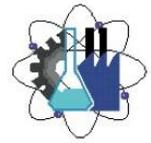




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**DISEÑO Y MODELADO CAD DE SÓLIDOS VIRTUALES  
PARA LA RECONVERSIÓN DE UN TUBO DE DERIVA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**P R E S E N T A**

**PEDRO LUIS RAMIREZ ALVAREZ**

**DIECTOR DE TESIS:**

**DR. OLMO GONZALEZ MAGAÑA**

**Cuernavaca Mor. 2023**

*No tienes que ser un genio,  
un visionario o graduado  
para tener éxito. Todo lo que  
necesitas es perspectiva y un sueño.*

**MICHAEL DELL**

## DEDICATORIA

¡GRACIAS! Mamá, Papá, Abuelita y Hermano. Por su apoyo incondicional y sin escatimar el tiempo invertido hacia mi persona.

A mi novia por su apoyo en todo momento.

Gracias a todas las personas que de manera directa o indirecta formaron parte de este proyecto que hoy se hace realidad.

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias al Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM por el apoyo institucional y de infraestructura que se me proporciono para desarrollar esta tesis.

A los doctores Jaime de Urquijo Carmona, Olmo González Magaña y Victor Zezatti Flores por su apoyo y consejos para elaborar esta tesis y por proporcionarme las herramientas necesarias.

Doy gracias a los ingenieros Armando Bustos Gómez, Guillermo Gerardo Bustos Maya, Héctor Hugo Hinojosa Galván por el apoyo técnico y sus consejos dados.

Al Ingeniero Marcos Irving Salinas Guzmán por su asesoramiento técnico del programa SolidWorks durante la realización de esta tesis, al Ingeniero Alfonso Telles Zeferino por alentarme a culminar este proyecto de tesis.

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías CONAHCyT por la beca de ayudante de investigador SNI III.

Trabajo realizado gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM **IA101922**.

## INDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS: .....	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	14
<b>CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TUBO DE DERIVA ORIGINAL..</b>	<b>15</b>
2.1 REGIONES PRINCIPALES DEL TUBO DE DERIVA.....	16
2.1.1 REGIÓN DE IONIZACIÓN.....	17
2.1.2 REGIÓN DE ARRASTRE O DE DERIVA .....	18
2.2 REGIÓN DE DETECCIÓN.....	19
<b>CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA LA RECONVERSIÓN DEL TUBO DE DERIVA.....</b>	<b>20</b>
3.1 EL DISEÑO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA .....	20
3.2 REQUISITOS DE LAS PIEZAS A IMPLEMENTAR EN EL TD .....	21
3.3 PROCESO DEL DISEÑO .....	21
3.3.1 ETAPAS DEL PROCESO DE DISEÑO .....	22
3.3 DISEÑO DE UN TORNILLO DE POTENCIA .....	24
3.4 HERRAMIENTAS Y RECURSOS DE DISEÑO CAD .....	25
3.5 NORMAS .....	26
3.6 MATERIALES UTILIZADOS.....	27
3.7 ESFUERZO-DEFORMACIÓN.....	29
3.8 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN .....	29
<b>CAPÍTULO 4. DISEÑO Y MODELAJE DE UN NUEVO TUBO DE DERIVA.....</b>	<b>31</b>
4.1 SECCIONES TUBULARES DEL TD.....	32
4.2 ANILLOS DE GUARDA .....	33
4.3 NUEVO TUBO DE DERIVA .....	35
4.4 PLACA BASE .....	37
4.5 DISCO Y SOPORTE DE LAS REJILLAS DE DISPARO. ....	38
4.6 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DE ANILLOS DE GUARDA.....	40

4.7 SOPORTE GUÍA DEL TORNILLO DE POTENCIA CON ACCESORIOS.....	41
4.8 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE ROSCA TRAPEZIAL ACME .....	44
4.9 TAPA DEL NUEVO TUBO DE DERIVA .....	49
4.10 SOPORTE DEL NUEVO TUBO DE DERIVA .....	51
4.11 LÁSER DE ND-YAG .....	52
4.12 PLANOS MECÁNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TD .....	53
<b>CAPITULO 5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO 6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación de la región de deriva y la masa, sistema de análisis y detección de Mc Daniel, (Albritton, 1968).....	13
Figura 2.1 Tubo de deriva original. Cortesía del laboratorio de plasmas de baja temperatura (Agosto de 2016).....	15
Figura 2.2 Sección transversal del tubo de deriva original (de Urquijo- Carmona, 1990).....	16
Figura 2.3 Región de ionización .....	17
Figura 2.4 Sección de termalización A) Inyector de gas, B) Región de ionización, D) Lentes de enfoque, F) Orificio de salida, G) Placa con las rejillas de disparo, H) Anillos de guarda y J) Región de termalización (Basurto Uribe, 2000). .....	18
Figura 2.5 Región de deriva donde se representa las rejillas de disparo, anillos de guarda y el orificio de muestreo (Basurto Uribe, 2000) .....	19
Figura 3.1 Etapas del proceso de diseño del TD.....	22
Figura 3.2 Consideraciones de diseño para el TD .....	23
Figura 3.3 Tornillo de potencia de rosca cuadrada y ACME (Mott, 2006) .....	25
Figura 3.7.1 Diagrama esfuerzo deformación. Tomado de (Hibeler, 2011).....	29
Figura 4 Vista isométrica del nuevo tubo de deriva .....	31
Figura 4.1 Secciones tubulares A y B del TD .....	32
Figura 4.2 A) Anillo de guarda de acero inoxidable y B) Representación de anillo de guarda por ordenador con un orificio en los primeros 4 anillos. ....	33
Figura 4.3.1 Nuevo TD vista isométrica con corte en sección transversal .....	35
Figura 4.3.2 Posición inferior del conjunto de anillos de guarda .....	36
Figura 4.3.3 Posición superior del conjunto de anillos de guarda .....	36
Figura 4.3.5 Distancia del anillo de guarda No. 4 a la zona de detección. ....	37
Figura 4.4 Placa base con muesca para sellado, barrenos, tornillos y varillas guía aisladas con forro de teflón. ....	37

