

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA



**DESARROLLO DE SISTEMA DE DETECCIÓN, EN TIEMPO REAL, DE IONES
EN DISPOSITIVOS DE DESCARGA TIPO PLASMA FOCUS.**

Juanchuto Viertel Nicole Andrea

Profesor guía: Moreno Martínez José Alberto

Proyecto de tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Físico

Santiago, Chile

2015

Nicole Andrea Juanchuto Viertel, 2015, Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial sin autorización previa y por escrito.

DESARROLLO DE SISTEMA DE DETECCIÓN, EN TIEMPO REAL, DE IONES EN DISPOSITIVOS DE DESCARGA TIPO PLASMA FOCUS.

Nicole Andrea Juanchuto Viertel

Este trabajo de graduación fue elaborado bajo la supervisión de profesor guía Dr. José Moreno Martínez, Investigador del Departamento de Plasmas Termonucleares de la Comisión Chilena de Energía Nuclear y ha sido aprobado por la comisión calificadora.

Dr. José Moreno _____

Dr. Ignacio Olivares _____

Dr. Cristian pavez _____

Dr. Ernesto Gramsch _____

Dra. Yolanda Vargas

Directora del Departamento de Física

Resumen

En el presente trabajo se diseñó un espectrómetro de masas con un sistema óptico de detección integrado, con el objetivo de medir iones positivos emitidos por un plasma generado por un dispositivo plasma focus. El proyecto se realizó en el Departamento de Plasmas Termonucleares de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, donde se busca reemplazar un sistema de detección de partículas cargadas que utiliza películas de CR-39. Se diseñaron, mecanizaron y ensamblaron las piezas basándose en valores de parámetros encontrados en estudios anteriores, utilizando diversos diagnósticos de iones, y a través de la incorporación de simulaciones. Se realizaron pruebas preliminares de vacío en las que se logró una presión de 10^{-5} mbar, que no es lo suficientemente baja para la operación segura de placas multicanal de detección (MCP), las cuales, según especificaciones técnicas, deben usarse a presiones del orden de 10^{-6} mbar. Sin embargo, trabajos simultáneos, en colaboración con el Engineering Research Center for Extreme Ultraviolet (EUV) Science and Technology de la Universidad de Colorado, mostraron que es posible obtener los resultados esperados y en tiempo real, con un sistema de similares características de diseño y de valores de campos E y B, una vez logrado un mejor nivel de vacío. Comparaciones hechas entre los resultados obtenidos con el nuevo sistema de detección y con el antiguo, dejan en evidencia la mayor rapidez en el diagnóstico de la descarga y de la emisión de partículas cargadas.

Dedicado a mi familia y amigos por todo su apoyo y por ser un soporte en los momentos difíciles.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron y formaron parte de este trabajo incluyendo a aquellos que fueron un soporte emocional, también agradecer al Departamento de Plasma de la Comisión Chilena de Energía Nuclear por la buena acogida especialmente al doctor José Moreno por su preocupación y su apoyo en este proceso. Agradecer también el financiamiento de apoyo de tesis del proyecto Fondecyt Regular 1120801 y el financiamiento parcial de los proyectos Conicyt Bilateral ACE-01 y Anillo ACT-1115.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Capítulo 1	3
1 Marco teórico.....	3
1.1 Plasma	3
1.1.1 Tipos de plasma.....	3
1.1.2 Tipos de confinamiento de plasma	4
1.1.3 Plasma focus	4
1.2 Espectrometría de masas	5
1.2.1 Espectrómetros de masas	6
1.2.2 Efecto de campos sobre iones.....	6
1.2.3 Componentes.....	8
1.2.4 Detectores.....	9
1.2.5 Aplicaciones generales en la ciencia	11
Capítulo 2	12
2 Análisis previo al diseño	12
2.1 Rango de energía de los iones emitidos en un dispositivo Plasma focus.	12
2.2 Especies iónicas en dispositivos plasma focus.	12
2.3 Caracterización de campos magnéticos de imanes adquiridos.	15
2.4 Simulaciones	19
2.4.1 SIMION.....	19
2.4.2 Definición de geometrías y partículas para el espectrómetro.	20
2.4.3 Definición los campos eléctricos y magnéticos.....	22
2.4.4 Resultados de las simulaciones.....	23
2.4.5 Elección de centelladores según resultados de las simulaciones.	26
2.5 Medidas con CR-39	27
Capítulo 3	33
3 Diseño.....	33
3.1 Diseño de Sistema de adquisición con MCP	33
3.2 Diseño de Deflector	38

3.3	Diseño de cámara.....	41
Capítulo 4	45
4	Construcción y toma de datos.....	45
4.1	Montaje de las MCP.....	46
4.2	Montaje de imanes (deflector).....	46
4.3	Sistema de vacío.....	47
4.3.1	Requerimiento de vacío en las MCP.....	47
4.3.2	Pruebas de vacío en la cámara de espectrómetro.....	48
4.3.3	Definición del pin-hole.....	50
4.4	Conexiones eléctricas y pruebas de alto voltaje.....	50
4.4.1	Aplicación de voltaje a las MCP.....	50
Capítulo 5	52
5	Resultado y análisis.....	52
5.1	Aplicaciones.....	54
Capítulo 6	56
6	Conclusión.....	56
Capítulo 7	57
7	Trabajos futuros.....	57
8	Bibliografía.....	58
9	Glosario.....	61
9.1	Espectroscopia.....	61
9.1.1	Configuración óptica Czerny-Turner.....	61
9.2	Efecto Hall.....	62
10	Anexo.....	64
10.1	Manual de modo de uso de SIMION.....	64

Índice de cuadros y/o tablas

Tabla 2.1: Imanes adquiridos.	15
Tabla 2.2: Resultados de gap's óptimos según calculadora de Gap magnética.	16
Tabla 2.3: Comparación entre campos magnéticos especificados por el fabricante y el campo medido con el gaussímetro.	19
Tabla 2.4: Resumen de los resultados de las simulaciones.	25
Tabla 2.5: Resultados de medidas con CR-39 en dispositivos PF-2kJ y PF-400J.	29
Tabla 5.1: Ventajas y desventajas del sistema MCP frente al sistema con CR-39.	54

Índice de ilustraciones

Figura 1.1: Esquema de un dispositivo plasma focus y etapas de formación de la columna de plasma [6]	5
Figura 1.2: Orientación de los iones al aplicar campos eléctrico y magnético.	9
Figura 1.3: Esquema MCP [13].	10
Figura 2.1: Gráfico de flujo con respecto a la energía de los iones en el PF-400J. [17]	13
Figura 2.2: Gráfico de intensidad con respecto a longitud de onda en el PF-400J. [17]	13
Figura 2.3: Gráfico de flujo con respecto a la energía de los iones obtenido a 9 mbar utilizando gas hidrógeno en el PF-2kJ. [19]	14
Figura 2.4: Gráfico de intensidad con respecto a longitud de onda evidencia la presencia de algunos iones obtenido a 9mbar utilizando gas hidrógeno en el PF-2kJ [19].	14
Figura 2.5: Calculadora de Gap magnética.	15
Figura 2.6: Ejemplo de resultados de calculadora de Gap magnética.	16
Figura 2.7: Gráfico de distancia con respecto al campo magnético para los imanes en el soporte metálico.	17
Figura 2.8: Gráfico de distancia con respecto al campo magnético para los imanes en el soporte plástico.	17
Figura 2.9: Gráfico de gap entre los soportes con respecto al campo magnético en el centro. .	18
Figura 2.10: Geometría definida para la simulación.	20
Figura 2.11: Simulación imán de diámetro: 27 [mm] espesor: 1 [mm] gap 11 [mm] ;(a) Apertura de 0,01°; (b) Apertura de 0,03°; (c) Apertura de 0,05°, (d) Apertura de 0,07°.	22
Figura 2.12: Ejemplo de resultado de simulación para imán 1"x1/16" disc N42, ni CM:482 Mags CE:1300V.	23
Figura 2.13: Resultado esperado a observar en la MCP.	24
Figura 2.14: (a) Montaje de revelado de CR-39; (b) Soporte para CR-39.	31

Figura 2.15: (a) y (d) Montaje óptico para buscar el centro real de la CR-39; (b) Centro de la CR-39; (c) comparación de centros.	31
Figura 2.16: Imagen muestra el momento del pinch en una descarga en el dispositivo PF-2kJ; (a) y (c) Descargas no simétricas; (b) Descarga aparentemente simétrica.	32
Figura 3.1: Diseño 3D del sistema de adquisición con MCP.....	34
Figura 3.2: Flange cámara superior.....	35
Figura 3.3: Anillo de acero inoxidable y anillo plástico para sujeción del vidrio.....	36
Figura 3.4: Aislante y barras que lo sostienen.....	37
Figura 3.5: Anillos sostenedoras de MCP de 25 y 40 [mm] efectivos y sostenedor de fibra óptica respectivamente.....	38
Figura 3.6: Deflector.....	39
Figura 3.7: Anillos sostenedores de soportes de imanes.....	39
Figura 3.8: Soporte metálico.....	40
Figura 3.9: Soporte plástico.....	41
Figura 3.10: Cámara.....	42
Figura 3.11: Flanges.....	43
Figura 3.12: Diseño final Espectroscopio en 3D.....	44
Figura 4.1: Variación de pieza sostenedora de fibra óptica.....	45
Figura 4.2: Cámara montada.....	46
Figura 4.3: Montaje de anillos.....	46
Figura 4.4: Ensamble deflector.....	47
Figura 4.5: Aumento de presión en la cámara aislada.....	49
Figura 4.6: Configuración para medir iones positivos y sus conexiones eléctricas.....	51
Figura 5.1: Resultados obtenidos por Engeniering Research Center USA [21].....	53
Figura 9.1: Andor Shamrock-500i [23].....	61
Figura 9.2: Esquema de montaje experimental [18].....	61
Figura 9.3: Esquema de configuración Czerny turner [24].....	62
Figura 9.4: Experimento para medir voltaje Hall [25].....	62
Figura 10.1: Ventana de inicio.....	64
Figura 10.2: Pestaña para crear partículas.....	68

Introducción

Objetivos

Objetivos generales

- Diseñar y construir un espectrómetro de masas capaz de detectar iones en dispositivos plasma focus, en tiempo real.

Objetivos específicos

- Determinar el rango de energía de los iones emitidos en un dispositivo de descarga tipo plasma focus en hidrógeno y deuterio.
- Simular condiciones geométricas del haz de iones bajo diferentes condiciones de campos eléctricos y magnéticos.
- Adquirir registros de haces de iones con películas de CR39.
- Determinar tipo de lámina centelladora o de transferencia requerida para el rango de energía obtenido.
- Diseñar y construir modificaciones de mejora del Espectrómetro de Thomson de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (C-CHEN). Modificar cámara de vacío.
- Probar placa MCP como medio de detección en singlet shot unido a sistema óptico convencional.
- Probar sustitución de películas por sistema CCD.

Estado del arte

En la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) existe actualmente un espectrómetro de Thomson para diagnósticos de plasma, el cual cuenta con un sistema de detección de películas CR-39, plástico de polímero utilizado comúnmente en fabricación de lentes ópticos que tiene aplicaciones en la detección de radiación ionizante, el cual necesita entre 4 a 6 horas de revelado lo que produce que los tiempos de adquisición y análisis de datos sea muy largo, además, para poder retirar la película CR-39, es preciso desmontar es detector y abrir la cámara del espectrómetro, alterando el sistema, por lo cual es necesario acondicionarlo para cada medición.

En este trabajo se propone el diseño, construcción y uso de un sistema óptico digital para la detección, en tiempo real, de haces de partículas cargadas, mediante la utilización de un medio convertidor de radiación a luz visible incorporado a un

espectrómetro de Thomson de campos paralelos, permitiendo obtener imágenes directas de los haces de iones sin necesidad de utilizar métodos de revelado de películas sensibles a esta radiación, pudiendo disminuir los tiempos de análisis de la información. Para dicho sistema se considerará la implementación de un sistema óptico con una placa CCD unida a una Placa Multicanal (MCP).

Sistemas como el espectrómetro de Thomson o como el de Placa Multicanal han sido utilizados, en Chile, en forma separada como diagnósticos en estudios y análisis de fuentes de iones en distintas áreas de la ciencia. En esta tesis se propone la integración de estos dos sistemas aplicada a descargas de plasma pulsado, de manera de mejorar la capacidad de diagnóstico, pudiendo aumentar tanto la capacidad como la rapidez de obtención de datos en descargas pulsadas de plasma, lo cual permitiría la observación directa de los haces de iones, pudiendo modificar las condiciones externas de control de ellas sin alterar las condiciones internas.

Etapas del trabajo

Este trabajo consta de tres etapas:

Análisis previo al diseño, en la que se realizan todas las investigaciones simulaciones y análisis pertinentes para definir los parámetros de diseño óptimos.

Diseño, en esta etapa se diseña del espectrómetro según los parámetros definidos en la primera etapa.

Construcción y toma de datos, en esta última etapa se realiza la construcción y montaje del espectrómetro en un dispositivo plasma focus.

Capítulo 1

1 Marco teórico

1.1 Plasma

El plasma es un conjunto cuasi-neutral de partículas con portadores libres de carga eléctrica, el cual desarrolla comportamiento colectivo. Es conductivo y reacciona fuertemente a los campos eléctricos y magnéticos.

1.1.1 Tipos de plasma

El plasma se puede subdividir según su estado plasmático:

- Plasma común: las capas de electrones de los átomos son parcialmente deterioradas debido a una alta temperatura o presión. Los electrones libres son responsables de las características plasmáticas de la sustancia en cuestión.
- Plasma termonuclear: Las capas electrónicas de los átomos no existen, la sustancia es una mezcla de núcleos “pelados” y electrones libres. En éste estado se encuentran el plasma en los núcleos de las estrellas, donde se da lugar la síntesis TN.
- Plasma de nucleones: Debido a muy altas temperaturas o presiones, los mismos núcleos atómicos son despedazados. La materia es una mezcla de electrones, protones y neutrones. En ésta capa por un corto tiempo se dan lugar disturbios en las reacciones termonucleares, que dan lugar a elementos pesados.
- Plasma de Quarks-gluones: En altas energías los nucleones mismos se descomponen en sus constituyentes: los quarks y los gluones.

El plasma se puede encontrar en gran parte de la materia del universo, en diferentes descargas eléctricas o incluso ser creado artificialmente en laboratorios donde los ejemplos más típicos son:

- plasma láser – tiempo de vida: $10^{-12} \div 10^{-9}$ s
- plasma pulsado – tiempo de vida: $10^{-9} \div 10^{-6}$ s

- Tokamak – tiempo de vida: 1 s
- plasma frío – tiempo de vida: horas, días, años. [1]

1.1.2 Tipos de confinamiento de plasma

Existen tres clases principales de confinamiento de plasma

- Confinamiento gravitatorio: Su creación es natural. Se basa en confinamiento de las partículas por creación del potente campo gravitatorio de las estrellas, fenómeno que no es posible imitar en la Tierra ya que no se dispone de métodos para generar un campo gravitatorio suficientemente fuerte.
- Confinamiento magnético: Consiste en confinar las partículas en un espacio reducido mediante campos magnéticos. Esto es posible gracias a que las partículas del plasma (es decir, gas fuertemente ionizado) que queremos confinar están cargadas, lo que hace que el campo magnético sea capaz de ejercer una fuerza sobre ellas.
- Confinamiento inercial: Consiste en utilizar la presión que la radiación puede ejercer sobre la materia para comprimir una cantidad de combustible en un espacio lo más reducido posible, desencadenando así la reacción de fusión. [2]

Un caso particular de confinamiento magnético es el Z-pinch que corresponde en su forma más simple a una columna de plasma en la que la corriente es impulsada en la dirección axial (z) por un una fuente de energía eléctrica que produce un campo magnético azimutal que tiende a confinar el plasma. [3]

1.1.3 Plasma focus

Un dispositivo plasma focus (PF) es un tipo de descarga Z-pinch, donde se aplica un pulso de alto voltaje entre electrodos cilíndricos coaxiales a baja presión. Esto genera una lámina de plasma (1, figura 1.1) que, acelerada por la fuerza de Lorentz, empieza a subir por entre los electrodos (2, figura 1.1). Cuando el plasma llega al extremo superior del ánodo, el movimiento continua hacia el centro focalizando el plasma en una pequeña región (3, figura 1.1) formando una columna de alta densidad y temperatura (Fase pinch). En este punto la columna

de plasma colapsa liberando haces de iones, electrones y rayos x, o neutrones cuando es usado deuterio como gas de descarga.

Estos equipos utilizan un interruptor gaseoso o Spark-gap, esquematizado en la figura 1.1, el cual consiste en dos electrodos conductores separados por un espacio normalmente lleno de gas [4] que permite el cierre del circuito mediante un arco de corriente activado por un pulso de alta tensión generado por un circuito auxiliar (trigger) descargando la energía del banco hacia la cámara. [5]

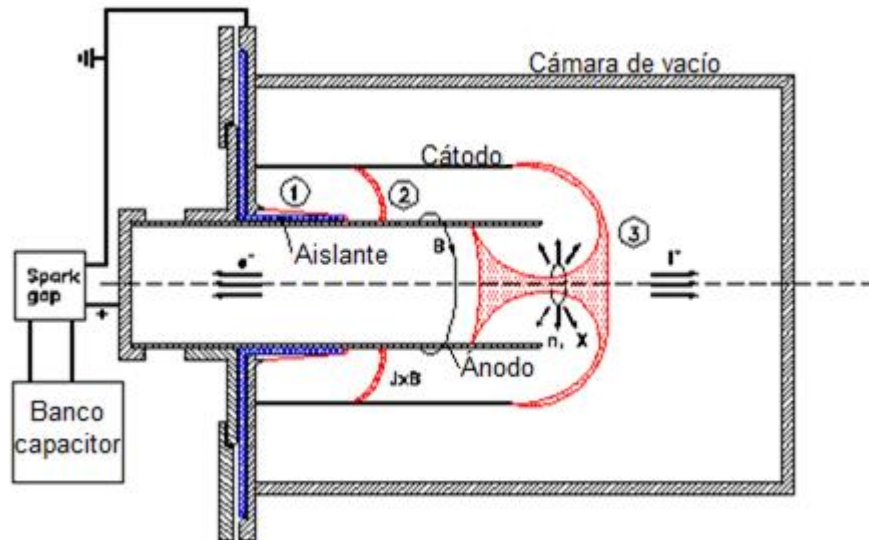


Figura 1.1: Esquema de un dispositivo plasma focus y etapas de formación de la columna de plasma [6]

Una parte crucial en el control y caracterización de la descarga es poder captar las partículas que libera el plasma en la fase pinch y para ello se han desarrollado diferentes tipos de detectores. Dentro de ellos se encuentra el Fotomultiplicador-centellador, el cual a través del efecto fotoeléctrico y un proceso de multiplicación por emisión secundaria es capaz de captar los rayos X y neutrones emitidos por el plasma.

Otro tipo de detector son las sondas colectoras de carga como las Copas de Faraday, las cuales son capaces de detectar las partículas cargadas generadas en el plasma.

Otra opción es utilizar un espectrómetro de masas adaptado para un dispositivo plasma focus.

1.2 Espectrometría de masas

La Espectrometría de Masas es una poderosa técnica micro-analítica usada para identificar compuestos desconocidos, para cuantificar compuestos conocidos, y para elucidar la estructura

y propiedades químicas de moléculas. Tiene su origen en los experimentos desarrollados en laboratorio de Cavendish de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, en 1897 por Joseph John Thomson quien descubrió que descargas eléctricas en gases producían iones y que estos rayos de iones podían adoptar diferentes trayectorias parabólicas de acuerdo a su masa cuando pasaban a través de campos electromagnéticos.

