



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES , CACEI y CONACYT
Certificada en la norma ISO 9001:2015



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

Cuernavaca, Mor., a 14 de FEBRERO del 2020.

FORMA T-4A NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

DR. ARTURO MOLINA OCAMPO
MTRO. JUAN MANUEL ZAGAL SANCHEZ
DR. ALLAN RAINIER MEJIA ARANDA
DR. OLMO GONZÁLEZ MAGAÑA
DR. VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES
P R E S E N T E S

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:

TESIS

Titulado:

Diseño y simulación de una cámara de Townsend para el estudio de las propiedades de transporte electrónico en gases de baja presión de vapor

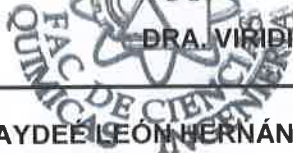
Que presenta el **C. TELLES ZEFERINO ALFONSO**

Del programa educativo de: **INGENIERÍA MECÁNICA**

ATENTAMENTE
Por una humanidad culta




DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA



D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQeI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTAMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
Aprobatorio	DR. ARTURO MOLINA OCAMPO	
APROBATORIO	MTRO. JUAN MANUEL ZAGAL SANCHEZ	
Aprobatorio	DR. ALLAN RAINIER MEJIA ARANDA	
Aprobatorio	DR. OLMO GONZALEZ MAGAÑA	OGM.
Aprobatorio	DR. VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES	

FAO/srpm



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CÁMARA DE
TOWNSEND PARA EL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES
DE TRANSPORTE ELECTRÓNICO EN GASES DE BAJA
PRESIÓN DE VAPOR**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:
ALFONSO TELLES ZEFERINO

ASESOR INTERNO:
DR. VÍCTOR MANUEL ZEZATTI FLORES.

ASESOR EXTERNO:
DR. OLMO GONZÁLEZ MAGAÑA



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

Cuernavaca, Morelos, Marzo de 2020

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres por los esfuerzos y sacrificios que han realizado para mi educación, que han sido la motivación y el pilar más grande para alcanzar esta meta, que a pesar de los días y el tiempo que no he estado con ustedes, siempre me brindaron amor, comprensión y me han impulsado a seguir adelante.

A mis hermanas y hermanos por los apoyos que me han brindado, por fomentar en mí el deseo de superación en la vida, por ser mi mayor motivación en ser una mejor persona que sirva de ejemplos para ustedes.

A la familia Arias León (doña bella, don tino) por ayudarles a mis padres a criarme varios años de mi vida, por inculcarme valores para la vida, por enseñarme cual era el buen camino, por corregirme en mis equivocaciones, por apoyarme para culminar esta etapa.

A doña Magdalena Santamaría y Don Honorio Valerio por la amistad y el apoyo incondicional recibido durante mi estancia en la universidad, por sus enseñanzas y compartir sus experiencias de vidas, conocimientos y consejos lo que me permitió ir forjando mi carácter para seguir adelante.

A cada una de las personas mencionada de todo corazón GRACIAS por apoyarme para culminar esta etapa, por esto y mucho más este logro también es suyo.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ciencias Físicas de la Universidad Autónoma de México (ICF-UNAM) por permitirme un espacio para llevar acabo las actividades de este trabajo de tesis.

Al Dr. Jaime De Urquijo Carmona su apoyo en la definición del tema de trabajo y consejos que me brindo para la realización de este trabajo de tesis.

A mis asesores de tesis, Dr. Olmo González Magaña y al Dr. Víctor Manuel Zezatti Flores por su valiosa dirección, asesoría, consejos y su apoyo durante la realización de este trabajo de tesis.

Al ingeniero Armando Bustos Gómez y al ingeniero Guillermo Gerardo Bustos Maya por su apoyo, consejos y asistencia técnica.

Mi agradecimiento al comité revisor de este trabajo de tesis por sus observaciones y recomendaciones realizadas.

Al ingeniero Héctor Hugo Hinojosa Galván por su apoyo y asistencia técnica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada.

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT proyectos IN104718 y IA104520

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta el diseño mecánico de los componentes para una nueva cámara de Townsend con modificaciones en su diseño para estudiar las propiedades de transporte electrónico en gases de baja presión de vapor. Se presentan también los resultados de la simulación de campos eléctricos mediante un software especializado de análisis y resolución por métodos de diferencia finita (SIMION), para obtener la configuración óptima de los electrodos instalados dentro de la cámara, que garantiza un campo eléctrico homogéneo entre los electrodos, lo que es muy importante para el buen funcionamiento de la técnica pulsada de Townsend. De acuerdo con la simulación, el arreglo de electrodos que satisface el requerimiento de un campo eléctrico homogéneo consta de un capacitor de placas paralelas formado por electrodos planos, bordes redondeados y separados entre sí por una distancia de 280 mm; se cuenta además con un sistema de anillos metálicos de guarda para estabilizar el campo eléctrico. El sistema de anillos de guarda consta de nueve piezas de acero inoxidable no magnético, con dimensiones de 175 mm de diámetro interno y 29 mm de espesor. Además, se cuenta con un anillo extra al final del arreglo cuyo espesor es de 58 mm. Los anillos se colocan separados entre sí por una distancia de dos milímetros, y se les aplica una diferencial de potencial que disminuye gradualmente a pasos constantes, producida por un divisor de voltaje formado por nueve resistencias de 1.8 M Ω .

La estructura de la cámara principal y del ánodo es de acero inoxidable y aluminio para cátodo, los soportes de los electrodos están fabricados en teflón para lograr el aislamiento eléctrico entre ellos.

Los electrodos tienen un diámetro de 120 mm y un espesor de 12.70 mm. El ánodo tiene una perforación de 20 mm de diámetro al centro para permitir el paso desde el exterior de un haz de un láser, en la perforación se coloca una malla de cobre para uniformizar el campo eléctrico entre los electrodos

Por medio de un software de diseño se hace un análisis estático a cada uno de los componentes de la cámara, este análisis calcula el desplazamiento, las deformaciones unitarias, las tensiones y la distribución del factor de seguridad.

El análisis se enfocó en la placa del soporte del sistema de anillos y los componentes de los electrodos de la nueva cámara. Un análisis confiable en esta pieza es muy importante debido a que va a soportar todo el peso del sistema del capacitor.

La carga utilizada para realizar el estudio fue de 157 N, equivalente a soportar una masa de 16 Kg. De acuerdo a los resultados de la simulación se concluye que el material y el espesor propuesto es apto para el diseño de la pieza, ya que el Teflón tiene un límite elástico de 9 MPa y la tensión de Von Mises máximo es de 0.1799 MPa, es decir, se está dentro del parámetro del límite elástico del material.

Como resultado de este trabajo, el laboratorio de Plasmas de Baja Temperatura del ICF-UNAM cuenta ahora con un diseño funcional para la construcción de la cámara de Townsend para el estudio de las propiedades de gases de baja presión de vapor, que permitirá abrir una nueva línea de investigación en este laboratorio que estudie las propiedades de gases de interés biológico como THF (C_4H_8O) y THFa ($C_6H_{10}O_2$).

CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	X
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 primeros estudios de las descargas eléctricas en gases	2
1.2 antecedentes.....	5
1.3 planteamiento del problema	6
1.4 justificación.....	6
1.5 objetivo de la tesis.....	8
CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.	9
2.1 descripción del sistema actual de la cámara de townsend.....	9
2.2 medición de parámetros de transporte de partículas cargadas en gases	11
2.2.1 parámetro E/N	11
2.2.2 velocidad de arrastre electrónica (v_e)	11
2.2.3 movilidad electrónica (μ)	12
2.2.4 captura electrónica	12
2.2.5 coeficiente de difusión	13
2.2.6 coeficiente de ionización efectiva (α_e).....	13
2.2.7 técnica pulsada de townsend	14
2.3 presión de vapor.....	15
2.4 programas de diseño mecánico y simulación de campos eléctricos	15

2.5 materiales para la cámara de vacío	19
2.5.1 acero inoxidable	19
2.5.2 teflón.....	21
CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.....	23
3.1 caso i. configuración original que tiene actualmente la cámara	25
3.2 caso ii. separación de 110 mm entre electrodos	27
3.3 caso iii. implementación de 29 anillos de acero inoxidable de 200 mm de diámetro	29
3.4 caso iv. implementación de 10 anillos de acero inoxidable de 194 mm de diámetro.	31
CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND	34
4.1 requerimientos.....	35
4.2 arreglo experimental de la actual cámara de townsend	36
4.3 diseño de los componentes de la cámara de townsend.....	37
4.3.1 ensamble del sistema ánodo.....	41
4.3.2 ensamble del sistema de cátodo	44
4.3.3 ensamble del sistema de anillo	47
4.4 simulación mecánica	51
CAPITULO 5 CONCLUSIONES.	55
TRABAJOS A FUTUROS.....	55
REFERENCIAS.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación tensión- corriente antes de la descarga (Sanchez, 2002)	3
Figura 2. Representación de creaciones de electrones libres (Sanchez, 2002).....	4
Figura 3. Variación de la corriente en función de la distancia (Sanchez, 2002)	4
Figura 4. Capacitor de la cámara de Townsend actual. La separación entre electrodos es de 30mm.	6
Figura 5.cuerpo principal de la cámara que cubre el sistema del capacitor.	9
Figura 6. Placa circular de acero inoxidable, colocada en la base del cuerpo principal.	10
Figura 7.Trayectoria de electrones al colisionar (vista microscópica)	12
Figura 8. Esquema de difusión.....	13
Figura 9. Proceso de diseño empleando la herramienta CAD.....	16
Figura 10.proceso de simulación en SIMION.....	17
Figura 11. Proceso de diseño en solidworks	18
Figura 12. Corte transversal de la cámara y sus principales componentes (electrodos).	25
Figura 13. Distribución de líneas de campo eléctrico a detalle cercano a los electronos con separación de 31 mm entre electrodos obtenida a partir de SIMION y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.	26
Figura 14. Distribución de líneas de campo eléctrico a detalle cercano a los electronos con separación de 110 mm entre electrodos obtenida a partir de SIMION y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.	27
Figura 15. Variación de separación entre electrodos de 31 a 300 mm	28
Figura 16. Configuración con sistemas de 29 anillos de guarda de espesor 1.32 mm	29
Figura 17. Distribución de líneas de campo eléctrico a detalle cercano a los electrodos con separación de 300 mm entre electrodos de 200 mm de diámetro a 5000 V. y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.	30
Figura 18. Configuración del sistema con 10 anillos de guarda de un espesor de 29 mm.	31

Figura 19. Distribución de líneas de campos eléctricos a detalle cercano a los electrodos con sistemas de anillos de guarda entre electrodos de 120 mm de diámetro y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio. ...	32
Figura 20. Variación porcentual de campo eléctrico entre electrodos de 270 a 300 mm, en donde la variación porcentual representa la diferencia entre el campo eléctrico final y el campo eléctrico inicial y dividido por el campo eléctrico inicial en términos de un porcentaje.....	33
Figura 21. Cámara de acero inoxidable.	34
Figura 22. Anillos de guarda, vistas en CAD	35
Figura 23. Arreglo de capacitor de la cámara actual	36
Figura 24. Configuración de capacitor de la cámara	37
Figura 25. Componentes del capacitor.....	38
Figura 26. Dimensiones del arreglo para el capacitor.	38
Figura 27. Puertos de la cámara principal.....	39
Figura 28. Vistas ortogonales de la cámara principal,.....	40
Figura 29. Ánodo.....	41
Figura 30 Soporte aislante para ánodo	42
Figura 31 vista explosionada del sistema de ánodo.....	43
Figura 32. Cátodo.....	44
Figura 33. Base aislante para los anillos de guarda y cátodo	45
Figura 34 vista explosionada del sistema de cátodo	46
Figura 35. Sistema de anillos	47
Figura 36. Esquema eléctrico del divisor de voltaje	48
Figura 37.Vista isométrica de la cámara de Townsend y esquema simplificada... ..	49
Figura 38.Vista explosionada del ensamblaje de la cámara de Townsend	50
Figura 39. Soporte para el sistema del capacitor.	51
Figura 40. Distribución de las fuerzas.	53
Figura 41. Desplazamiento resultante en el análisis de la pieza.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable (Norton, 2011)	20
Tabla 2. Propiedades mecánicas de algunos plásticos de ingeniería (Norton, 2011)	22
Tabla 3. Propiedades mecánicas del Teflón (International, 2009)	52
Tabla 4. Resultados del análisis de la placa	53

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

CAD	diseño asistido por ordenador
CF	brida ConFlat
D	coeficiente de difusión
E	magnitud del campo eléctrico
i_0	corriente de saturación
J	número de moléculas por unidad área y unidad de tiempo
K	constante de Boltzman
KF	brida Klein Flansche (brida pequeña)
MPa	megaPascal
M Ω	megaohm
N	densidad numérica del gas
N	Newton
n_0	número de electrones
PA	arreglo potencial
PTFE	politetrafluoroetileno (teflon)
Td	unidad Townsend
THF	Tetrahidrofurano
THFa	Alcohol tetrahidrofurfurílico
TPT	Técnica Pulsada de Townsend
μ	movilidad electrónica
V	voltaje
α	coeficiente de ionización por impacto electrónico
v_d	velocidad de deriva
v_e	velocidad de arrastre electrónica
X	distancia de separación entre electrodos
α_e	Coeficiente de ionización efectiva

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se han desarrollado equipos para estudiar las características de los plasmas de baja temperatura como son sus propiedades de transporte electrónico, ionización y reactividad de iones y electrones. En particular interesa estudiar los gases que contribuyan al abatimiento de la contaminación ambiental atmosférica, la medición de propiedades de mezclas de gases aislantes que coadyuven a la disminución del efecto invernadero, los plasmas con aplicaciones en la industria, tales como los que se utilizan para la fabricación de semiconductores en la industria electrónica, entre muchos otros. Para desarrollar estas investigaciones es necesario contar con equipos que faciliten su ejecución.

Este trabajo de tesis contribuye con el diseño mecánico de una cámara de Townsend que permitirá abrir una nueva línea de investigación que estudie las propiedades de gases de interés biológico como THF (C_4H_8O) y THFa ($C_6H_{10}O_2$).

El plasma es uno de los posibles estados de agregación de la materia, junto con los sólidos, líquidos y gases, y está constituido por una mezcla gaseosa de partículas neutras y de cargas positivas y/o negativas. Las partículas cargadas pueden ser iones positivos, negativos o electrones de carga negativa. Además, a diferencia de un gas de partículas neutras, el plasma responde a la presencia de campos eléctricos y magnéticos externos, lo que permite que sus partículas puedan ser confinadas por estos.

En las últimas décadas la tecnología de plasmas está presente en casi todas las ramas de la industria moderna, por ejemplo, en la industria de componentes microelectrónicos, automotriz y aeroespacial se utiliza para limpieza y tratamiento de superficies, en la medicina se usa para obtener biocompatibilidad en diferentes tipos de materiales. El uso de plasmas es muy extendido en la industria de fabricación de componentes electrónicos, donde se utiliza en el grabado ("etching") de circuitos electrónicos para microprocesadores, entre otros muchos otros usos.

En la historia de la tecnología de plasma en la ciencia se pueden encontrar los siguientes avances relevantes (**Sotelo, 2009**):

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

En 1808 Humphry Davy desarrolló la descarga eléctrica en estado estable usando corriente directa.

En 1830, Michael Faraday desarrolló el tubo de descarga eléctrica de alto voltaje con corriente directa, lo que dio inicio al estudio de la sustancia que se producía en la descarga.

En 1879, William Crookes identificó la sustancia como el cuarto estado de la materia.

En 1928, el término de plasma fue introducido por el premio nobel Iving Langmuir.

En 1960 se llevó a cabo la primera aplicación práctica del plasma para realizar polimerización de estireno, dando inicio una nueva área de investigación relacionada con el plasma.

1.1 PRIMEROS ESTUDIOS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS EN GASES

Uno de los primeros en realizar estudios en formación de descargas y plasmas fue J. S. Townsend a inicios del siglo XX, basados en el comportamiento dieléctrico de los gases, variando la corriente a través del gas en función del voltaje aplicado entre placas.

Townsend encontró que, al inicio, el incremento de la corriente es proporcional con la tensión, debido a la formación natural de iones en el gas, hasta llegar a un valor en donde se satura i_0 (ver Figura 1) y a partir de ahí se mantiene constante a un valor de i_0 (corriente de saturación). A un voltaje mayor el valor de saturación es superado, con lo cual corriente crece de manera exponencial como se puede observar después del V_2 , debido a la ionización del gas por impacto electrónico, que adquieren suficiente energía para ionizar las partículas neutras del gas. Finalmente, si el voltaje sigue aumentado se llega a la ruptura dieléctrica del gas y la formación de arcos de descarga.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

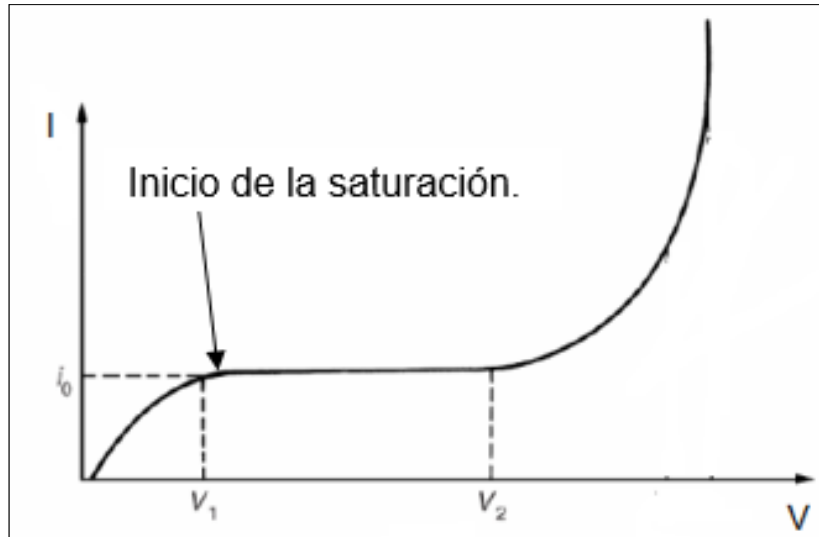


Figura 1. Relación tensión- corriente antes de la descarga (Sanchez, 2002)

Para formular su teoría de descarga en gases, Townsend definió el valor α conocido como primer coeficiente de Townsend. Este coeficiente indica el número de electrones que es capaz de crear un electrón libre por unidad de longitud moviéndose en la dirección del campo eléctrico que es aplicado.

La ecuación (1) indica el comportamiento de la multiplicación de electrones en la descarga eléctrica. En donde n es el número de electrones a una distancia x del cátodo; dn representa el incremento de electrones en la longitud dx (ver Figura 2 a)

$$dn = \alpha \cdot n \cdot dx \quad (1)$$

Se integra en función de la distancia y se obtiene la ecuación (2):

$$n = n_0 e^{\alpha d} \quad (2)$$

En término de corriente:

$$I = I_0 e^{\alpha d} \quad (3)$$

Donde n_0 es el número de electrones que se desprenden inicialmente desde el cátodo y $e^{\alpha d}$ representa el número de electrones producidos por la interacción de un electrón con el gas durante su recorrido desde el cátodo hasta el ánodo (ver Figura 2 b)

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

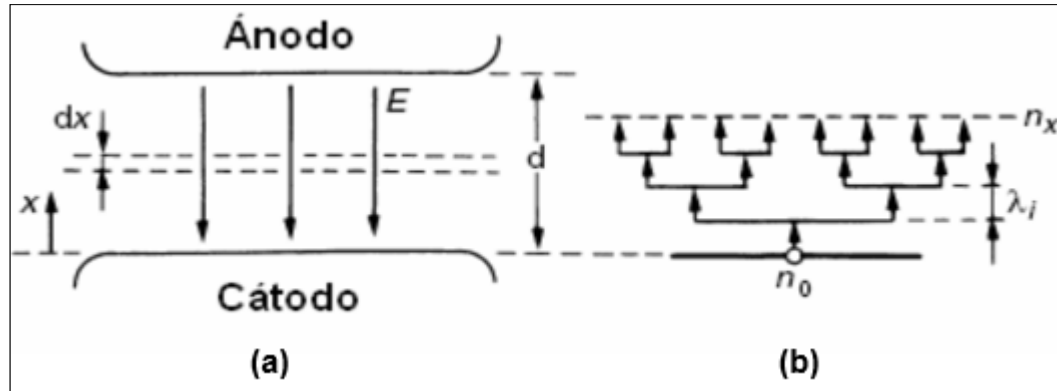


Figura 2. Representación de creaciones de electrones libres (Sanchez, 2002)

Townsend represento el logaritmo de I versus la distancia de separación de los electrodos para una presión y un campo eléctrico constante, se percató que a partir de una cierta distancia de separación el crecimiento de la corriente era mayor al esperado por la ecuación (3) (ver Figura 3).

