuera de operación al acelerador, porque se produce una apreciable pérdida de tiempo para el investigador. Por esto es conveniente utilizar un sistema de control remoto para los desplazamientos del portamuestras y el portadetectores, para que opere desde una cabina exterior a la zona de alta radiación.

Los dos parámetros de cambios que se manejan en el control remoto son:

a) de posición angular y radial relativa entre detectores.
b) de muestras en caso necesario.

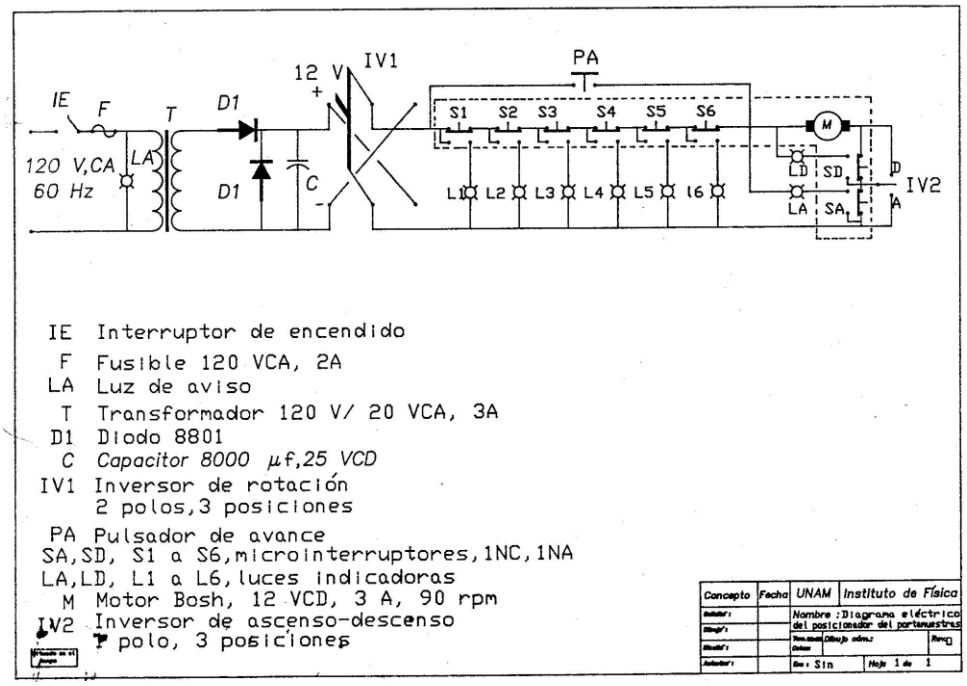

Figura10 Muestra el diagrama electrico del posicionador del portamuestras

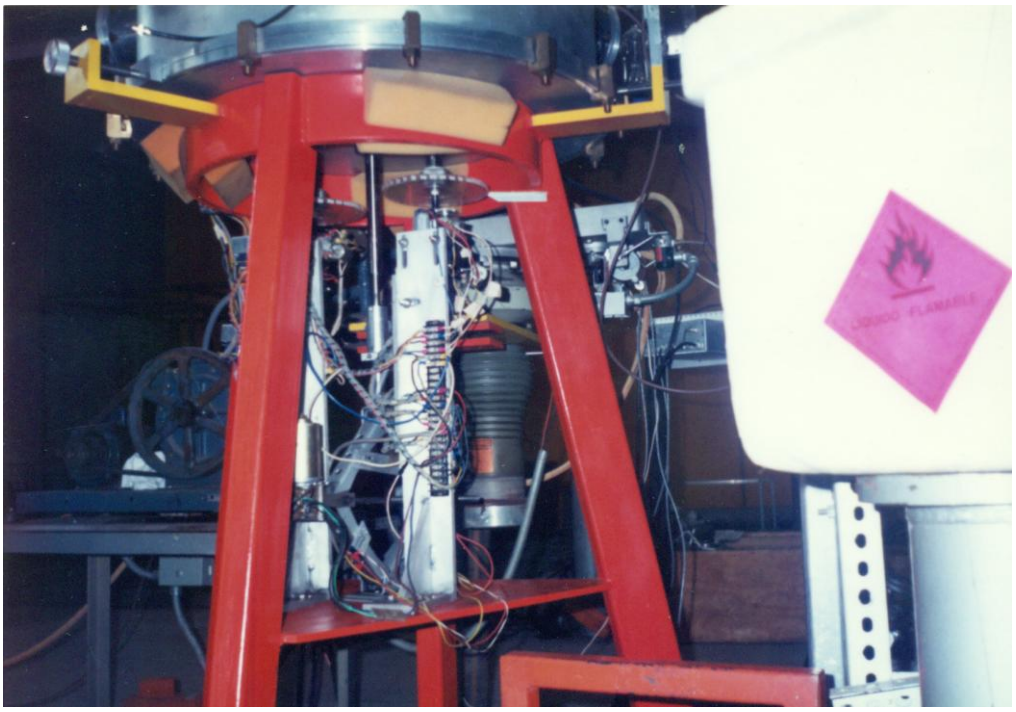

Figura 11 Muestra el sistema de control de los portadetectores y del portamuestras de la cámara

El mecanismo de operación del control remoto se ubica en un tablero de control dentro de la consola.

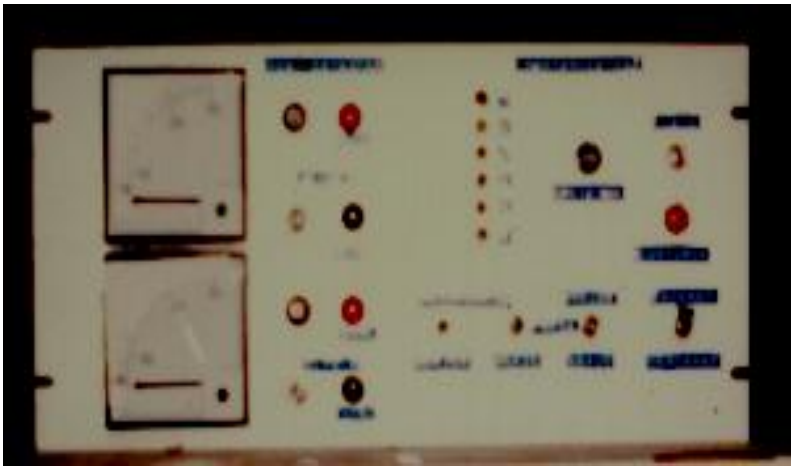

Figura 12 Tablero de Control remoto de la cámara de dispersión

G1) TABLERO DE CONTROL.

En el Instituto de Física de la UNAM se encuentra instalado el tablero de control remoto para el movimiento del portadetectores y del portamuestras, en una cabina anexa al acelerador de 5.5 MeV. La descripción del circuito eléctrico para el posicionador del portamuestras se muestra en el plano 10.
Para el encendido del circuito se cierra el Interruptor de encendido, entonces se prende L_1, lo que indica que el circuito tiene alimentación y se puede iniciar la operación del sistema electromecánico. Para el desplazamiento del portamuestras fundamentalmente se utilizan: SIR (Interruptor inversor de rotación) y SDA (Interruptor de ascenso y descenso); con ambos se selecciona el