Figura 4.5.1 Vista isométrica del disco base con barras guía en color azul, así como el soporte para ánodo y de rejillas de disparo .....	38
Figura 4.5.2 Vista frontal de la sección transversal del soporte del ánodo y rejillas de disparo.....	39
Figura 4.6. Sistema de discos y varillas opresoras para anillos de guarda y sistema de anclaje de conexión rápida.....	40
Figura 4.7.1 Soporte guía del tornillo de potencia con accesorios .....	41
Figura 4.7.2 A) Soporte guía para vástago de tornillo de potencia, B) Tornillo de potencia, C) Tuerca guía.....	42
Figura 4.8.1 Dimensiones del tornillo de potencia.....	47
Figura 4.9.1 Tapa del tubo de deriva.....	49
Figura 4.9.2 Anillo de anclaje con retén y labio guardapolvo. ....	50
Figura 4.9.3 Sección transversal de un retén radial con carcasa recubierta de elastómero y labio guardapolvo (Epidor 2022). ....	50
Figura 4.10 Soporte base del nuevo tubo de deriva.....	51
Figura 4.11 Representación del paso del láser por el TD .....	52
Figura 4.12 Planos mecánicos para la construcción del TD. Vista general.....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero inoxidable serie 304.....	28
Tabla 2. Distancias de los anillos de guarda con respecto a la zona de detección...36	
Tabla 3. Dimensiones de rosca trapecial ACME normalizada.....	44

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ICF - Instituto de Ciencias Físicas

UNAM – Universidad Nacional Autónoma de México

TD - Tubo de deriva

ANSI - Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)

ASME - Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers)

CAD – Dibujo asistido por computadora (Computer Aided Design)

CAE – Ingeniería asistida por computadora (Computer Aided Engineering)

AA - Asociación de aluminio (Aluminum Association)

AISI - Instituto americano del hierro y del acero (American Iron and Steel Institute)

ASTM - Sociedad americana de pruebas y materiales (American Society of Testing and Materials)

SAE - Sociedad americana de ingenieros automotrices (Society of Automotive Engineers)

## RESUMEN

La presente tesis describe el diseño mecánico basado en sólidos virtuales, modelados mediante un programa especializado de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para el nuevo diseño de un tubo de deriva (TD) originalmente instalado en el ICF-UNAM. Se presentan los dibujos técnicos de cada parte para su futura construcción. Se utilizó el software SolidWorks, en su versión estudiantil, para el diseño de las piezas, subensambles y los planos 2D necesarios para visualizar el TD antes de su construcción y, de ese modo, garantizar su correcta operación.

Se describe el funcionamiento del TD, aparato que se utiliza para la medición de la movilidad iónica y la reactividad ion-molécula en la fase gaseosa, con el fin de identificarlas. El nuevo diseño propone sustituir la fuente de iones original por una basada en un sistema láser en el Ultravioleta (UV) que ionice el gas. Para ello se diseña un sistema móvil que permita cambiar en cuatro posiciones la distancia de separación entre la fuente y la zona de detección.

Se implementa un sistema de movimiento compuesto de tres partes; un par de discos y varillas opresoras que mantienen unidos al conjunto de anillos de guarda; un tornillo de potencia que permite el movimiento lineal y una pieza de diseño único llamada **sistema de anclaje**. El tornillo de potencia que se utiliza cuenta con anillos de Viton que sirven para mantener hermética la cámara del TD.

Los materiales necesarios para la creación de los nuevos elementos de la cámara del TD deben tener buenas propiedades mecánicas, ser inertes y disponibles comercialmente, para ello se propone emplear acero inoxidable 304, politetrafluoretileno (PTFE o teflón), latón 260 para los componentes en el interior de la cámara, acero al carbón A36 para la mesa base y aluminio 6061 para la placa que sostendrá todo el sistema. Por otra parte, el subsistema fijo y móvil interno del TD se diseñó en su mayoría de politetrafluoretileno (teflón) ya que por sus propiedades mecánicas y físicas es un excelente material aislante para su uso en esta aplicación, además de contar con piezas de acero inoxidable que por sus propiedades mecánicas es seleccionado para formar parte de este diseño.

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Hay partículas, como los átomos y moléculas, que no pueden observarse a simple vista y que requieren de dispositivos de detección especializados para poder estudiarlas. Durante años, en el campo de la física apoyada por la ingeniería se ha desarrollado investigación para diseñar y crear dispositivos cada vez más complejos que permitan estudiar las propiedades de partículas con carga eléctrica, comúnmente llamadas ionizadas. Un área en la que dichos instrumentos son indispensables es la física de plasmas, la cual tiene un gran número de aplicaciones. Los plasmas pueden dividirse por su baja o alta temperatura; por ejemplo, los plasmas de fusión termonuclear pertenecen a los plasmas de alta temperatura en los que está altamente ionizado, mientras que los tubos fluorescentes o los televisores de plasma son ejemplos de plasmas de baja temperatura.

En este trabajo se describe el reacondicionamiento de un TD para el estudio de movilidades iónicas en plasmas de baja temperatura, aunque primero es necesario presentar algunos conceptos importantes.