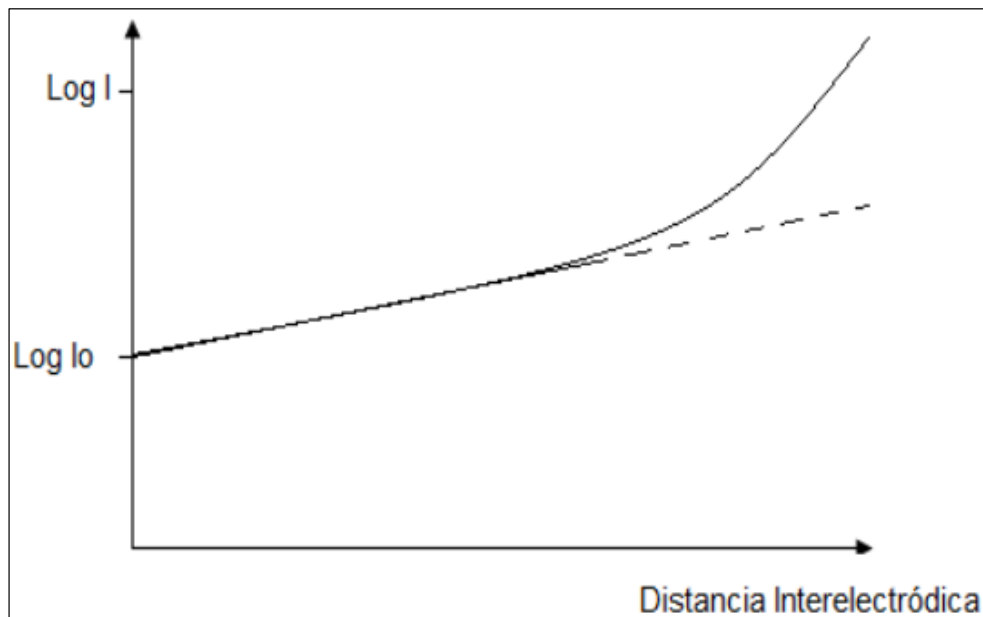


Figura 3. Variación de la corriente en función de la distancia (Sanchez, 2002)

Para explicar este comportamiento Townsend planteo que un segundo coeficiente (segundo coeficiente de Townsend) debía estar afectando el comportamiento a la corriente de la descarga eléctrica. Townsend concluyó que nuevos electrones estaban participando en el

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

proceso de descarga aparte de los que son producidos por la ionización del gas. El segundo coeficiente es el número de electrones de sucesión que son producidos por los iones positivos al momento de colisionar con la superficie del electrodo.

1.2 ANTECEDENTES

J. S. Townsend fue uno de los pioneros en el estudio de las descargas eléctricas en gases. Él proporcionó las primeras teorías físicas acerca de los movimientos de los electrones a través de un gas afectado por un campo eléctrico, asimismo formuló una teoría sobre el proceso de ionización o multiplicación de carga conocida como avalanchas electrónica e iónica **(Daintith, 2009)**

El montaje básico con el que inicio Townsend sus primeros experimentos constaba de dos placas paralelas planas situadas en los extremos de un contenedor llenado con gas, de una fuente eléctrica que se conectaba entre las placas y de una fuente intensa de luz ultravioleta. Emitiendo electrones desde el cátodo, basándose en el principio del efecto fotoeléctrico.

Actualmente uno de los laboratorios que tiene equipo para medir las propiedades de transporte electrónico e iónico en gases es el Laboratorio de Fenómenos Críticos y Fluidos complejos del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco **(Hernández, 2004)**

En el laboratorio de Plasmas de Baja Temperatura del Instituto Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (ICF-UNAM), se tiene una cámara de Townsend que se emplea para medir las propiedades de transporte electrónico e iónico en gases **(Rafael, 2018)**

La limitación de estos equipos es que no se puede variar la distancia de separación entre electrodos ya que tiene una separación predeterminada para estudiar ciertos tipos de gas.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de plasmas de baja temperatura se cuenta con una cámara de Townsend para llevar a cabo los estudios de transporte electrónico en gases, que consta principalmente de un capacitor de placas paralelas formadas por un par de electrodos separados una distancia d de 31 mm, entre los electrodos se aplica una diferencia de potencial para generar un campo eléctrico uniforme (ver Figura 4).

El problema actual que se tiene con este arreglo es que se puede variar muy poco la distancia de separación entre los electrodos (alrededor de 40 mm), lo cual limita los estudios en gases con una baja presión de vapor, menor a 3 torr. Un requisito importante en esta técnica es que el voltaje mínimo entre las placas no sea menor de 100 V de corriente directa.

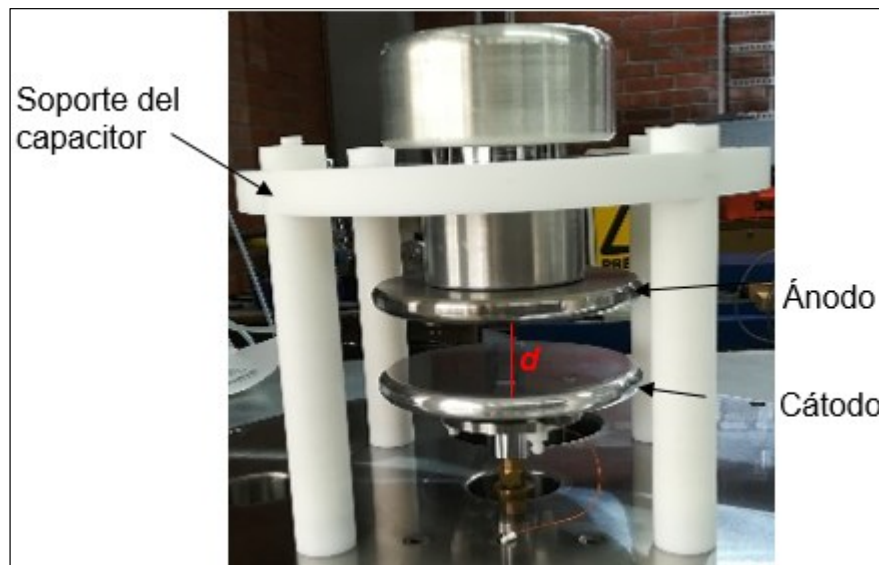


Figura 4. Capacitor de la cámara de Townsend actual. La separación entre electrodos es de 31mm.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

Todo el experimento depende de un parámetro, que se llama parámetro de Townsend, y que es la relación E/N , en donde E es la magnitud del campo eléctrico y N es la densidad numérica del gas, es decir, el número de moléculas de la muestra a estudiar por centímetro cúbico.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

Las unidades de este parámetro son llamadas Townsend y se abrevian Td, además un Townsend es igual a $1 \text{ Td} = 10^{-17} \text{ Vcm}^2$.

N depende de la presión a través de la ley de los gases ideales, que dice:

$$Pv = nKT \quad (4)$$

En donde P es la presión, v es el volumen, n número de partículas, k es la constante de Boltzman y T temperatura en grados Kelvin.

La ecuación 4 la reescribiremos de la siguiente manera:

$$P = NKT \quad (5)$$

En donde $N = n/V$ es la densidad numérica del gas y tiene unidades de partículas por centímetro cubico, despejamos N de la ecuación (5) y obtenemos que:

$$N = \frac{P}{KT} \quad (6)$$

De la ecuación 6 observamos que N depende de P y es además proporcional para una T constante. Cuando la presión es grande el gas deja de comportarse como un gas ideal.

La magnitud de campo eléctrico entre dos placas paralelas es:

$$E = \frac{V}{d} \quad (7)$$

Donde V es el voltaje aplicado entre electrodos, y d es la separación entre ellos.

Si sustituimos la ecuación (6) y (7) en E/N obtenemos una ecuación general con todos los parámetros involucrados en el parámetro de Townsend:

$$\frac{E}{N} = \frac{\frac{V}{d}}{\frac{P}{kT}} = \frac{V kT}{Pd} \quad (8)$$

La ecuación nos dice que si P es pequeña, el voltaje que se tiene que aplicar para obtener un Townsend es muy bajo y ese es uno de los principales problemas que motivaron este trabajo, para el experimento de Townsend se requiere un valor mínimo del voltaje de 100 Volts. Una solución directa para aumentar el voltaje es aumentar la presión del gas; sin embargo, para gases de baja presión de vapor, esto no es posible dado que a presiones mayores el gas se

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

vuelve líquido. En el laboratorio el gas que se quiere estudiar tiene una presión de vapor menor a 3 Torr. Otra solución posible es aumentar la distancia de separación, y para esto se debe diseñar una nueva cámara de Townsend con un nuevo sistema de capacitor en donde sea posible aumentar la distancia entre los electrodos. Siendo este el principal objetivo de este trabajo de investigación.

1.5 OBJETIVO DE LA TESIS

El objetivo general de la tesis es diseñar y simular una cámara de Townsend para el estudio de las propiedades de transporte electrónicos en gases de baja presión de vapor en donde se pueda variar la distancia de separación entre los electrodos sin perder la uniformidad del campo eléctrico en el centro de estos.

Como objetivos específicos se tienen:

- Diseñar los componentes mecánicos de la cámara de Townsend.
- Simular los campos eléctricos variando la distancia de separación entre los electrodos.
- Simular los campos eléctricos incluyendo anillos de guarda colocado entre los electrodos conectados a un divisor de voltaje.
- A partir de los mejores resultados para el campo eléctrico diseñar el arreglo final del capacitor, así mismo los soportes para el capacitor.

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

El componente principal de la cámara es un capacitor de placas paralelas instalado en su interior, el cual consiste en un par de electrodos circulares, planos y paralelos entre sí, de 120 mm de diámetro y con sus bordes redondeados. El ánodo está fabricado de acero inoxidable no magnético y el cátodo de aluminio. La superficie de los electrodos esta pulida para evitar deformaciones del campo eléctrico.

La cámara es de acero inoxidable y posee cuatro puertos en donde se acoplan sensores, en el primer puerto se instala el alto voltaje mediante un conector SHV, el segundo puerto se usa para la medición de la presión del gas dentro de la cámara, aquí se utilizan dos tipos de instrumentos: el Baratrón, el cual mide la presión del gas en un intervalo de 0 a 100 Torr, y los medidores de vacío tipo pirani e ion gauge. El tercer puerto se utiliza para instalar un termopar tipo k, que es un sensor de temperatura, y en el último puerto está colocada una mirilla de cuarzo en donde atraviesa el pulso del láser (ver Figura 5).

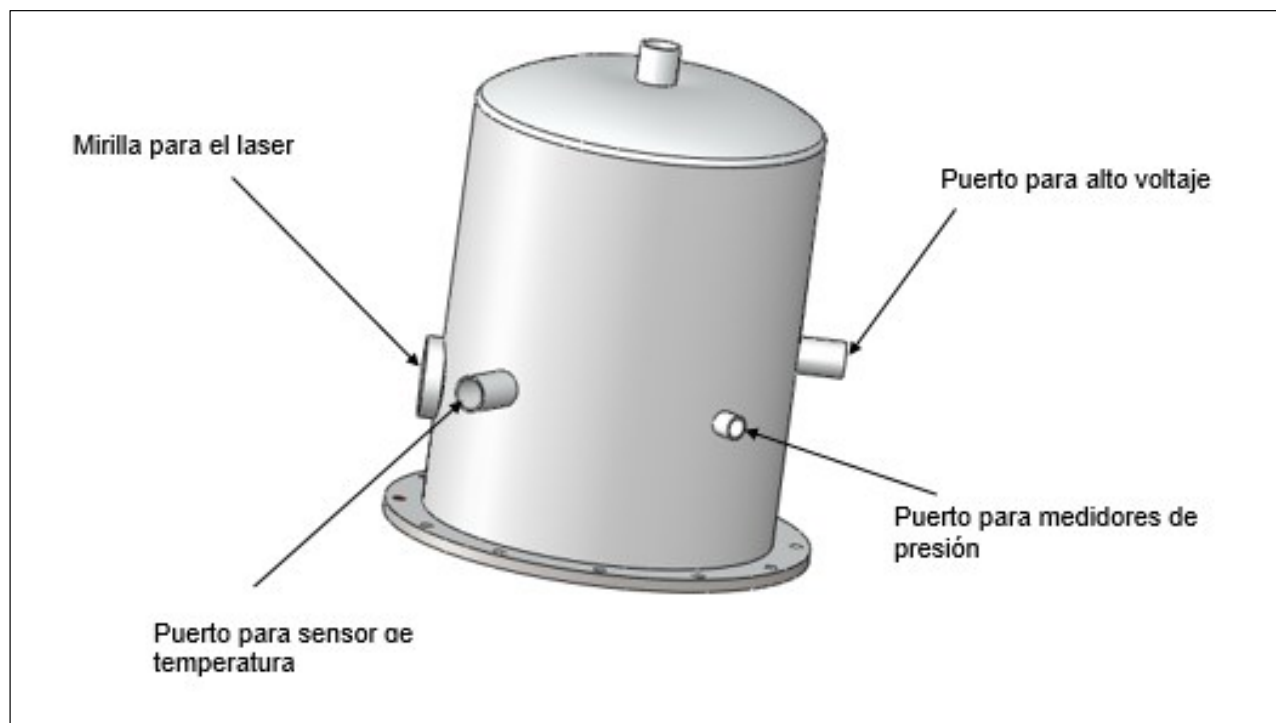


Figura 5.cuerpo principal de la cámara que cubre el sistema del capacitor.

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.

Todo este sistema va asentado en una placa circular de acero inoxidable, la cual posee un puerto para conectar la cámara de extracción para llevar a cabo el vacío de la cámara, para limpiarla de impurezas antes de inyectar el gas bajo estudio. Se cuenta con un puerto extra para realizar la inyección del gas y por último un puerto donde está la salida de la señal eléctrica medida en el amplificador (ver Figura 6).

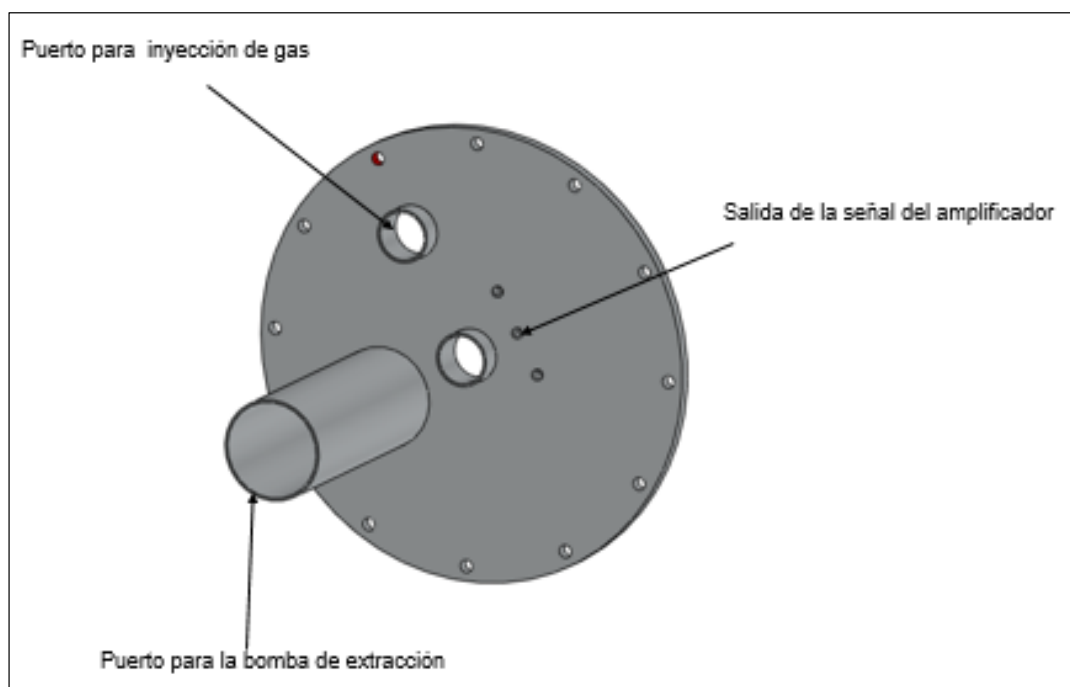


Figura 6. Placa circular de acero inoxidable, colocada en la base del cuerpo principal.

El sistema de vacío está formado por dos bombas de extracción, una bomba mecánica con capacidad de alcanzar una presión de 10^{-3} Torr y una bomba turbo molecular con la que se realiza vacío de 10^{-6} Torr. En el alto vacío el intervalo de presión se extiende desde 10^{-2} hasta 10^{-7} Torr (**Farías, 1995**).

El sistema de alto voltaje está conformado por una fuente de corriente directa con un voltaje máximo de 5000 voltios, el alto voltaje se conecta al ánodo del capacitor.

Para la fuente de luz se utiliza un láser Nd-YAG (acrónimo del inglés neodymium-doped yttrium aluminium garnet) emiten luz con una longitud de onda de 1064 nm, es decir infrarroja; mientras que la longitud de onda utilizada en la cámara es de 355 nm, es decir ultravioleta. Para conseguir esta longitud de onda se utilizan cristales dobladores de frecuencia.

2.2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS CARGADAS EN GASES

2.2.1 PARÁMETRO E/N

El parámetro E/N, es la magnitud del campo eléctrico normalizado a la densidad de las partículas, es un parámetro que está directamente relacionado con la energía promedio de las partículas en la presencia de un campo eléctrico. La distribución de energías de los electrones va a depender del campo eléctrico y del número de moléculas por unidad de volumen.

El número de colisiones entre las partículas durante el tiempo de transito es proporcional a la densidad, N, y esto influye en la distribución de la energía cinética que adquirirá.

La energía cinética de cada electrón va a depender del balance entre la energía que obtiene a través del campo eléctrico, E, y de la energía que se pierde por colisiones, que está en función de la densidad, N. Todos los parámetros de transporte de electrones en gases se miden en función de E/N, y su unidades son [Vm²]

2.2.2 VELOCIDAD DE ARRASTRE ELECTRÓNICA (v_e)

En ausencia de campos eléctricos los electrones se mueven al azar por el movimiento caótico que tienen y su velocidad media es nula. Si se aplica un campo eléctrico externo a través de un gas en un capacitor de placas paralelas se desarrollaran electrones que se moverán entre los electrodos, en el tiempo entre colisiones es acelerado, al momento de la colisión cambia bruscamente y aleatoriamente su dirección, después el electrón es nuevamente acelerado (ver Figura 7). La velocidad media alcanzada por la partícula a lo largo de su tiempo de transito al estar acelerado por la fuerza eléctrica entre choques, se denomina velocidad de arrastre.

La velocidad de arrastre de los electrones es proporcional al campo eléctrico:

$$v_e = \mu E \quad (9)$$

En donde v_e velocidad de arrastre [m/s], μ es la movilidad [m²/V s] y E es la magnitud del campo eléctrico aplicado [V/m].

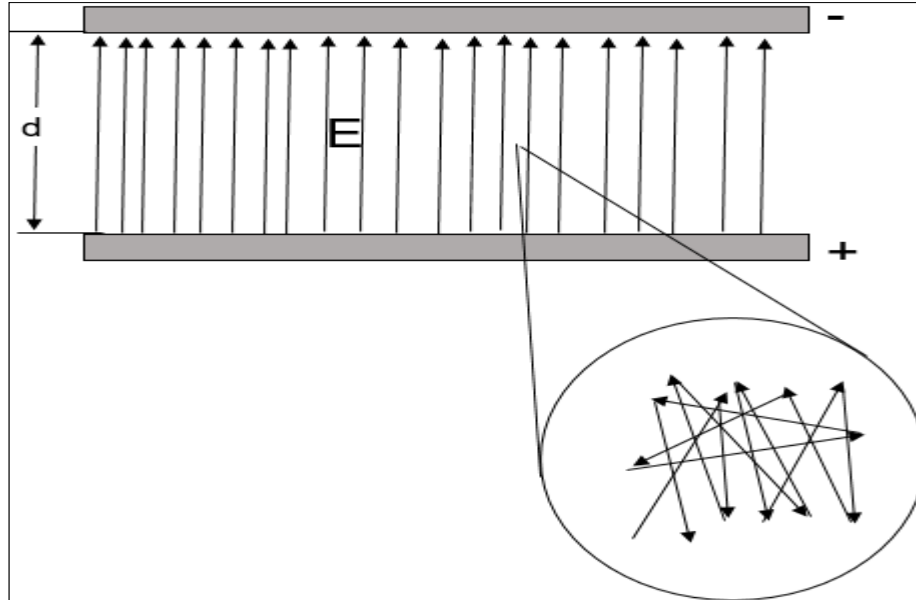


Figura 7. Trayectoria de electrones al colisionar (vista microscópica)

2.2.3 MOVILIDAD ELECTRÓNICA (μ)

Capacidad de las partículas cargadas de moverse a través de un medio al aplicar un campo eléctrico igual a la unidad. La movilidad electrónica se define como la relación entre la velocidad de deriva y la magnitud del campo eléctrico:

$$\mu = \frac{v_d}{E} \quad (10)$$

En donde μ es la movilidad [$\text{m}^2/\text{V s}$], v_d velocidad de deriva [m/s] y E es la magnitud del campo eléctrico aplicado [V/m].