ascenso o descenso del portamuestras y la correspondiente iluminación de las luces indicadoras LA o LD nos señalan el sentido del desplazamiento del portamuestras. Oprimiendo el botón pulsador PA se da la instrucción de arranque que indica el cambio de posición de la muestra. La ubicación de la muestra se indica por el número de la luz indicadora que se encuentre encendida en el tablero de control, para las seis posibles muestras montadas en el portamuestras se tienen L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, con sus respectivos microswitchs S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, que se encuentran montados en una placa de aluminio de ½" que descansa sobre una base a la mitad del soporte de la cámara; los microswitchs se comunican por medio de una barra opresora que está atornillada a la guía delportamuestras como se aprecia en el plano 8, completando el sistema el motor de inducción que es controlado desde la cabina de control y un "gato" mecánico de tijera. La descripción del sistema eléctrico y mecánico de rotación del portadetectores se encuentra en el plano 9. Se cierra el interruptor S para que opere el motor de 115 V.C.D. que se encuentra acoplado en el campo a la flecha del portadetector, por medio de un par de engranes que trasmiten el movimiento de giro; la posición se define por dos microinterruptores SLD y SLI acoplados a los botones pulsadores de giro GD derecha, GI izquierda. Un potenciometro se conecta directamente a un voltimetro cuya escala es de 0-180 V. Debido a que operan dentro de la cámara dos brazos portadetectores esté mismo sistema se repite para el otro brazo.