Una de las aplicaciones comunes del TD es la detección de partículas de sustancias nocivas para la salud y explosivos en aeropuertos, entre muchos otros usos. El TD es un dispositivo experimental para la medición de las movilidades de partículas cargadas que se mueven en el seno de un gas, impelidas por un campo eléctrico constante y uniforme en su interior; este espacio se llena con un gas a presión constante y por uno de sus extremos se generan o inyectan el conjunto de partículas cargadas, mismas que derivan y reaccionan a través del gas que quiere analizarse bajo la acción del campo eléctrico acelerador. Las partículas cargadas, en este caso iones, son detectadas en el extremo opuesto, junto con las especies secundarias que pudieran haberse formado al paso de los iones primarios.

Los primeros experimentos realizados con un tubo de deriva remontan en el año de 1938 por Tyndall con el tema de movilidad de iones de Li y Na en la Universidad de Cambridge. Se puede apreciar un ejemplo de este modelo en la **Figura 1.1**.

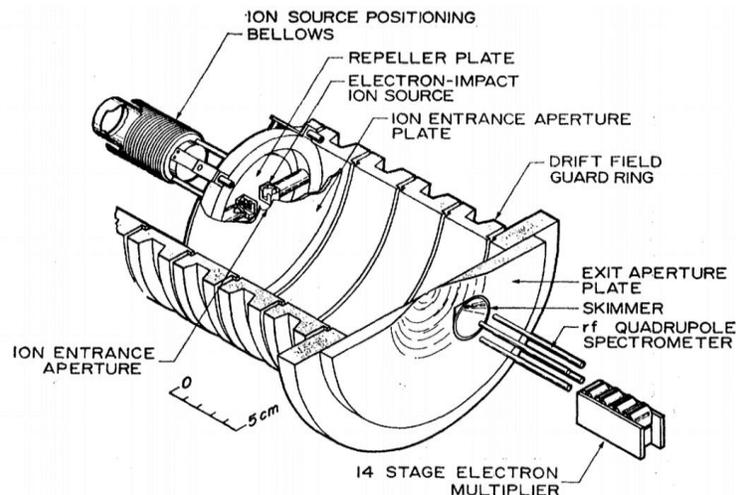


Figura 1.1 Representación de la región de deriva y la masa, sistema de análisis y detección de Mc Daniel, (Albritton, 1968)

En 1985, en el ahora Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, se adquirió un tubo de deriva con espectrometría de masas tanto en la fuente como en el detector, y del cual se publicaron varios trabajos. Después de modificar sustancialmente la fuente de iones original y construir el sistema de inyección de iones, el TD operó durante 13 años, produciendo trabajos en los que se reportan movilidades y coeficientes de difusión longitudinal y tasas de reacción.

E. Basurto, describe en su tesis doctoral la incorporación al TD un espectrómetro de masas cuadrupolar en la fuente de iones con el que se pudo medir la movilidad y difusión longitudinal de  $\text{He}^+$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Ne}^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{O}_2^+$  y  $\text{CO}_2^+$  en su respectivo gas paterno (Basurto Uribe, 2000). El diseño original del TD, hecho en los Estados Unidos, no permitía exceder la presión del gas de arrastre arriba de 1 Torr, lo que complicaba el estudio de sistemas asimétricos tales como  $\text{Ar}^+$  en  $\text{SF}_6$ , ya que el ion no se equilibraba durante su vuelo hacia el detector, haciendo prácticamente imposible la medición de múltiples sistemas asimétricos de interés. En 2016 se decidió desmontar el TD principalmente por esta razón.

En esta tesis se ha rediseñado el TD, empleando la teoría del diseño mecánico y el modelado de sólidos en 2D y 3D, así como de la tecnología de los materiales y procesos de manufactura que permitan operar el TD eficientemente con el propósito de estudiar sistemas ion-molécula asimétricos y acelerar la obtención de los

espectros de tiempo de arribo iónico. Además, es importante optimizar los procesos de ensamblado y calibrado durante su reconstrucción. El cambio más importante en el nuevo sistema es que se sustituye la antigua fuente de iones, basada en un filamento caliente, por un láser de Nd:YAG que genere los iones directamente por fotoionización del gas en su interior.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS:

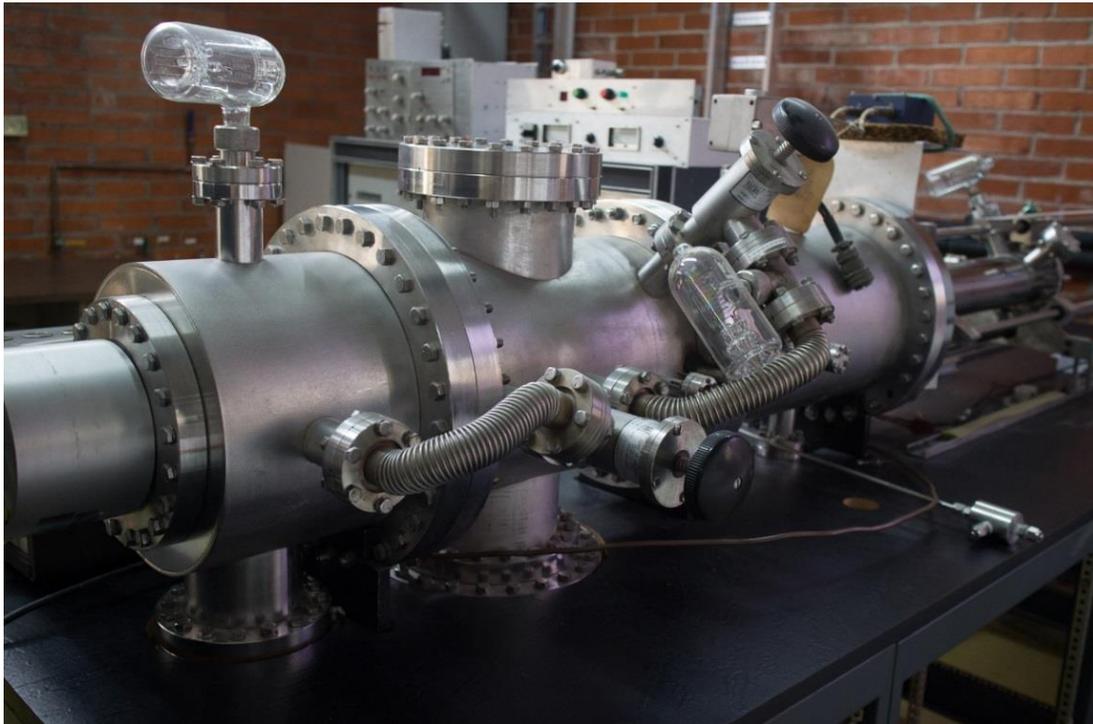
- Diseñar y modelar el TD con sólidos virtuales, para que opere verticalmente con apoyo del software especializado CAD.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Modelar los sólidos virtuales que componen al TD original.
- Rediseñar los componentes mecánicos para que operen de forma vertical.
- Diseñar una nueva fuente de iones que utilice un haz de láser pulsado para fotoionizar el gas.
- Diseñar y modelar un sistema de desplazamiento vertical para la nueva fuente de iones y el sistema de anillos.
- Obtener planos 2D de piezas individuales, subensambles y ensambles totales de tipo panorámicos y de vista explosionada isométrica.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TUBO DE DERIVA ORIGINAL