2.2.4 CAPTURA ELECTRÓNICA

Proceso que consiste en que un electrón es capturado por un átomo o molécula, formando un ion negativo, en este caso, no cambia en número de portadores no sufre cambio, solo el tipo de portador y en consecuencia sus propiedades de transporte, debido a que la intensidad eléctrica depende de la velocidad de los portadores de carga. Los gases en la que se da la captura electrónica, es en los gases llamados electronegativos

2.2.5 COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

La difusión es un movimiento macroscópico de los componentes de un sistema debido a sus diferencias de concentraciones, esto origina un flujo irreversible de materia, desde las altas concentraciones hacia las bajas concentraciones a este flujo se le llama difusión. La difusión conlleva al sistema a un estado en donde alcanza una composición uniforme, de concentración constante (ver Figura 8).

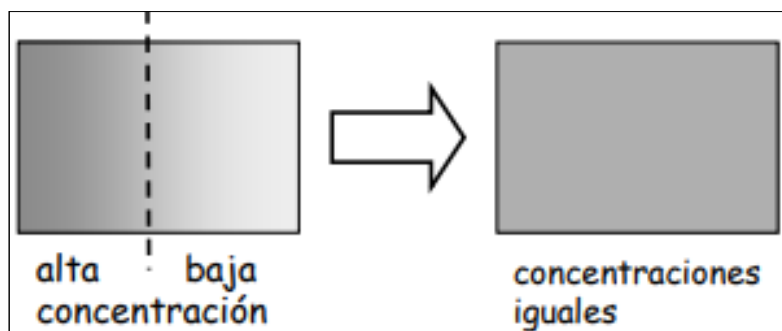


Figura 8. Esquema de difusión.

La ley que describe los casos de difusión es la primera ley de Fick que dice:

Que el flujo difusivo que atraviesa una superficie es directamente proporcional al gradiente de concentración. Esta ley se escribe:

$$j = -D \frac{dc}{dx} \quad (11)$$

En donde j es el número de moléculas por unidad área y unidad de tiempo, la D , coeficiente de difusión y sirve como una constante de proporcionalidad entre el flujo y el gradiente de densidad. El signo negativo indica que el flujo se produce en la dirección opuesta al gradiente, en el sentido en el que disminuye la concentración.

2.2.6 COEFICIENTE DE IONIZACIÓN EFECTIVA (α_e)

El coeficiente de ionización efectiva es la diferencia entre el coeficiente de ionización por impacto electrónico y el coeficiente de captura electrónica.

$$\alpha_e = \alpha - \eta \quad (12)$$

En donde el coeficiente de ionización por impacto electrónico (α) se define como el número de ionización en un gas por cada electrón por unidad de longitud en dirección del campo; y el coeficiente de captura electrónica (η) es el número de electrones capturados por los átomos del gas por unidad de longitud en la dirección del campo.

Estos tres coeficientes se normalizan con respecto a la densidad del gas:

$$\frac{\alpha}{N}, \quad \frac{\eta}{N}, \quad \frac{\alpha_e}{N}$$

El coeficiente de ionización efectiva tiene unidades de cm^2 .

2.2.7 TÉCNICA PULSADA DE TOWNSEND

Existen diferentes técnicas que se emplean para medir las propiedades de transporte de partículas cargadas en gases, en el laboratorio de plasmas de baja temperatura se utiliza la Técnica Pulsada de Townsend (TPT), esta técnica se distingue por su relativa sencillez y confiabilidad.

La técnica consiste en la medición de la corriente de desplazamiento durante el tiempo de tránsito de las partículas cargadas moviéndose en la separación entre electrodos. En la TPT los electrones son liberados del cátodo por medio del efecto fotoeléctrico con la ayuda de una fuente de luz externa (laser). La corriente de desplazamiento aumenta o disminuye debido a las colisiones que suceden desde que el pulso inicial de electrones abandona el cátodo hasta que el último de ellos alcanza el ánodo. Esta corriente es amplificada y registrada en un osciloscopio conectado a una computadora de control para su posterior análisis.

Los parámetros de transporte medidos a través de la técnica dependen de la densidad del gas y del campo eléctrico aplicado sobre ellos, E/N en unidades Townsend ($1\text{Td} = 1 \times 10^{-17} \text{ Vcm}^2$)

2.3 PRESIÓN DE VAPOR

La presión de vapor se define como la presión ejercida por el vapor en equilibrio de fases con su líquido a una temperatura dada (**Yunus A. Çengel, 2006**).

La presión de vapor es una propiedad de las sustancias puras y es idéntica a la presión de saturación del líquido ($P_v = P_{sat}$). La presión de saturación es la presión a la cual una sustancia pura cambia de fase.

Los materiales con baja presión de vapor son el vidrio, cobre, aluminio, acero inoxidable, plata y algunos cauchos sintéticos. Tanto el zinc como el bronce también se pueden utilizar en un sistema de vacío pero a baja temperatura (**Talledo, 2013**).

En el caso de gases, interesa estudiar moléculas de interés biológico como THF (C_4H_8O) y THFa ($C_6H_{10}O_2$).

2.4 PROGRAMAS DE DISEÑO MECÁNICO Y SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS

La computadora ha generado una revolución en el análisis y en el diseño de ingeniería, conforme el diseño progresa los dibujos manuales que se hacían antes son sustituidos por dibujos formales realizados por software de dibujo, conocido como diseño asistido por computadora (CAD), hace referencia a una herramienta software que mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, la cual ayuda a visualizar, analizar el diseño antes de llevar a cabo la construcción. Estas herramientas tienen la ventaja de la posibilidad de corregir los errores en la fase de diseño, facilidad de uso de la herramienta, respecto a los sistemas de dibujos tradicionales, mayor calidad y precisión en los diseños, etc. y como desventajas en estas herramientas es el elevado costo de adquisición, efecto social en la reducción de personal.

Existen diferentes tipos de software para llevar a cabo el diseño mecánico, como Catia, AutoCAD, Autodesk inventor, Solidworks, etc.

Para el diseño de la nueva cámara se siguió la metodología de la Figura 9.

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.



Figura 9. Proceso de diseño empleando la herramienta CAD.

Para el primer punto uno de los requisitos principales en la cámara es que el campo eléctrico sea homogéneo y uniforme en el capacitor, para poder variar la distancia de separación entre los electrodos sin perturbar los campos eléctricos.

Mediante el software SIMION, que es un paquete de software que se usa principalmente para calcular campos eléctricos y las trayectorias de partículas cargadas en esos campos cuando se les da una configuración de electrodos con voltajes y condiciones iniciales de partículas **(Scientific Instrument Services, s.f.)**.

Se realizó un diseño de dos placas paralelas, siguiendo los siguientes pasos:

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.

1. Se crea matrices potenciales a través de las funciones *nuevo*, *modificar* y *guardar*. Una matriz potencial (PA) es una cuadrícula rectangular 2D o 3D de puntos en el espacio, que define las geometrías y potenciales de los electrodos. Cada punto define un potencial ya sea magnético, electrostático o escalar.
2. El siguiente paso es dado los potenciales en los electrodos en cada conjunto de potenciales, se usa la función *refinar* para calcular los potenciales en los puntos espaciales. La función *refinar* resuelve la ecuación de Laplace en una matriz potencial.
3. Después de refinar, se usa la función *ver/ cargar workbench* para crear un espacio de trabajo, en donde se define las condiciones para la simulación y para volar trayectorias de partículas.(ver Figura 10)

La simulación se realizó bajo los siguientes parámetros: la geometría de la cámara, la geometría de los electrodos, los anillos de guarda, con una tensión 100 a 5000 volts, conectando el cátodo y la cámara principal que cubre el capacitor aterrizado a tierra.

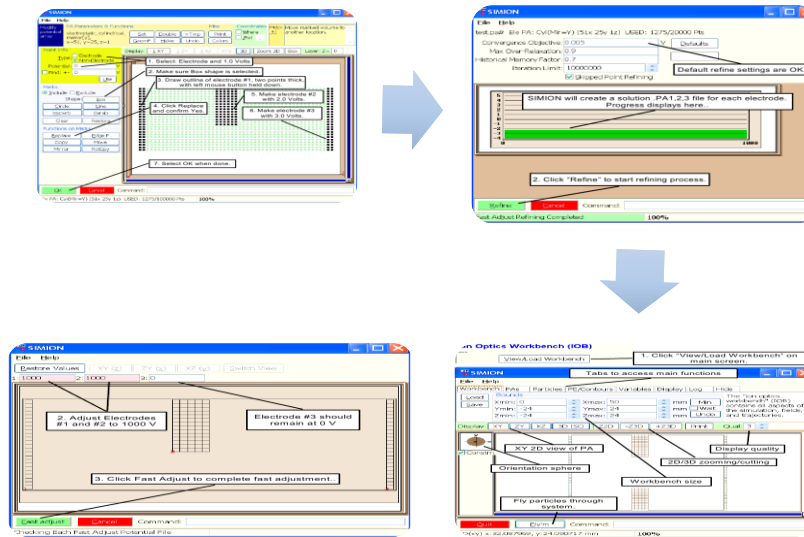


Figura 10.proceso de simulación en SIMION.

Las simulaciones se realizaron con diferentes separaciones entre electrodos:

5 cm, 7 cm, 9 cm, 11 cm, 20 cm y 30 cm.

Y diferentes diámetros para los electrodos:

12 cm, 15 cm, 17 cm, 19 cm, 21 cm y 22 cm

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.

Una vez teniendo el arreglo que cumple con los requisitos planteado al principio, el siguiente paso fue dibujar a detalle cada componentes que integran la cámara mediante Solidworks, que es un software de diseño mecánico 3D que emplea un procedimiento de diseño en 3D, con una característica esencial de ser paramétrico en sus cotas, es decir que se pueden editar en cualquier momento actualizándose automáticamente las piezas diseñadas. La técnica consiste generalmente en hacer bocetos de perfiles en 2D y luego utilizar métodos para producir la forma sólida.

El proceso de diseño en solidworks consta de principalmente de cuatro pasos como se muestra en la Figura 11:

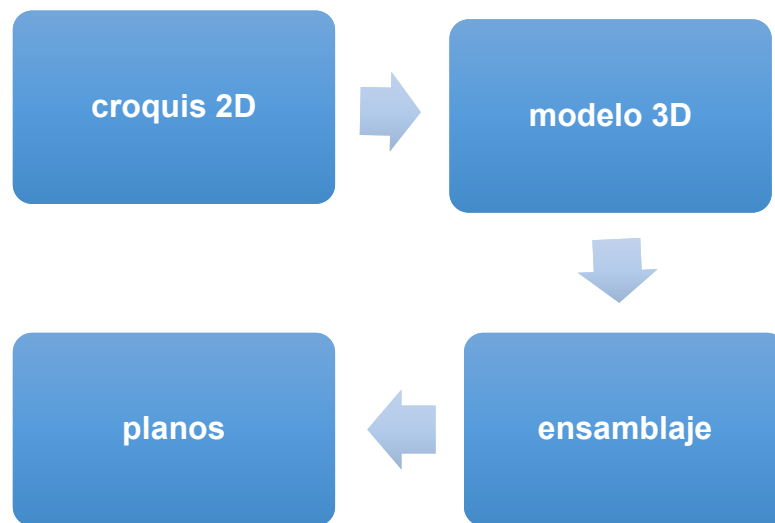


Figura 11. Proceso de diseño en solidworks

1. El proceso comienza con la creación de un croquis 2D el cual dibujara en un plano de trabajo mediante entidades de croquis (línea, círculo, rectángulo, etc.) herramientas de croquizado, herramientas de cotas.
2. El segundo paso, mediante operaciones de extrusión, revolución, redondeo, chaflán, se crea el modelo 3D ya sea solido o superficie.
3. El tercer paso consiste en ensamblaje, la cual se forma con las piezas creada en los anteriores pasos. Después proceder a analizar y hacer estudio de movimiento con la finalidad de detectar interferencias entre componentes.
4. Y por último, en el módulo de dibujo representar las piezas o ensambles creados en un plano con las diferentes vistas estándar, auxiliares, secciones o detalles.

2.5 MATERIALES PARA LA CÁMARA DE VACÍO

El material utilizado para la fabricación de la cámara generalmente es un acero inoxidable de la serie 300, el más utilizado es el 304L (**Lesker, s.f.**) . La característica principal que debe tener el material de la cámara es:

- Resistencia mecánica, soportar la fuerza ejercida sobre ella, por la diferencias de presiones a la que son sometidas.
- Impermeabilidad, no pasar gases desde el exterior a la cámara de vacío.
- Inertes, no sufrir corrosión, ni reacciones a alta temperatura.
- Baja presión de vapor.

La geometría de la cámara es de forma cilíndrica, debido a que así la cámara puede resistir con mayor facilidad la presión externa. La cámara tiene diferentes puertos de forma cilíndrica y de diferentes diámetros para conexiones, en donde se puede colocar medidores de presión, fuente de voltajes, bombas para hacer el vacío, etc.

Para cerrar el sistema se ocupa sellos que va entre la tapa (brida) y los puertos, son en formas de anillos circulares.

Los sellos son fabricados de materiales de Vitón, neopreno o metálicos.

Para aislar eléctricamente los componentes, se utiliza el material teflón.

2.5.1 ACERO INOXIDABLE

Se denominan acero inoxidable a un grupo de acero cuyas características más representativas es la de mostrar un excelente comportamiento ante la corrosión.

Son aleaciones a base de hierro, cromo, carbono, la resistencia a la corrosión se basa en la adicción de cromo en un porcentaje superior a 12%. Existen cuatro tipos de acero inoxidable (**Norton, 2011**):

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.

- El acero inoxidable martensítico (serie 400) contiene de 11.5% a 15% de Cr y de 0.15% a 1.2% de C, es magnético, se endurece con tratamiento térmico.
- El acero inoxidable ferrítico (serie 400) tiene más de 16% de Cr y bajo contenido de carbono, es magnético, blando y dúctil.
- El acero inoxidable austenítico es una aleación de 17% a 25% de cromo y 10% a 20% de níquel, tiene mayor resistencia a la corrosión, es no magnético, tiene una excelente ductilidad y tenacidad, es fácil de soldar.
- El acero inoxidable de endurecimiento por precipitación se identifica con su porcentaje de la aleación, seguidos por las letras PH, como el 17-4 PH, que contiene 17% de cromo y 4% de níquel.

La serie de acero inoxidable que más se usa para la fabricación de cámara de alto vacío es la serie 300, siendo el 304L el que más se implementa (contenido de carbono > 0.03%), esta tiene las propiedades mecánicas deseables de la cámara de vacío como se observa en la Tabla 1

Tabla 1. Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable (Norton, 2011)

Aleaciones de acero inoxidable	Condición	Resistencia a la fluencia por tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Rockwell o Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
Tipo 301	recocido en tiras	40	276	110	758	60	85HRB
	rolado en frío	165	1 138	200	1 379	8	41HRC
Tipo 302	recocido en láminas	40	276	90	621	50	85HRB
	rolado en frío	165	1 138	190	1 310	5	40HRC
Tipo 304	recocido en láminas	35	241	85	586	50	80HRB
	rolado en frío	160	1 103	185	1 276	4	40HRC
Tipo 314	recocido en barras	50	345	100	689	45	180HB
Tipo 316	recocido en láminas	40	276	90	621	50	85HRB
Tipo 330	rolado en caliente	55	379	100	689	35	200HB
	recocido	35	241	80	552	50	150HB
Tipo 410	recocido en láminas	45	310	70	483	25	80HRB
	tratamiento térmico	140	965	180	1 241	15	39HRC
Tipo 420	recocido en barras	50	345	95	655	25	92HRB
	tratamiento térmico	195	1 344	230	1 586	8	500HB
Tipo 431	recocido en barras	95	655	125	862	25	260HB
	tratamiento térmico	150	1 034	195	1 344	15	400HB
Tipo 440C	recocido en barras	65	448	110	758	14	230HB
	T y R @ 600 °F	275	1 896	285	1 965	2	57HRC
17-4 PH (AISI 630)	endurecido	185	1 276	200	1 379	14	44HRC
17-7 PH (AISI 631)	endurecido	220	1 517	235	1 620	6	48HRC

2.5.2 TEFLÓN

El uso de materiales no metálicos en la ingeniería se ha incrementado mucho en los últimos años. Las ventajas que se busca al usar dicho material son peso ligero, resistencia a la corrosión, resistencia a la temperatura, resistencia dieléctrica y facilidad de manufactura. Los materiales no metálicos se clasifican en tres categorías: polímeros (plásticos), cerámicas y compuestos.

Los polímeros son moléculas de cadena larga de materiales orgánicos o compuestos basados en el carbono, tienen una amplia gama de propiedades comparados con los metales tienen baja densidad, baja resistencia, baja rigidez, baja dureza, excelente resistencia eléctrica y a la corrosión. Los polímeros se dividen en dos clases, termoplásticos y termoestables.

Los polímeros termoplásticos se pueden fusionar y solidificar repentinamente, son fáciles de moldear. Los termoplásticos termoestables presentan entrecruzamiento cuando se calientan y luego arden, pero no se fusionan con el recalentamiento.

Los cerámicos tienen una resistencia alta a la compresión, alta rigidez, alta resistencia a la temperatura, alta resistencia dieléctrica, alta dureza.

En función de las propiedades mecánicas (ver Tabla 2), para el diseño de la estructura del soporte para el capacitor se eligió material no metálico, que es un polímero termoplástico, el politetrafluoroetileno (PTFE) más conocido por el nombre comercial teflón.

CAPITULO 2 CONCEPTOS GENERALES.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de algunos plásticos de ingeniería **(Norton, 2011)**

Material	Módulo de elasticidad E aproximado		Resistencia última a la tensión		Resistencia última a la compresión		Elongación en 2 in	Temp. máx.	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa			
ABS	0.3	2.1	6.0	41.4	10.0	68.9	5 a 25	160–200	1.05
20–40% relleno de vidrio	0.6	4.1	10.0	68.9	12.0	82.7	3	200–230	1.30
Acetal	0.5	3.4	8.8	60.7	18.0	124.1	60	220	1.41
20–30% relleno de vidrio	1.0	6.9	10.0	68.9	18.0	124.1	7	185–220	1.56
Acrílico	0.4	2.8	10.0	68.9	15.0	103.4	5	140–190	1.18
Fluoroplástico (PTFE)	0.2	1.4	5.0	34.5	6.0	41.4	100	350–330	2.10
Nylon 6/6	0.2	1.4	10.0	68.9	10.0	68.9	60	180–300	1.14
Nylon 11	0.2	1.3	8.0	55.2	8.0	55.2	300	180–300	1.04
20–30% relleno de vidrio	0.4	2.5	12.8	88.3	12.8	88.3	4	250–340	1.26
Policarbonato	0.4	2.4	9.0	62.1	12.0	82.7	100	250	1.20
10–40% relleno de vidrio	1.0	6.9	17.0	117.2	17.0	117.2	2	275	1.35
Polietileno HMW	0.1	0.7	2.5	17.2	–	–	525	–	0.94
Óxido de polifenileno	0.4	2.4	9.6	66.2	16.4	113.1	20	212	1.06
20–30% relleno de vidrio	1.1	7.8	15.5	106.9	17.5	120.7	5	260	1.23
Polipropileno	0.2	1.4	5.0	34.5	7.0	48.3	500	250–320	0.90
20–30% relleno de vidrio	0.7	4.8	7.5	51.7	6.2	42.7	2	300–320	1.10
Poliestireno de impacto	0.3	2.1	4.0	27.6	6.0	41.4	2 a 80	140–175	1.07
20–30% relleno de vidrio	0.1	0.7	12.0	82.7	16.0	110.3	1	180–200	1.25
Polisulfuro	0.4	2.5	10.2	70.3	13.9	95.8	50	300–345	1.24

El PTFE tiene una excelente resistencia química, es resistente a la mayoría de los productos químicos, no absorbe cantidades significativas de agua y tiene baja permeabilidad a gases y vapor de humedad, resistente con buenas propiedades de aislante, bajo coeficiente de fricción, tiene una excelente resistencia al calor y puede soportar temperaturas de hasta 260 °C y presiones elevadas. Las propiedades mecánicas y eléctricas del PTFE permanecen estables durante largos periodos a temperaturas de hasta 250 °C **(Harper, 2000)**.

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

El diseño mecánico final de la cámara debe cumplir una serie de requisitos que se describen en este capítulo. Uno de los más importantes es asegurarse que los electrones generados en el método de Townsend sean acelerados por un campo eléctrico homogéneo, la cual se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga que tiene como unidad en el sistema internacional Newton por Coulomb(N/C), Volt por metro (V/m).

Para conocer cómo se comportaran estos campos eléctricos, se realizaron simulaciones con un software especializado (SIMION).

Para obtener la configuración ideal de la posición y geometría de los electrodos de una nueva cámara de Townsend para la medición de los parámetros de transporte electrónico en gases de baja presión de vapor, se realizó la simulación del campo eléctrico mediante un software de análisis y resolución por métodos de diferencia finita (SIMION). La principal finalidad es encontrar un arreglo que garantice un campo eléctrico homogéneo entre los electrodos debido a que esto es muy importante para utilizar la técnica de Townsend.