SISTEMA DE VACÍO ASOCIADO A LA CÁMARA

Es necesario que en el interior de la cámara de dispersión se realice un alto vacío ($\approx 10^{-6}$ Torr), por lo tanto se debe implementar un sistema de bombeo capaz de producirlo; existe una gran variedad en tipos de bombas, las mecánicas utilizadas para bajo y mediano vacío, y las de difusión con el apoyo de una mecánica para alto vacío, turbomoleculares, de ionización y criogénicas para ultra alto vacío en las que se requiere de una limpieza extrema.

A) CONDICIONES

Por razones de costo y disponibilidad, se utilizó una bomba mecánica Feli Welch doble sello modelo FE-1397 con velocidad de bombeo dada por el fabricante de 15 lt/seg, con el fin de que sirviera de apoyo a la bomba de difusión marca NRC varian (0183) con velocidad de bombeo dada por el fabricante de 1000 lt/seg, para obtener dentro de la cámara un vacío de 10^{-6} Torr., que corresponde a la presión mínima aceptable para el vacío de operación del interior de la cámara. Para calcular el tiempo requerido para alcanzar esta presión se aplica la expresión que relaciona la variación de la presión con respecto al tiempo a temperatura constante para una bomba mecánica que está evacuando y se obtiene a partir de la conocida ley de los gases perfectos P V = n R T [72], derivando, con respecto al tiempo:

$$S = \frac{V}{t_2 - t_1} Ln \frac{P_i - P_o}{P_2 - P_o} \quad o\ bien \quad S = \frac{2.3V}{t_2 - t_1} Log \frac{P_1 - P_o}{P_2 - P_o} \qquad (11)$$

La ecuación (B.11) es válida para la velocidad de bombeo en términos de tiempo para la bomba mecánica. Para la bomba de difusión el análisis es más complejo y se discutirá más adelante.

B) CÁLCULO PARA DETERMINAR EL VOLUMEN DEL CUERPO DE LA CÁMARA.

El volumen de la cámara es:

$$V_c = 212.8 \text{ lt.} \qquad (12)$$

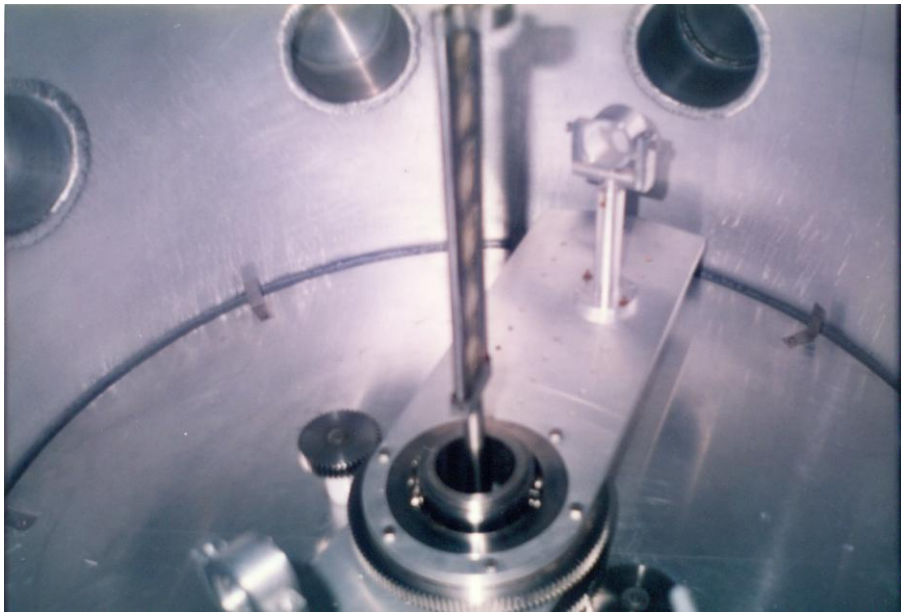

Figura 13 La fotografía muestra la cámara de dispersión con los portadetectores y portatamuestras

C) BOMBA MECANICA.