Thomson realizó la construcción del primer espectrómetro de masas. [7]

1.2.1 Espectrómetros de masas

Un espectrómetro de masa o espectrómetro de Thomson, es un dispositivo que se emplea para separar, mediante campos eléctricos y/o magnéticos, iones que poseen distinta relación carga/masa dentro de una muestra para así poder identificarlos. La mezcla puede estar constituida por distintos isótopos de una misma sustancia o bien, por distintos elementos químicos [8]. Es ampliamente utilizado en geología, química, biología, y en física en el área de la energía nuclear. [9]

1.2.2 Efecto de campos sobre iones

Los analizadores de masas comúnmente utilizan campos eléctricos y magnéticos para aplicar una fuerza a partículas cargadas (iones). La relación entre fuerza, masa y los campos aplicados se ve mediante la segunda ley de Newton (1.1) y la ley de Lorentz (1.2).

$$\vec{F} = m * \vec{a} \quad (1.1)$$

Donde \vec{F} es la fuerza, m la masa y \vec{a} la aceleración.

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \mathbf{v} \times \vec{B}) \quad (1.2)$$

Donde \vec{F} es la fuerza aplicada al ion, q es la carga iónica, \vec{E} el campo eléctrico, v es la velocidad del ion y \vec{B} es el campo magnético aplicado.

Asumiendo que el campo magnético es cero la ecuación (1.2) queda

$$\vec{F} = q * \vec{E} \quad (1.3)$$

Igualando las ecuaciones (1.3) y (1.1) se observa que la aceleración de las particular depende de la relación carga/masa (q/m).

$$m * \vec{a} = q * \vec{E} \quad (1.4)$$

$$\vec{a} = \left(\frac{q}{m}\right) * \vec{E} \quad (1.5)$$

Por otro lado, asumiendo que el campo eléctrico es cero la ecuación (1.2) queda

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1.6)$$

La fuerza magnética es siempre perpendicular al vector de campo magnético y a la componente normal al campo magnético de la velocidad.

$$|\vec{F}_m| = q * |\vec{v}_n| * |\vec{B}| \quad (1.7)$$

Donde \vec{F}_m corresponde a la fuerza magnética y \vec{v}_n corresponde a la componente normal al campo eléctrico de la velocidad.

Igualando las ecuaciones (1.7) y (1.1) se observa que la aceleración de las particular depende de la relación carga/masa (q/m).

$$m * \vec{a}_n = q (\vec{v}_n \times \vec{B}) \quad (1.8)$$

$$|\vec{a}_n| = \left(\frac{q}{m}\right) * |\vec{v}_n| * |\vec{B}| \quad (1.9)$$

Donde \vec{a}_n corresponde a la componente normal al campo magnético de la aceleración.

Por consiguiente un campo magnético estático puede cambiar la dirección de movimiento de un ion, pero no así su energía cinética.

Las partículas dentro de un campo eléctrico describen una parábola que puede ser representada por las ecuaciones del lanzamiento de proyectil.

$$z = \frac{1}{2} \frac{a}{v_0} y^2 \begin{cases} z(t) = \frac{1}{2} at^2 \\ y(t) = v_0 t \end{cases} \quad (1.10)$$

$$z(y) = \frac{q}{2} \frac{E}{mv_0^2} y^2 \quad (1.11)$$

Igualando la fuerza magnética a la aceleración centrípeta se puede deducir el radio de curvatura de los iones.

Radio de difracción magnético

$$q * \vec{B}_n * v = \frac{mv^2}{r_n} \quad (1.12)$$

$$r_n = \frac{\left(\frac{m}{q}\right) v}{\vec{B}_n} \quad (1.13)$$

El radio de difracción magnético es proporcional al momentum de los iones por unidad de carga, esto implica que todos los iones que tienen la misma posición inicial, dirección y momentum por unidad de carga, tendrán trayectorias idénticas al aplicar (solo) un campo magnético, estas trayectorias dependerán de la masa de los iones. [10]

1.2.3 Componentes

Los espectrómetros de masas están compuestos por un sistema de entrada, una fuente de iones, un analizador de masas, un detector, un sistema de vacío, un sistema de control y un sistema de datos [7]. El sistema de entrada, junto con la fuente de iones y el tipo de analizador de masas definen el tipo de espectrómetro y las capacidades del sistema. En el caso particular del espectrómetro de este trabajo, la fuente de iones es el dispositivo plasma focus al cual el espectrómetro está integrado. Este ioniza un gas que se encuentra en la cámara del que dependerán las especies de iones. Los dispositivos plasma focus también trabajan a alto vacío por lo que cuentan con una bomba de vacío incorporada. Por consiguiente, el hecho de trabajar en un dispositivo plasma focus ya condiciona gran parte del espectrómetro.

El analizador de masa de este espectroscopio consta de la aplicación de un campo magnético y un campo eléctrico que deflexionan las partículas según su relación carga/masa. De esta manera se obtiene una deflexión magnética que separará las diferentes especies iónicas y una deflexión por el campo eléctrico que hará esta separación pero de forma

perpendicular, quedando así en la pantalla trazas diagonales que evitan que haya confusión al momento de distinguir el inicio y final de un determinado grupo de iones.

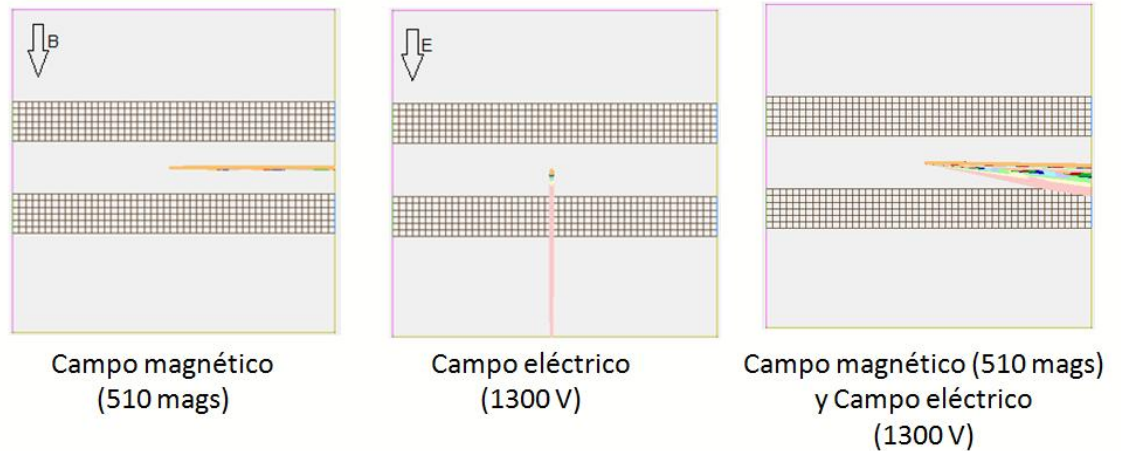


Figura 1.2: Orientación de los iones al aplicar campos eléctrico y magnético.

En la figura 1.2 se observa una la aplicación individual de campo eléctrico y magnético a un haz de partículas las cuales tienen una deflexión perpendicular una de la otra, luego al aplicar los campos simultáneamente se observa una deflexión distribuida en un cuadrante de la imagen.

Se asume que al momento del pinch los iones son acelerados por el mismo campo eléctrico y que la energía ganada en la aceleración es proporcional a la carga del ion. [11]

1.2.4 Detectores

Existen varios tipos de detectores para un espectrómetro de masas, como copas de Faraday, multiplicadores de electrones, placa microcanal, CR-39, entre otros.

Este trabajo se centrará en los detectores de placa multicanal o placas microcanal (MCP) y CR-39.

La CR-39 es una lámina o película plástica que se utiliza para la detección directa de partículas cargadas en el rango de energía entre 0,3 y 13 MeV y en forma indirecta neutrones rápidos en el rango de energía de los MeV. Estas películas se atacan con partículas las cuales van dejando marcas o trazas que se pueden observar posteriormente cuando la película pasa por una etapa de revelado en un químico de NaOH 6N.

Una placa microcanal (MCP) es un multiplicador de electrones para detectar rayos X, radiación ultravioleta y partículas cargadas cuyo máxima eficiencia de detección ocurre entre 500 y 1000 eV y aunque la sensibilidad depende de la energía incidente, la sensibilidad máxima se obtiene en un ángulo de incidencia de 13° en ese rango de energía [12]. Cada placa consiste en una matriz de tubos de vidrio pequeños fusionados entre sí para formar un disco delgado. Ambas caras del disco son de metal recubierto para proporcionar conexiones eléctricas paralelas a todos los canales. En el vacío, y con una diferencia de potencial (por lo general 800 a 1.400 V) a través de la placa, cada canal se convierte en un multiplicador de electrones dinodo continuo, que opera en el mismo principio (avalancha de electrones) que el multiplicador de electrones de un solo canal [13]. Un esquema se puede observar en la figura 1.3.



Figura 1.3: Esquema MCP [13]

Cuando un electrón entra en el canal y golpea su pared, se producen electrones secundarios. Estos electrones se aceleran por el gradiente de potencial existente dentro del tubo y golpean la pared opuesta, produciendo electrones secundarios adicionales. Estas colisiones se repiten muchas veces, y como resultado se obtiene a la salida muchos electrones más que a la entrada. El diámetro de cada canal condiciona la resolución final del tubo [14].

En la figura 1.3 se puede observar la multiplicación de los electrones en el zoom (Output electrons) la cual corresponde solo a uno de los muchos canales en la MCP.

La salida es una imagen bidimensional que mantiene la resolución espacial de las radiación de entrada pero con una ganancia lineal de hasta 1000. Los electrones multiplicados que salen

de la MCP son captados por una fibra óptica que tiene un recubrimiento de fósforo, esta transforma estos electrones en luz la cual pasa de forma coherente por la fibra óptica llegando a la cámara CCD dando una representación visual del patrón de radiación [13].

1.2.5 Aplicaciones generales en la ciencia

Existen diversas aplicaciones para los espectrómetros de masas, una de ellas es el análisis de estructuras, donde por medio de la espectrometría observan diferentes fragmentos de iones los cuales son usados para deducir las estructuras moleculares.

Otra aplicación es la determinación de masas. Cada isótopo de cada elemento tiene una masa no entera única. La determinación de mediciones de masa permite determinar composición química.

Cuando ya se conoce el espectro de masas de un compuesto específico, se puede confirmar la presencia de sustancias específicas o medir la cantidad presente en la muestra. Este tipo de análisis cuantitativos son rutinarios en mediciones de contaminantes ambientales y estudios farmacocinéticos donde se requiere cuantificar analitos en concentraciones muy bajas y además en mezclas complejas. El espectrómetro de masas se ajusta para monitorear solo valores específicos de m/z representativos de las moléculas a analizar.

La espectrometría de masas es un sistema de detección útil en técnicas de separación tales como cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida (LC), electroforesis capilar y otras, debido a que es altamente sensible y es capaz de identificar compuestos químicos en forma precisa, por lo que se suelen hacer sistemas acoplados.

Otras aplicaciones son:

- La identificación de proteínas
- Análisis de péptidos [7]
- Determinar adulteración en la miel de abeja.
- Detectar e identificar el uso de fármacos de abuso en atletas (antidoping)
- Monitorear los gases de la respiración en pacientes durante cirugía.
- Determinar la composición de materiales provenientes del espacio exterior.
- Localizar depósitos petroleros (midiendo precursores del petróleo en rocas).
- Monitorear fermentaciones en línea (industria biotecnológica).
- Detectar contaminantes orgánicos en el aire, agua, suelo y alimentos.
- Determinar algunos tipos de envenenamiento (criminalística). [15]

Capítulo 2

2 Análisis previo al diseño

2.1 Rango de energía de los iones emitidos en un dispositivo Plasma focus.

Estudios realizados en la Comisión Chilena de Energía Nuclear utilizando método de tiempo de vuelo, con copas de Faraday, en los dispositivos plasma focus PF-2kJ y PF-400J, de 2kJ y 400J respectivamente, en los que se piensa utilizar el espectrómetro construido en este trabajo, se determinan los siguientes rangos de energía.

Las copas de Faraday consisten en un cono concéntrico formado por un colector de iones de grafito, un aislante de teflón y una superficie de bronce. Los iones son captados por el colector enviando una señal al osciloscopio, de esta señal se puede deducir mediante análisis de tiempo de vuelo el tipo, flujo y energía de los iones que llegan a la sonda.

En el PF-400J utilizando gas de hidrógeno se encuentran protones cuyo rango de energía está entre los $\sim 60\text{-}150\text{keV}$ y flujo de iones entre $\sim (0,1\text{-}2) \times 10^{21}$ iones / m^2s y en gas de deuterio se encuentran deuterones con un rango de energía entre los $\sim 60\text{keV}\text{-}300\text{keV}$ y flujo de iones entre $\sim (0,1\text{-}1,7) \times 10^{21}$ iones / m^2s .

En el PF-2kJ utilizando gas de hidrógeno se encuentran protones entre los $\sim 10\text{-}15\text{keV}$ y flujo de iones entre $\sim (1,6\text{-}5,5) \times 10^{21}$ iones / m^2s y en deuterio, deuterones entre los $\sim 50\text{-}80\text{keV}$ y flujo de iones entre $\sim (1\text{-}9) \times 10^{21}$ iones / m^2s . En este equipo el flujo de iones resultó ser mayor en ambos casos. [4]

2.2 Especies iónicas en dispositivos plasma focus.

En la Comisión Chilena de Energía Nuclear se han hecho estudios previos con diferentes técnicas para el estudio de las especies iónicas en el PF-400J y el PF-2kJ.

Un estudio fue realizado con copas de Faraday mediante un análisis de deconvolución de las señales [16]

La figura 2.1 muestra los resultados obtenidos con una copa de Faraday para el dispositivo PF-400J.

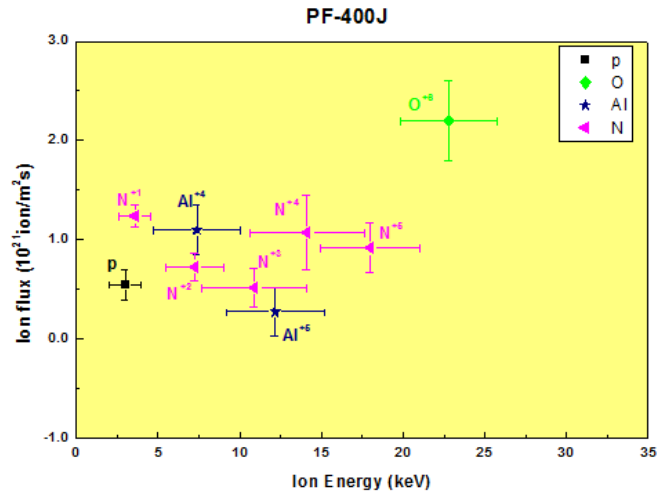


Figura 2.1: Gráfico de flujo con respecto a la energía de los iones en el PF-400J. [17]

De la figura se puede observar que la copa detectó H^+ , N^{+6} , Al^{+6} , O^{+6} .

Otro método utilizado es la espectroscopia, donde se utiliza un espectrómetro de imágenes Andor Shamrock-500i, el cual se basa en el diseño óptico Czerny-Turner (Glosario, sección 9.1), en conjunto con una cámara ICCD-576 de Princeton Instruments. [18]

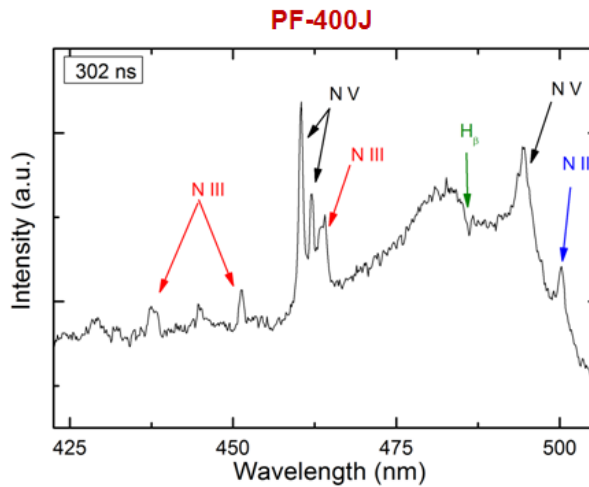


Figura 2.2: Gráfico de intensidad con respecto a longitud de onda en el PF-400J. [17]

De la figura se puede observar se detectó H^+ , N^{+6} .

Las técnicas antes mencionadas también se aplicaron al dispositivo PF-2kJ los resultados de las figuras 2.3 y 2.4.

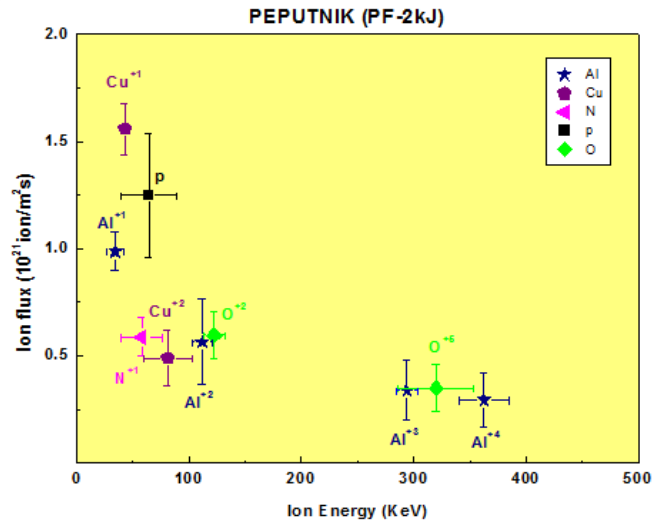


Figura 2.3: Gráfico de flujo con respecto a la energía de los iones obtenido a 9 mbar utilizando gas hidrógeno en el PF-2kJ. [19]

De la figura se puede observar que la copa detectó H⁺, N⁺¹, Cu⁺², O⁺⁶, Al⁺⁴.

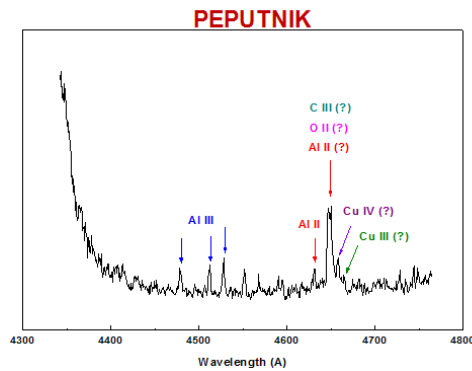


Figura 2.4: Gráfico de intensidad con respecto a longitud de onda evidencia la presencia de algunos iones obtenido a 9mbar utilizando gas hidrógeno en el PF-2kJ [19].

De la figura se puede observar que se detectó Al⁺⁴ y otras especies que no se logran dilucidar con claridad, pero que podrían ser Cu⁺⁵ y O⁺³.