La distancia de separación mínima que se simuló es de 31 mm, que es la distancia actual en la cámara de Townsend de laboratorio de plasmas de baja temperatura del ICF-UNAM. La distancia máxima que puede utilizarse en la cámara principal es de 300 mm, por lo que el intervalo de la distancia simulada es de 31 a 300 mm.

El análisis se realizó con electrodos de 120 mm de diámetro, esto con la finalidad de analizar el comportamiento de los campos eléctricos en la configuración actual de la cámara. Se varió la distancia de separación entre estos electrodos en 50mm, 70mm, 90mm, 110mm, 200mm y 300mm.

En función de los resultados obtenidos por las simulaciones en la configuración anterior, se decidió simular y analizar el mismo sistema utilizando anillos de guarda de acero inoxidable de diámetro externo de 200mm e interno de 20mm con espesor de 1.2mm. Estos anillos de guarda son electrodos metálicos circulares con un agujero concéntrico cuya función es estabilizar el campo eléctrico.

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

Posteriormente se utilizaron en la simulación unos anillos de guarda provenientes de un tubo de deriva (**Basurto Uribe, 2000**) ubicado en el laboratorio, y que por el momento se encuentra desarmado, y que resultan adecuados para el arreglo que se busca para este experimento. La serie de anillos consta de nueve anillos de guarda de acero inoxidable con un diámetro externo de 194 mm e interno de 175 mm y espesor de 29 mm y uno de ellos con un espesor mayor de 58mm.

Fue necesario realizar una basta serie de simulaciones, cada una de ellas con diferentes valores de diámetro y distancia de separación entre electrodos hasta encontrar la configuración óptima para el experimento, es decir un campo eléctrico homogéneo.

Los resultados obtenidos a través de la simulación numérica de campos eléctricos no se deben aceptar como una solución exacta al problema, es una aproximación al comportamiento y desempeño que tendrán en la realidad. Se observó una variación del campo eléctrico en el centro del arreglo de los electrodos de aproximadamente el 1 %, con respecto a la condición ideal, esto se debe posiblemente a los errores propios de la simulación como son: el tamaño de la malla utilizada en el refinamiento, la geometría y posición de los electrodos, la capacidad de computo del equipo utilizado, los errores numéricos de redondeo en los cálculos, entre otros y que todos los anteriores contribuyen en la propagación del error.

En la Figura 12 se muestra la configuración del arreglo utilizado para la simulación. Como se mencionó anteriormente los parámetros a considerar en la simulación son las geometrías de la cámara y de los electrodos, del sistema de anillos de guarda y el voltaje aplicado al ánodo, el cual cubre un intervalo de 100 a 5000 Voltios.

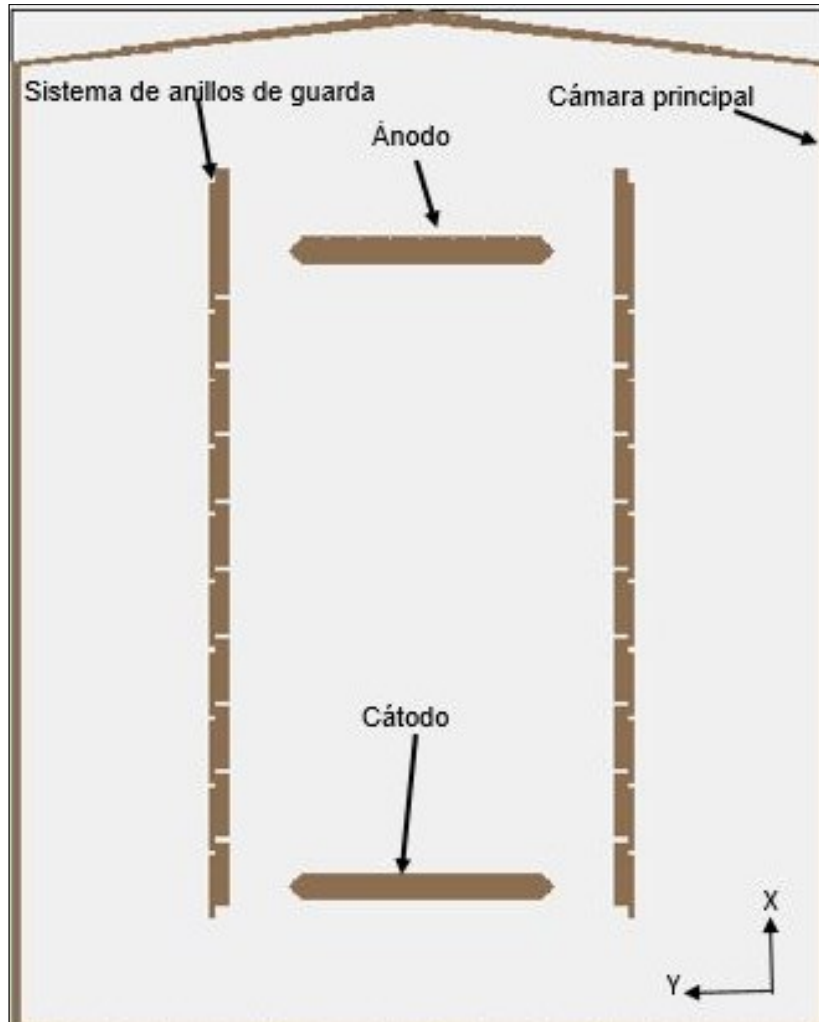


Figura 12. Corte transversal de la cámara y sus principales componentes (electrodos).

3.1 CASO I. CONFIGURACIÓN ORIGINAL QUE TIENE ACTUALMENTE LA CÁMARA

En la Figura 13 se muestra la configuración original que tiene la cámara actualmente. Se compone por dos electrodos con bordes redondeados, que corresponden al ánodo y al cátodo, con una distancia de separación de 31 mm entre ellas y se observa que se forma un campo eléctrico homogéneo hacia el centro de los mismos, con una mayor concentración de las líneas de campo eléctrico en los bordes de los electrodos, en donde las líneas de campo permanecen constantes en toda la superficie de los electrodos con un campo eléctrico de 155.5 V/mm al centro de los mismos.

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

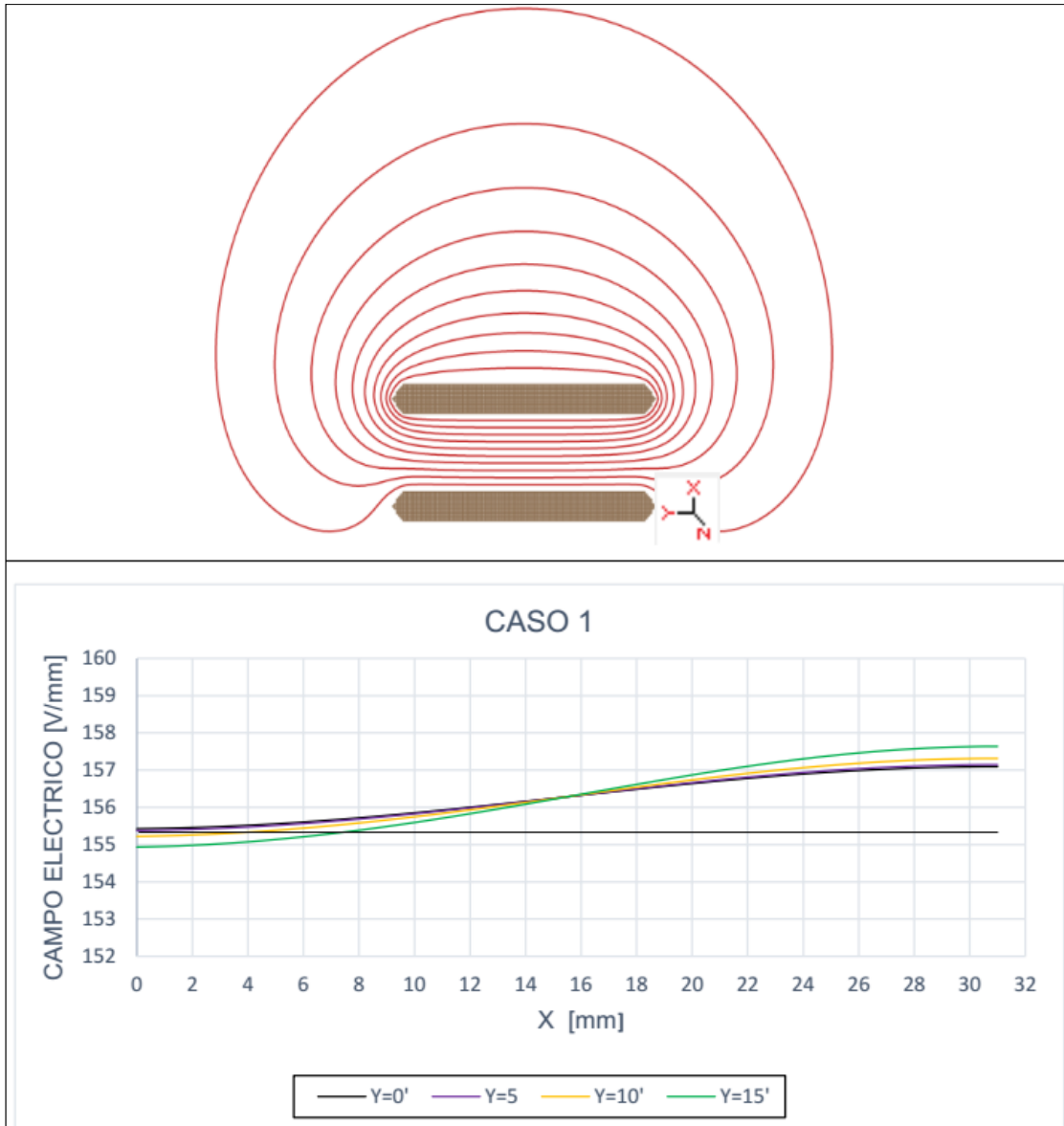


Figura 13. Distribución de líneas de campo eléctrico a detalle cercano a los electronos con separación de 31 mm entre electrodos obtenida a partir de SIMION y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.

De acuerdo a la simulación, el campo eléctrico medido en el intervalo de 5 a 15 mm de radio al centro del electrodo tiene una variación de 155 V/mm a 157 V/mm, es decir tiene un incremento aproximado del 1% con respecto al medido en el centro de los electrodos. Esto último es importante porque nos interesa que en el área cercana al centro de cátodo el campo eléctrico sea homogéneo para permitir realizar un buen experimento de las propiedades de transporte.

3.2 CASO II. SEPARACIÓN DE 110 MM ENTRE ELECTRODOS

Al aumentar la distancia de separación entre los electrodos se observa un comportamiento no homogéneo del campo eléctrico (ver Figura 14). A una distancia de 110mm entre electrodos, el campo eléctrico presente al centro es de 28 V/mm y a un radio de 15 mm se presenta una variación de 28 V/m a 70 V/mm, lo cual representa un incremento de 150% con respecto al centro de los electrodos.

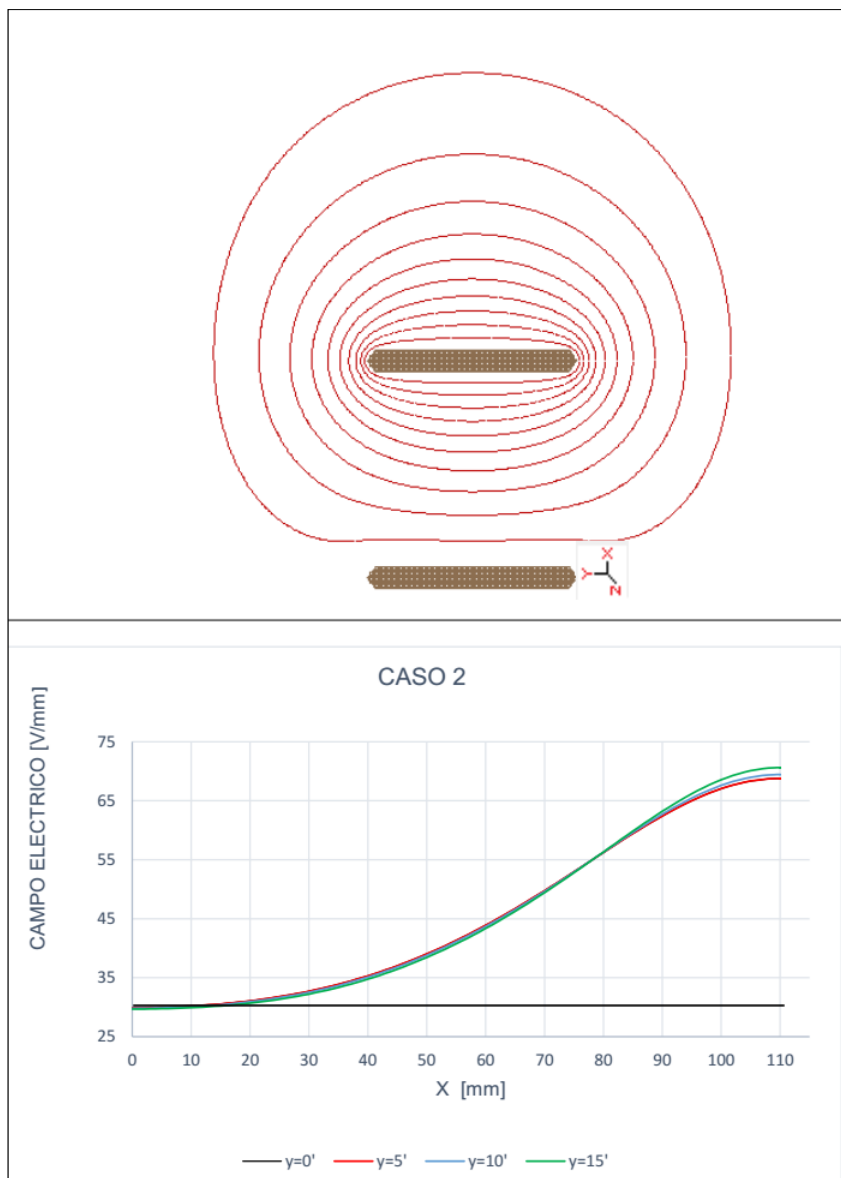


Figura 14. Distribución de líneas de campo eléctrico a detalle cercano a los electrodos con separación de 110 mm entre electrodos obtenida a partir de SIMION y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

Conforme se incrementa aún más la distancia entre los electrodos el campo eléctrico tiene un incremento cada vez mayor. En la Figura 15 se puede observar el incremento del campo como función de la distancia de separación entre electrodos. A una distancia de 3000 mm, se tiene una variación de campo eléctrico del 3158% al centro de los electrodos. Esta distancia es la máxima para el diseño. Esta última variación hace imposible realizar experimento de Townsend por lo que es necesario rediseñar el diseño original.

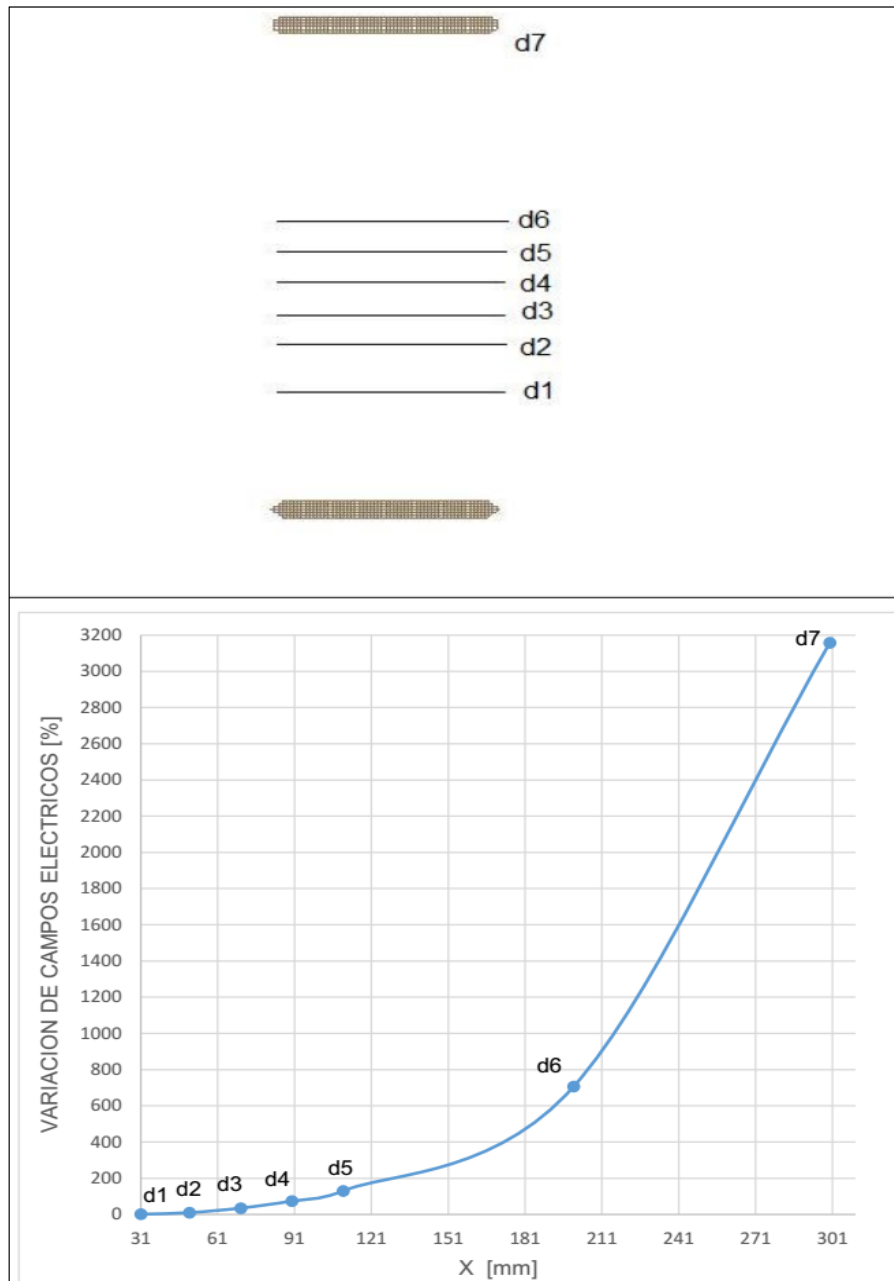


Figura 15. Variación de separación entre electrodos de 31 a 300 mm

3.3 CASO III. IMPLEMENTACIÓN DE 29 ANILLOS DE ACERO INOXIDABLE DE 200 MM DE DIÁMETRO

Para solucionar la no homogeneidad y la variación de los campos eléctricos observados en las configuraciones anteriores, se rediseño el arreglo original, implementado un sistema de anillos de guarda que están colocados en serie entre los electrodos y que en conjunto tienen una longitud de 280 mm. La distancia de separación entre cátodo y ánodo se mantiene fija en 300mm.

La simulación se realizó con 29 discos de acero inoxidable, diámetros externos de 200 mm e internos de 20mm y con un espesor de 1.2 mm. La separación entre anillos conectados en serie es de 10 mm, la tensión eléctrica máxima calculada fue de 5000 voltios, con el cátodo y la cámara principal conectados a tierra (ver Figura 16).



Figura 16. Configuración con sistemas de 29 anillos de guarda de espesor 1.32 mm

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

En la Figura 17 se muestra el comportamiento de los campos eléctricos de la simulación con la serie de anillos descrita previamente, en donde se observa un campo eléctrico homogéneo en el intervalo de 0 a 15 mm de radio al centro del electrodo. Sin embargo a una distancia de 35 mm en dirección al ánodo, el campo eléctrico tiene un incremento del 5% con respecto al medido en el centro de los electrodos (zona a-b) y a partir de ahí se mantiene un gradiente constante aproximado de 16.57 V/mm (zona b-c).

Con esta configuración se resuelve que el campo eléctrico es bastante homogéneo, pero presenta un salto en la variación de campo eléctrico significativo cerca del cátodo (zona a-b).



Figura 17. Distribución de líneas de campo eléctrico a detalle cercano a los electrodos con separación de 300 mm entre electrodos de 200 mm de diámetro a 5000 V. y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.

3.4 CASO IV. IMPLEMENTACIÓN DE 10 ANILLOS DE ACERO INOXIDABLE DE 194 MM DE DIÁMETRO.

El arreglo de electrodos mostrado en la Figura 18 está formado por dos electrodos de 120 mm de diámetro con bordes redondeados, un sistema de nueve anillos de guarda de acero inoxidable no magnético, cada uno de ellos con un espesor de 29 mm y diámetros externo e interno de 194 mm y 175 mm respectivamente, y uno extra con un espesor de 58 mm y con los mismos diámetros que los anteriores. Los anillos están conectados en serie y cuentan con una separación entre ellos de dos milímetros. La tensión máxima aplicada entre el primer y el último anillo es de 5000 voltios. La estructura de la cámara principal, el primer anillo, y el cátodo están conectados a tierra. El último anillo de guarda y el ánodo están sujetos al mismo voltaje. El cátodo está ubicado a una distancia d_1 de 57 mm y el ánodo a una distancia d_2 de 350 mm con respecto a la placa base, teniendo una distancia de separación de 280 mm entre electrodos.