El TD es un dispositivo que utiliza una técnica de espectrometría de masas para medir la movilidad de iones en un gas. Se mide el tiempo que los iones tardan en atravesar una cierta distancia en el seno de un gas sometido a la influencia de un campo eléctrico uniforme. En las **Figuras 2.1 y 2.2** se observan una imagen y un diagrama del TD original.



*Figura 2.1 Tubo de deriva original. Cortesía del laboratorio de plasmas de baja temperatura (Agosto de 2016).*

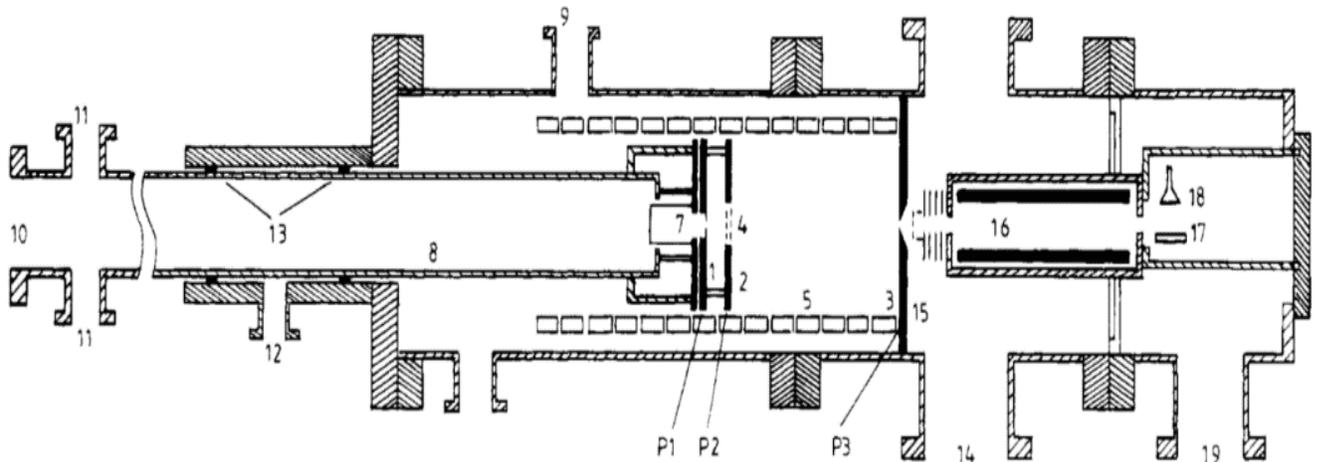


Figura 2.2 Sección transversal del tubo de deriva original (de Urquijo- Carmona, 1990).

En la **Figura 2.2**, se aprecia un corte transversal del aparato en donde se observan los elementos más importantes del tubo de deriva:

- |  |  |
|--|--|
| 1) Placa de salida de fuente de iones. | 11) La fuente tiene y alimentación eléctrica a través de entradas. |
| 2) Placa de persiana.                  | 12) Salida de bombeo diferencial.                                  |
| 3) Placa final con tobera.             | 13) Anillos de vacío de PTFE.                                      |
| 4) Rejillas de persiana.               | 14) Salida de criobomba.   |
| 5) Anillos de guarda.                  | 15) Ionizador y lentes de enfoque.                                 |
| 6) Espacio de deriva.                  | 16) Espectrómetro de masas cuadrupolar.                            |
| 7) Fuente de iones.                    | 17) Dinodo de conversión.  |
| 8) Cámara de vacío.                    | 18) Canal de múltiples electrones.                                 |
| 9) Entrada de gas de deriva.           |  |
| 10) Salidas de turbo bomba.            |  |

En la siguiente sección se describen las componentes principales del tubo de deriva y se presenta un resumen de su funcionamiento que está basado en la tesis doctoral del Dr. Basurto ([Basurto Uribe, 2000](#)).