2.3 Caracterización de campos magnéticos de imanes adquiridos.

Se adquirieron para este proyecto los siguientes imanes:

P/N	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
DX001	1"X1/32" Disc, N42, NI	3
DX001-N52	1"X1/32" Disc, N52, NI	3
DX003	1"X3/32" Disc, N42, NI	3
DX01	1"X1/16" Disc, N42, NI	3
DX01-N52	1"X1/16" Disc, N52, NI	3
DX02	1"X1/8" Disc, N42, NI	3
DX02-N52	1"X1/8" Disc, N52, NI	3
DX0H1	1"X1/10" Disc, N42, NI	3

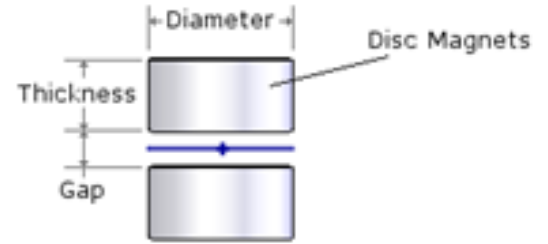
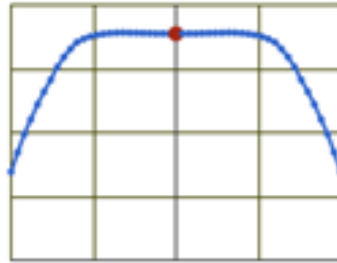
Tabla 2.1: Imanes adquiridos.

Los imanes de la tabla 2.1 fueron adquiridos en K&J Magnetics,INC. Cuya página web cuenta con una calculadora de fuerza magnética para los imanes que venden la cual tiene diferentes opciones como muestra la figura 2.5.

Figura 2.5: Calculadora de Gap magnética.

En este caso es interesante saber cuánto debiera ser el gap para que el campo sea lo más homogéneo posible.

Para ello se entra en la opción “Gap” o “Brecha” y se especifica el imán, sus dimensiones y el gap que se quiere probar. Un ejemplo del resultado de la calculadora de K&J Magnetics se puede observar en la figura 2.6 en donde se observa un grafico donde se representa la fuerza del campo magnético en la dirección vertical, a lo largo de una línea equidistante entre los dos imanes.



Fuerza del campo magnético @ Centro: **710** gauss

Figura 2.6: Ejemplo de resultados de calculadora de Gap magnética.

En la tabla 2.2 se ven los gaps óptimos para cada tipo de imán y el campo que este tendría en el centro.

Imán	Gap [mm]	Campo magnético en el gap según especificaciones de K&J magnetics [Gauss]
1" x 1/32" N42	11	583
1" x 1/32" N52	11	654
1"x3/32" N42	10	1252
1"x1/16" N42	10	1184
1"x1/16" N52	10	1327
1"x1/10" N42	9	1831
1"x1/8" N42	10	2214
1"x1/8" N52	10	2481

Tabla 2.2: Resultados de gap's óptimos según calculadora de Gap magnética.

Teniendo una idea de las especificaciones técnicas de los imanes a utilizar se procede a hacer un estudio experimental de los campos magnéticos de estos para ver su comportamiento en el montaje del deflector antiguo de la C-CHEN.

Para ello se utiliza un gaussímetro de efecto hall (glosario, sección 9.2) y se mide el campo magnético a diferentes distancias en el electrodo metálico y plástico por separado obteniendo los resultados que se aprecian en las figuras 2.7 y 2.8.

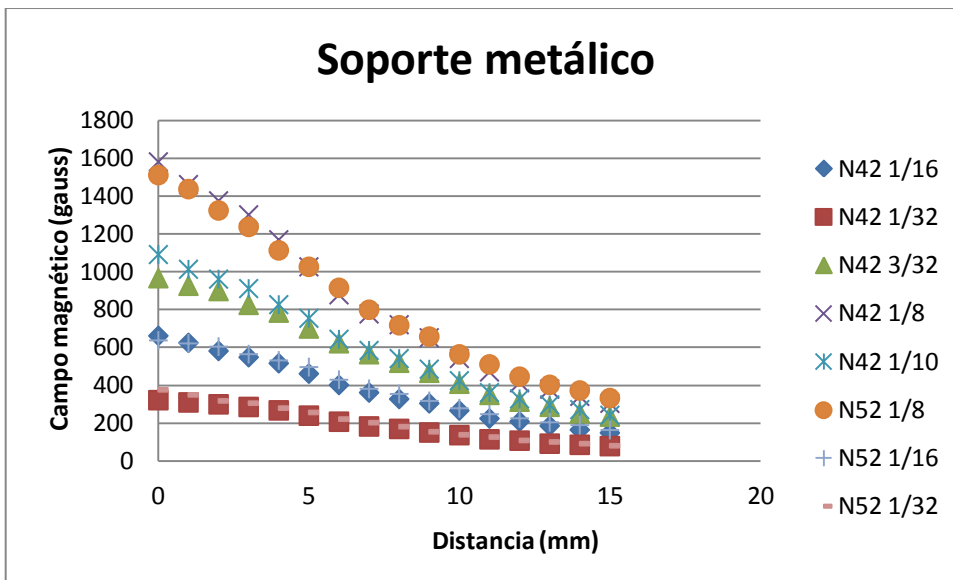


Figura 2.7: Gráfico de distancia con respecto al campo magnético para los imanes en el soporte metálico.

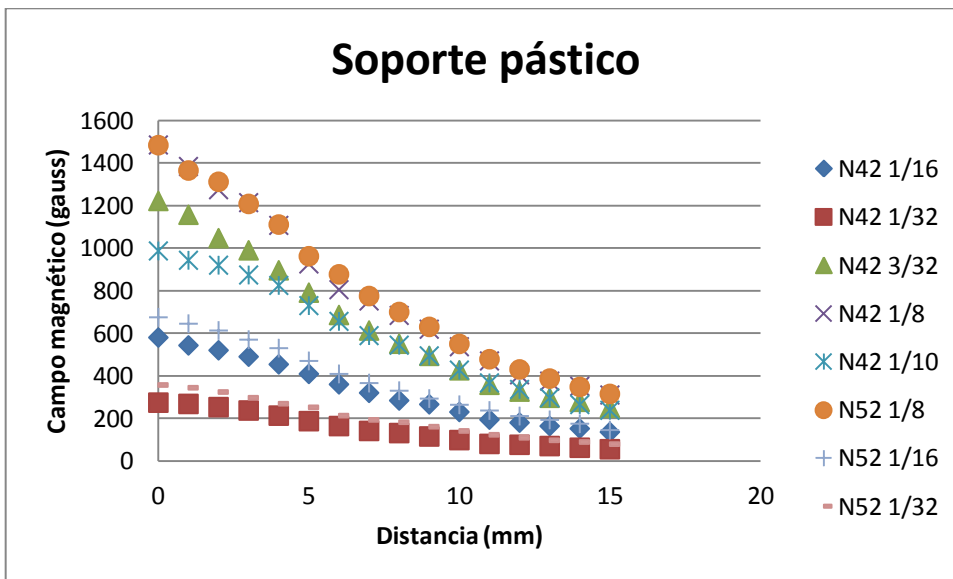


Figura 2.8: Gráfico de distancia con respecto al campo magnético para los imanes en el soporte plástico.

De las figuras 2.7 y 2.8 se aprecia que ambos soportes tienen un comportamiento similar, además, puede observar que por separado los imanes tienen un campo magnético que va desde aproximadamente los 300 a los 1500 gauss cuando el gaussímetro está en la superficie de la tapa de bronce (a 1 mm del imán)

Luego se mide el campo entre los dos electrodos a diferentes gap de distancia obteniendo los resultados de la figura 2.9

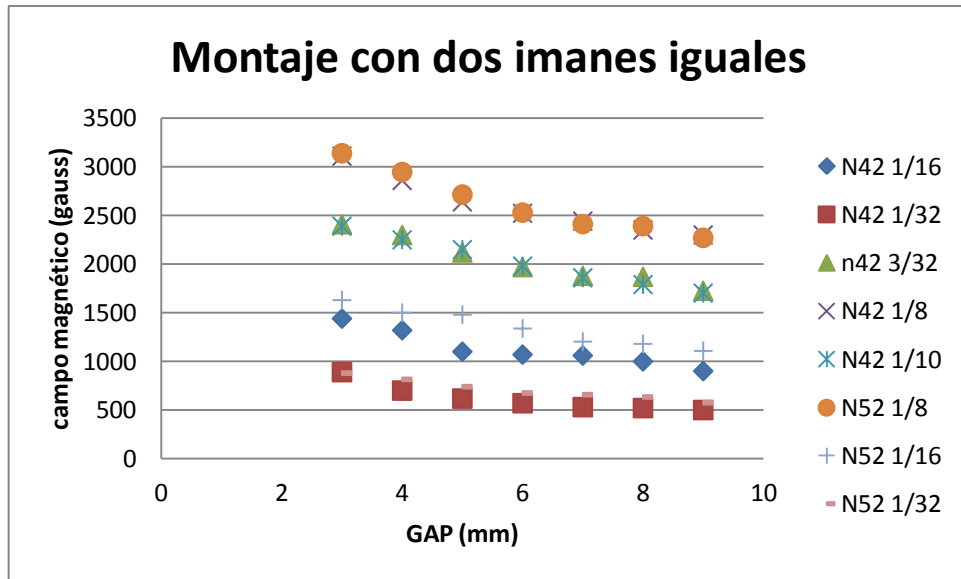


Figura 2.9: Gráfico de gap entre los soportes con respecto al campo magnético en el centro.

De la figura se observa que mientras más grande es el gap menos brusco es el cambio en el campo magnético máximo encontrado.

Hay que considerar que los valores de los gap de la figura 2.9 corresponden a la distancia entre las dos tapas de los soportes y no la distancia entre los imanes, por lo que el verdadero valor de gap corresponde a 2 mm más ya que cada tapa mide 1 mm, es decir que los gap que van de 3 a 9 milímetros en realidad corresponden a distancias entre los imanes de 5 a 11 milímetros.

Comparando los valores de la tabla 2.2 con los de la figura 2.9 se puede apreciar cierta correlación de datos para gap de 10 y 11 milímetros (8 y 9 mm en el gráfico) la tabla de la figura 2.3 muestra una comparación entre los valores medidos y los obtenidos de la calculadora de K&J Magnetics en los gap más óptimos según los valores calculados.

Imán	Campo magnético según especificaciones [Gauss]	Campo magnético medido [Gauss]
1" x 1/32" N42	583	500
1" x 1/32" N52	654	575
1"x1/16" N42	1184	1000
1"x1/16" N52	1327	1180
1"x3/32" N42	1252	1790
1"x1/10" N42	1831	1860
1"x1/8" N42	2214	2350
1"x1/8" N52	2481	2391

Tabla 2.3: Comparación entre campos magnéticos especificados por el fabricante y el campo medido con el gaussímetro.

2.4 Simulaciones

Para la construcción de una cámara de espectrómetro óptima se requiere tener una idea de cuál es la distancia a la que debe estar la pantalla para lograr captar la mayor cantidad de información, esto dependerá de la energía y masa de las partículas y del campo magnético y eléctrico aplicado, además es interesante tener una idea de lo que se verá en la pantalla. Para lograr ambos objetivos se realizan simulaciones con el programa SIMION versión 8.1.

2.4.1 SIMION

Este programa permite crear arreglos potenciales y arreglos de partículas permitiendo que estos interactúen.

Los arreglos potenciales pueden ser electrostáticos o magnéticos, pero no ambos, es por ello que se deben crear dos geometrías idénticas, una con un arreglo potencial

electrostático y otra con un arreglo potencial magnético y superponerlas en la ventana de trabajo.

Si se desea comprender más sobre la construcción de geometrías y ajustes de parámetros para las simulaciones en la sección 10.1 del anexo se encuentra un manual.

Es importante considerar que SIMION no es un programa de circuitos magnéticos ya que necesita potenciales magnéticos escalares para calcular, pero en vista de que usualmente se necesita un flujo de campo magnético SIMION define los MAGS como un gradiente de campo magnético el cual se relaciona con los gauss mediante la ecuación (2.1)

$$Gauss = \frac{Mags}{n^{\circ} \text{grilla}} * ng \quad (2.1)$$

Donde ng es un factor de escala que se define al momento de definir el arreglo potencial magnético y que por defecto el programa le da un valor de 100 mm. De esta forma SIMION permite crear geometrías con campos magnéticos conociendo su equivalente en gauss.

2.4.2 Definición de geometrías y partículas para el espectrómetro.

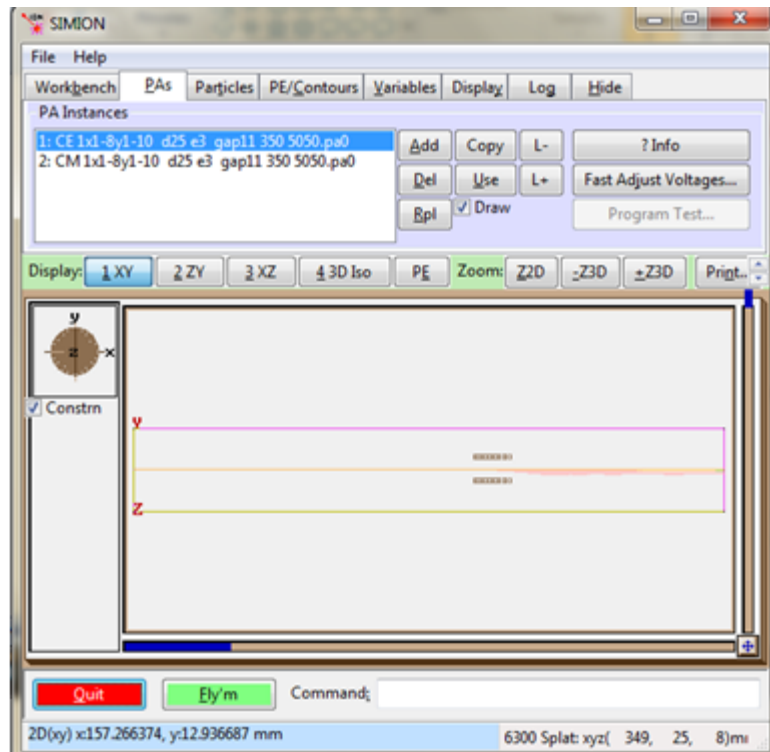


Figura 2.10: Geometría definida para la simulación.

La geometría definida para la simulación del espectrómetro consta de dos electrodos cilíndricos, que representan los imanes, como se ve en la figura 2.10, los cuales fueron definidos con 25 mm de diámetro y 1, 2 y 3 milímetros de espesor, dimensiones aproximadas a las medidas de los imanes comprados que sin embargo no influyen en la simulación debido a que las propiedades magnéticas se define en forma manual y no debido a la geometría del imán. Estos potenciales se definen inicialmente entre 0 y 100 [V], sin embargo, estos valores pueden ser modificados más adelante.

Como las energías de partículas de plasma dependen del tipo de dispositivo plasma focus y del gas utilizado en la cámara, se simulan partículas de carbono (el cual es interesante en descargas de grafito) e hidrógeno (protones) cuyas energías están en un rango entre 10^4 y 10^5 (eV) para simulaciones de baja energía y entre 10^5 y 10^6 (eV) para las de alta energía y se simulan además las partículas de carbono con hasta 6 niveles de ionización.

Según lo visto en el capítulo 2 sección 2.2, las especies iónicas encontradas, mediante otro tipo de técnicas, tienen una masa atómica mayor al carbono y se encuentran hasta 6 veces ionizadas. Al ser el carbono de menor masa atómica, será el que mayor deflexión tendrá bajo los efectos del campo magnético, por consiguiente, utilizar partículas de carbono para determinar el tamaño de la pantalla servirá también para las otras especies iónicas encontradas. Es por eso que simular partículas de hidrógeno y carbono hasta 6 veces ionizado es representativo para las especies iónicas que se podrían encontrar.

Además, en el espectrómetro real se utiliza un pinhole para filtrar el haz de partículas del plasma el cual no se puede simular de forma directa en el programa. Para solucionar esto se definen las partículas con una distribución cónica con ángulo de apertura 0,01; 0,03; 0,05 y 0,07 [grados] que equivale a un pinhole de 35; 105; 175 y 244 [μm] respectivamente y se simula con las mismas condiciones solo variando este ángulo, en la figura se puede apreciar los resultados para cada caso.

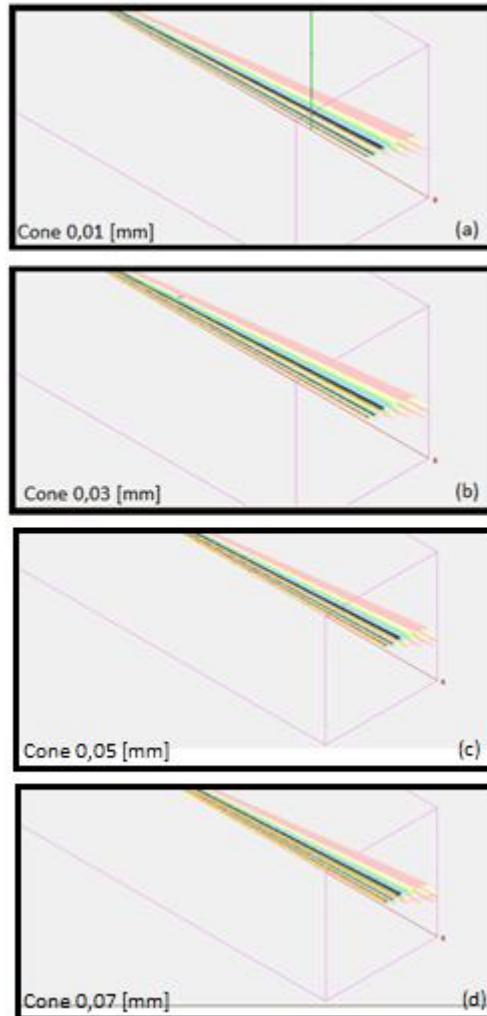


Figura 2.11: Simulación imán de diámetro: 27 [mm] espesor: 1 [mm] gap 11 [mm] ;(a) Apertura de 0,01°; (b) Apertura de 0,03°; (c) Apertura de 0,05°, (d) Apertura de 0,07°.

De la figura 2.11 se puede observar que la imagen no presenta mayores cambios entre las aperturas por lo que no se considerará como influyente en la simulación.

2.4.3 Definición los campos eléctricos y magnéticos.

El campo magnético se define según los campos de los imanes comprados ya que en la experiencia real se tienen campos magnéticos fijos dados por estos imanes.

El campo eléctrico se puede variar de manera libre entre los 0 y los 1300 V.

A medida de que aumenta el campo eléctrico mayor es la separación entre los grupos de partículas que llegan a la pantalla, por lo que es conveniente utilizar del valor más alto que permita que las partículas lleguen dentro de la pantalla sin perder información. Para ello se varían los campos eléctricos y se busca el más óptimo.

Se busca que la distancia entra la pantalla y el imán sea factible y fácil de mecanizar por lo que la elección de él o los imanes a utilizar dependerán de este factor.

2.4.4 Resultados de las simulaciones.

El programa SIMION tiene 1 milímetro como longitud mínima de definición por lo que medidas o espacios menores a eso no son posibles, por esto, las dimensiones de los imanes se aproximan al entero más cercano.

De la imagen resultante de la simulación se puede deducir la distancia mínima a la que tiene que estar la pantalla para que no se pierda información. Un ejemplo se puede observar en la figura 2.12.