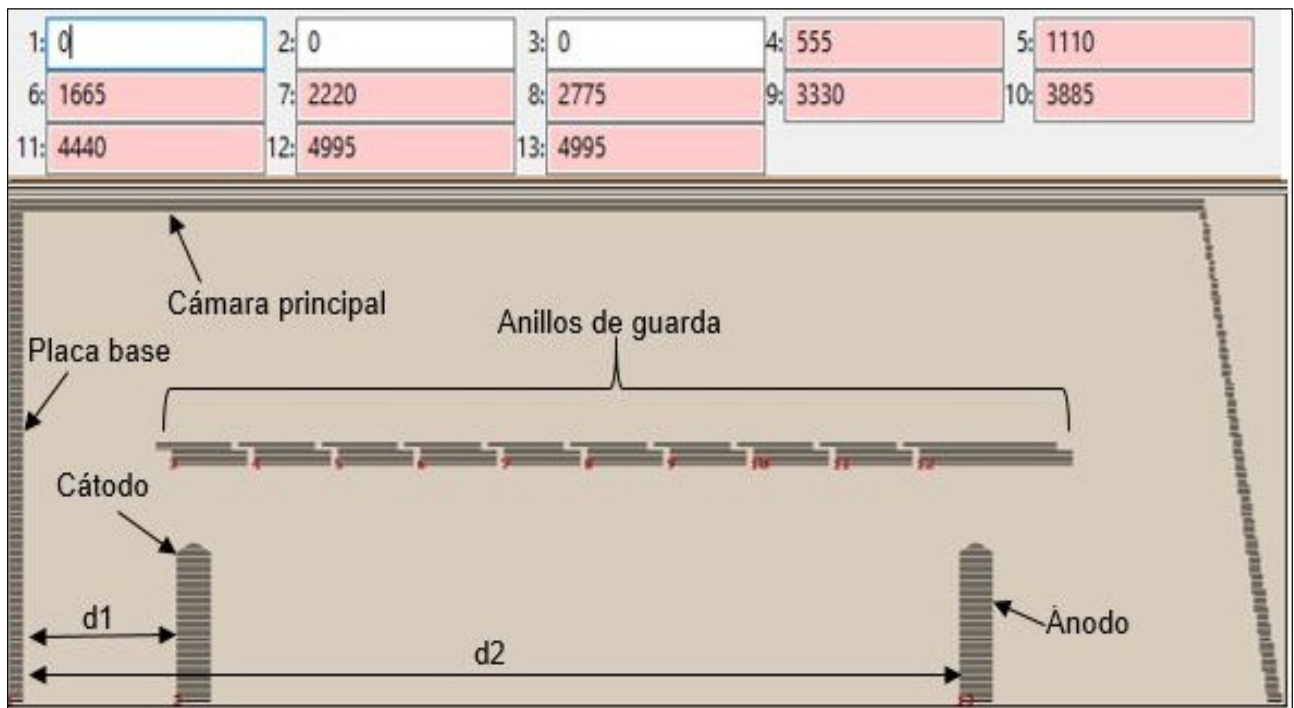


Figura 18. Configuración del sistema con 10 anillos de guarda de un espesor de 29 mm.

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

En este arreglo de capacitor se observa un comportamiento homogéneo, donde las líneas de campo permanecen constantes en toda la superficie de los electrodos con un gradiente eléctrico de 18.18 V/mm al centro de estos.

De acuerdo con la simulación, el campo eléctrico medido en el intervalo de 5 a 15 mm de radio al centro del electrodo se mantiene constante en 18.22 V/mm en la superficie de los electrodos, es decir tiene una variación aproximada del 1%. Además, los campos eléctricos presentes entre los electrodos es de 17.8 V/mm teniendo una variación de la distribución de campos eléctricos del 5% comparada con la superficie de los electrodos (ver Figura 19).

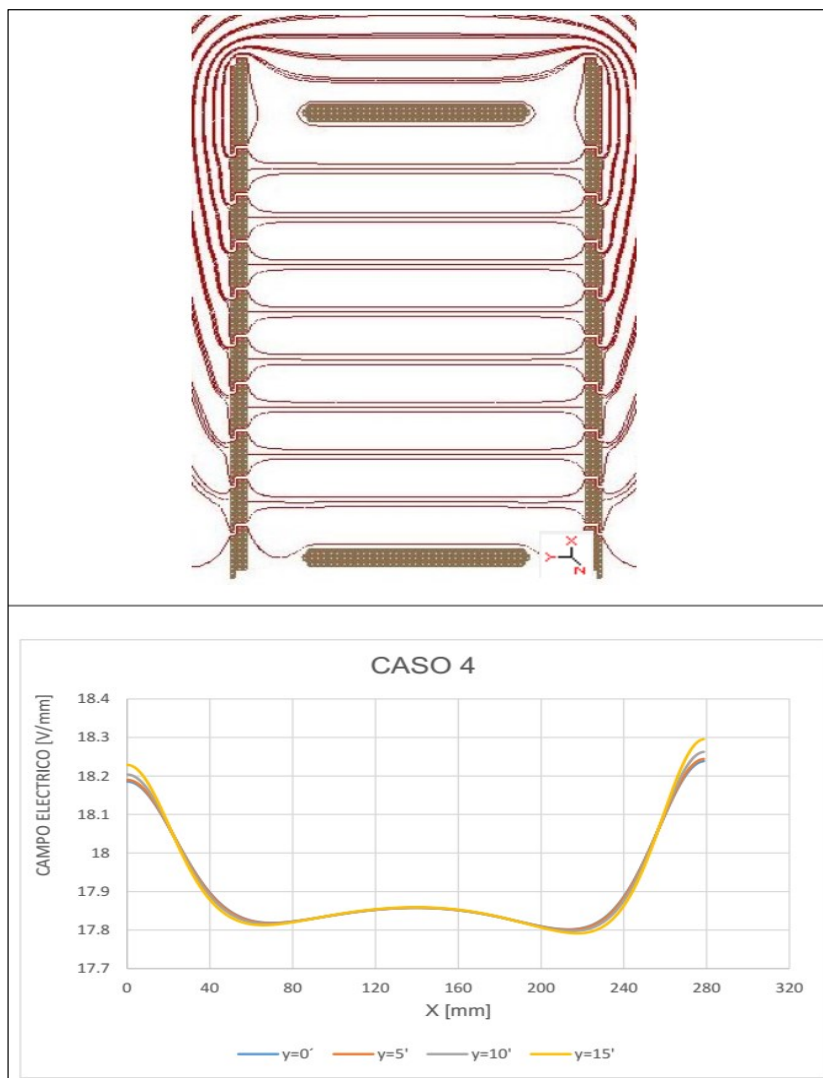


Figura 19. Distribución de líneas de campos eléctricos a detalle cercano a los electrodos con sistemas de anillos de guarda entre electrodos de 120 mm de diámetro y variación de campo eléctrico en el intervalo de 0 a 15 mm de radio.

CAPÍTULO 3 SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS.

Teniendo una distancia de separación mínima entre electrodos de 275 mm y máxima de 280 mm en donde se garantiza un campo eléctrico homogéneo con variación de campo eléctrico del 5% a 1% en dicha distancia (ver Figura 20). Por debajo de la distancia mínima se observa un comportamiento convexo y a una distancia mayor a 280 mm un comportamiento cóncavo hacia el ánodo.

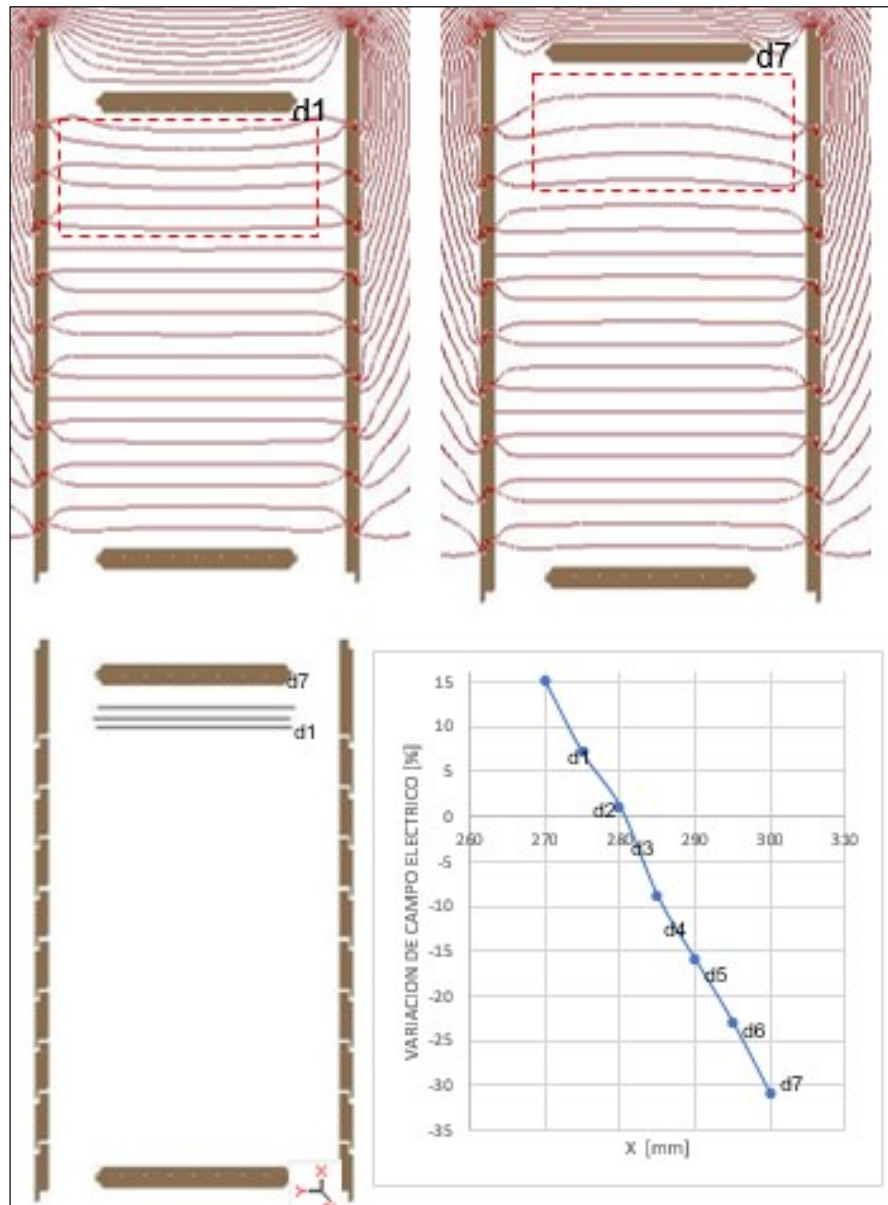


Figura 20. Variación porcentual de campo eléctrico entre electrodos de 270 a 300 mm, en donde la variación porcentual representa la diferencia entre el campo eléctrico final y el campo eléctrico inicial y dividido por el campo eléctrico inicial en términos de un porcentaje.

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

A partir de los resultados de las simulaciones de los diferentes arreglos de la cámara que fueron presentados en el capítulo anterior, se encontró uno que cumple con los requisitos planteados en esta tesis.

Para el diseño final se adaptó una cámara de acero inoxidable (ver Figura 21) con que cuenta el laboratorio, que se usara como el cuerpo principal que cubra el capacitor y para el arreglo de capacitores que se implementara se necesita un sistema de anillos para tener líneas de campos eléctricos uniforme y paralelos, lo cual se valida a través de la simulación.



Figura 21. Cámara de acero inoxidable.

El laboratorio cuenta con un sistema de anillos (ver Figura 22) que se usó en otro equipo, es funcional para el diseño a implementar, y a partir de estas dos piezas y con la simulación de los campos eléctricos se prosigue a dibujar los componentes mecánicos y a ensamblar el prototipo, esto nos ayudara a recrear entornos reales en entornos virtuales.



Figura 22. Anillos de guarda, vistas en CAD

También se realizará un análisis estático a una de las piezas que cargara todo el sistema de anillos y los sistemas de los electrodos, esto con la finalidad de validar el diseño.

4.1 REQUERIMIENTOS

La cámara debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Los materiales de la cámara deben tener una presión de vapor muy baja y baja porosidad.
- Máxima limpieza en el interior de la cámara.
- Campos eléctricos homogéneo en el capacitor.
- Variación de separación entre electrodos.

4.2 ARREGLO EXPERIMENTAL DE LA ACTUAL CÁMARA DE TOWNSEND

El proceso que se sigue para llevar a cabo un experimento en la cámara consta de la limpieza de la misma mediante el sistema de vacío, esto evita que existan contaminantes al inyectar la muestra de gas que se desea estudiar dentro de la cámara. Los electrodos utilizados en la actual cámara se muestran en la Figura 23.

Con la ayuda de un láser se dispara un pulso de luz ultravioleta a través de uno de los puertos con mirilla o ventana de cuarzo, este pulso incide en el cátodo y libera electrones del metal debido al efecto fotoeléctrico. Bajo la acción del campo eléctrico los electrones son acelerados en dirección al ánodo del capacitor. Durante el tránsito de los electrones entre los electrodos suceden colisiones elásticas e inelásticas (principalmente ionización y captura electrónica) con las moléculas del gas bajo estudio. Un sistema de detección y medición de la corriente de desplazamiento generada en el sistema registra la señal del experimento para su posterior análisis (Rafael, 2018)

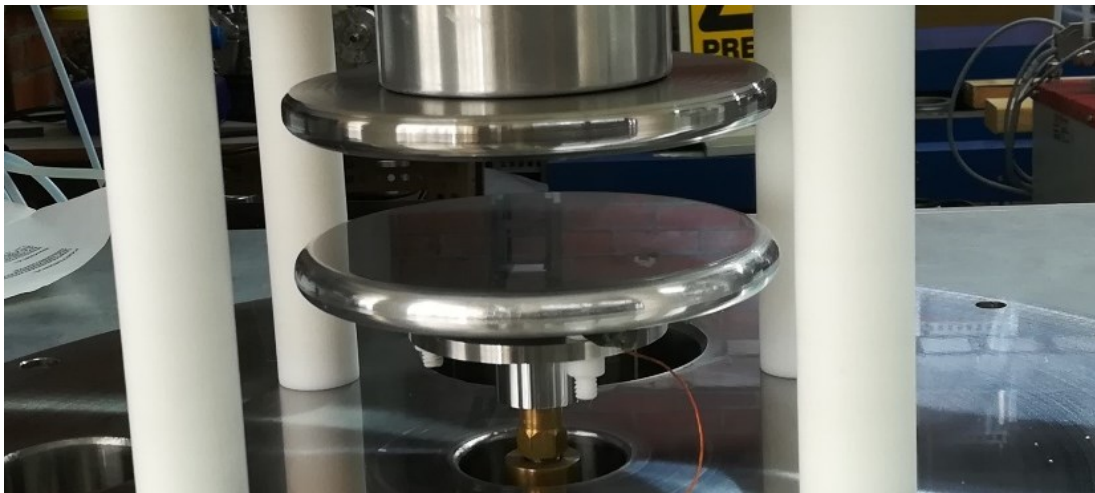


Figura 23. Arreglo de capacitor de la cámara actual

El electrodo negativo (cátodo) está fabricado de aluminio y el positivo (ánodo) de acero inoxidable. El material del soporte de los electrodos es teflón esto para aislarlo eléctricamente de los altos voltajes utilizados durante el experimento (hasta 5000 V).

Cabe destacar que en este arreglo de capacitor la distancia de separación de los electrodos es fija a 31 mm.

4.3 DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

Conforme a la simulación, la nueva cámara estará formada principalmente por un capacitor de placas paralelas formado por dos electrodos (cátodo y ánodo) de 120 mm de diámetro con un espesor de 12.7 mm y separados por una distancia de 280 mm, sistema de anillos de acero inoxidable no magnético y de una cámara principal que cubrirá el capacitor.

En las Figura 24, 25 y 26 se muestra la configuración del capacitor colocado en una base teflón, una vista con un transversal para poder ver cada uno de los componentes, y el diseño terminado con las dimensiones que tendrá al momento de ensamblarse; que a su vez está colocado sobre una base de acero inoxidable, la cual tiene un puerto en donde se conecta la bomba mecánica y turbo molecular para llevar a cabo el vacío.

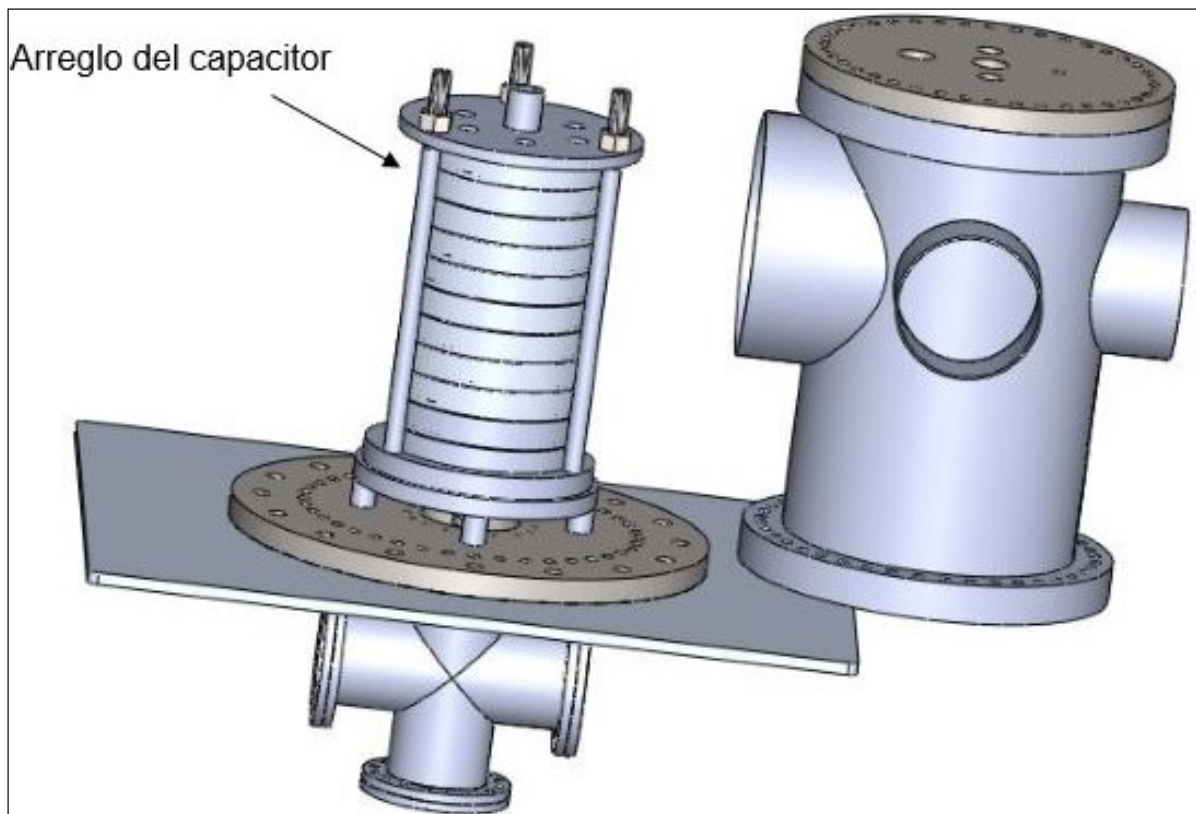


Figura 24. Configuración de capacitor de la cámara

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

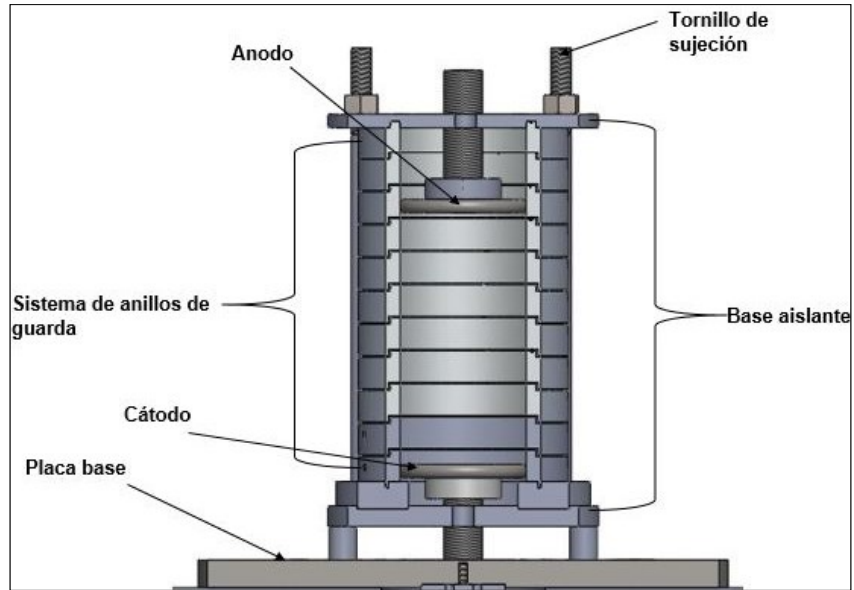


Figura 25. Componentes del capacitor

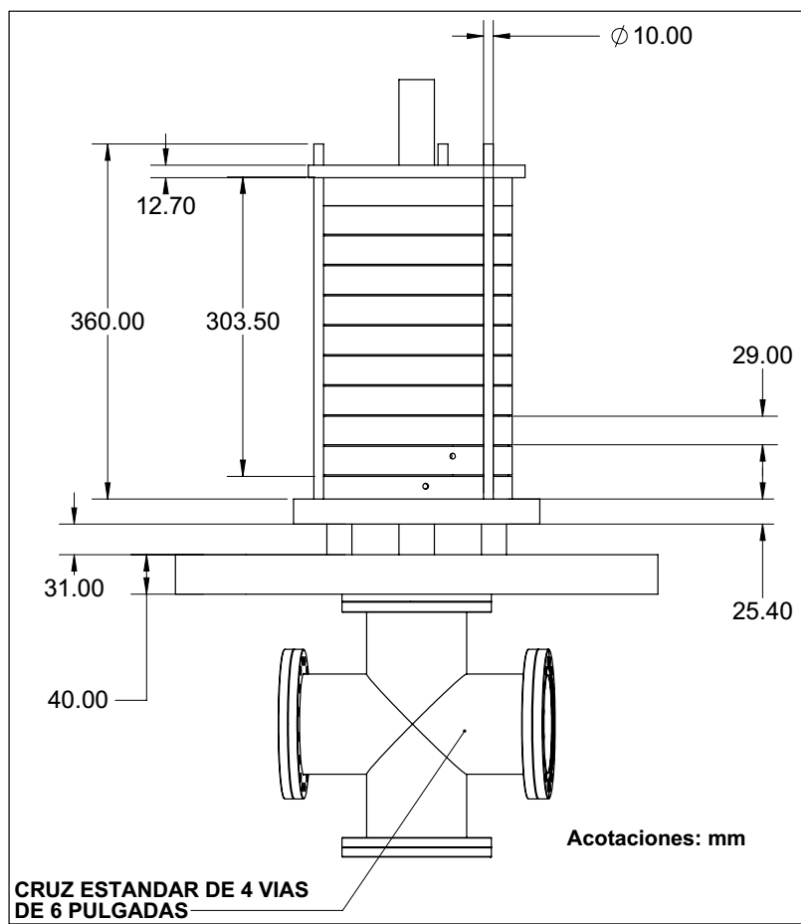


Figura 26. Dimensiones del arreglo para el capacitor.