La velocidad efectiva de bombeo mecánico de una bomba que está conectada por medio de tubos rectos en serie hasta el recipiente en donde se desea evacuar, está dada por [5]:

$$S_e = \frac{S_o}{1 + W\ S_o} \qquad (13)$$

Donde: $$W = \frac{L}{R^2} \qquad (14)$$

$\left[S_e\right] = \left[S_o\right] = \frac{lt.}{seg.}$; [W] = $(mm)^{-1}$; [L] = [R] = mm.

S_e velocidad efectiva de bombeo dentro de la cámara; S_o velocidad de bombeo especificada por el fabricante; W resistencia al flujo de aire a lo largo del tubo; L longitud del tubo; R radio del tubo.

En nuestro caso particular sustituyendo en la ecuación (13) los valores:

W = 0.04 $(mm)^{-1}$ y S_o=15 lt/seg Resulta:

$$S_e = 9.37 \text{ lt/seg} \qquad (15)$$

Para estimar el tiempo de bombeo de la bomba mecánica, considerando un gas real (aire) y un factor K para diferentes intervalos de presión se utiliza la relación (11), a saber:

$$t_M = \frac{V_o^1}{S_P} Ln \frac{P_1}{P_2} \qquad (16)$$

Tomando valores:

V_o^1 = 213.3 lt. (volumen del cuerpo y bocas de la cámara).
$S_P = S_o$ = 9.37 lt/seg

Desarrollando por intervalos de presión se obtiene:

[1000 Torr. - 100 Torr. ; K = 1.00] ⟶ t_1= 0.86 min.
[100 Torr. - 10 Torr. ; K = 1.44] ⟶ t_2= 1.24 min.
[10 Torr. - 1 Torr. ; K = 2.25] ⟶ t_3= 1.95 min.
[1 Torr. - 0.1 Torr. ; K = 5.00] ⟶ t_4= 4.35 min.
[0.1 Torr. - 0.01 Torr. ; K = 15.00] ⟶ t_5= 13.07 min.

Por lo tanto el tiempo que tarda para producir una presión de 10^{-2} Torr. dentro de la cámara es:

$$t_M = 21.47 \text{ min} \qquad (17)$$

D) BOMBA DE DIFUSION.

Una vez que se logra obtener el vacío de 10^{-2} Torr dentro de la cámara, se pone en funcionamiento la bomba de difusión, es decir, la operación de la bomba de difusión necesita de un vacío previo de por lo menos de 10^{-2} Torr; es importante hacer las siguientes recomendaciones antes de iniciar el funcionamiento de la bomba de difusión, a saber:

a) Verificar que el aceite de la bomba sea reciente y en buenas condiciones (transparente), de lo contrario sustituirlo, ya que con el uso se oxida y adquiere una coloración amarillenta.
b) Cuando se opere la difusora debe estar operando la mecánica, ya que la mecánica sirve siempre de apoyo a la difusora.
c) Verificar que opere correctamente el sistema de enfriamiento de la bomba de difusión.
d).- No operar la bomba de difusión a presiones menores de 10^{-2} Torr. Para determinar el tiempo de bombeo y/o bien la curva de vacío de la cámara, es más complicado en el caso de la difusora que de la mecánica, debido a que aparecen nuevos efectos por las bajas presiones a las que se sujeta el material, en el interior de la cámara. En primer lugar el material cuenta con fuentes de gases y vapores, en particular la desgasificación (outgassing) que incluso ni una óptima limpieza del material con Tolueno o alcohol es capaz de eliminar; en casos críticos es común calentar el material aunque teniendo precaución cuando se utilizan, como en nuestro caso, sellos (O-

Rings) de Viton dado que la desgasificación ocurre a partir de 10^{-5} Torr, sin embargo se reduce significativamente aplicando a los sellos grasa de vacío; para ultra-alto vacío se utilizan sellos metálicos.
La desgasificación en el aluminio aparece a partir de una presión de 10^{-6} Torr. El tiempo que requiere la bomba de difusión con una velocidad de 1000 lt/seg para alcanzar un alto vacío 10^{-7} Torr dentro de la cámara cuyo volumen es de 213.3 lt corresponde a casi 8 horas de operación debido fundamentalmente que para un alto vacío, si se disminuye la presión, entonces el flujo de aire desalojado se convierte en flujo molecular que produce un "mayor trabajo" a la bomba evacuar, así como el efecto de desgasificación que se acentúa desde aproximadamente 10^{-5} Torr. El vacío más alto que se puede alcanzar con una bomba de difusión es de casi 10^{-8} Torr. La desgasificación para aluminio tiene un valor de 1.1×10^{-5} Pas.m^2 seg^{-1}, sobre una superficie de $1m^2$ [65], que corresponde a un tiempo de bombeo de diez horas.