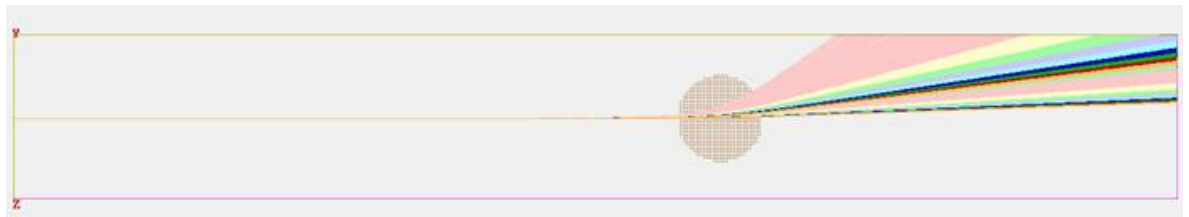


Figura 2.12: Ejemplo de resultado de simulación para imán 1"x1/16" disc N42, ni CM:482 Mags CE:1300V.

De la figura 2.12 se puede observar que las partículas chocan con la pared antes de llegar a la pantalla definida, es por esto que para obtener toda la información la pantalla debiera ubicarse no más cerca que este punto.

Sin embargo, lo que se observará en la MCP corresponde al plano frontal de la pantalla, por lo que se espera obtener resultados como el que se observa en la figura 2.13

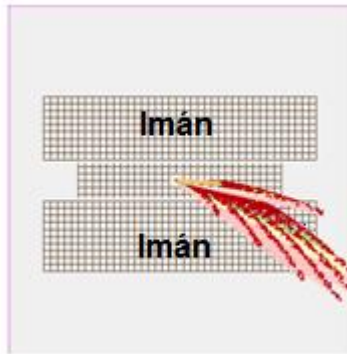


Figura 2.13: Resultado esperado a observar en la MCP.

De la figura 2.13 se pueden observar dos pendientes diferentes en los haces de partículas, la que tiene varias curvas representa un mismo átomo con diferentes grados de ionización.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos con las simulaciones.

Imán	Energía partículas	Gap [mm]	Campo eléctrico Base [volts]	Campo magnético base [Mags]	Campo magnético entre imanes [Gauss]	Distancia a la pantalla [mm]
1" x 1/32" N42	Alta	11	1300	215	589,82	80
1" x 1/32" N42	Baja	11	1300	215	589,82	12
1" x 1/32" N52	Alta	11	1300	237	654,47	70
1" x 1/32" N52	Baja	11	1300	237	654,47	7
1"x3/32" N42	Alta	10	1300	510	1251,98	20
1"x3/32" N42	Baja	10	1300*	510	1251,98	0
1"x1/16" n42	Alta	10	1300	482	1184,82	22

1"x1/16" n42	Baja	10	100	482	1184,82	0
1"x1/16" N52	Alta	10	1300	540	1328,49	18
1"x1/16" N52	Baja	10	100	540	1328,49	0
1"x1/10" n42	Alta	11	1300	773	1833,50	8
1"x1/10" n42	Baja	11	100	773	1833,50	0
1"x1/8" N42	Alta	11	1300	935	2217,74	6
1"x1/8" N42	Baja	11	100	935	2217,74	0
1"x1/8" n52	Alta	11	1300	1048	823,98	2
1"x1/8" n52	Baja	11	100	1048	2485,34	0

Tabla 2.4: Resumen de los resultados de las simulaciones.

Los resultados de la tabla muestran a qué distancia debiera estar la pantalla para diferentes imanes con partículas de alta y baja energía para no perder información. Se puede observar que para la mayoría de las simulaciones a baja energía la pantalla está a 0 [mm], esto no significa que no se vayan a obtener resultados con estos imanes, sino que se perderá parte de la información porque parte de las partículas choca con el imán (partículas más ionizadas), en los casos de los imanes menos potentes la pérdida no es tan grande por lo cual se podrían utilizar para estudios que no requieran de toda la información, pero ya en imanes más potentes la pérdida es mucho más significativa, resultados muestran por ejemplo que las pantallas de 1"x1/8" N42 y N52 necesitan estar a -17 y -18 mm respectivamente del final del imán para no perder información, considerando que el imán mide 25 mm las partículas estarían chocando a 8 y 9 mm del inicio del imán.

Para las partículas de alta energía la pantalla puede captar toda la información en todos los caso, sin embargo es recomendable usar imanes menos potentes, para que se pueda colocar la

pantalla a distancias suficientemente grandes como para que el campo eléctrico logre diferenciar espacialmente los diferentes grupos de partículas y sea más sencillo de mecanizar.

2.4.5 Elección de centelladores según resultados de las simulaciones.

Teniendo una idea de cómo será la distribución de las partículas se puede definir el tipo de centellador a utilizar, el centellador en este caso es un sistema de placas multicanal o MCP longlife™-microchannel-plate las cuales se pueden adquirir en PHOTONIS USA, INC.

En Photonis las MCP's están disponibles en tres clasificaciones, que son dependientes de las aplicaciones.

Grado de detección: Estos MCP están diseñados para aplicaciones de señales que se utilizan dispositivos como detectores y amplificadores de un solo punto.

Aplicaciones típicas: Espectrometría de masas de tiempo de vuelo, el análisis de gas residual y detectores puntuales.

Grado de imagen: Estos MCP están diseñados para aplicaciones de imagen o sensores de posición. Están diseñados para ser utilizado con un dispositivo de lectura apropiado, y proporcionar una imagen de alta resolución intensificada.

Aplicaciones típicas: Tubos de rayos catódicos ultra rápidos, tubos intensificadores de imagen, y las técnicas analíticas como ESCA (también denominada XPS, espectroscopía fotoelectrónica de Rayos X), espectrometría de masas de sector magnético y VUV (espectrometría de vacío ultravioleta).

Grado premium: Estos MCP están diseñados con las más altas especificaciones de calidad.

Se utilizan típicamente en aplicaciones de imágenes que requieren una calidad superior de imagen, como la fotografía de alta velocidad y intensificadores de imagen, así como la mayoría de las aplicaciones espaciales. [20]





Dentro de estas alternativas se escogió el grado detección, ya que el nivel de resolución que se necesita no justifica el uso del grado imagen el cual tiene mayor costo.

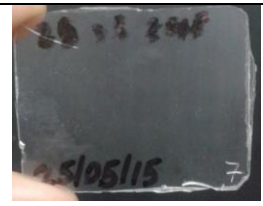

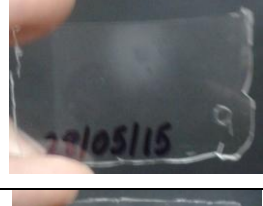
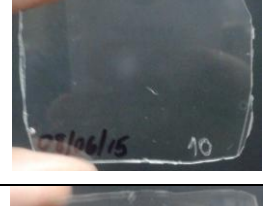
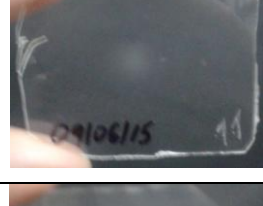

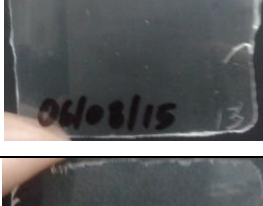

Según lo observado en las simulaciones se necesita una pantalla centrada de alrededor de 50 [mm], sin embargo, como las partículas llegarán solo a un cuadrante de la pantalla y el hecho de que a mayor tamaño de la MCP el precio aumenta considerablemente, también es posible y más conveniente pensar en una pantalla descentrada de 25 mm. Para ello se cotizaron dos tamaños de MCP, 25 y 40 mm efectivos.

2.5 Medidas con CR-39

El espectrómetro que tiene actualmente la CCHEN está mecanizado en aluminio, contiene un deflector en el que se aplica el campo eléctrico y magnético y un soporte para la placa de CR-39 alineada sobre 4 rieles.

Se toman muestras con películas CR-39 con el fin de tener resultados que se puedan comparar con los resultados del nuevo sistema de adquisición y así observar las ventajas y desventajas de cada sistema.

Equipo	#CR-39	#Shots	#RX	imán	Distancia Base-CR39 [mm]	Distancia deflector-CR39 [mm]	Pin-hole [mm]	Imagen
2kJ	1	90	18	1 N52	***	***	1 doble	
2kJ	2	90	14	Sin imán	107,0	Sin deflector	1 doble	Sin imagen
2kJ	3	90	40	Sin imán	107,0	Sin deflector	1 doble	
2kJ	4	***	***	Sin imán	107,0	Sin deflector	1 doble	Sin imagen
2kJ	5	100	***	Sin imán	107,0	Sin deflector	1 doble	
2kJ	6	100	79	1 N52	-	48,0	1 doble	

400J*	7	75	28	1/8 N52	63,1	20,4	1 doble	
400J*	8	131	48	1/8 N52	63,1	20,4	1 doble	
400J	9	130	**	1/8 N52	63,1	20,4	1 doble	
400J	10	130	40	1/32 N52	63,1	20,4	1 doble	
400J	11	130	47	1/32 N52	63,1	20,4	1 doble	
400J	12	130	0	1/32 N52	102,7	60,0	1 doble	
400J	13	131	82	1/32 N52	102,7	60,0	1 doble	
400J	14	130	100	1/32 N52	122,5	39,2	1 doble	






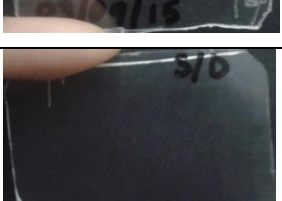

400J	15	100	73	1/32	125,9	39,9	10	
400J	16	100	75	Sin imán	125,9	Sin deflector	10	
400J	17	100	36 (NR)	1/32 N52	91,0	37,0	3	
400J	18	100	43 (NR)	Sin imán	120,9	86,35	3	
2kJ	19	70	48	1/10 N42	121,3	79	1	
2kJ	20	70	45 (NR)	Sin iman	122,7	79	1	
2kJ	21	71	68	Sin iman	101,6	73	1	

Tabla 2.5: Resultados de medidas con CR-39 en dispositivos PF-2kJ y PF-400J.

En todos los casos el canal de los rayos X tiene un atenuador de 20 db.

*Los resultados de las películas 7 y 8 no se consideraron debido a una falla del montaje.

** No se contabilizaron RX debido a que el experimento se realizó a la par con otro.

*** Datos extraviados o no considerados relevantes con el objetivo del experimento en particular.

^(NR) Valores no representativos debido a problemas con los dispositivos o interferencias entre la emisión y el detector.

En la tabla se observan los resultados obtenidos utilizando CR-39 como sistema de adquisición, ningún resultado muestra una clara y buena deflexión de partículas lo que lleva a concluir que el sistema de por si presenta muchas dificultades y variables que se deben controlar para obtener un buen resultado, esto sin considerar el tiempo que conlleva.

La aparición de rayos X muestran que existe una buena compresión del pinch y por ende se pueden utilizar como evidencia de buenas emisiones de partículas.

Los Z efectivos (largo del ánodo que no está cubierto por el aislante) utilizados en las descargas corresponden a 35 y 7 mm para el PF-2kJ y PF-400J respectivamente, pero un caso particular es la CR-39 número 12 en la que el Z efectivo fue de 2,5 mm razón por la cual no se obtuvieron rayos X y por ende se puede pensar que la emisión de partículas fue muy baja o nula.

Cada película necesita ser revelada utilizando el montaje de la figura 2.14. En este proceso la película es sumergida en el químico hidróxido de sodio (NaOH 6N) a una temperatura entre los 60 y 65 grados Celsius. El revelado debe durar entre 3 a 6 horas dependiendo de la profundidad de penetración de las partículas, ya que el químico va carcomiendo la CR-39 dándole el color blanquecino que se observa en las imágenes de la tabla 2.5, esto implica que, si el tiempo de exposición es muy grande y la penetración de las partículas muy débil, podría perderse información.

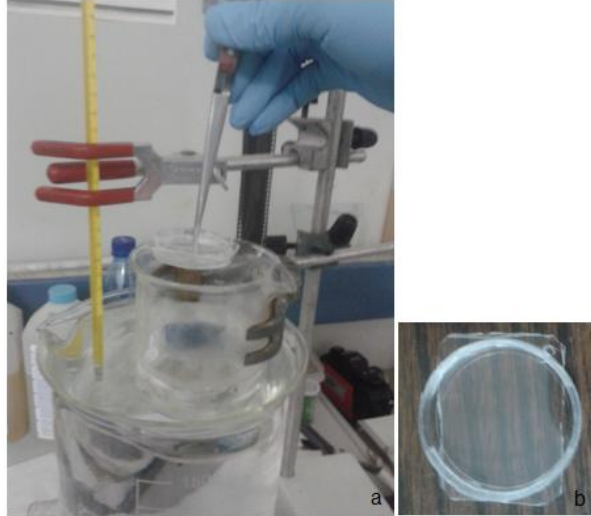


Figura 2.14: (a) Montaje de revelado de CR-39; (b) Soporte para CR-39.

Los experimentos que se realizan sin deflector tienen el objetivo de observar en qué parte de la CR-39 llega el haz sin deflexión para delimitar un centro, el cual no necesariamente es el centro de la CR-39. Las imágenes obtenidas sin deflector muestran un ligero corrimiento del centro por lo que se decide realizar un estudio de alineación óptica utilizando el montaje de la figura 2.15 (a).

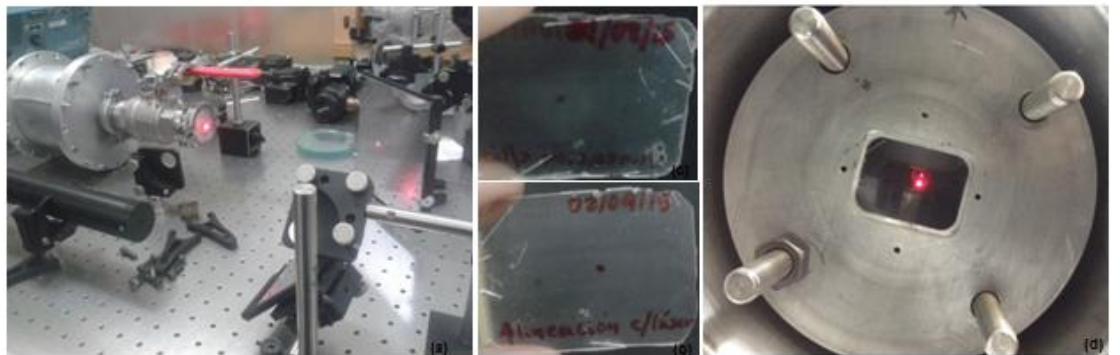


Figura 2.15: (a) y (d) Montaje óptico para buscar el centro real de la CR-39; (b) Centro de la CR-39; (c) comparación de centros.

En la figura 2.15 (b) se observa el centro encontrado ópticamente en una CR-39 nueva y en la parte (c) se observa la superposición de esta a la CR-39 numero 18 para ver la coincidencia de centros, se puede observar que los centros coinciden con las CR-39 medidas sin deflector.

Al realizar el experimento en el dispositivo 2kJ se observa que en algunos casos pareciera haber más de un centro. Por este motivo se sospecha de que la columna de plasma que genera el dispositivo está rompiendo en lugares diferentes. Posteriormente se realiza un experimento en el que se toman imágenes de la columna de plasma y se observa que en varias descargas que el pinch no es simétrico.

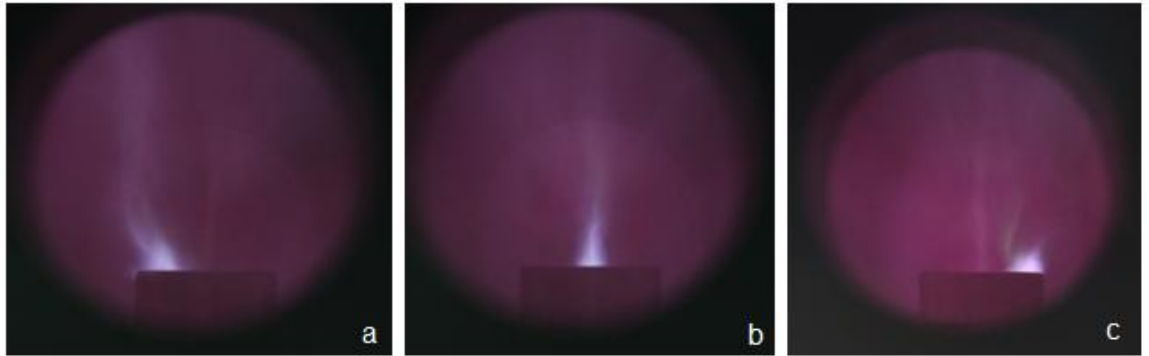


Figura 2.16: Imagen muestra el momento del pinch en una descarga en el dispositivo PF-2kJ; (a) y (c) Descargas no simétricas; (b) Descarga aparentemente simétrica.

En la imagen se observan diferentes rupturas en la fase pinch de un mismo experimento, esta podría explicar la aparición de más de un centro en la CR-39.

Se puede observar que resultados diferentes se obtienen en las CR-39 numero 15 y 16 presentadas en la tabla 2.5, esto se debe a que las muestras se realizaron sin el pinhole del espectrómetro esperando observar una buena deflexión de partículas, esto pensando que el haz de iones podría no estar centrado y por consiguiente muy poca emisión pase a través del pinhole, sin embargo al realizar el experimento la cantidad de partículas que llegaron fue tan alta que se observa toda la pantalla blanca.

De lo anterior se puede decir que se debe tener un buen funcionamiento del equipo, es decir, un pinch centrado y simétrico con buena emisión de partículas, además de una configuración adecuada del espectrómetro y encontrar un tiempo de revelado adecuado de las CR-39 utilizadas en cada dispositivo, para obtener un buen resultado utilizando este método.

Considerando el hecho de que la adquisición de datos toma un tiempo de aproximadamente 1 hora, la preparación del revelado alrededor de media hora y el revelado en sí en promedio 5 horas, solo se puede hacer un análisis completo por día como máximo, pero en la práctica, en muchos casos toma alrededor de dos días cada análisis.

Capítulo 3

3 Diseño

Para el diseño del espectrómetro se consideran todos los análisis previos que definen el óptimo en parámetros como el tamaño y las distancias de vuelo de las partículas..

El diseño se basa en tres sub conjuntos, el sistema de adquisición con MCP, el deflector y el manto o carcasa, que es la cámara de vacío en sí, que contiene en su interior los dos subconjuntos anteriores.

3.1 Diseño de Sistema de adquisición con MCP

Para el diseño de este sistema se tienen que respetar ciertas medidas estándares dadas por PHOTONIS USA, INC.

También hay que adaptarse a las medidas de la fibra óptica, ya que la CCHEN cuenta con una que es la que se utiliza en este trabajo. El tamaño de la fibra nos limita la cantidad de información que podemos obtener ya que ésta se encarga de conducir la luz de forma coherente hacia la cámara CCD, es por esto que, independiente del tamaño de la MCP, no se podrá obtener más de 29,2 mm de pantalla efectiva. Debido a esto se consideró el crear un sistema de pantalla móvil que pueda ser descentrado y así aprovechar de mejor manera la superficie efectiva.

Considerando esto, una pantalla de 40 mm efectivos deja de tener sentido debido a que solo se pueden aprovechar 29 mm de información, sin embargo la intención de adquisición de esta no queda completamente abandonada con la esperanza que en el futuro se adquiera una fibra óptica más grande, sin embargo, por el momento se trabajará con la MCP de 25 mm efectivos.