## 2.1 REGIONES PRINCIPALES DEL TUBO DE DERIVA

El TD original consta de tres cámaras de acero inoxidable no magnético, serie 304, unidas entre sí con sellos de cobre. Se evita el uso de materiales que puedan generar campos magnéticos no deseados que afecten la trayectoria de los iones. Así mismo se utilizan materiales resistentes a condiciones de vacío que permitan evacuar el sistema a una presión en el orden de  $10^{-7}$  Torr, (1 Torr = 133.316 Pa),

para evitar al máximo la presencia de impurezas. La presión de vacío se obtiene con 2 estaciones que incluyen una combinación de bombas rotatoria-turbo molecular y una bomba criogénica, esta última a la salida del espacio de arrastre. La primera estación se ubicaba en la región de la fuente de iones y tenía una capacidad de 500 L/min, la segunda estaba posicionada en la cámara de detección y tenía una capacidad de 330 L/min.

Para una mayor comprensión del funcionamiento del TD lo dividiremos en 3 partes principales: **Región de ionización, región de arrastre y zona de detección.**

### 2.1.1 REGIÓN DE IONIZACIÓN

La región de ionización contaba con una fuente de iones, como se observa en la **Figura 2.3**, la cual generaba iones a partir del impacto de electrones emitidos por un filamento de tungsteno caliente con el gas. Los iones que se producidos en la región de ionización se extraían mediante la acción de un campo eléctrico, (explicado en mayor detalle en el apartado “**región de arrastre**”), donde posteriormente pasan por un conjunto de lentes electrostáticas que los enfocan hacia un orificio de 0.1 mm de diámetro, a través del cual ingresan en la sección de termalización.

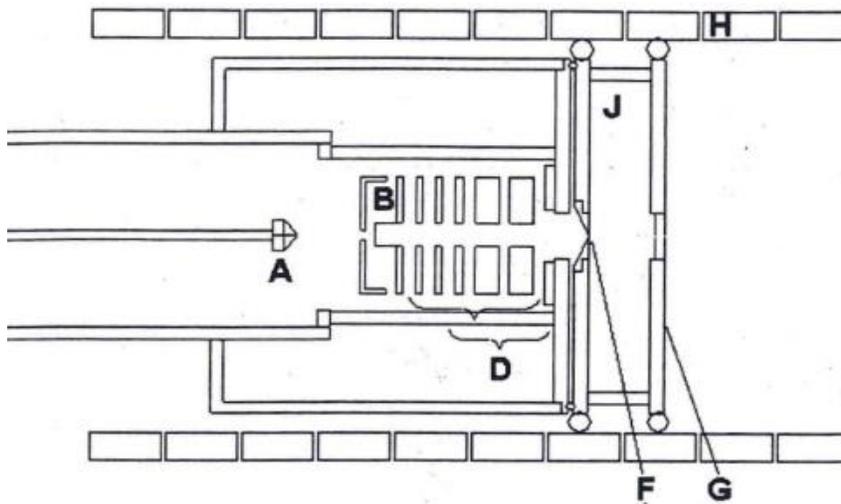


*Figura 2.3 Región de ionización*

La sección de termalización tiene 31 mm de largo y es un paso obligado muy importante previo al arribo de los iones a la región de arrastre, ya en esta región los iones pierden la energía cinética ganada a su paso por las lentes de enfoque. Tal

efecto se consigue porque el ion sufre múltiples colisiones en la región de termalización, perdiendo la energía de exceso y alcanzándose el equilibrio.

Al final de la fuente de iones se encuentra una placa con un par de rejillas de cobre, denominadas rejillas de disparo, las cuales se encuentran separadas 1 mm. La función que cumplen es interrumpir el flujo de iones dependiendo del valor de sus potenciales de polarización y generándose un pulso de disparo con una duración entre 1 y 20  $\mu\text{s}$ , que es un lapso significativamente más corto al compararlo con el tiempo de vuelo de los iones en atravesar la región de arrastre entre 0.5 a 50 ms, como se aprecia en la **Figura 2.4**



*Figura 2.4 Sección de termalización A) Inyector de gas, B) Región de ionización, D) Lentes de enfoque, F) Orificio de salida, G) Placa con las rejillas de disparo, H) Anillos de guarda y J) Región de termalización (Basurto Uribe, 2000).*

### 2.1.2 REGIÓN DE ARRASTRE O DE DERIVA

En este espacio llamado región de arrastre o de deriva, tiene geometría cilíndrica (véase **Figura 2.5**). Consiste en 14 anillos de acero inoxidable no magnético bien alineados, denominados anillos de guarda de 85 mm de radio interno y 29 mm de anchura; los cuales están separados entre sí por 3 esferas de rubí de 2 mm de diámetro, dando una separación total de 31 mm entre un anillo y el siguiente. El conjunto de anillos se sostiene por medio de una estructura aislada eléctricamente. Se aplica una diferencia de potencial constante entre los anillos con ayuda de un divisor de voltaje formado por 14 resistencias de 10  $\text{M}\Omega$  cada una, teniendo en cuenta que el anillo número 14 tiene un voltaje cero.

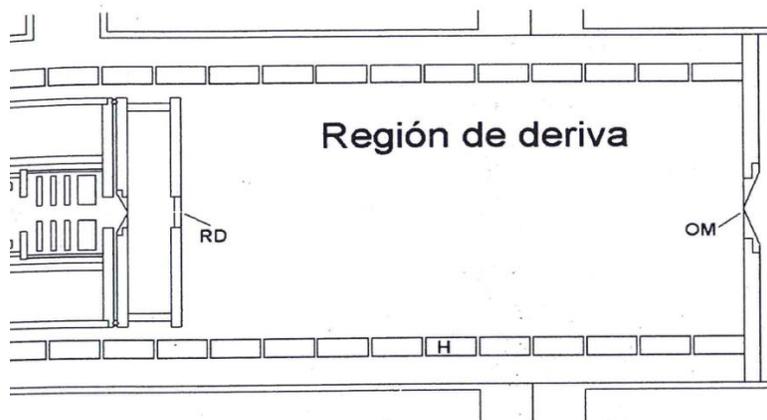


Figura 2.5 Región de deriva donde se representa las rejillas de disparo, anillos de guarda y el orificio de muestreo (Basurto Uribe, 2000)