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

En las Figura 27 y 28 se muestra el dibujo del cuerpo principal que cubrirá el sistema del capacitor con puertos, las dimensiones que tiene la pieza, este tiene disponibles tres puertos para el acoplamiento de los diferentes sensores necesarios para el experimento de Townsend, en donde se ocupara un puerto de mayor diámetro y la brida de la tapa superior para los sensores que se enlistan a continuación: en la tapa superior (ventana superior) contactara con un primer puerto para el alto voltaje, segundo puerto para el haz de laser ultravioleta (mirilla de cuarzo) y en unos puertos laterales de la cámara (CF 250) será el tercer puerto para inyección de gas, cuarto para la salida de señal del amplificador, quinto para sensor de temperatura, sexto puerto para el medidor de vacío, además de contar con otros puertos que pueden utilizarse a futuro.

Cada uno de los componentes que integran la cámara se explica a detalle más adelante.

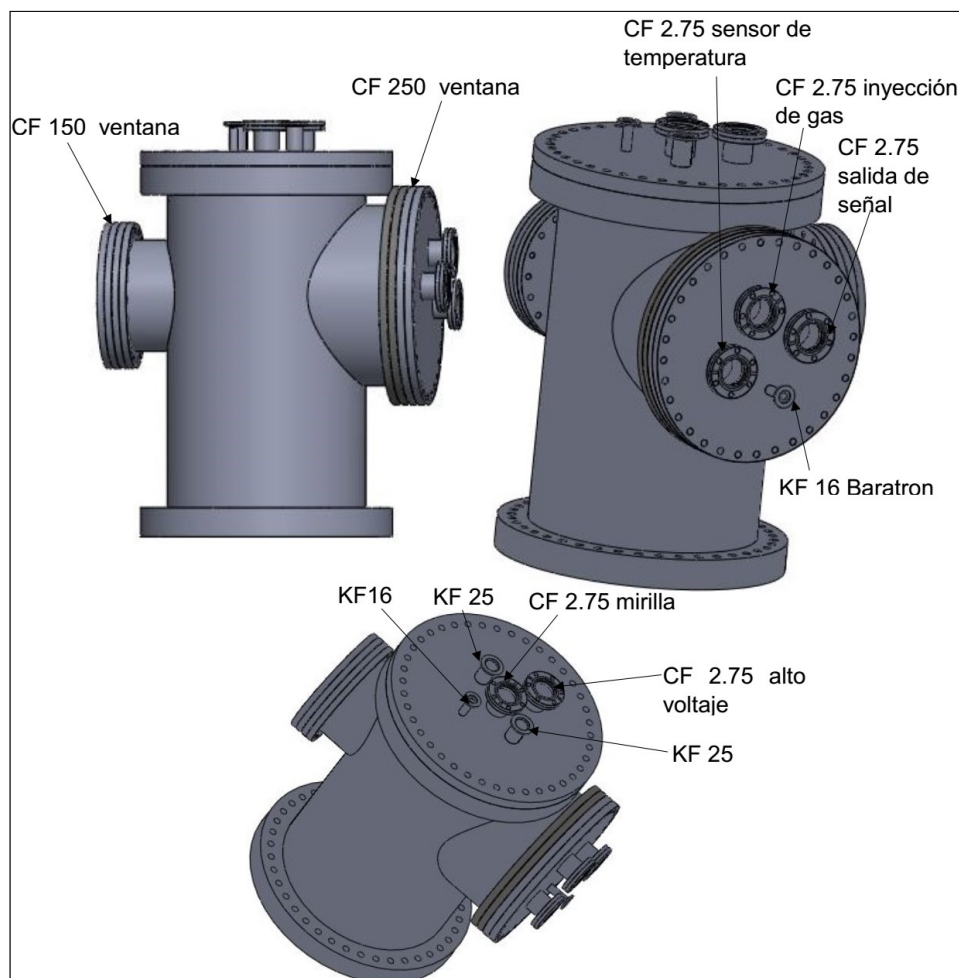


Figura 27. Puertos de la cámara principal

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

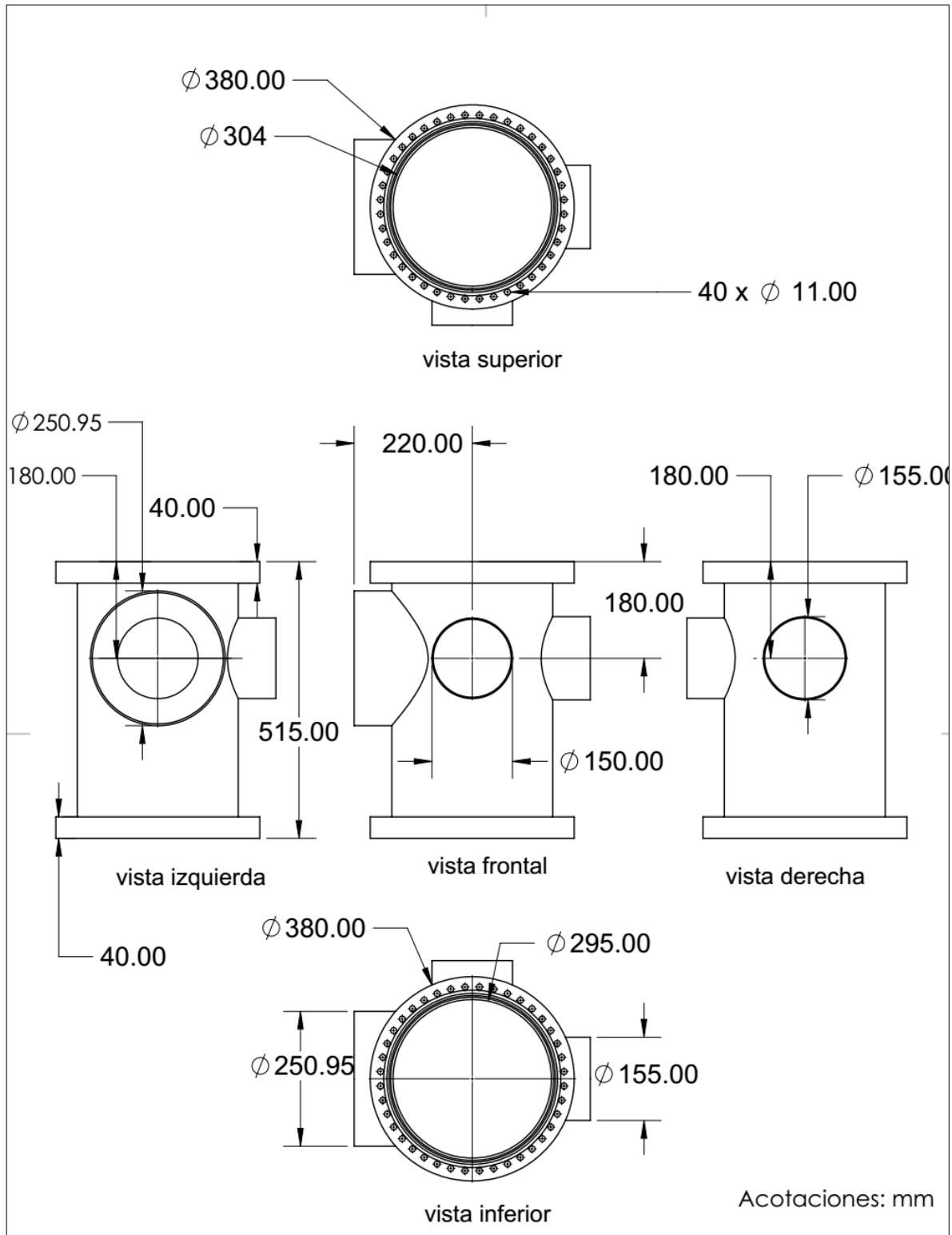


Figura 28. Vistas ortogonales de la cámara principal,

4.3.1 ENSAMBLE DEL SISTEMA ÁNODO.

El ánodo tiene una dimensión de 120 mm de diámetro y un espesor de 13 mm con aristas redondeada (ver Figura 29), una perforación de 25 mm de diámetro al centro del electrodo para permitir la entrada de un haz de luz emitida por un láser. En la perforación se coloca una malla de cobre para hacer uniforme los campos eléctricos entre los electrodos.

El ánodo se montará en un soporte aislante que es una placa circular de teflón de 220 mm de diámetro, la cual tendrá una perforación de 36 mm de diámetro al centro de la placa con rosca métrica para el tornillo sin fin que servirá para desplazar el electrodo con una carrera de desplazamiento de 100 mm (ver Figura 30).

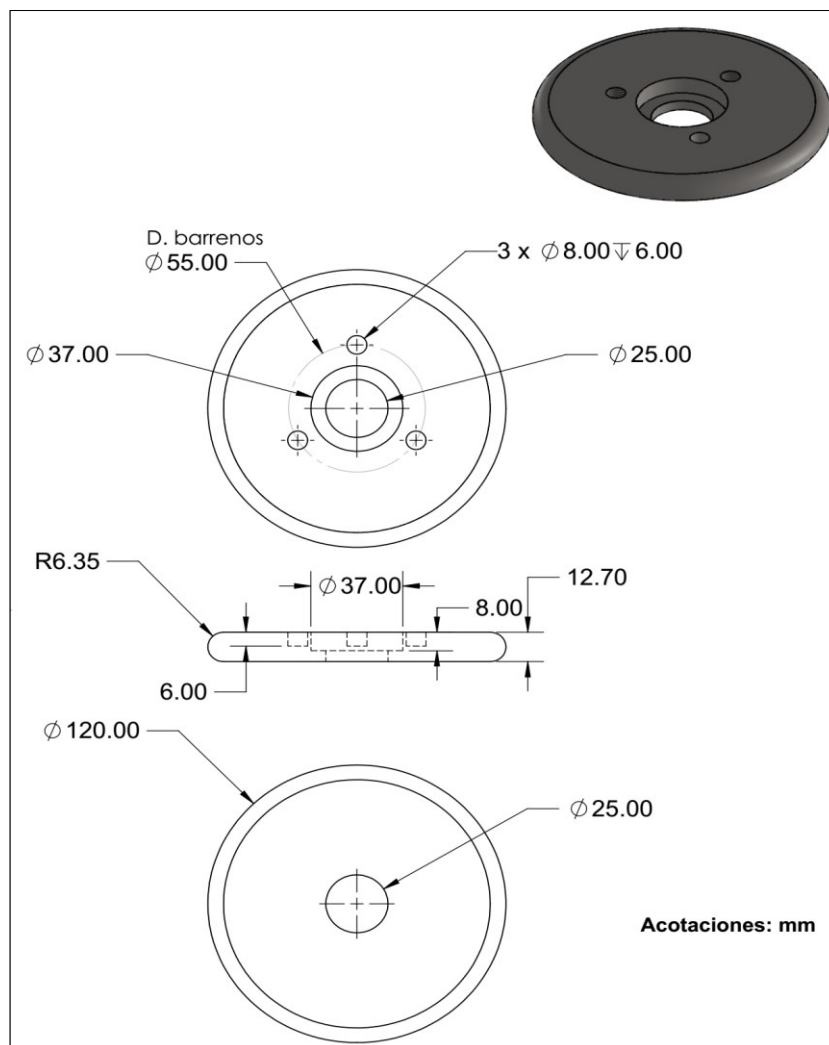


Figura 29. Ánodo

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

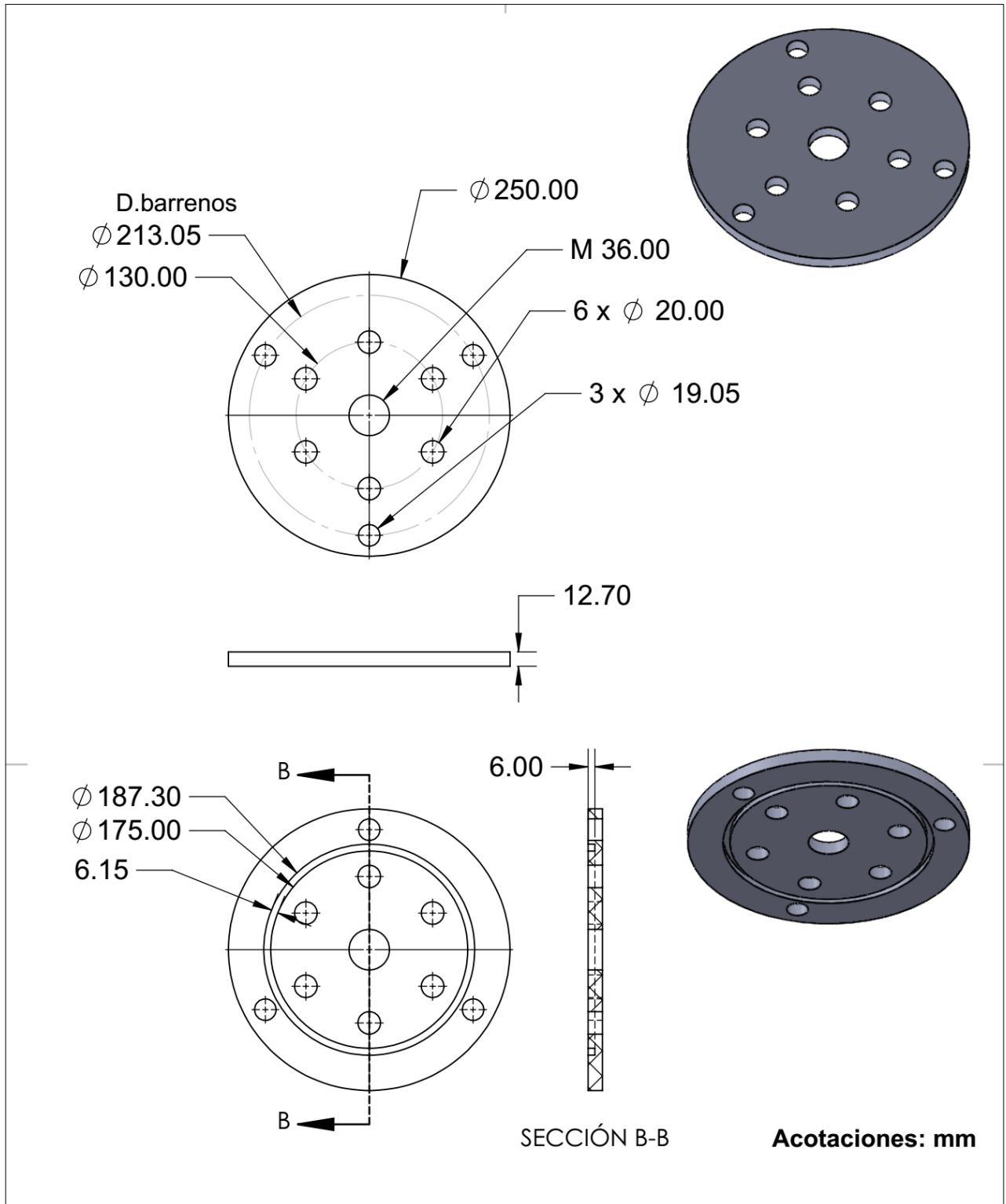


Figura 30 Soporte aislante para ánodo

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

En la Figura 31 se muestra el dibujo del ensamble del ánodo con una vista explosionada para ver la configuración, la cual ira montada en el sistema de anillo de guarda.

El material para el ánodo es el acero inoxidable, el tornillo sin fin y la tuerca es de teflón para aislarlo eléctricamente.

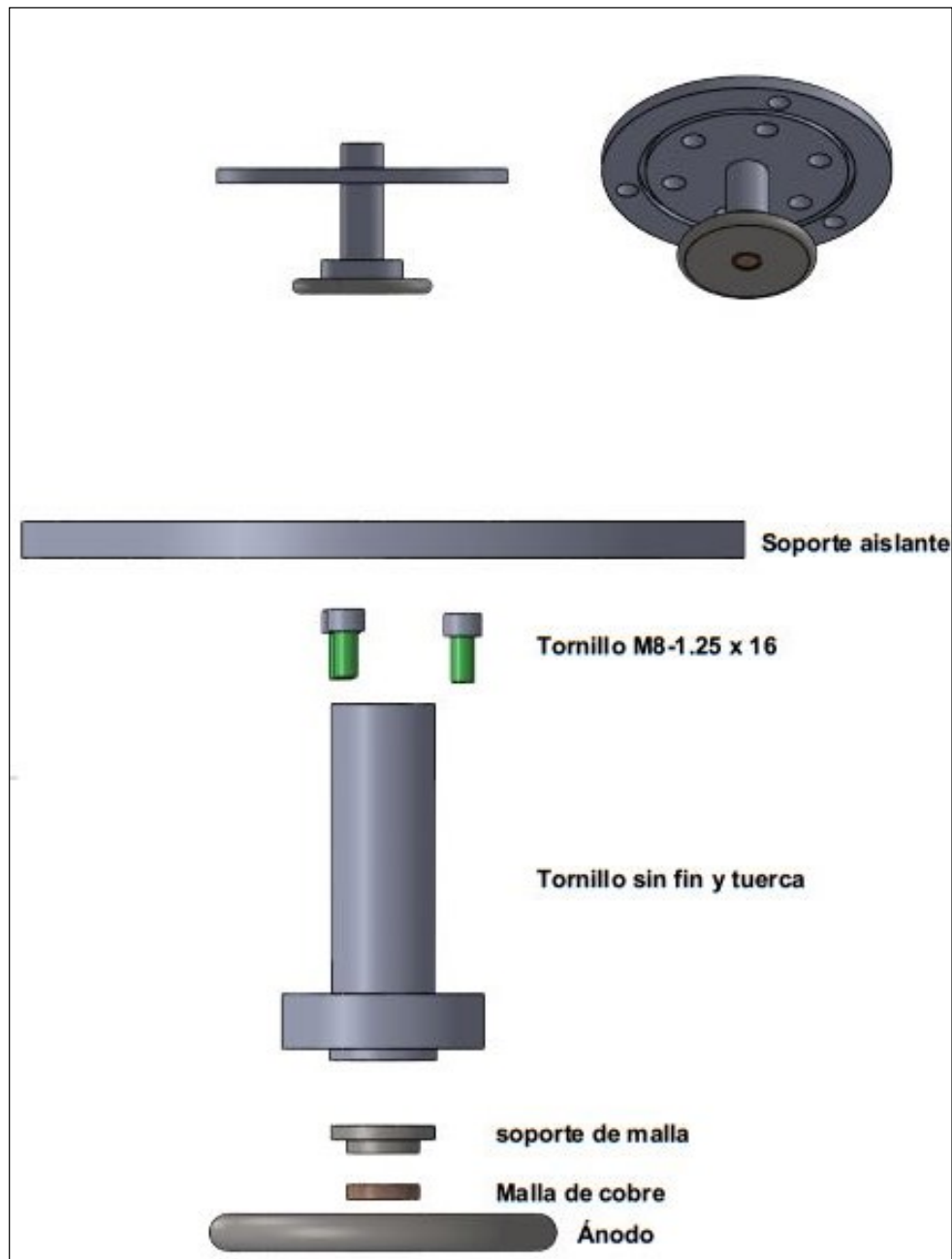


Figura 31 vista explosionada del sistema de ánodo.