Considerando todas las condiciones anteriores se diseña el soporte para el sistema de adquisición MCP como muestra la figura 3.1

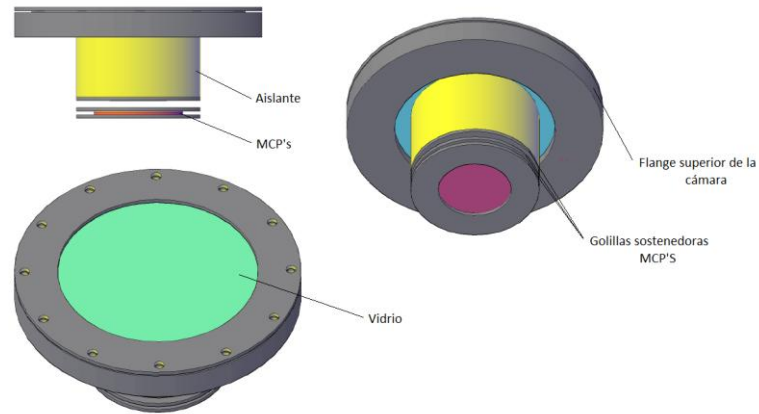


Figura 3.1: Diseño 3D del sistema de adquisición con MCP.

En la figura se puede ver una representación 3D de la parte superior de la cámara donde se encuentra el sistema de adquisición MCP.

Se puede observar que consta de una ventana de vidrio sellada al vacío que queda justo sobre la fibra óptica (que se encuentra dentro del aislante). Las MCP's son sostenidas por anillos en forma concéntrica a la fibra óptica.

Se puede notar que el espacio que ocupa el sistema de adquisición es menor al diámetro de la cámara, esto fue realizado intencionalmente para que quede espacio para poder desplazar el sistema, como se había planteado anteriormente. Este sistema de desplazamiento consta de 2 barras perpendiculares al sistema que atraviesan el aislante y se sostienen de la parte interna del flange, estas barras además son el soporte de todo el sistema de adquisición. Es por eso que el diseño del flange es fundamental, ya que deberá tener cavidades para la sujeción de las barras, espacio para poner el vidrio de la cámara y una cavidad para O-ring, anillo de goma que se utiliza para el alto vacío, además, se debe hacer un sacado en la parte inferior para facilitar el soldado a la cámara.

El diseño de este flange se puede observar en la figura 3.2

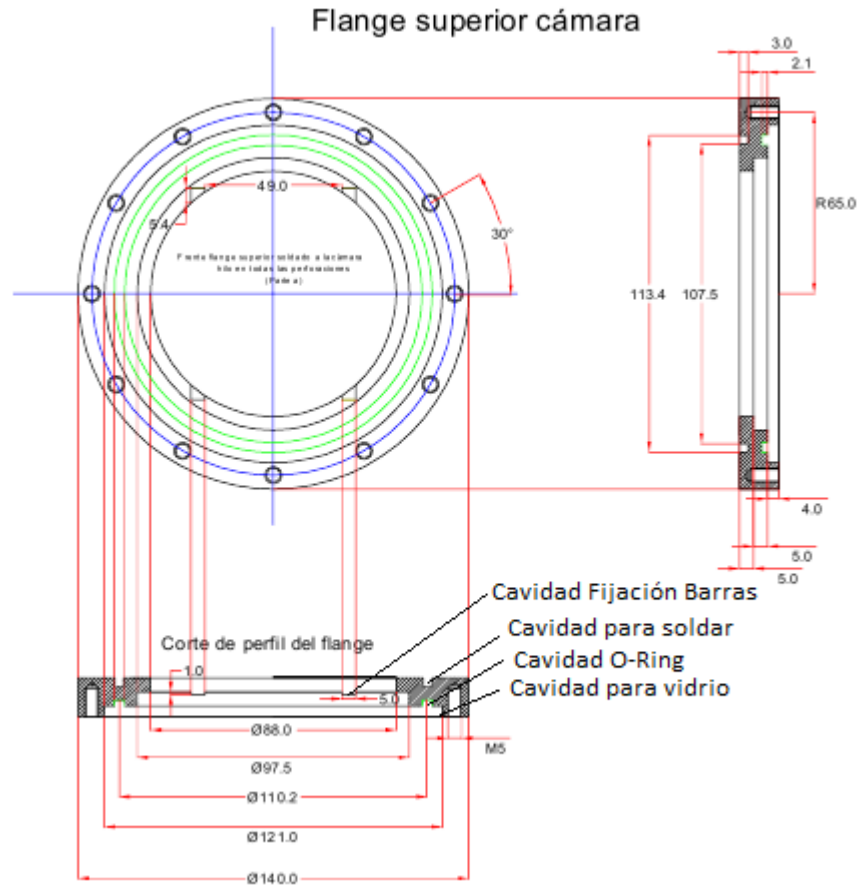


Figura 3.2: Flange cámara superior.

El vidrio de la cámara tiene un diámetro de 120 [mm] y un espesor de 4 [mm].

Para poder cerrar este lado de la cámara y lograr al mismo tiempo un buen vacío, se coloca un O-Ring 2-156 bajo el vidrio, el cual apretará esta goma para evitar que entre el aire, a su vez, se diseña un anillo de goma para proteger al vidrio del anillo de acero inoxidable que va sobre él, el cual es apernado al flange. Estos se pueden observar en la figura 3.3

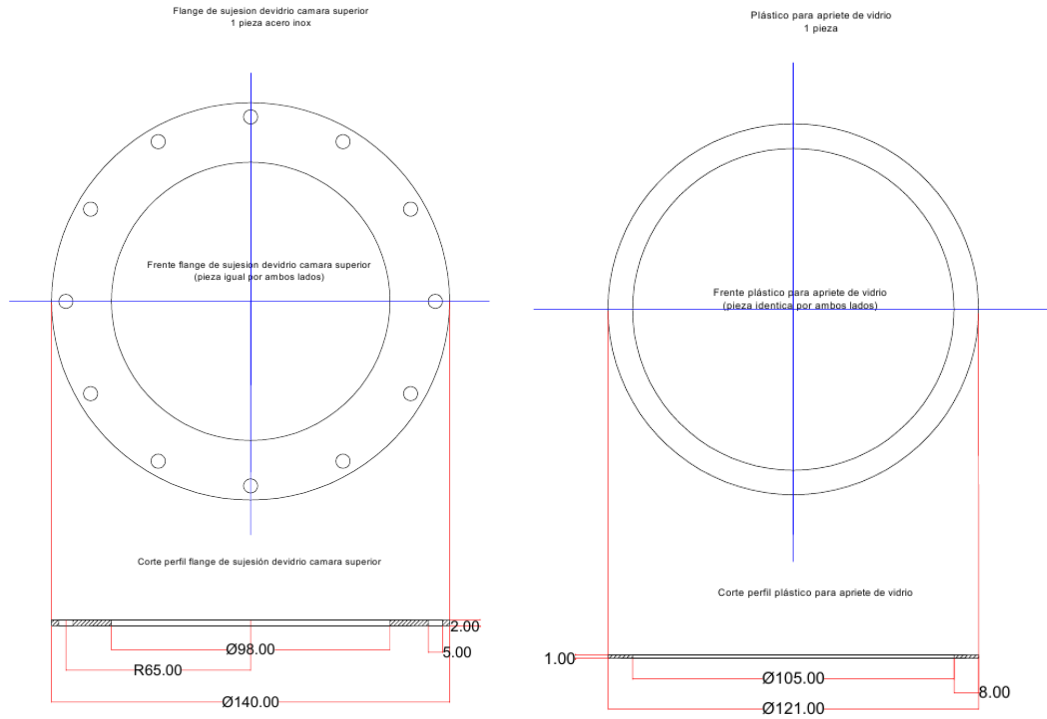


Figura 3.3: Anillo de acero inoxidable y anillo plástico para sujeción del vidrio.

Teniendo en cuenta que se quiere tener la posibilidad de desplazamiento del sistema MCP se diseña el aislante y las barras que lo sostienen como se ve en la figura 3.4. Este diseño permite que la cámara tenga mayor versatilidad.

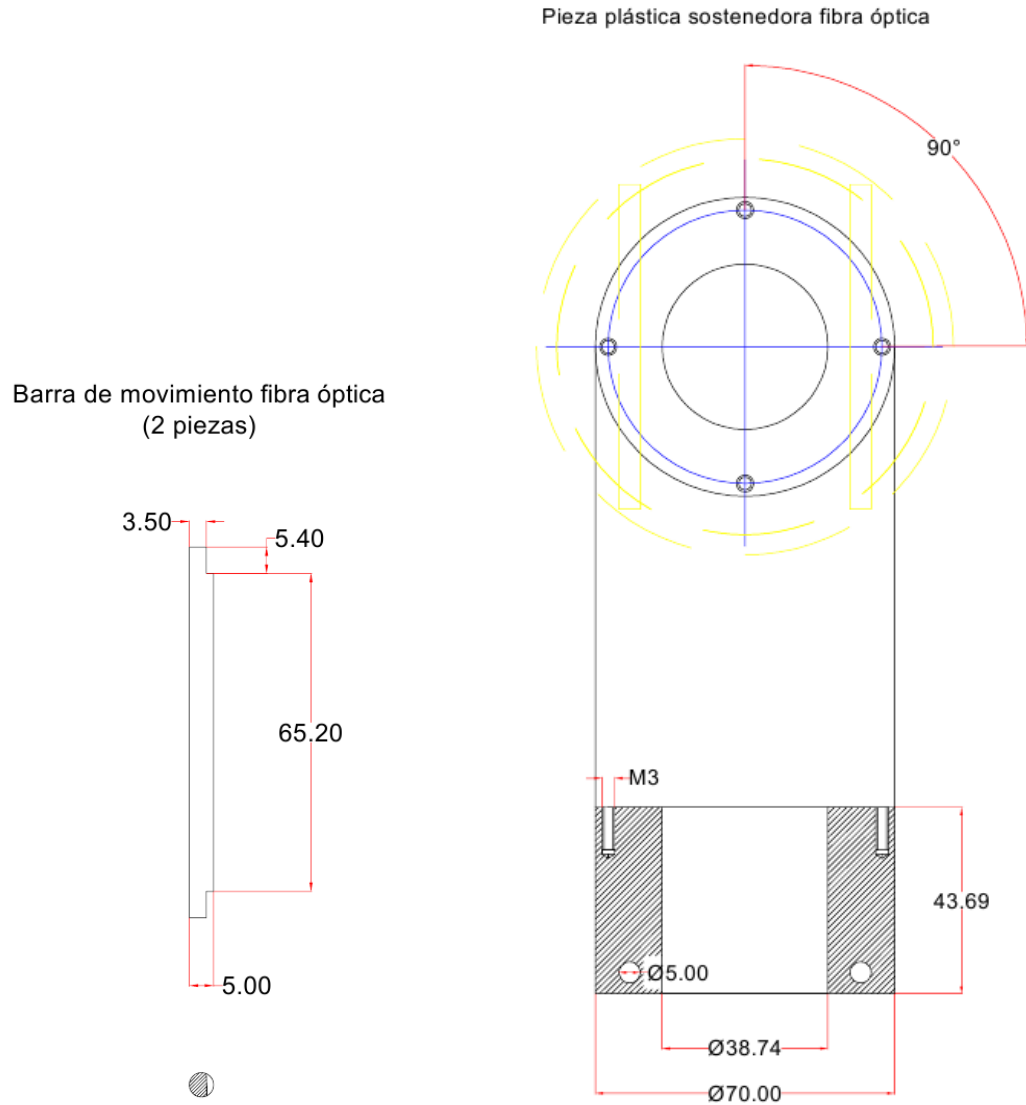


Figura 3.4: Aislante y barras que lo sostienen.

En la zona de color amarillo se puede ver que las barras que cruzan el aislante no tocan ni dañan de ninguna manera la fibra óptica que va en su interior.

Finalmente para la sujeción de las MCP's y para la aplicación del potencial que requiere su funcionamiento se diseñan los anillos que se muestran en la figura 3.5.

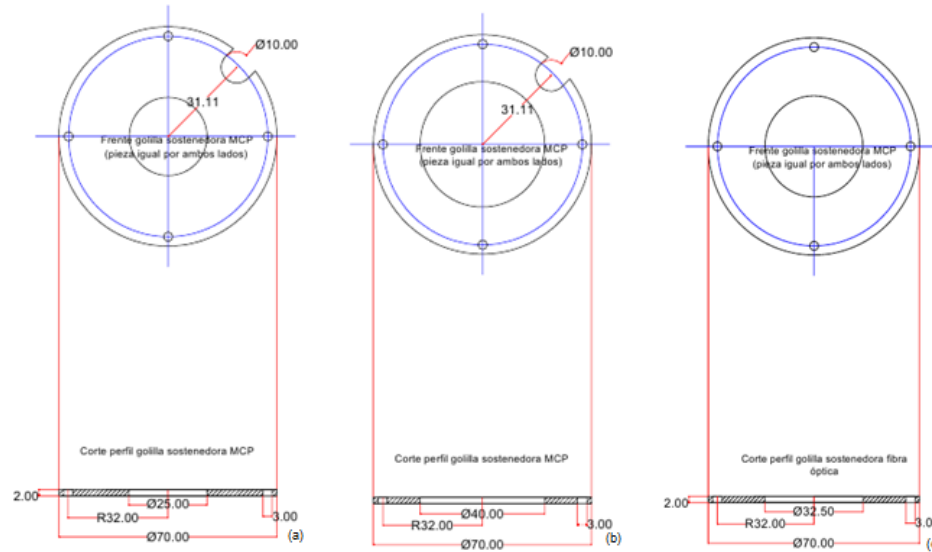


Figura 3.5: Anillos sostenedoras de MCP de 25 y 40 [mm] efectivos y sostenedor de fibra óptica respectivamente.

Estos conjuntos de anillos se utilizan en diferentes montajes, es decir, que si se utilizan MCP's de 25 mm efectivos se utiliza los anillos de la figura 3.5 (a) y en caso de 40 mm efectivos los anillos de la figura 3.5 (b). Se necesitan dos anillos idénticos por montaje más un anillo con diámetro interior de 32.5 y el resto de las dimensiones iguales, figura 3.5 (c), este último es el que sostendrá al sistema MCP y la fibra óptica y será igual para los dos montajes. Es muy importante que estos anillos sean lo más rectos y con menos imperfecciones posibles por lo que se mecanizan en la empresa DIFIERRO (Dimensionadora de fierro LTDA) mediante corte láser.

Los sacados que tienen los anillos (a) y (b) son para facilitar las conexiones eléctricas.

3.2 Diseño de Deflector

El tamaño del deflector viene definido por las medidas de los imanes comprados y el resultado del estudio del campo magnético de estos, ya que estos establecerán los gaps más óptimos.

Además, debido a que las simulaciones mostraron diferentes distancias óptimas entre los imanes y la pantalla para los diferentes campos magnéticos, es necesario que el deflector sea capaz de acercarse y alejarse del sistema de adquisición MCP.

En base a esto se diseña el deflector de la figura 3.6, el cual va ubicado en la parte inferior de la cámara.

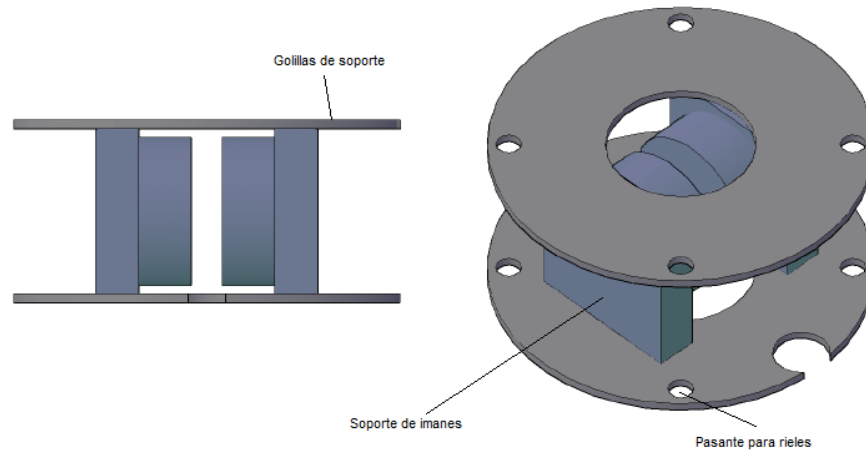


Figura 3.6: Deflector.

De la figura se puede observar que dos anillos (figura 3.7) sostienen los soportes de imanes.

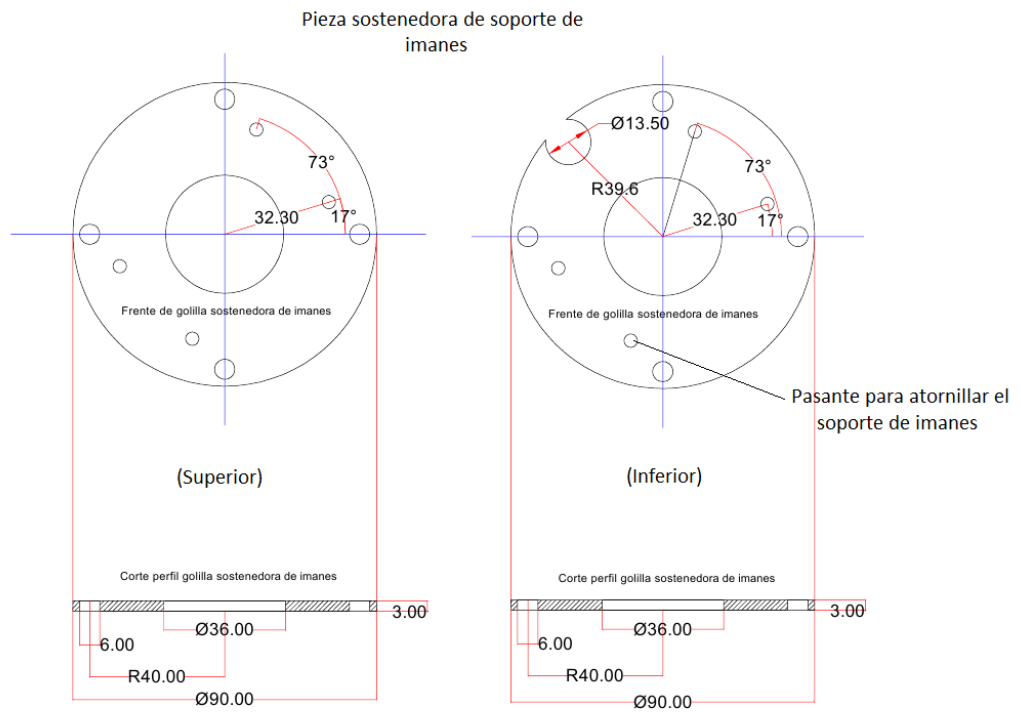


Figura 3.7: Anillos sostenedores de soportes de imanes.

Como se observa en la figura 3.7 los anillos superior e inferior se diferencian por un sacado semicircular, esto se debe a que en la base de la cámara del espectrómetro está el conector de entrada del campo eléctrico que se conecta al soporte plástico.

Los pasantes más grandes que se observan son para las barras guías que permiten desplazar los imanes para regular la distancia a la pantalla.

A estos anillos van sujetos los soportes de los imanes, los cuales no son idénticos, uno es metálico y otro plástico, esto debido a que este último tiene la conexión para la aplicación del campo eléctrico.