## 2.2 REGIÓN DE DETECCIÓN

La región de detección está formada por un espectrómetro de masas cuadrupolar, en cuya salida se instaló un dinodo continuo (channeltron) que consiste en una placa polarizada a un voltaje de -3kV de acero inoxidable. Los iones positivos son fuertemente atraídos por este potencial y al impactarse con la superficie del dinodo liberan electrones, los cuales ingresan al channeltron, en cuyo interior se genera una corriente que, a su salida, se amplifica y convierte en un pulso de la norma TTL para contarse por el escalador multicanal. Para obtener el registro de los espectros de tiempo de arribo (ETA) se utiliza un escalador multicanal, que es en esencia, un grupo de contadores o canales, ponderados en tiempo, mismos que forman el espectro de tiempo de arribo, de cuyo análisis se obtienen la movilidad y el coeficiente de difusión longitudinal. El multicanal recibe un pulso de rastreo (sweep) concomitante con el pulsado de los iones en la fuente. Los tiempos típicos de disparos varían entre 1 y 10  $\mu$ s. El sistema de detección incluía un analizador de masas cuadrupolar compuesto por cuatro barras cilíndricas paralelas. Los iones son extraídos de la fuente de iones y llevados hacia el detector, en forma de un pulso TTL. Para la selección de los iones se utiliza la relación masa/carga ( $m/q$ ) y con ella se pueden diferenciar unos de otros durante la espectrometría de masas.

## CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA LA RECONVERSIÓN DEL TUBO DE DERIVA

### 3.1 EL DISEÑO EN LA INGENIERÍA MECÁNICA

El diseño mecánico es la aplicación de un conjunto de disciplinas de la ingeniería, las cuales buscan formular un proyecto que satisfaga una necesidad o la creación de un producto físico que cumpla con requisitos específicos, entre los cuales se encuentran la funcionalidad, seguridad, confiabilidad y de fácil fabricación.

El diseño requiere de la toma continua de decisiones durante todo su proceso, por lo que es importante recabar la mayor información posible de los elementos de cada proyecto. En ocasiones, las limitaciones del proyecto no permiten que ciertos aspectos de diseño puedan llevarse a cabo, por ejemplo, si se supera el presupuesto asignado en el proyecto o las dimensiones, materiales, facilidad de uso, etc.; por lo que un buen diseño busca considerar y conciliar una gran cantidad de variables en el proyecto. En este sentido, la ingeniería mecánica es indispensable en el proceso de diseño y fabricación en una gran cantidad de productos e innovaciones utilizando conocimientos tales como la mecánica de sólidos, el diseño de elementos de máquinas, el uso de software de diseño, la tecnología de los materiales y el electromagnetismo, por mencionar sólo algunos.

En el caso del nuevo diseño del TD, este debe permitir su adecuado reacondicionamiento para llevar a cabo nuevos experimentos. Entre los cambios al TD actual se propone que la fuente de iones con filamento se reemplace por una fuente por fotoionización del gas mediante un láser de Nd:YAG configurado en el ultravioleta (UV) mediante dobladores de frecuencia. La orientación del TD será ahora vertical para permitir que el láser atraviese horizontalmente la nueva sección de ionización. Además, es necesario que los anillos de guarda puedan moverse verticalmente para modificar la distancia efectiva de la zona de arrastre. Para este rediseño se ha empleado un conjunto diverso de herramientas de ingeniería aplicadas en el diseño mecánico, que se describen más adelante. Es importante señalar que la propuesta de diseño debe cumplir con los requerimientos y necesidades que los nuevos experimentos exijan.

### 3.2 REQUISITOS DE LAS PIEZAS A IMPLEMENTAR EN EL TD

Para la reconversión del TD se emplean algunas de sus piezas originales con el fin de disminuir costos y tiempos en el diseño, modelado y manufactura, por lo que las piezas que se van a diseñar deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Elementos con buena resistencia para soportar esfuerzos mecánicos.
2. Materiales adecuados para vacío como teflón y acero inoxidable.
3. Buenas propiedades dieléctricas para los materiales en presencia de altos voltajes.
4. Materiales disponibles en el mercado mexicano.

### 3.3 PROCESO DEL DISEÑO

Es una secuencia lógica de pasos a seguir por el diseñador, quien, a partir de ciertos datos de entrada, pueda obtener la solución de ingeniería más práctica y funcional que satisfaga un problema particular. El proceso es en esencia un ejercicio de creatividad y aplicación de conocimientos. (Del Castillo, 2011)

Para un buen diseño mecánico se deben plantear, entre otras, las siguientes cuestiones: ¿El TD va a ser confiable? ¿Funcionará exitosamente con respecto a instrumentos similares? ¿Se le dará mantenimiento y se calibrará con facilidad?, ¿Cuánto tiempo tomará la fabricación de un reemplazo de partes o sistemas?

Las nuevas piezas por diseñar deben cumplir con ciertos requisitos y especificaciones de diseño mecánico para adaptarse a los espacios ya establecidos de la cámara que se va a reutilizar en el TD. Se debe diseñar una nueva estructura que requiera la menor cantidad de material posible, que a su vez proporcione una estructura sólida. Para este rediseño se utilizan conocimientos de mecánica de materiales, dibujo técnico asistido por computadora, diseño mecánico, modelado en software CAD y conocimientos de procesos de manufactura, entre otros (Budynas, 2008). Para ello se implementan las etapas del proceso de diseño que más adelante se describen.