La superficie total efectiva de la cámara esta dada por:

$$A_{To} = 2.1077\ m^2 \qquad (18)$$

Por lo tanto el tiempo de bombeo requerido para eliminar parte de la desgasifición está dado en 21 horas, antes de realizar cualquier experimento es conveniente aplicar un pre-vacío de 8 horas.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DEL SISTEMA DE VACÍO.

Los procesos que se deben considerar a bajas presiones que influyen en el aumento del tiempo de bombeo necesario para alcanzar una presión determinada y que son conocidos como fuentes potenciales de gases y vapores de un sistema de vacío son [1]:

a) Difusión que es el transporte de material a través de las paredes de la cámara.

b) Permeación en que el gas es absorbido por las paredes exteriores de la cámara, después se difunde a través del material y finalmente se desorbe en el interior de la cámara.

c) Desorpsión es el efecto de iones que inciden sobre la superficie que producen una reacción con los gases desde la superficie exterior y generan en el interior nuevos gases o vapores en grandes cantidades.

d) Desgasificación (outgassing) corresponde a la evolución de gas o partículas desde las paredes internas o componentes de la cámara.

Antes de realizar la prueba de vacío es necesario aplicar al material de la cámara y sus componentes una limpieza con esteregene, alcohol o acetona, así como agregar grasa de vacío a los sellos de viton para evitar fugas. Otras medidas que se deben de considerar son:

i) Asegurarse que el aceite de la bomba mecánica y de difusión se encuentre en buen estado, en caso contrario proceder a cambiarlo.

ii) Asegurarse que esté a punto la conexión de aire para la válvula neumática y la del agua, que sirve como refrigerante para la bomba de difusión.

iii) Es conveniente que antes de realizar la prueba de vacío definitiva, se establezca un pre-vacío de manera que se deja trabajando a la bomba mecánica por lo menos 24 horas, tiempo que se conoce como de desgasificación para la cámara de dispersión.

La instalación del sistema de vacío de la cámara consiste esencialmente de la bomba mecánica que consigue un vacío de la presión atmosférica a 10^{-3} Torr y la bomba de difusión que lo lleva de 10^{-3} hasta aproximadamente 10^{-7} Torr. Los medidores que se utilizaron para la bomba mecánica fue un termopar para medir el vacío, y un ion gauge para el alto vacío de la difusora, entre ambas está montada una válvula de doble paso que se conecta directamente a la cámara, también está acoplada a una válvula neumática entre la bomba de difusión y la cámara, para protección de la misma.

Es importante señalar que el vacío alcanzado en el interior de la cámara consiste fundamentalmente en la eliminación de fuentes potenciales de gases y vapores (vaporización, permeación, desorpsión, difusión, fuga),

por lo cual en la construcción de la cámara se realizó con soldadura de precisión, un pulido a nivel de espejo dentro de la superficie interior y una limpieza extrema. También es crítico el tipo de sellos utilizados, en nuestro caso fue viton. Para lograr un alto vacío es importante la soldadura de precisión, es eléctrica y el material fundente para el caso del aluminio es plata, es necesario que antes de soldar se aplique un calentamiento de aproximadamente 800 °C, por lo anterior es conveniente que en el diseño se consideren paredes de al menos 1mm que tienen la función de disipar el calor, otro factor es la conveniencia de que antes de soldar el material de la cámara, éste se encuentre limpio para evitar que la soldadura produzca en la superficie óxidos que son fuentes de fugas virtuales. Para alto vacío es conveniente utilizar sellos de viton que satisfacen las condiciones de fácil manejo, disponibilidad en un sello de alto vacío junto con la aplicación de grasa de vacío; un inconveniente para este tipo de sello es que su tiempo de utilidad es reducido. La limpieza de la cámara para lograr que alcance un alto vacío es fundamental, en nuestro caso y en general, se utiliza para la limpieza de la cámara, tolueno o acetona y en menor medida alcohol que es menos eficiente.