Diseño del soporte metálico

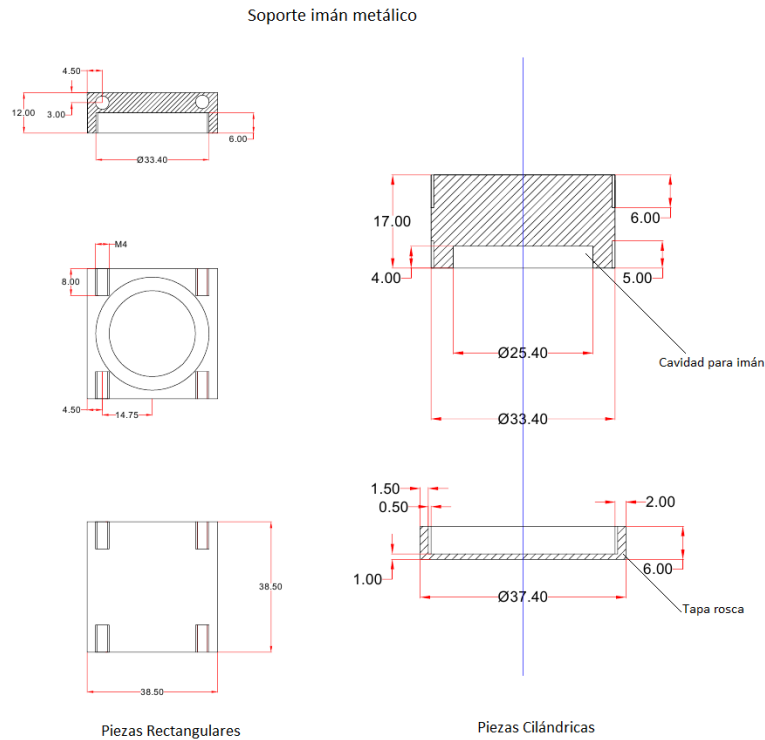


Figura 3.8: Soporte metálico.

En la figura 3.8 se puede observar que el imán se ubica en una cavidad de 4 mm de profundidad en un soporte cilíndrico, protegido por una tapa que se atornilla al soporte. No todos los imanes son del mismo espesor, por lo que el tamaño de la cavidad se hizo en base al más grande. Para ajustar los otros imanes se utiliza una goma densa que busca dejar el imán fijo a la pared interior de la tapa.

Este soporte se atornilla a la pieza rectangular la que va fija a los anillos que se montan en la cámara. El hecho de que la pieza sea atornillada permite que el imán pueda quedar más afuera o más adentro y así poder definir un gap adecuado entre los dos imanes en el montaje.

Diseño del soporte plástico

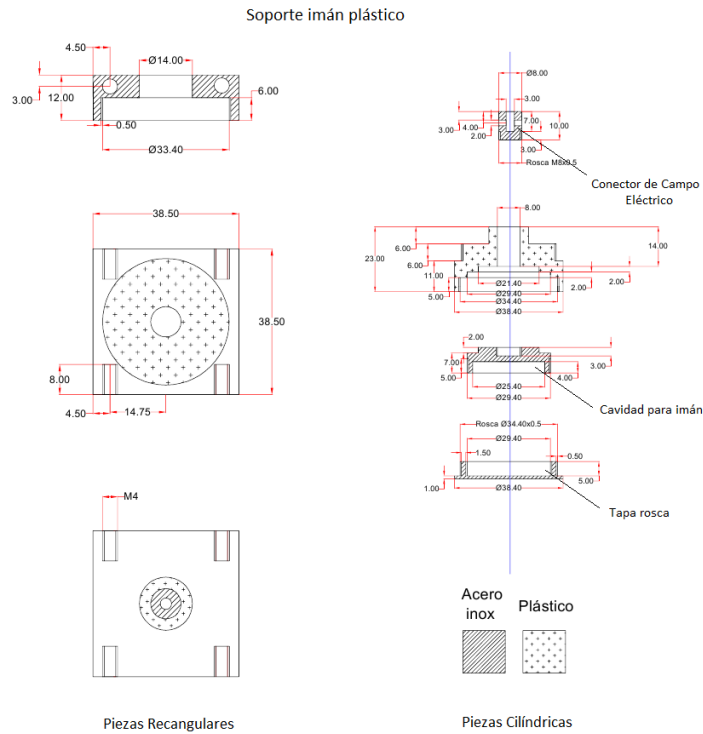


Figura 3.9: Soporte plástico.

Como fue mencionado anteriormente en el soporte plástico se conecta el campo eléctrico, por lo que a diferencia del soporte metálico, se construye una pieza cilíndrica a la que va soldado un cable coaxial.

3.3 Diseño de cámara

Como se mencionó anteriormente la cámara debe contener los dos subconjuntos anteriores y cumplir con las condiciones de vacío requeridas para el funcionamiento adecuado del sistema de adquisición.

Es necesario además que la cámara tenga 4 entradas laterales para las conexiones eléctricas, la bomba de vacío y el sensor de presión y una entrada en el flange inferior para unir a la cámara del dispositivo plasma focus en el cual ira un pinhole.

En base a esto se diseñó la cámara como se puede ver en la figura 3.10

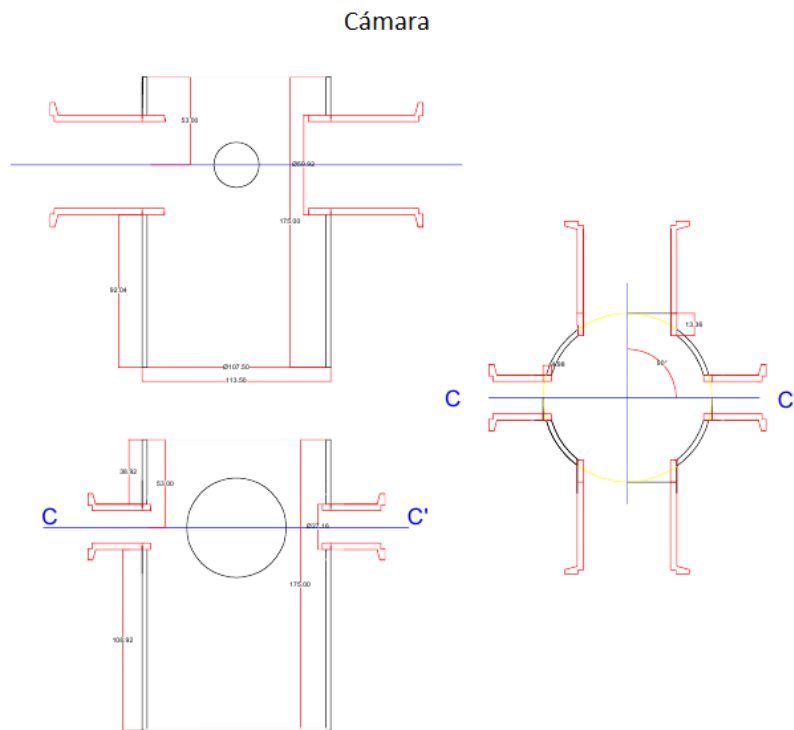


Figura 3.10: Cámara.

En la figura se puede observar la posición y diámetro de las ventanas en la cámara además del espacio efectivo que se puede ocupar de ellas.

Las ventanas fueron diseñadas en base a medidas estándar correspondientes a flanges NW50 y NW25 y un flange NW40 en el flange inferior de la cámara en donde va el pinhole.

La figura 3.11 muestra las dimensiones de estas ventanas.

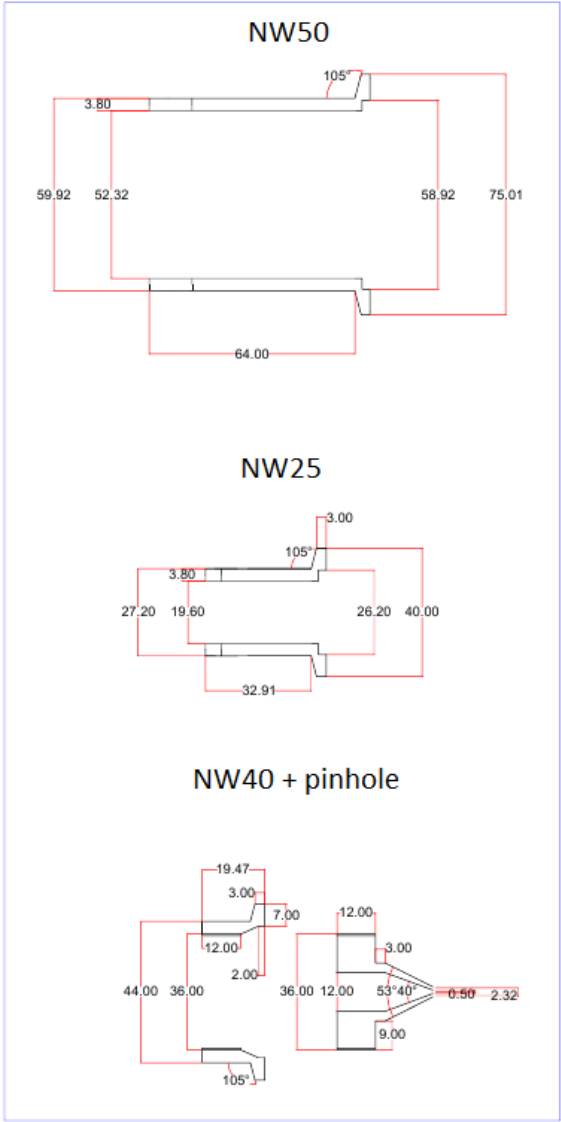


Figura 3.11: Flanges.

Finalmente uniendo las tres etapas de diseño se obtiene el espectrómetro completo como se muestra en la figura 3.12.

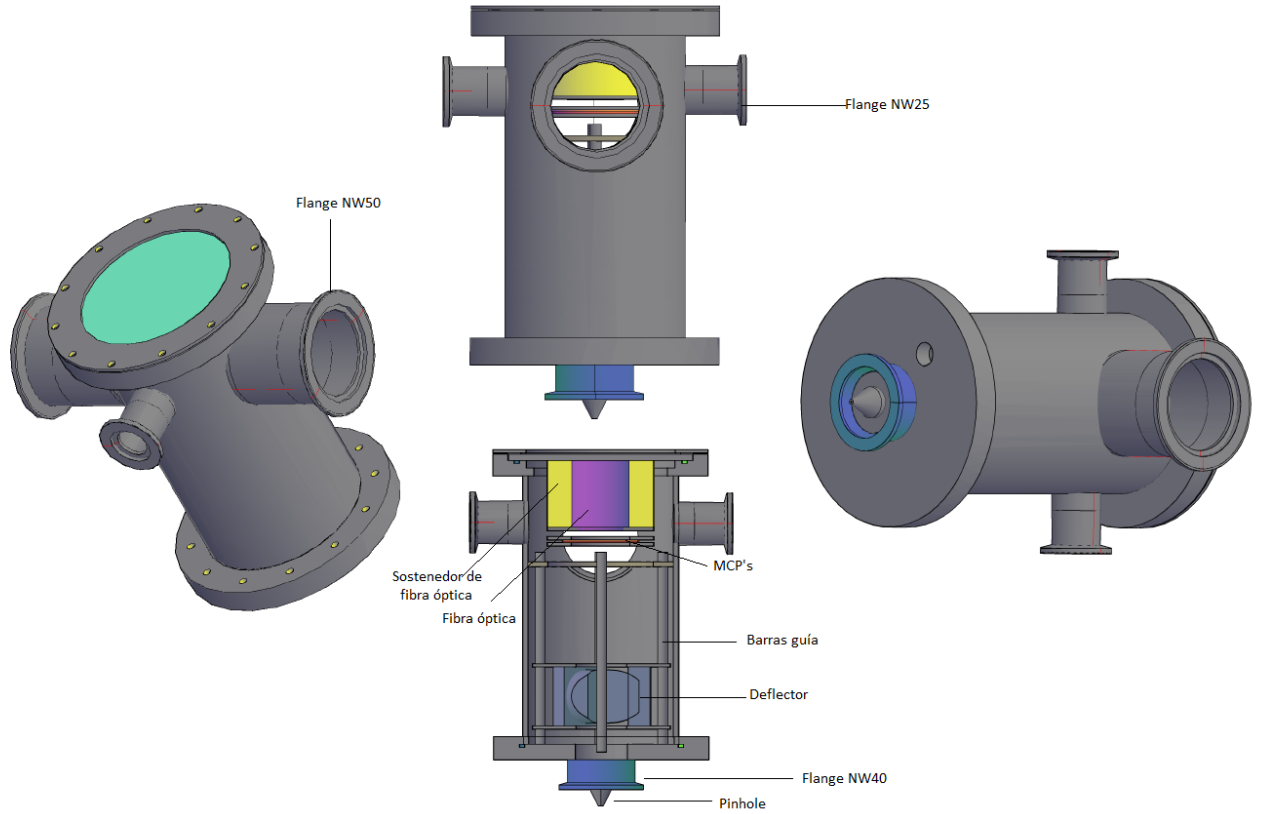


Figura 3.12: Diseño final Espectroscopio en 3D.

Capítulo 4

4 Construcción y toma de datos

Las piezas fueron mecanizadas según los diseños mostrados en el capítulo 2. Algunas de ellas tuvieron pequeñas variaciones, por recomendación del ingeniero mecánico, que no presentan cambios del funcionamiento del espectrómetro.

Dentro de los cambios más importantes se encuentra el soporte plástico de la fibra óptica, el cual se rediseñó para lograr un apriete de la fibra para mayor seguridad de esta y mejor contacto eléctrico.

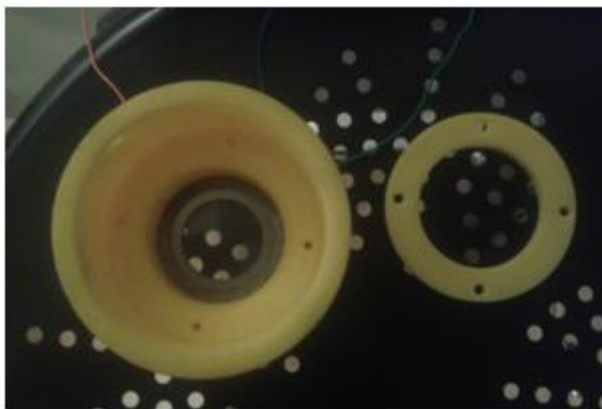


Figura 4.1: Variación de pieza sostenedora de fibra óptica.

En la figura se observa que se hizo un sacado interno al plástico de soporte, de modo de poner un O-ring alrededor de la fibra y apretarlo con un anillo también plástica para darle mayor seguridad y mejor contacto eléctrico.

Otro cambio relevante fue la sustitución del vidrio por un acrílico, debido a que al poner el vidrio del diseño original este se quebró por el apriete, lo que nos hizo notar que al soldar el frange superior a la cámara, este se deformó levemente produciendo un arco que la rigidez del vidrio no pudo tolerar. Se envió a refrentar la superficie del frange de la cámara y se decidió utilizar un acrílico transparente en lugar del vidrio aprovechando la elasticidad de este.

Reunidas todas las piezas se puede montar la cámara como se observa en la figura 4.2 y comenzar las pruebas de vacío.

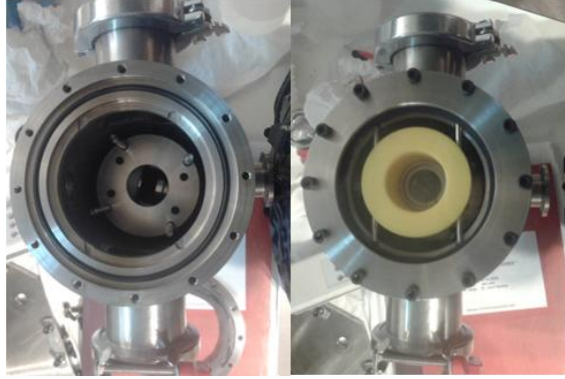


Figura 4.2: Cámara montada.

4.1 Montaje de las MCP

El montaje de las MCP de la figura 4.3 es esencial debido a que estas tienen una configuración predeterminada para su buen funcionamiento, se deben montar los 3 anillos sobre la pieza plástica, la primera sostendrá la fibra óptica, el segundo anillo debe ubicarse a aproximadamente 1,5 mm del primero, el tercer anillo debe sostener a las MCP presionada con el segundo anillo, es decir, que está a 2mm de distancia de el segundo anillo. Estos anillos están conectados a alto voltaje para alimentar a las MCP.

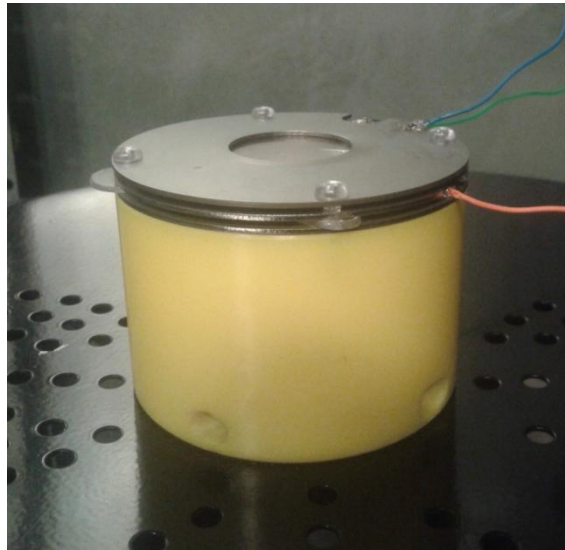


Figura 4.3: Montaje de anillos

4.2 Montaje de imanes (deflector)

El deflector consta de dos soportes en cuyo interior se encuentran los imanes que definen el campo magnético, uno de los soportes tiene una superficie plástica y en el interior una conexión para el campo eléctrico. Cuatro barras de acero inoxidable pasaran por los

agujeros guía de las anillos permitiendo acercar o alejar el deflector al sistema de adquisición. El deflector montado se puede observar en la figura 4.4.



Figura 4.4: Ensamble deflector.

4.3 Sistema de vacío

El sistema de vacío es esencial tanto para la generación del plasma como para el correcto funcionamiento de las MCP.

4.3.1 Requerimiento de vacío en las MCP

Los detectores MCP son muy delicados y se deben cumplir requisitos para su mantenimiento y uso.

Debido a su estructura y la naturaleza de los materiales utilizados en su fabricación, toda manipulación debe ser cuidadosa. Se recomiendan encarecidamente las siguientes precauciones.

Los contenedores en los que se envían placas de microcanales no son adecuados para los períodos de almacenamiento superior a la hora de entrega por lo que, pasado ese periodo de tiempo, deben ser almacenadas adecuadamente.

El entorno de almacenamiento más eficaz a largo plazo para un MCP es un vacío libre de aceite de menos 10^{-4} torr.

Se debe tener precaución en el manejo de las MCP, las cuales siempre deben manipularse en un entorno limpio, utilizando guantes, evitando cualquier contacto de algún objeto con el área activa de la MCP.

Los voltajes no deben ser aplicados al dispositivo mientras se encuentra a presión atmosférica, la presión debe ser 1×10^{-5} o inferior en la placa microcanal para poder aplicarlo.

Un pobre ambiente de vacío puede acortar la vida de la MCP o cambiar sus características de operación.

La presión ideal de trabajo es de 1×10^{-6} torr ($1,33 \times 10^{-6}$ mbar) ya que mayor presión puede resultar en un alto ruido de fondo debido a la retroalimentación de iones.

Logrado un vacío satisfactorio, este se debe mantener por 15 horas antes de ser aplicado el voltaje.

4.3.2 Pruebas de vacío en la cámara de espectrómetro

Debido al sistema de detección MCP, la cámara del espectrómetro deberá ser capaz de mantener una presión del orden de 10^{-5} mbar con gas en la cámara inferior correspondiente al dispositivo plasma focus. En estas, dependiendo de la configuración y energía del dispositivo PF-400J o PF-2kJ, la presión puede variar entre los 9 y 11 mbar.