4.3.2 ENSAMBLE DEL SISTEMA DE CÁTODO

Para el sistema cátodo el mecanismo de soporte es similar al que tiene el ánodo.

El cátodo tiene un diámetro de 120 mm, con espesor de 13 mm y con aristas redondeada (ver Figura 32), esto con la finalidad de tener un campo eléctrico homogéneo.

El cátodo está fabricado de aluminio para que por medio del efecto fotoeléctrico, libere electrones libres del metal cuando incida la luz del láser.

Para poder desplazar el cátodo se utiliza un tornillo sin fin montado en la placa de teflón (base aislante) que a su vez está montada en la placa base a través de cuatro pilares de teflón con injerto de acero inoxidable, y con seis barrenos de 20 mm de diámetro para facilitar el vacío. Esta misma placa sirve para el soporte de los anillos de guarda que se van a utilizar en el capacitor (ver Figura 33).

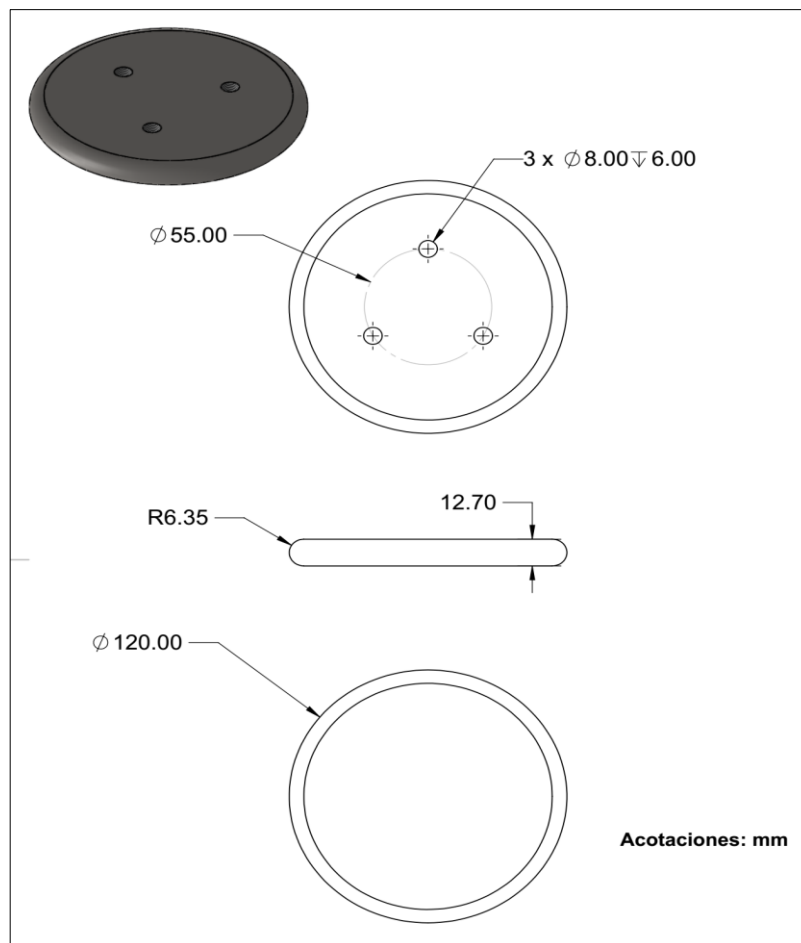


Figura 32. Cátodo

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

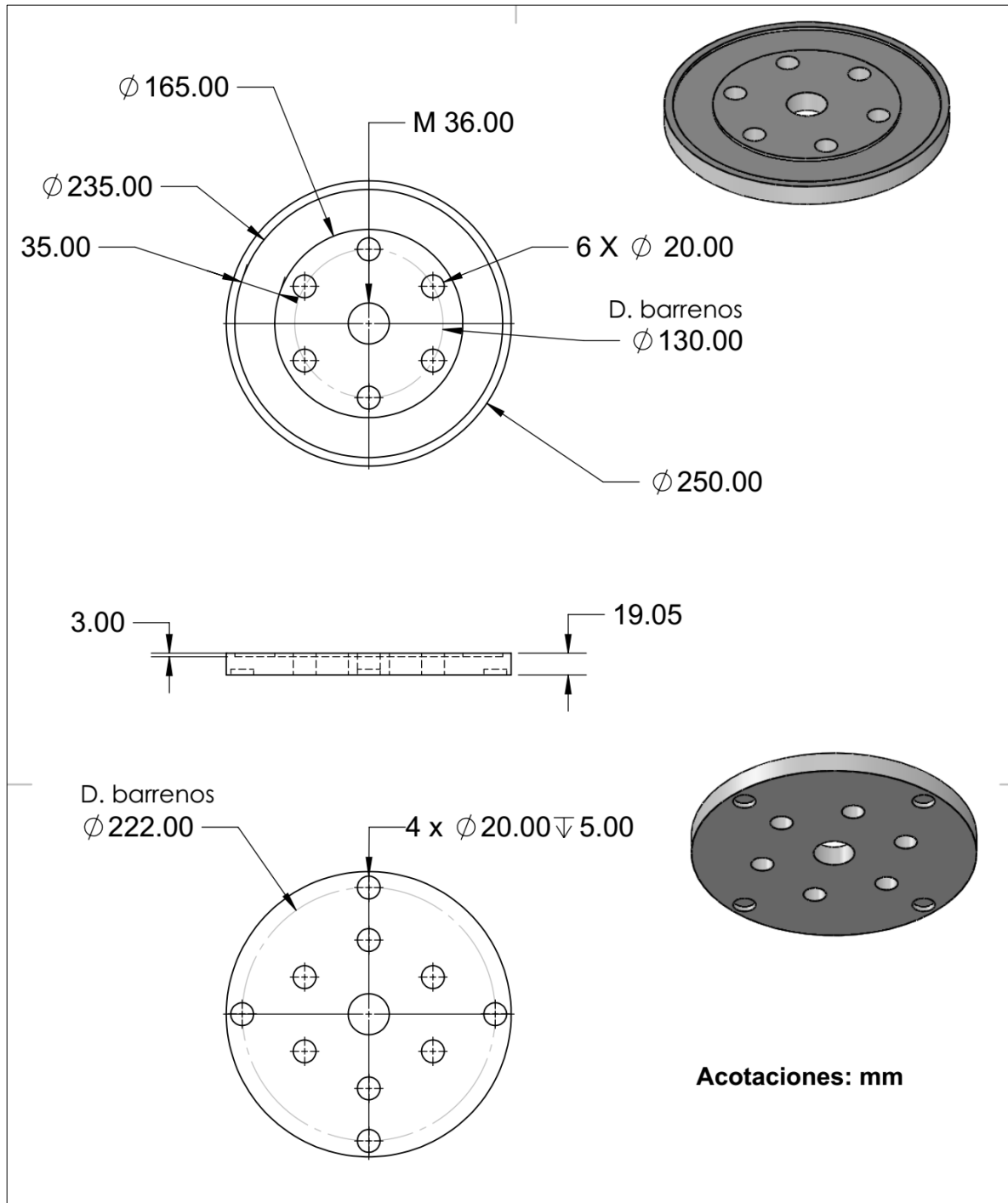


Figura 33. Base aislante para los anillos de guarda y cátodo

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

En la Figura 34 se observa una vista explosionada de todos los componentes que integran el sistema de cátodo.

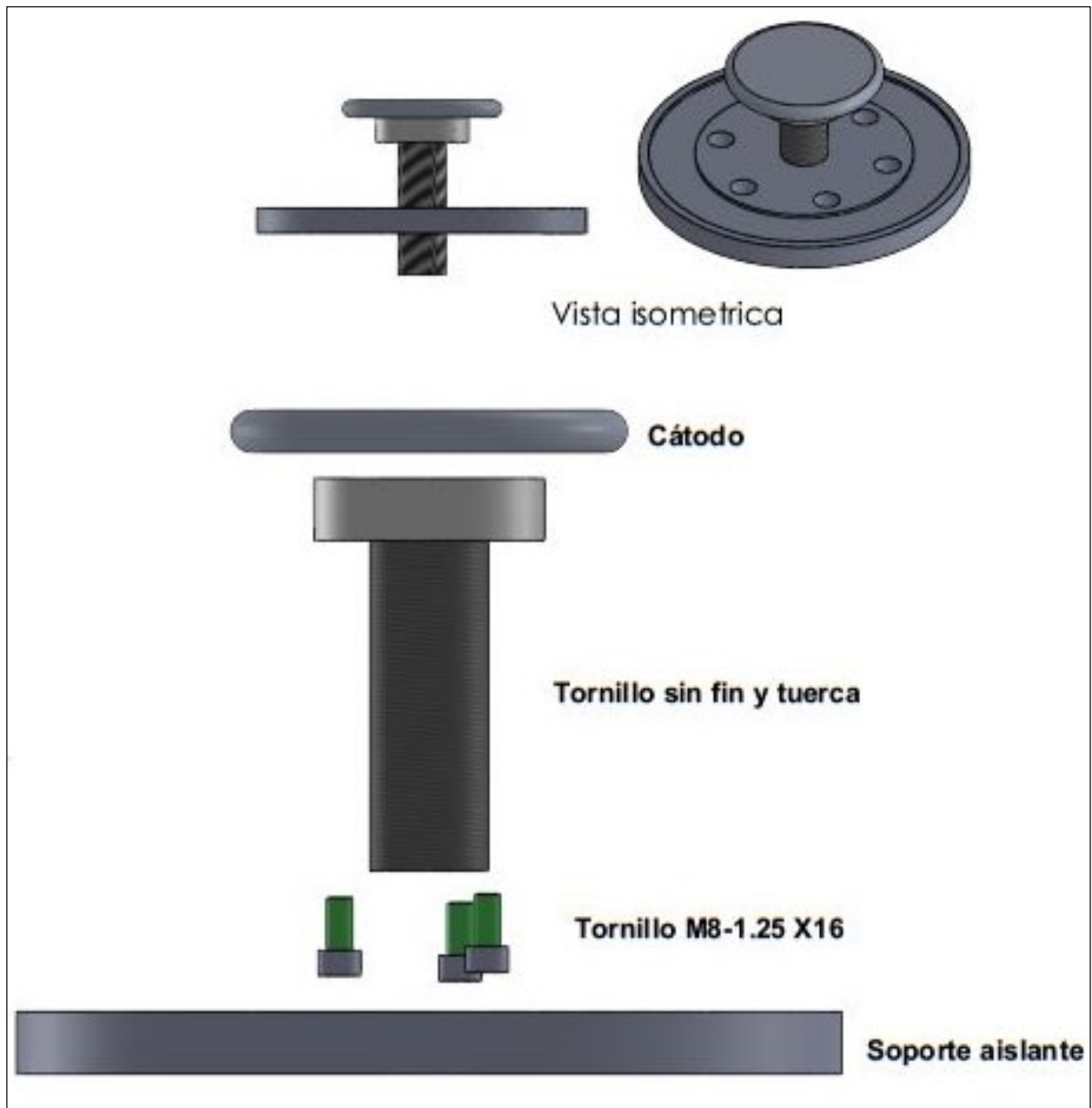


Figura 34 vista explosionada del sistema de cátodo

4.3.3 ENSAMBLE DEL SISTEMA DE ANILLO

Para el arreglo del capacitor que se va implementar se necesita nueve anillos de guarda de acero inoxidable no magnético de 175 mm de diámetro interno y 29 mm de espesor y uno de 58 mm de espesor, separados por esferas de rubí, teniendo una altura final de 338.5 mm en el sistema de anillos ya ensamblado, el sistema se mantiene firme mediante tres tornillos (tope) de teflón (ver Figura 35)

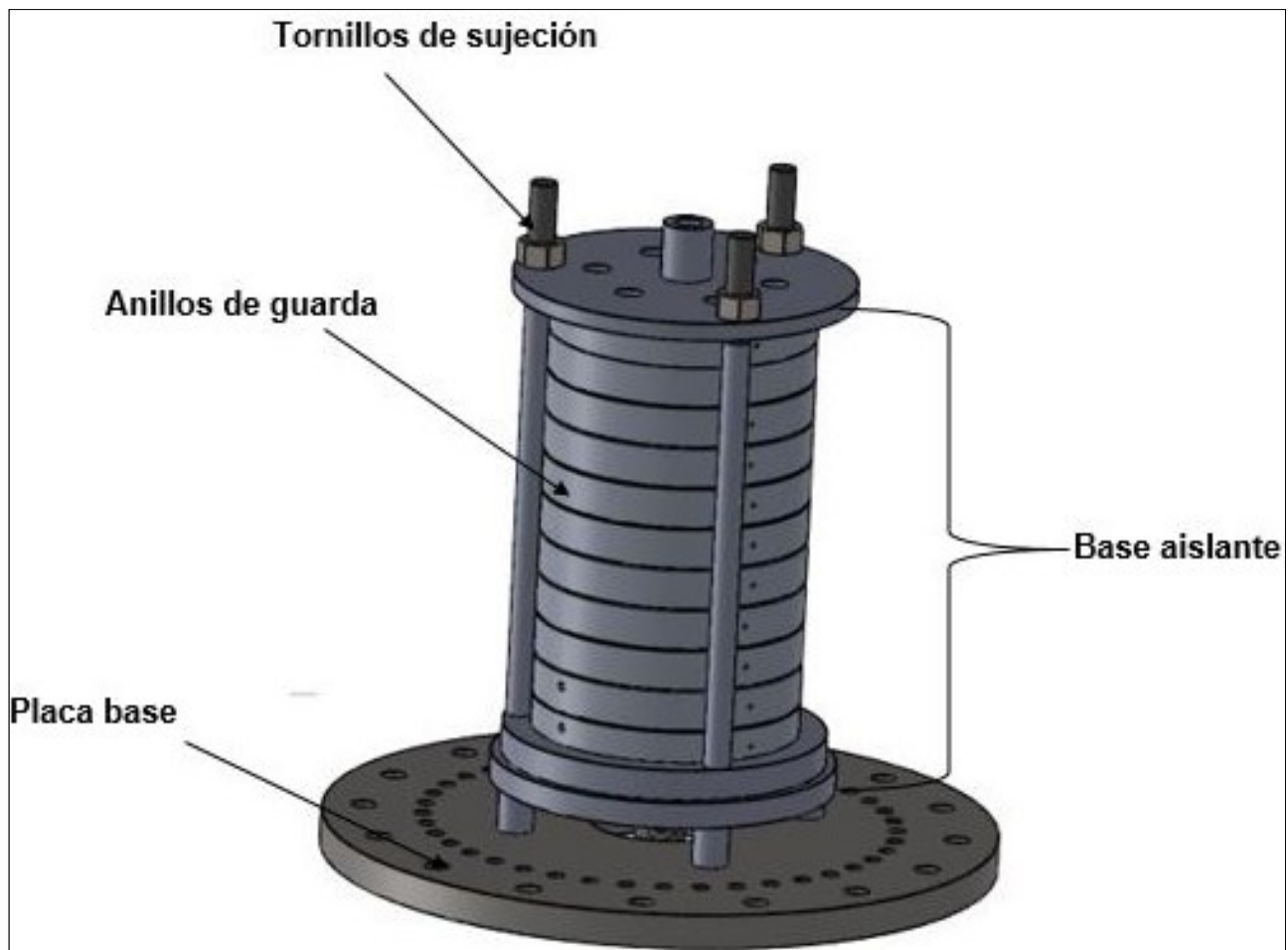


Figura 35. Sistema de anillos

Los anillos tienen una separación entre sí de dos milímetros, aplicándole una diferencial de potencial constante, producida por un divisor de voltaje, formado por nueve resistencias de 1.8 M Ω , teniendo una configuración como la que se muestra en la Figura 36.

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

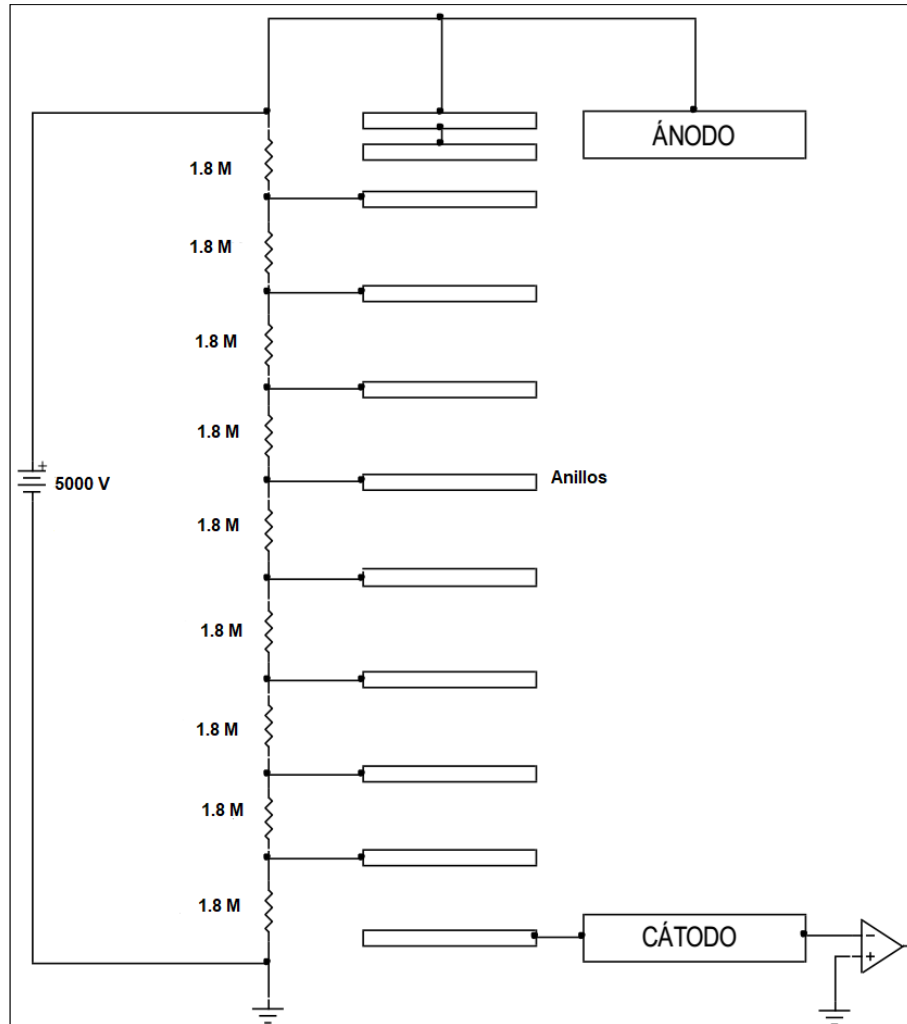


Figura 36. Esquema eléctrico del divisor de voltaje

El sistema estará montado en la placa de teflón (base aislante) para aislarlo eléctricamente, que es la misma placa que se utilizará para el cátodo, y está a su vez estará asentada en la placa base de acero inoxidable.

Por último se muestra el diseño de la cámara ensamblado en CAD (ver Figura 37 a)

En la Figura 37 b se muestra un esquema con los componentes que conformaran la cámara al momento de llevar a cabo la construcción. Se utilizara un laser Nd-YAG como fuente de luz que va a incidir en un espejo y desviarse hacia el cátodo para liberar electrones ,para el sistema de alto voltaje se utilizara una fuente de corriente directa que proporcionara un voltaje

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

maximo de 5000 volts conectado al ánodo ,el sistema de vacio estara formada por dos bombas de extraccion, una bomba mecanica y una bomba turbo-molecular.

Para la adquisicion de datos e instrumentacion de la camara se utilizara los equipos y sistemas de control que tiene el laboratorio actualmente.

El ánodo estara conectados a una fuente de alto votaje y el cátodo a un amplificador de transimpedancia.