### 3.3.1 ETAPAS DEL PROCESO DE DISEÑO

Las etapas del proceso del diseño se muestran en la **Figura 3.1** en forma de bosquejo, en la que se observan de manera general los pasos a seguir para el diseño y reacondicionamiento del TD. El punto de partida del proceso de diseño del TD es **el reconocimiento de su necesidad**, que para este proyecto es la medición de movilidades iónicas. Es necesaria una reconversión que incluya un cambio de orientación en el cuerpo principal y en su estructura interna al rediseñar las piezas que la componen; para ello se hace una **síntesis** del problema que nos permite proponer diversas soluciones que satisfagan los requisitos que el nuevo TD exige y con la **evaluación** de las posibles soluciones ayuda a destacar que el diseño sea óptimo. Para la **validación** del diseño se utiliza el software SolidWorks como herramienta para el análisis comparativo por método analítico.

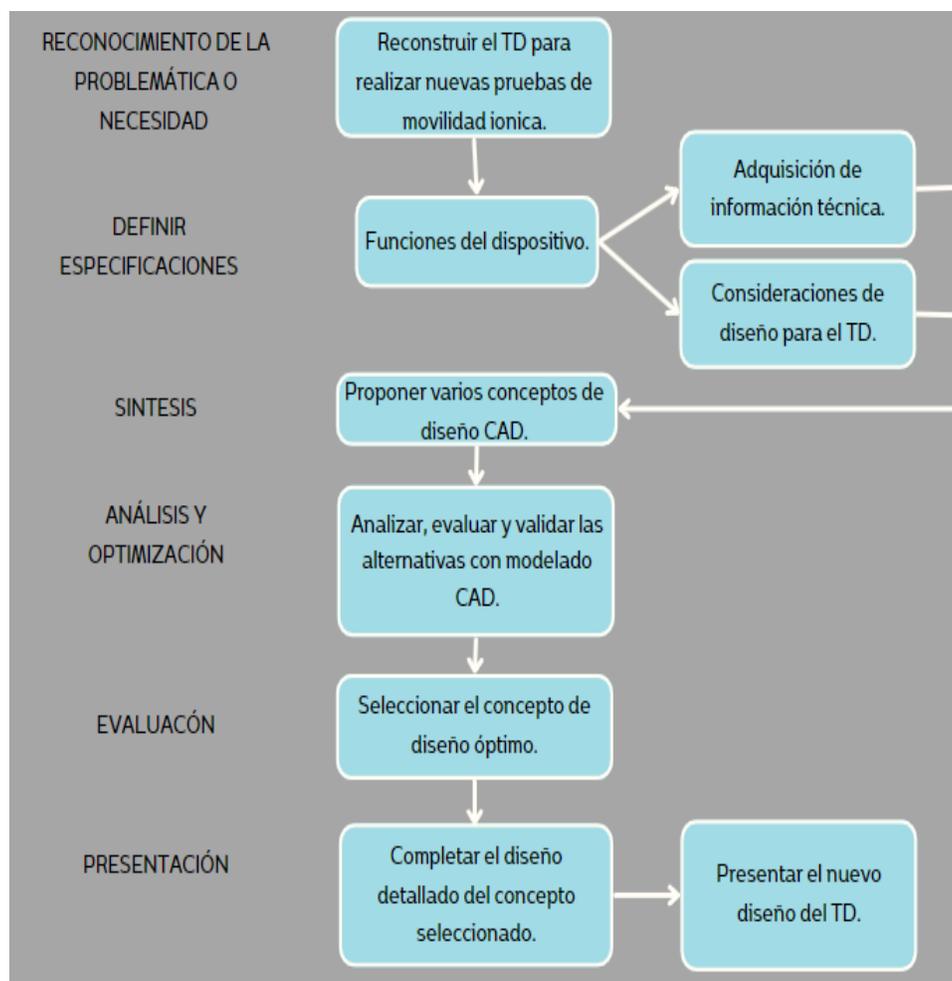
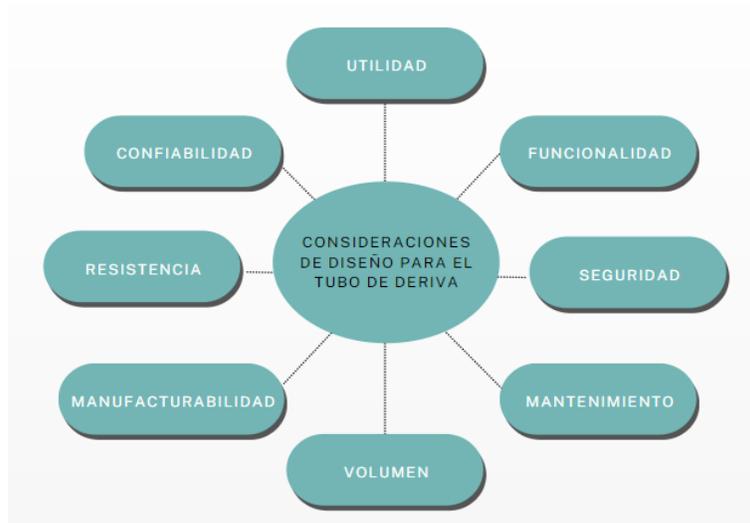


Figura 3.1 Etapas del proceso de diseño del TD.

Se utiliza la teoría de la resistencia de materiales, tecnología de materiales, diseño de elementos de máquinas, dibujo técnico y procesos de manufactura como recursos para comprender cómo se van a crear las nuevas piezas internas y las funciones a desempeñar.