Inicialmente se hace una prueba de vacío solo en la cámara del espectrómetro para observar la mínima presión a la que es capaz de llegar.

Utilizar solo la bomba mecánica que se utiliza comúnmente en las descargas tipo plasma focus no es suficiente ya que según especificaciones, puede hacer un vacío hasta el orden de 10^{-3} mbar, esto fue comprobado en la cámara del espectrómetro la cual llegó hasta 2×10^{-3} .

Para conseguir el alto vacío requerido, se utiliza además una turbo LEYBOLD la cual es anexada al sistema y se logran presiones de 4×10^{-5} .

Llegar a este vacío es importante para evitar rupturas de voltaje ya sea entre los anillos, la fibra óptica o entre los mismos microcanales de las MCP, no llegar a este vacío podría producir algún daño al sistema de adquisición.

Para observar la capacidad de la cámara para mantener vacío se aísla la cámara de la turbo y la bomba mecánica mediante cierre de válvulas y se observa como empieza a subir la presión. Los resultados de este experimento se pueden observar en la figura 4.5.

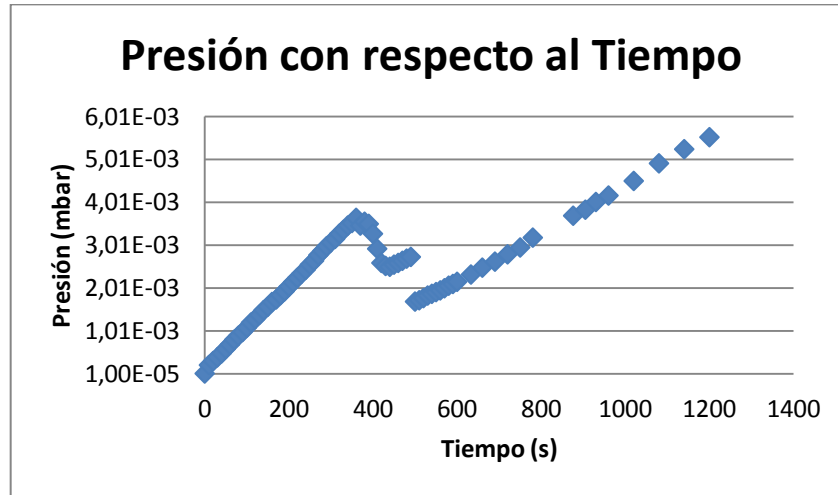


Figura 4.5: Aumento de presión en la cámara aislada.

De la figura se puede observar que la presión aumenta linealmente hasta cierto punto en donde empieza a fluctuar entre el rango de 1×10^{-3} y 4×10^{-3} mbar para luego volver a un comportamiento lineal con una pendiente diferente. Esta fluctuación es posible que sean provocadas por el sensor de presión ya que no tiene sentido que la cámara vuelva a disminuir su presión estando aislada. Los sensores de presión de amplio rango tienden a tener dos sistemas de medición uno para muy bajas presiones y otro para presiones no tan bajas, para este caso se observó que existe un desfase en los sensores entre los dos sistemas de medición debido a que al observar como bajaba la presión también se observaron fluctuaciones en el rango entre 5×10^{-4} y 5×10^{-3} mbar.

Con algunas modificaciones se logra llegar hasta presiones de 6×10^{-6} mbar.

Si bien es un vacío dentro del rango permitido para las MCP aun presente riesgos de alguna ruptura entre las microfibras de las MCP eso sin contar con el ruido de fondo que se podría obtener según las especificaciones técnicas antes mencionadas. Las MCP son delicadas y de muy alto costo, por lo que es preferible lograr el vacío adecuado.

4.3.3 Definición del pin-hole

Si bien la cámara logra presiones del orden de 10^{-6} mbar, en el montaje para medir las partículas de plasma, esta no está sellada completamente, sino que unida a la cámara del dispositivo plasma focus a través de un pinhole. Es por esto que es necesario definir un pinhole que permita mantener una presión máxima de 1×10^{-5} mbar teniendo una presión en la cámara inferior de 11 mbar.

Si esto no se logra de forma directa, una opción es hacer un doble vacío diferencial, es decir, colocar una conexión de poco volumen (como un T) entre la cámara donde se genera el plasma y la del espectrómetro, cada extremo con su respectivo pinhole, conectado a un conducto de bombeo independiente.

Un doble pinhole de la misma dimensión puede presentar problemas de alineación o un filtrado excesivo de partículas, por lo que es preferible utilizar un pinhole de mayor diámetro que el otro. La definición del pinhole dependerá de la potencia del sistema de bombeo y el nivel de resolución requerido para la imagen en la MCP.

4.4 Conexiones eléctricas y pruebas de alto voltaje.

Se realizaron las conexiones eléctricas de la figura 4.3 vista en el punto 4.1 y se hicieron pruebas a alto voltaje sin la fibra óptica y las MCP para observar si existía ruptura entre los anillos.

A presión atmosférica no hubo ruptura dentro de los voltajes aplicados, en el caso del anillo que sujeta la fibra óptica 2200 V y en el caso del anillo que soporta la MCP -1200 V.

4.4.1 Aplicación de voltaje a las MCP

Se recomienda, para no disminuir el tiempo de vida de la MCP, utilizar el menor voltaje necesario para obtener la señal deseada.

El sistema MCP se puede configurar para medir partículas positivas o negativas (electrones o iones negativos), de ello dependerán los voltajes y posición de la tierra. En el caso de este

trabajo interesa medir partículas que libera el plasma, por lo que se utiliza la configuración para partículas positivas la cual se observa en la figura 4.7.

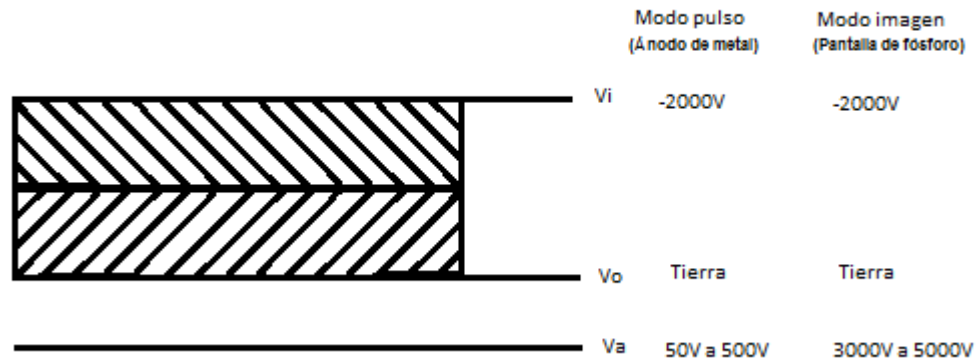


Figura 4.6: Configuración para medir iones positivos y sus conexiones eléctricas.

En este caso se desean medir partículas positivas con una fibra óptica con recubrimiento de fósforo, por lo que se utilizará los voltajes del modo imagen. Sin embargo los voltajes a utilizar en V_a seguramente sean del orden de 2,2 KV.

Para la aplicación del voltaje se debe seguir el siguiente procedimiento:

Hacer todas las conexiones pertinentes revisando si hay posibles cortes o circuitos abiertos.
Hacer vacío por debajo de 2×10^{-6} torr por al menos 15 horas.

Conectar a tierra la salida de la tierra (V_0) del montaje. Aplicar voltaje (V_a) al anillo que hace contacto con la pantalla de fósforo en +250 V, esperar 1 minuto e incrementar hasta llegar a +1 kV.

Aplicar voltaje al conjunto de entrada (V_i) en -100 V, luego de 2 minutos incrementar hasta llegar a -1kV.

Aumentar el Voltaje de V_a en +100V, luego de 5 minutos incrementar hasta + 2 KV. Esperar 5 minutos. Aumentar el Voltaje de V_a en +100V, luego 10 minutos incrementar hasta +3 kV. Esperar 5 minutos.

Ajustar el voltaje a V_i en -100V, luego de 10 minutos incrementar hasta -1.5kV.

Capítulo 5

5 Resultado y análisis

Con las pruebas de vacío se repara en que aun se debe lograr mayor aislación y mayor potencia de bombeo para obtener una medición fiable y sin riesgo para la fibra óptica o las MCP's y para ello se necesitan más recursos, como una bomba de vacío con mayor potencia y conectores eléctricos de vacío de mayor calidad. Sin embargo, las partes funcionan de forma independiente y no hay rupturas eléctricas en el montaje del sistema de adquisición, todas las piezas diseñadas encajan y cumplen su función.

Una de las hipótesis de la falta del vacío necesario es que la pieza de acrílico que sella la cámara no es apropiada para vacíos mayores a 10^{-5} mbar, ya sea porque logre filtrar aire o porque aun tiene particulado que necesita limpiarse lo cual puede llevar mucho tiempo. Esto se demostró al cambiar el acrílico por la pieza de vidrio del diseño original, esto se logra al refrentar la cámara para que esta quede nivelada y se evite que el material se quibre. Con este montaje se logran presiones de hasta 6×10^{-6} mbar.

La MCP's son sensores diseñados para medir iones cargados por lo que si se siguen las instrucciones antes mencionadas no debiera haber problema en lograr obtener una imagen con el sistema como lo muestran resultados obtenidos recientemente en el laboratorio Engineering Research Center ECR de la universidad del estado de Colorado, quienes trabajan en colaboración con el DPTN utilizando un dispositivo similar al construido con el mismo sistema óptico de medición, para la medida de iones en plasmas generados por láser. Estos resultados dan una idea de lo que se espera obtener una vez logradas las condiciones óptimas de vacío.

El laboratorio Engineering research center nos ha facilitado una imagen de sus primeros resultados con el sistema. Esta se puede observar en la figura 5.1.

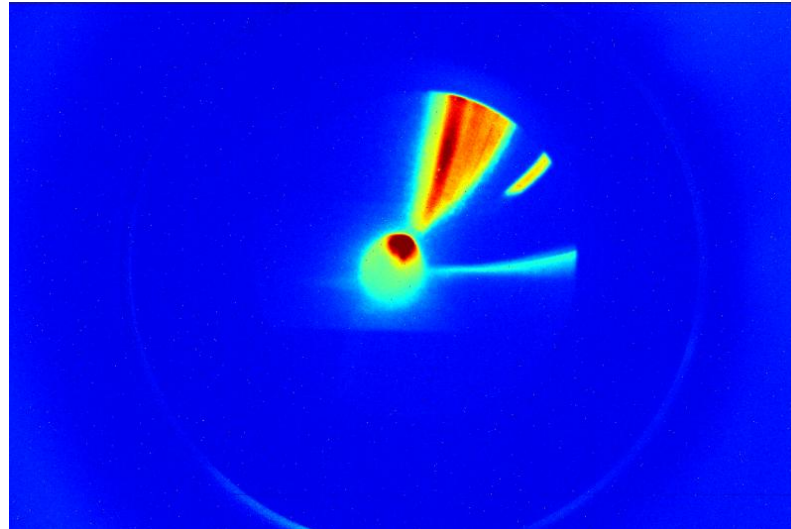


Figura 5.1: Resultados obtenidos por Engineering Research Center USA [21].

Estos resultados preliminares muestran una resolución baja para la capacidad de resolución de la MCP, lo cual indica que aun no se ha logrado una buena correspondencia entre el tamaño del pinhole apropiado para el vacío y para la resolución del haz de iones.

Al observar la imagen se pueden apreciar, que si bien los resultados no son los más óptimos, tanto con las MCP como con las CR-39, las MCP presentan ventajas frente al sistema con CR-39. Algunas de estas ventajas se pueden observar en la tabla de comparación 5.1

MCP	CR-39
Imagen instantánea.	Revelado de 4 a 6 horas.
Imagen clara.	Imagen difusa y poco clara.
Repetitividad de experimento instantánea bajo mismas condiciones.	No hay repetitividad debido a que hay que abrir el sistema para sustituir la película por una nueva.
Representa los iones de un solo disparo.	Representa los iones de muchos disparos.
Requiere alto vacío (2×10^{-6} mbar).	No requiere de muy alto vacío (10^{-3} mbar).
Tiempo de preparación del equipo (Aproximadamente 16 horas)	Tiempo de preparación del equipo (Aproximadamente 1 hora)
Tiempos de espera sin necesidad de monitoreo constante.	Tiempos de espera con necesidad de monitoreo contante.

(Vacío)	(Revelado)
---------	------------

Tabla 5.1: Ventajas y desventajas del sistema MCP frente al sistema con CR-39.

5.1 Aplicaciones

Como mencionamos anteriormente un espectrómetro de Thompson tiene muchas aplicaciones en la ciencia, sin embargo, aplicaciones para dispositivos plasma focus no son posibles con espectrómetro del mercado ya que estos la mayoría cuenta con su propia cámara ionizante no siendo compatibles con el dispositivo plasma focus. Otros sistemas de adquisición compatibles como el CR-39 han demostrado ser poco precisos y tomar mucho tiempo entre una muestra y otra.

Por esta razón, el integrar un sistema de detección MCP hace posible una medición de mayor calidad, obteniendo directamente resultados, convirtiendo así este espectrómetro en un monitor capaz de mostrar en tiempo real la energía y el tipo de partículas de una determinada muestra.

Muchos de los espectrómetros utilizados en otras áreas de la ciencia cuentan con un sistema electrónico que traduce los resultados obtenidos, sin embargo, estos sistemas pueden no estar bien calibrados o presentar errores que serían difícilmente notorios. Con el sistema MCP se puede monitorear los resultados y compararlo a un espectrómetro tradicional y así poder comprobar su funcionamiento.

Sin embargo la motivación de este trabajo es utilizar este sistema en un dispositivo plasma focus para identificar las partículas que libera un plasma al utilizar algún gas en la cámara como hidrógeno o deuterio, esto con fines científicos, ya que el estudio de dispositivos plasma focus es interesante para la probabilidad de lograr fisión nuclear.

Bajo una perspectiva aplicada a la industria una aplicación podría ser implementar ese sistema a la implantación iónica utilizada en el área de física de materiales.

La implantación iónica consiste en bombardear iones seleccionados en una cámara de vacío ($<10^{-4}$ mbar) sobre la superficie de un material, con una energía situada entre 50 a 200 KeV. Los iones penetran violentamente la superficie del material, y a continuación se detienen y pierden su energía, a lo que siguen cascadas de colisiones con los átomos.

Este método permite, modificar la estructura de un material a una profundidad de una fracción de un micrón, sin necesidad de añadir una capa adicional (no se trata de un proceso de revestimiento).

Se puede utilizar para mejorar el coeficiente de fricción, la resistencia al desgaste por adherencia y la dureza de la superficie de polímeros y metales. Endurecimiento de la superficie

del material, que se hace muy resistente al desgaste, particularmente al desgaste por adherencia; Reducción de la fricción, lo que reduce el agarrotamiento; Aumento del límite de fatiga de hasta en un 30%; Tratamiento superficial sin aumento de temperatura (metalurgia en frío); Resistencia a la corrosión significativamente mejorada.

El proceso se lleva a cabo a nivel local y en piezas que ya están totalmente mecanizadas; se puede aplicar a metales, polímeros o elastómeros y no presenta distorsión geométrica. [22]

Capítulo 6

6 Conclusión

Se diseñó un espectrómetro con un sistema de detección a tiempo real bajo las condiciones y parámetros apropiados para utilizar este sistema en un dispositivo plasma focus. Se mecanizaron las piezas según lo establecido, produciéndose leves cambios según los consejos de los ingenieros mecánicos que no presentaron cambios en el funcionamiento del espectrómetro.

Se realizaron pruebas de vacío obteniendo presiones de hasta 6×10^{-6} mbar en la cámara del espectroscopio, que sin embargo se encuentra en el límite de lo permitido para la utilización de las MCP's por lo que por precaución no se probó el sistema conectado a la cámara del dispositivo plasma focus como se tenía previsto.

Con el objetivo de tener una idea de los resultados que se pueden obtener con este sistema logrando las condiciones de vacío adecuadas, el laboratorio Engineering Research Center, USA, ha permitido mostrar uno de sus primeros resultados con el mismo sistema de detección desarrollado paralelamente utilizando un diseño equivalente. Esta imagen muestra resultados muy similares a los observados en las simulaciones que presentan una gran ventaja frente al sistema de adquisición con placas CR-39.

Paralelamente se realizaron múltiples experimentos con láminas CR-39 que no mostraron resultados claros y precisos demostrando las ventajas que el nuevo sistema ofrece.

Se puede concluir entonces que se los objetivos fueron logrados, ya que fue diseñado y construido el sistema de adquisición propuesto y se evidencian las ventajas del sistema frente a las CR-39 al compararlo con el potencial que presenta un sistema que incorpore las MCP como detector de partículas.

Capítulo 7

7 Trabajos futuros

Como trabajos futuros se propone es lograr un buen vacío para adquirir una imagen que demuestre la calidad y ventajas del sistema, el desarrollo de un electro imán para la variación del campo eléctrico sin alteración del sistema, el desarrollo de un algoritmo capaz de deducir la naturaleza del ion y su energía a partir de los valores de campo eléctrico y magnético en conjunto con un análisis de imágenes y el análisis los iones en los dispositivos plasma focus PF-400J y PF-2kJ.

8 Bibliografía

- [1] (traducción), Ortiz Tapia A, «Aldebaran,» 2005. [En línea]. Available: http://www.aldebaran.cz/astrofizika/plazma/basics_es.html.
- [2] Laboratorio Nacional De Fusión, «CIEMAT - El confinamiento,» [En línea]. Available: http://www-fusion.ciemat.es/New_fusion/es/Fusion/confinamiento.shtml. [Último acceso: 2011 Abril 7].
- [3] M. a. liberman, J. s. D. groot, A. Toor y R. B. spielman, Physics of high density z-pinch plasmas, Springer Science & Business medios; 277 h, 2012.
- [4] D. Morales, «Construcción y caracterización de un dispositivo plasma focus y prueba de diagnóstico de iones,» Santiago, Chile, 2014.
- [5] F. Casanova, «Diseño asistido por computadora para la ingeniería de focalizadores de plasma. Tesis doctoral en ciencias de la ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo,» Febrero 2008. 152 h..
- [6] «ENEA,» [En línea]. Available: <http://web.brasimone.enea.it/plasma/plasma1.htm>.
- [7] G. P. Villa, «Maestría en ciencias bioquímicas,» [s.n], Cuernavaca, Morelos, 2003.
- [8] T. Martín, A. serrano y U. P. d. M. (. -. España., «Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal,» [En línea]. Available: <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/espectrometro.html>.
- [9] «Ecu Red,» [En línea]. Available: http://www.ecured.cu/index.php/Espectr%C3%B3metro_de_masas.
- [10] D. J. Manura y D. A. Dahl, «Simion Version 8.0/8.1 User Manual,» Unates Estates of América, 2011.
- [11] H. Buhuyan, H. Chuaqui, M. Favre y I. M. a. E. Wyndham, *J Phys. D: Appl. Phys.* 38, 1164-1169, 2005.
- [12] HANAMATSU, «Thecnical information MCP assembly».