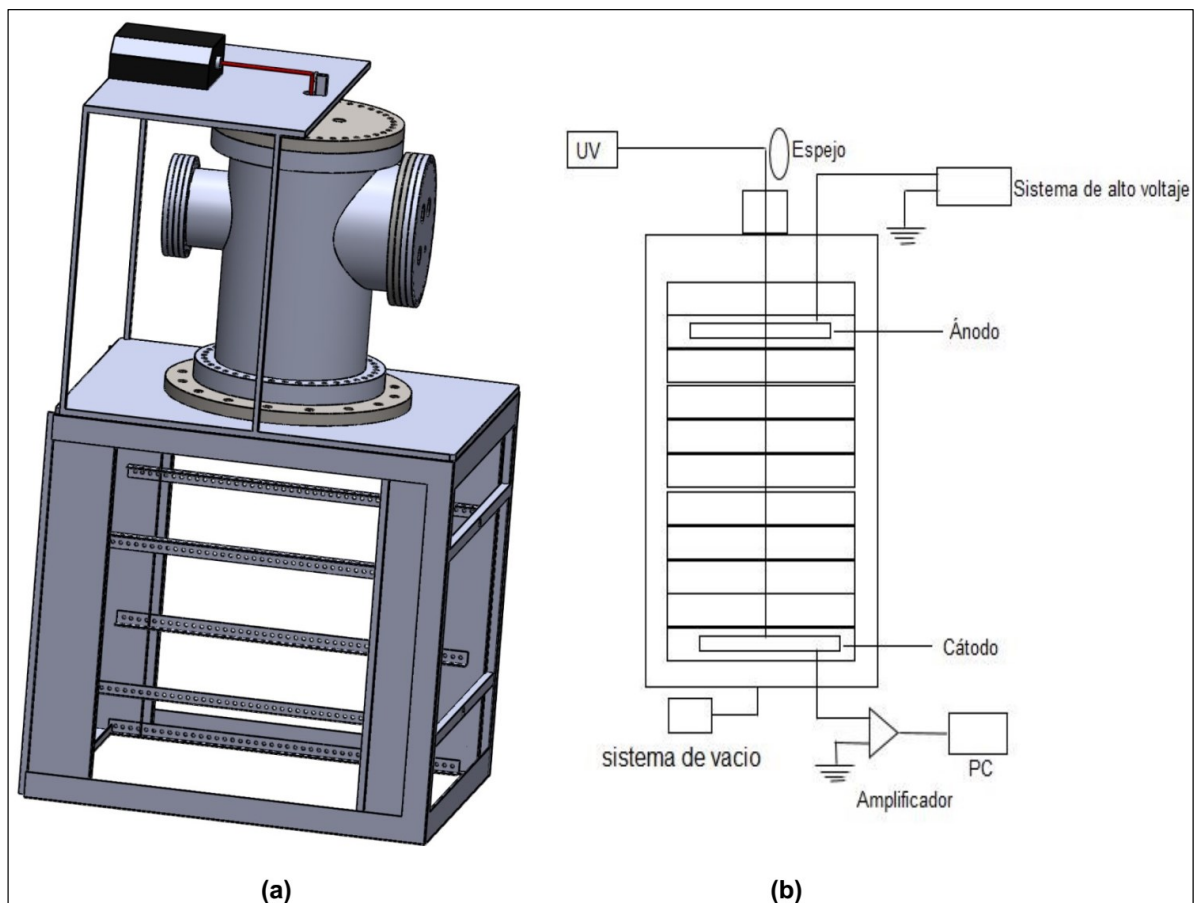


Figura 37. Vista isométrica de la cámara de Townsend y esquema simplificada

En la Figura 38 se muestra la vista explosionada del ensamble de la cámara de Townsend con los componentes del ensamblaje separados, situados para mostrar cómo encajarán cuando se ensamblen.

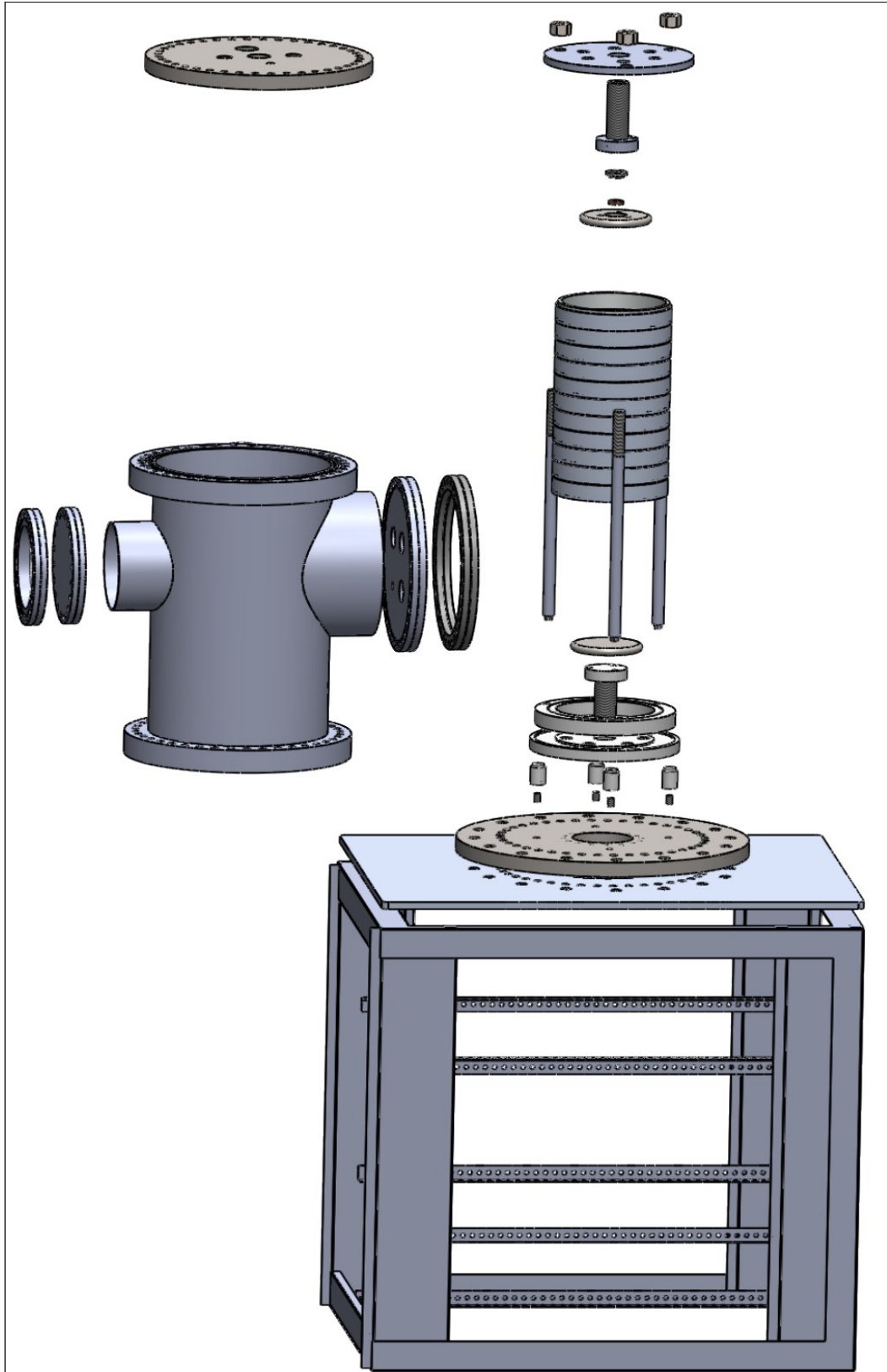


Figura 38. Vista explosionada del ensamblaje de la cámara de Townsend

4.4 SIMULACIÓN MECÁNICA

Un aspecto importante para el diseño es analizar mediante simulación mecánica la seguridad de las piezas diseñadas para conocer si pueden llegar a fracturarse o tener una deformación en exceso debido a las tensiones soportada en sus condiciones de trabajo.

Mediante la simulación mecánica se puede obtener información para identificar si la pieza sufrirá rotura o no, que zonas son susceptibles de rotura y como deberían de modificarse para evitarlo.

Por medio de un programa de diseño llamado Solidworks se hace un análisis estático a cada uno de los componentes de la cámara, este análisis calcula el desplazamiento, las deformaciones unitarias, las tensiones y la distribución de factor de seguridad.

Se realizó el análisis mecánico a la placa de soporte en donde estará montada el sistema de anillos y los componentes de los electrodos (ver Figura 39). Esta pieza es muy importante porque es la que va a soportar todo el peso del capacitor.

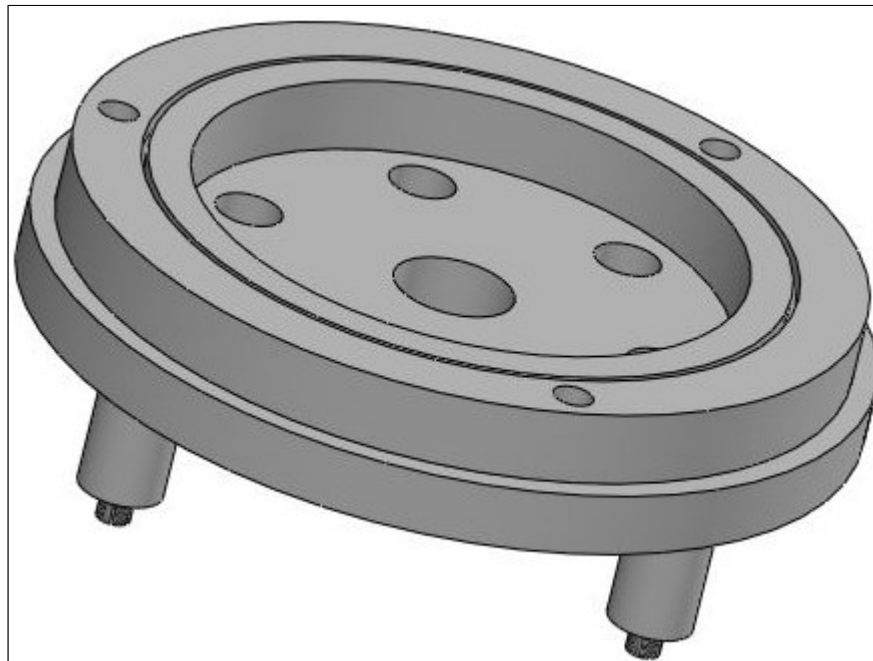


Figura 39. Soporte para el sistema del capacitor.

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

El material para la placa es el teflón y sus propiedades mecánicas se observan en la Tabla 3,

Tabla 3. Propiedades mecánicas del Teflón **(International, 2009)**

Property	Minimum to maximum value	
	Metric	US
Compressive strength	11.2–12.3 MPa	1.62–1.78 ksi
Tensile strength	24.8–41.3 MPa	3.6–5.99 ksi
Bulk modulus	1.53–1.6 GPa	0.222–0.233 10 ⁶ psi
Young's modulus	0.196–0.904 GPa	0.0285–0.131 10 ⁶ psi
Shear modulus	0.138–0.19 GPa	0.02–0.0276 10 ⁶ psi
Flexural strength (modulus of rupture)	29–48.3 MPa	4.2–7.01 ksi
Elongation	330–409%	330–409%
Hardness—Vickers	5.9–6.5 HV	5.9–6.5 HV
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0.0725–0.1	0.0725–0.1
Poisson's ratio	0.46	0.46
Yield strength (elastic limit)	19.7–21.7 MPa	2.86–3.15 ksi
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	5.75–7 MPa	0.834–1.02 ksi

El tipo de análisis ejecutado es de tipo estático, se le aplicó una carga de 157 N, que es equivalente a soportar una masa de 16 Kg, que representa la suma del peso de cada uno de los componentes del capacitor incluyendo los anillos de guarda, aplicada ya con la gravedad nos una carga de 157N. A través del análisis se analiza los resultados obtenidos de esfuerzos y deformación para verificar que la pieza funcione para lo que fue diseñada.

La carga fue aplicada en el área en donde va ir asentado los anillos de guarda como se muestra en la Figura 40.

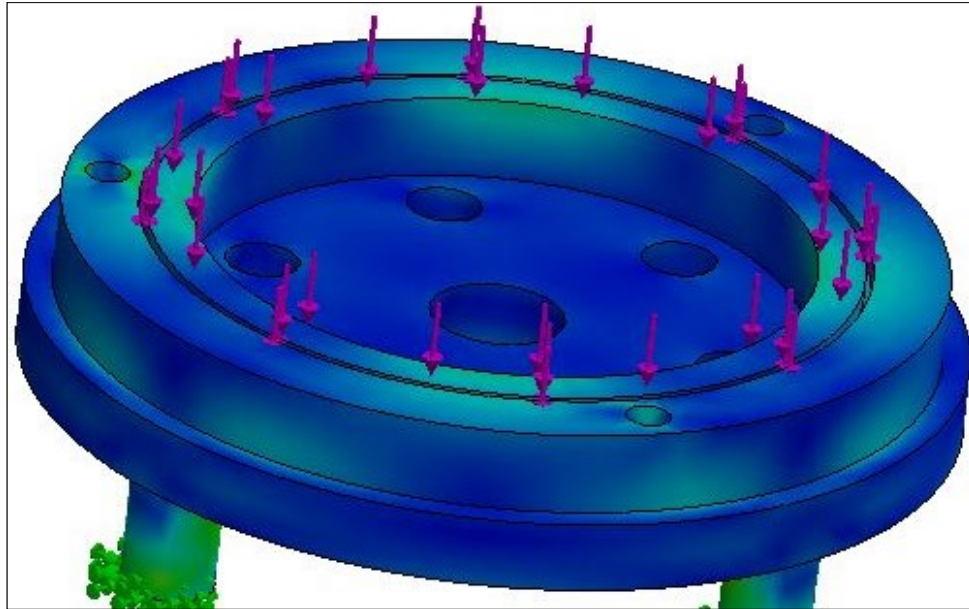


Figura 40. Distribución de las fuerzas.

A continuación se muestra los resultados obtenidos en el estudio efectuado a la pieza, en la Tabla 4 se muestra la comparación del módulo y el límite elásticos del material, con respecto a los resultados obtenido en la simulación.

Tabla 4. Resultados del análisis de la placa

Material : TEFLÓN		Tensión de Von Mises [MPa]	
Modulo elástico [GPa]	Limite elástico [MPa]	Límite de tensión de Von Mises	
0.196 GPa	9 MPa	mínimo	máximo
		0.0004822 MPa	0.1799 MPa

El desplazamiento máximo que soporta la pieza se muestra en la Figura 41 en donde se observa que los mayores desplazamientos están en las zonas rojas, de acuerdo a la simulación se concluye que el material y el espesor propuesto es apto para el diseño de la pieza, ya que el Teflón tiene un límite elástico de 9 MPa y la tensión de Von Mises máxima es de 0.1799 MPa, lo que está dentro del parámetro del límite elástico del material.

CAPITULO 4 DISEÑO MECÁNICO DE LA CÁMARA DE TOWNSEND

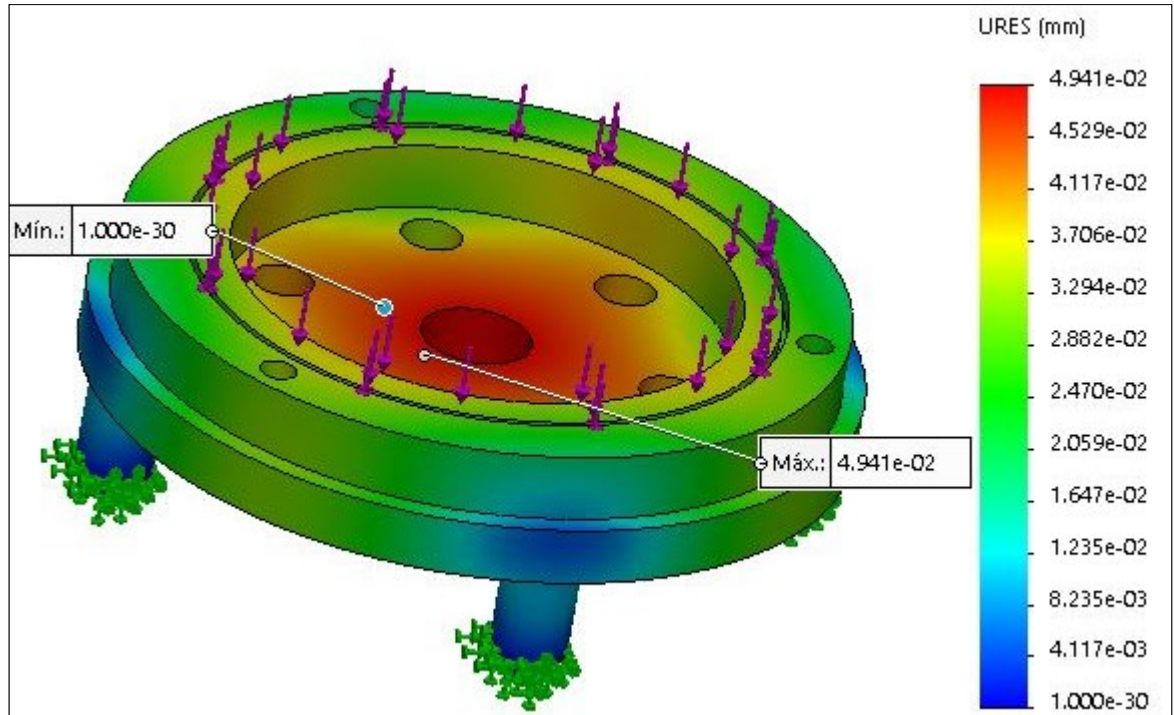


Figura 41. Desplazamiento resultante en el análisis de la pieza.

En función de los resultados obtenidos en las tensiones y deformaciones a la que es sometida la placa se concluye que no se genera ningún tipo de problema y el diseño se considera adecuado mientras la tensión Von Mises del material no supere su límite elástico, el desplazamiento se toma como aceptable ya que no hay fractura en el material.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES.

Se alcanzó el objetivo general y específico propuesto en el trabajo de tesis, ya que se tiene el diseño mecánico para la construcción de una nueva cámara de Townsend de investigación para ser utilizada en gases de baja presión de vapor que se instalara para su funcionamiento en el laboratorio de plasmas de baja temperatura del Instituto de Ciencias Físicas (ICF) de la UNAM.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones presentadas, se encontró que el caso 4 es el que representa el arreglo ideal para la medición de los parámetros de transporte electrónico en gases de baja presión de vapor bajo un campo eléctrico homogéneo, en donde tiene un valor de campo eléctrico de 18.18 V/mm al centro y 18.22 V/mm en el intervalo de 5 a 15 mm de radio al centro, es decir una variación del 1 %.

De la comparación del caso 1 (arreglo original) y el caso 4, las líneas de campo eléctrico entre electrodos son homogéneas y la variación del campo eléctrico medido en el intervalo de 5 a 15 mm de radio al centro del electrodo es de aproximadamente el 1% con respecto al medido en el centro de los electrodos en los dos casos.

Los resultados obtenidos en la simulación de campos eléctricos y en el análisis estático son una aproximación a las condiciones de trabajo lo más apegadas a la realidad

De acuerdo a los requerimientos que se necesita para la cámara de Townsend, en función de sus propiedades mecánicas y eléctricas el material que se usara para la cámara es un acero inoxidable 304L y como aislante se ocupara el Teflón.

TRABAJOS A FUTUROS

Se hacen las siguientes recomendaciones para continuar con el trabajo:

- llevar a cabo la construcción de la cámara de Townsend
- hacer pruebas con gases conocidos para comprobar que la cámara trabaje de manera eficiente.
- iniciar estudios de las propiedades de transporte eléctrico en gases de baja presión de vapor.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Basurto Uribe, E. (2000). propiedades de transporte y de reaccion de iones en gases puros y en mezclas de interes atmosferico e industrial. Mexico D.F.: Tesis doctoral.
- Daintith, J. (2009). Biographical Enciclopedia of Scientists. Market House Books Ltd.
- Farías, L. T. (1995). el vacio y sus aplicaciones. Mexico: fondo de cultura economica.
- Harper, C. A. (2000). Modern plastics handbook. Nueva york : McGraw-Hill.
- Hernández, M. (2004). Construccion de una cámara de descarga tipo Townsend para el estudio de las propiedades de transporte de iones y electrones en gases dielectricos. Mexico: Tesis de maestrias.
- International, A. (2009). materials and coatings for medical devices. Ohio.
- Lesker, c. K. (s.f.). Obtenido de <https://www.lesker.com/newweb/chambers/technicalnotes.cfm>
- Norton, R. L. (2011). Diseño de Maquinas. Mexico: Pearson Educacion .
- Rafael, C. S. (2018). Estudio de los fenomenos de transporte electronicos de gases alternos al SF6 para su aplicacion como aislamiento en equipo electrico de alta tension, tesis de maestria. Cuernavaca, Morelos.
- Sanchez, H. T. (2002). Los rayos: una visión mitológica, científica y tecnologica. Bogotá: UNIBIBLOS.
- Scientific Instrument Services, I. (. (s.f.). Obtenido de <https://simion.com/>
- Sotelo, J. O. (2009). El PLASMA, ese universo de todos... tan desconocidos. Obtenido de http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/CONTACTO_28_PLASMA.pdf
- Talledo, A. (2013). Tecnologia de alto vacio. Lima, Peru: guslop.
- Yunus A. Çengel, J. M. (2006). Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. MCGRAW-HILL.