Conclusiones

La cámara de dispersión automatizada instalada en el Instituto de Física de la UNAM se instaló en 1999 en línea con el acelerador tipo Van de Graaff de 5.5 Mev, capaz de producir haces de partículas positivamente cargadas, protones, deuterones, ^{4}He y ^{3}He en un intervalo de energías de 0.5 MeV a 5.0 MeV, con una resolución de aproximadamente 1 keV Los experimentos que se realizan actualmente con el acelerador corresponden a la producción de reacciones nucleares y análisis de materiales. En este caso en la cámara se utiliza la técnica RBS para determinar la estructura, composición y análisis elemental de materiales, y la modificación de materiales por implantación de iones. [6], [7],

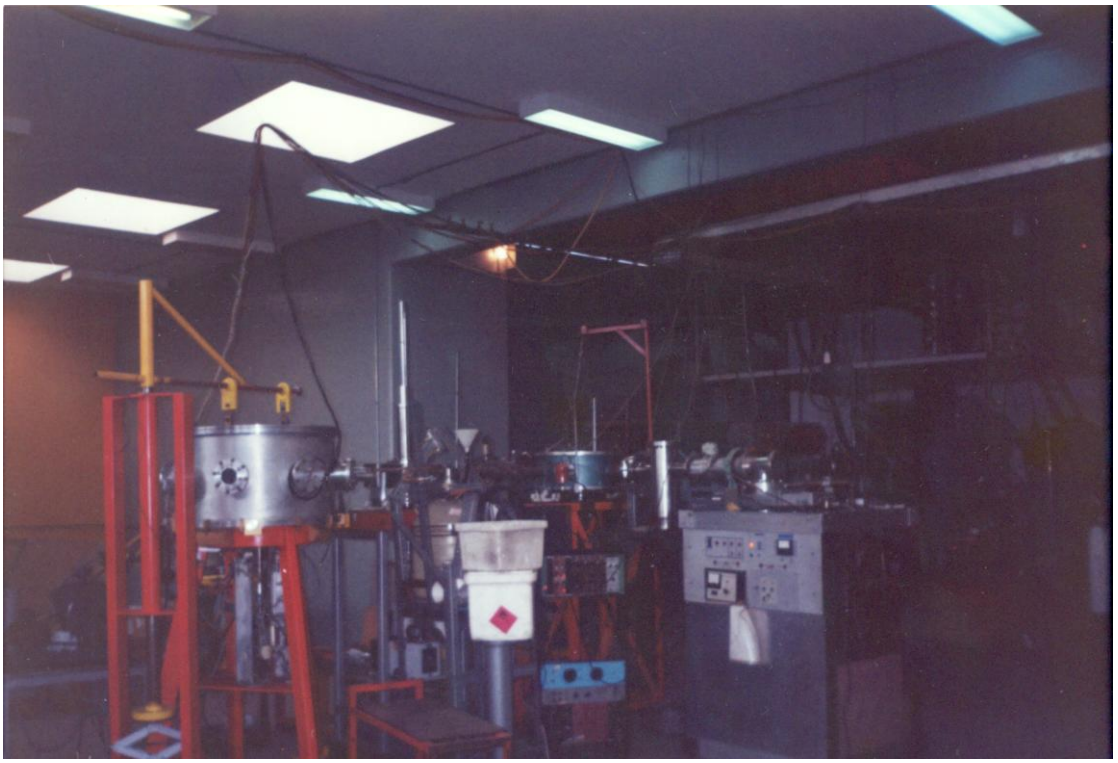

Figura 14 Muestra la fotografiia de la cámara de dispersión operando en el laboratorio del acelerador tipo Van de Grraff de 5.5 Mev del IFUNAM

REFERENCIAS

1 A. Roth, Vacuum sealing techniques, Pergamon Press Ltd, (1966)

2 S Timoshenko, Teory of elastic stability, Mc Graw-Hill, (1936)

3 J. Horger, Asmer Handbook Metal Engineering Desing, Mc. Graw-Hill, Second Edition, (1978)

4 Societè Francaise des ingènierus et technicies de vide (Direction morand max), Traitè practique du technique de vide, Edit. G.A.P., France, (1958)

5 Vacuum Technology; its foundations formulae and tables, Leybold Heraeus H. V. 152 section H-B, (1986)

6 E. Andrade, M feregrino, E. P. Zavala, J.C. Pineda and R. Jimenez, Nucl. Ins. And Meth. In Phys. Res.,A287, (1990)135

7 E. Andrade, Nucl. Inst. And Meth. B57(1991)802