- [13] «PHOTONIS USA, INC,» [En línea]. Available: <http://www.photonis.com/en/content/133-ism-mcp-reference-list>.
- [14] C. Dorronsoro, «Página web de Carlos Dorronsoro,» [En línea]. Available: <http://www.moreno-barriuso.com/carlos/CarlosDorronsoroTubosIntensificadores.htm>.
- [15] A. Hernandez Melgar, «Espectrómetro de masas,» [s.n], 2009.
- [16] C. H. F. M. M. I. a. E. W. BHUYAN H, «Ion beam emission in a low energy plasma focus device operating with methane.,» *J. Phys. D: Appl. Phys*, vol. 38, p. 1164, 2005.
- [17] C. DZP, NAPA, California USA, 3-7 agosto de 2014.
- [18] G. Avaria, O. Cuadrado, J. Moreno y L. Soto, «Time resolved visible spectroscopy studies of the plasma sheath evolution in a low energy plasma focus device,» de *15th Latin American Workshop on Plasma Physics (LAWPP2014); Journal of Physics: Conference Series 591 (2015) 012024*, San José, Costa Rica, 2014.
- [19] J. Moreno, D. Morales, G. Avaria, O. Cuadrado y L. Soto, «Ion emission study using visible spectroscopy and ToF method in a plasma focus device of two kilojoules».
- [20] «PHOTONIS USA, INC,» [En línea]. Available: <http://www.photonis.com/en/ism/38-longlife-microchannel-plates.html>.
- [21] E. R. Center, Universidad des estado de Colorado USA, Octubre 2015.
- [22] Bodycote, «Proveedor líder de servicios de procesamiento térmico en todo el mundo,» [En línea]. Available: <http://www.bodycote.com/es-ES/services/heat-treatment/ion-implantation.aspx>.
- [23] «ANDOR and Oxford Instruments company,» [En línea]. Available: <http://www.andor.com/spectrograph/shamrock-spectrograph-series/shamrock-500i>.
- [24] ANDOR TECHNOLOGY LTD, «AZO OPTICS,» 3 Septiembre 2010. [En línea]. Available: <http://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=309>.
- [25] M. Sánchez, A. L. d. Águila y A. Vallecillo, «Departamante de Fisica y Química del IES "Leonardo Da Vinci",» [En línea]. Available: <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Electromagnetismo/Electromagneti>

smo07b.htm.

[26] A. Corral Payá, «Fundamentos y funciones de la espectrometría de masas,» [s.n], Valencia, 2006.

[27] «TLV INTERNATIONAL, INC.,» [En línea]. Available:
<http://www.tlv.com/global/LA/calculator/air-flow-rate-through-orifice.html>.

9 Glosario

9.1 Espectroscopia

En el capítulo 2 sección 2 se muestran gráficos de intensidad con respecto a la longitud de onda donde cada peak representa algún elemento ya sea en su estado neutro o ionizado, estos datos fueron medidos con un espectrómetro de imágenes Andor Shamrock-500i, en conjunto con una cámara ICCD-576 de Princeton Instruments.

Shamrock-500i, es un espectrómetro que se basa en la configuración Czerny-Turner, este se puede observar en la figura 9.1.



Figura 9.1: Andor Shamrock-500i [23]

El montaje experimental utilizado para la obtención de datos consiste en un arreglo óptico orientado a la parte de del ánodo o etapa del pinch que se quiera observar. Unas fibras ópticas llevan la información hasta es espectrómetro el cual separa las longitudes de onda es espectro las cuales son captadas por la cámara ICCD. Un esquema del montaje se observa en la figura 9.2

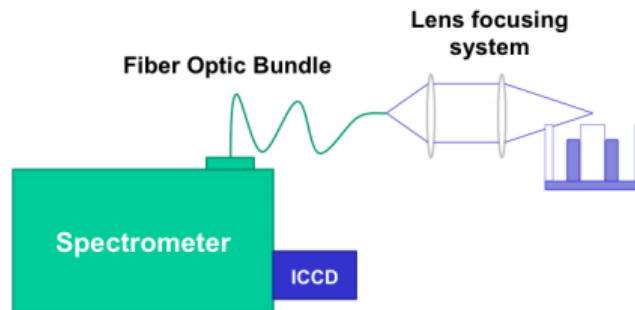


Figura 9.2: Esquema de montaje experimental [18]

9.1.1 Configuración óptica Czerny-Turner

La configuración de espectrógrafos más ampliamente utilizada para la espectroscopia Raman es la Czerny-Turner. El espectrómetro Czerny-Turner hace uso de espejos como colimadores en una configuración fuera de eje y emplea una rejilla reflectante plana en el espacio colimado [24], como se ilustra en la figura 9.3.

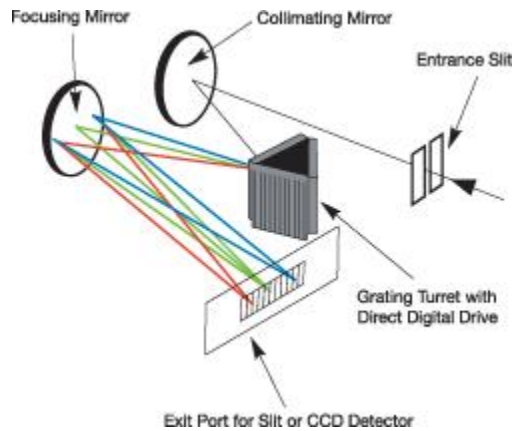


Figura 9.3: Esquema de configuración Czerny turner [24].

9.2 Efecto Hall

El efecto Hall se produce cuando se ejerce un campo magnético transversal sobre un cable por el que circulan cargas. Según la ley de Lorentz, la fuerza magnética ejercida sobre ellas es perpendicular al campo magnético y a su velocidad, las cargas son impulsadas hacia un lado del conductor y se genera en él un voltaje transversal o voltaje Hall (V_H).

La figura 9.4 muestra un dispositivo experimental destinado a medir el voltaje Hall. Sobre una corriente eléctrica actúa un imán que produce un campo magnético (B). La fuerza magnética (F_m) desvía a las cargas móviles hacia uno de los lados del cable, lo que implica que dicho lado queda con carga de ese signo y el opuesto queda con carga del signo contrario. En consecuencia, entre ambos se establece un campo eléctrico y su correspondiente diferencia de potencial o voltaje Hall.

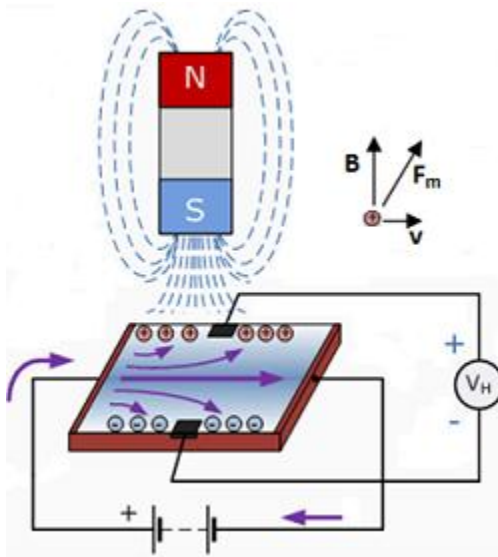


Figura 9.4: Experimento para medir voltaje Hall [25]

La obtención experimental del voltaje Hall, permite deducir la velocidad de los portadores de carga y su concentración, puesto que, desde que se alcanza la situación estacionaria, la fuerza eléctrica ejercida sobre cada carga (ecuación 1.3) se equilibra con la fuerza (ecuación 1.6). De ello se deduce que el voltaje Hall es directamente proporcional a la corriente eléctrica y

al campo magnético y es inversamente proporcional al número de portadores por unidad de volumen. Por lo tanto, con un sensor de efecto Hall, se puede determinar la fuerza que ejerce un campo magnético si se conoce la corriente a la que se aplica dicho campo, y viceversa. [25]

10 Anexo

10.1 Manual de modo de uso de SIMION

Inicialmente SIMION muestra una ventana como la que se ve en la figura 10.1

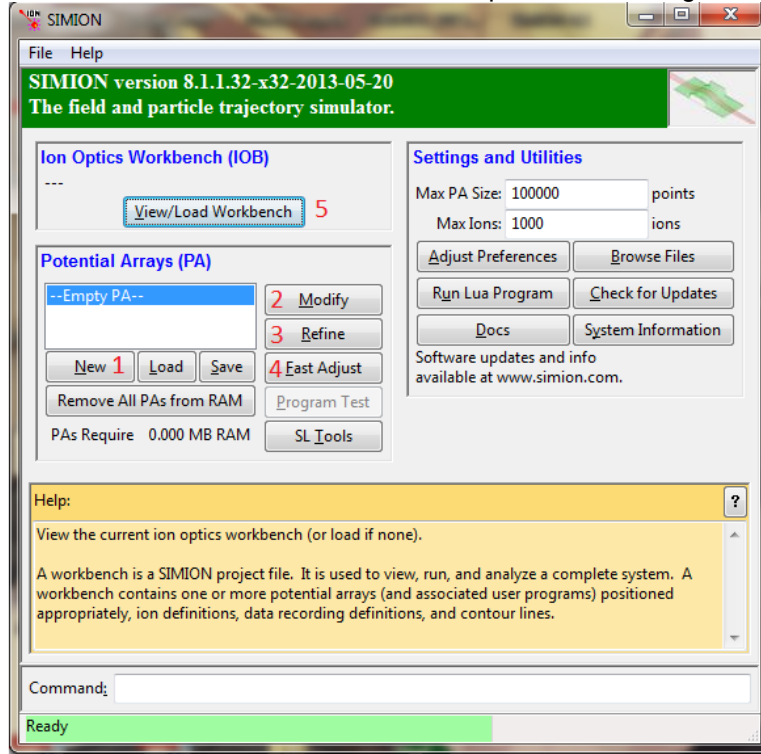


Figura 10.1: Ventana de inicio

Para crear una geometría primero se define el tipo de arreglo potencial, las coordenadas a utilizar (cartesianas o polares) y las dimensiones del arreglo, Para ello se debe hacer clic en NEW, (figura 10.1,1), lo que abrirá una ventana como la figura 10.2

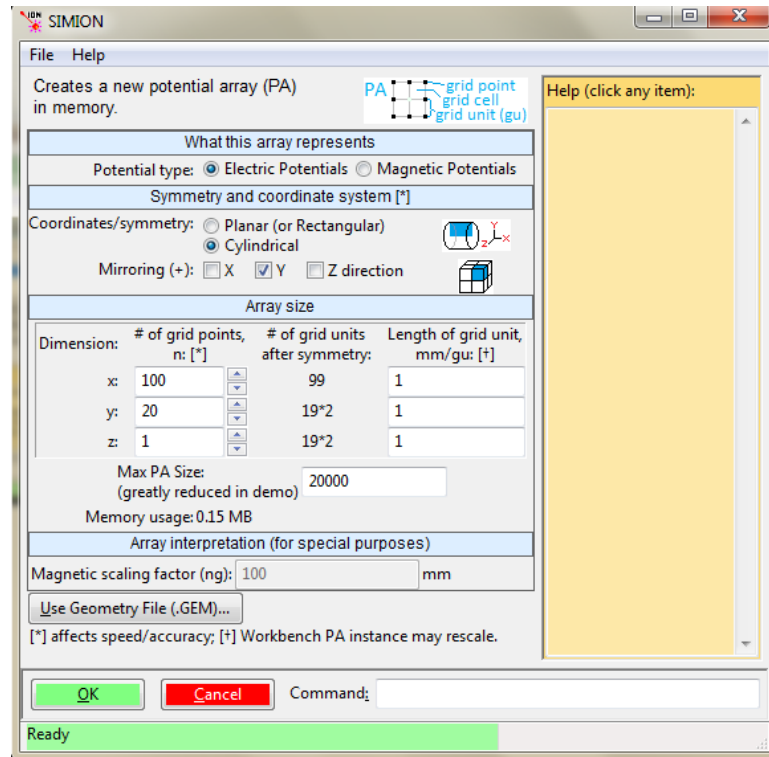


Figura 10.2: Ventana para crear arreglos potenciales.

Teniendo definida la base sobre la que se construye la geometría se presiona OK esto hará que vuelva a la ventana inicial

Se hace clic en el icono "Modify" (figura 10.2, 2) y se abre una ventana como la de la figura 10.3 en la cual se pueden dibujar los electrodos y entregarle valores de potencial, se puede crear más de un electrodo por geometría.

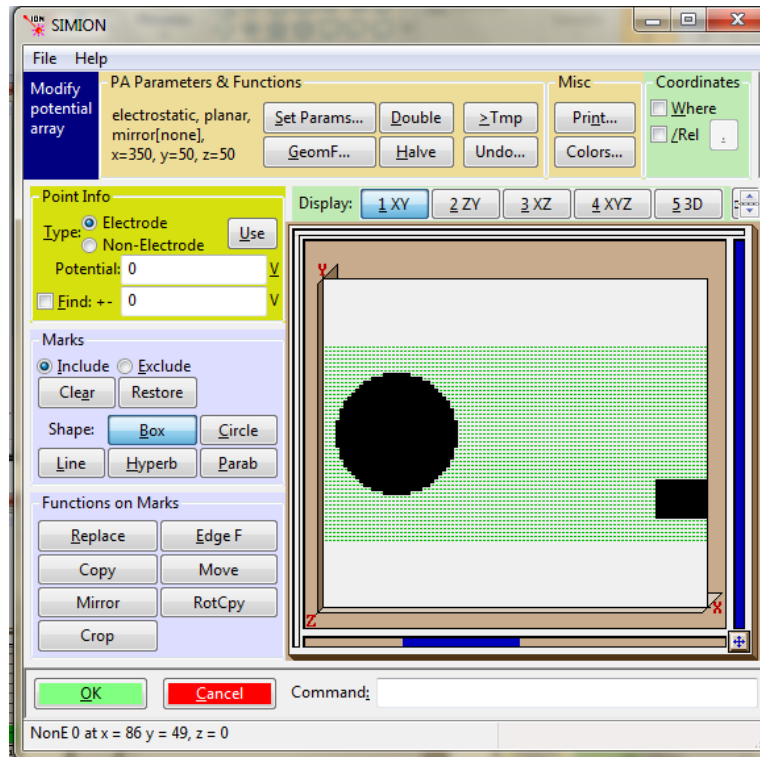


Figura 10.3: Ventana para crear geometrías.

Se debe guardar la geometría creada presionando “Save” y ingresando el nombre.pa#

Creadas las geometrías el programa entrega las soluciones para los electrodos definidos, esto se logra haciendo clic en Refine (figura 10.1, 3), el programa entregara archivos .PA0, .PA1, .PA2... dependiendo de la cantidad de electrodos definidos en la geometría.

Si se desea modificar el valor del potencial de los electrodos se puede acceder al ícono “Fast Ajust” (figura 10.1, 4) el que permitirá hacer cambios sin tener que volver a definir una nueva geometría.

Para acceder a la ventana de trabajo se hace clic en el ícono “view/load workbench”, (Figura 10.1, 5). Se abrirá una ventana donde aparecerá la geometría creada anteriormente. Si se desea trabajar como campo eléctrico y magnético, se puede abrir una segunda geometría idéntica acoplándola con el otro arreglo de potencial.

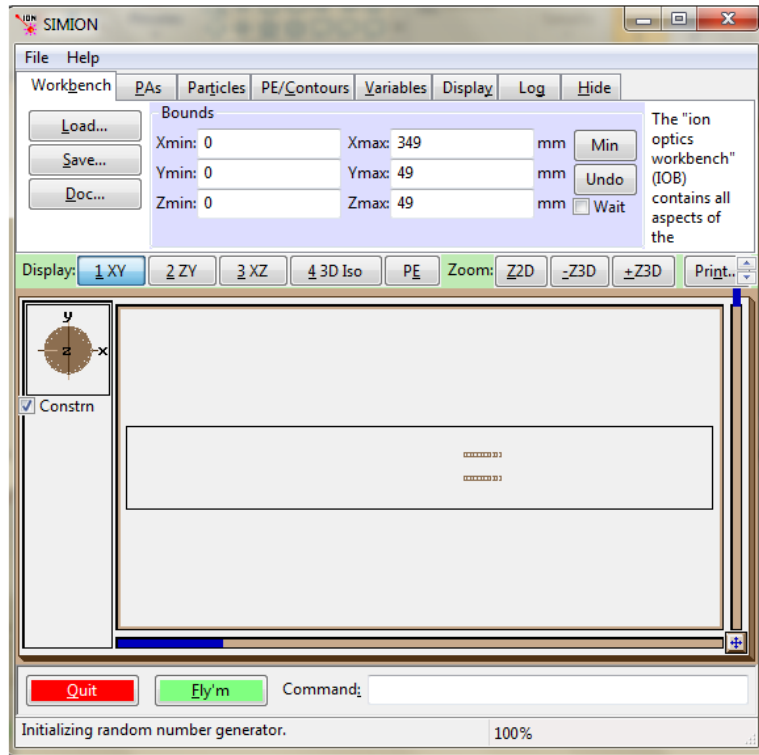


Figura 10.4: Ventana de trabajo.

En la ventana de trabajo se definen las partículas a utilizar, para ello se va a la ventana “particles” en la que se pueden definir partículas independientes o grupos de partículas con idénticas propiedades. Para tener partículas con diferentes propiedades, estas deben ser creadas por separado, pero pueden aplicarse simultáneamente.

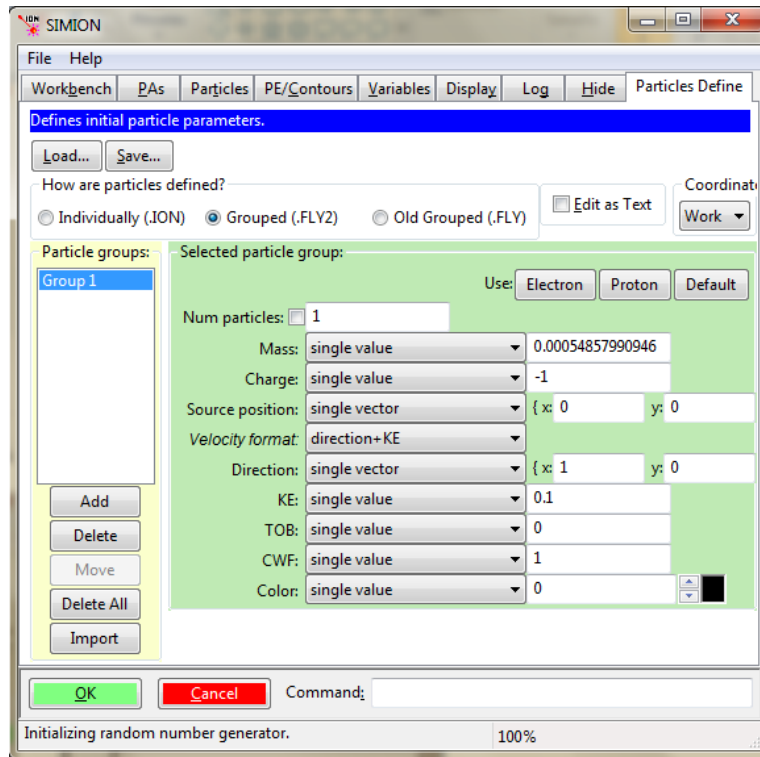


Figura 10.2: Pestaña para crear partículas.

El programa permite definir diversas variables para una o un grupo de partículas. Como se muestra en la figura 8.9, se puede definir masa, carga, posición inicial, tipos de distribución, velocidad, dirección, energía, cantidad (en caso de grupos de partículas), entre otros, lo que permite mucha flexibilidad y fidelidad al momento de definir las partículas del plasma.

En el caso de un grupo de partículas se guardan las partículas creadas con el nombre.FLY2

Hay que tener en cuenta de que al momento de definir posición inicial y dirección de las partículas sea coherente con la geometría creada anteriormente.