*Figura 3.2 Consideraciones de diseño para el TD*

En la **Figura 3.2** se muestran las consideraciones más importantes de diseño utilizadas en este trabajo. Para que se llegue a contar con un buen aparato, este debe cumplir con algunas consideraciones de diseño que pueden interrelacionarse entre sí. Para el caso del TD tendremos las siguientes consideraciones de diseño:

Las piezas del TD deben tener **utilidad**. Todas tienen un porqué de fabricación, deben ser **funcionales**, es decir que, dentro del diseño de cada pieza, estas deben cumplir su función correctamente.

Para el diseño, la **seguridad** es un punto muy importante dentro de las consideraciones por lo que se realizan cálculos para determinar que las piezas propuestas sean aptas y resistentes a los esfuerzos que se expongan.

Todo aparato debe considerar un tiempo de vida útil en sus piezas, y para ello se considera tener un bajo índice de **mantenimiento**, estableciendo que las piezas puedan ser desmontables y ajustables dentro del espacio en el que se encuentran, tanto para darle el mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo.

Para este nuevo reacondicionamiento del TD se cuenta con secciones en forma de cilindro con un determinado espacio en su interior; las piezas a diseñar deben

ajustarse a ese espacio por lo que dentro del diseño que se propone, se está considerado el **volumen** de cada pieza para adaptarse a los espacios ya establecidos.

El nuevo TD, considera la **manufactura** de sus piezas diseñadas y para ello se investigan catálogos de fabricantes de diferentes marcas como lo son Kurt J Lesker y Huntington Vacuum Products los cuales ofrecen una variedad amplia de equipos, pero nos enfocaremos en las bridas de diferentes tamaños para alto vacío.

### 3.3 DISEÑO DE UN TORNILLO DE POTENCIA

Los tornillos de potencia se diseñan para convertir el movimiento rotatorio en uno lineal y para ejercer la fuerza necesaria que mueva un elemento de máquina en una trayectoria deseada. Los tornillos de potencia operan bajo el principio clásico del tornillo con rosca y su tuerca correspondiente (Mott, 2006).

Para el rediseño del nuevo TD se selecciona este tipo de mecanismo de fácil manipulación para poder desplazar al conjunto de anillos de guarda con un movimiento lineal, el cual es parte esencial de este proyecto. Se propone un tornillo de potencia de rosca tipo **ACME**, que por su geometría es fácil y económico de fabricar, a diferencia de uno con rosca cuadrada (véase la **Figura 3.3**). Además, se considera que la rosca ACME es mejor en comparación con la rosca cuadrada por el **autobloqueo**, el cual puede mantener al conjunto de anillos en su lugar a cualquier altura, dependiendo del **coeficiente de fricción** que hay entre el acero inoxidable (material del que está hecho el tornillo de potencia) con respecto al latón (material con el que está hecha la tuerca). Otro aspecto por considerar para que el tornillo sea de autobloqueo es el ángulo de  $14.5^\circ$  que se forma en la geometría de la rosca con respecto a la horizontal. Los cálculos y resultados del tornillo de potencia se desarrollarán en el siguiente capítulo.

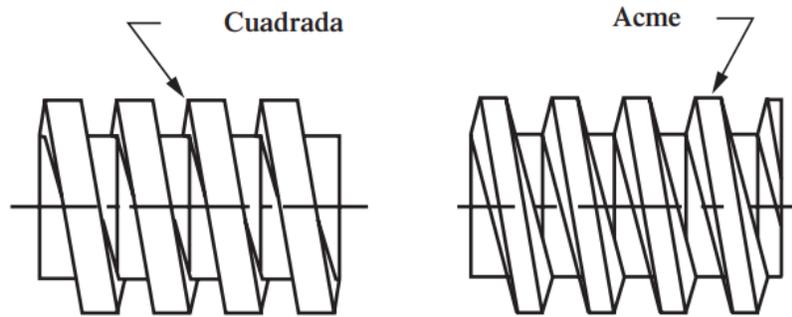


Figura 3.3 Tornillo de potencia de rosca cuadrada y ACME (Mott, 2006)

### 3.4 HERRAMIENTAS Y RECURSOS DE DISEÑO CAD

Las herramientas tecnológicas permiten solucionar problemas de diseño complejos con el uso de computadoras y software especializado que proporcionan elementos de gran capacidad para aumentar la precisión y reducir tiempos.

El término de CAE (Ingeniería Asistida por Computadora, por sus siglas en inglés) se utiliza generalmente en todas las aplicaciones de ingeniería relacionadas con el **ordenador**, mientras el acrónimo CAD (Diseño Asistido por Computadora) permite el desarrollo de diseños tridimensionales y puede considerarse un subconjunto de CAE. Para el desarrollo de este proyecto se utilizan ambas tecnologías.

Otro recurso para diseñar es la información técnica que se encuentra en libros de ciencia e ingeniería, así como los catálogos de los fabricantes, en los que se tiene un recurso para obtener algún elemento o pieza con una función específica. En este trabajo se utilizó el catálogo de especificaciones (Lesker, 2022).

### 3.5 NORMAS

Una norma es un conjunto de especificaciones para partes, materiales o procesos establecidos a fin de lograr uniformidad, eficiencia y cantidad especificadas. En este trabajo se utilizan las normas de las organizaciones que se citan a continuación, las que han establecido especificaciones para normas y códigos de diseño o seguridad (Budynas, 2008).

Se revisa y referencian las siguientes normas nacionales y americanas para el uso estandarizado de diferentes materiales y productos tales como: barras de acero y acero inoxidable, barra de teflón, barra de latón, pernos, tuercas, placas de aluminio y teflón, bridas de tipo Conflat©, tubos de acero inoxidable sometidos a presión, todo ello para disponer fácilmente de estos materiales sin perder calidad y que se encuentren en el mercado.

#### **American Iron and Steel Institute (AISI-SAE)**

- **NOM AISI 1.4301** Esta norma hace referencia al acero inoxidable austenítico AISI 304 y regula las características del material.

#### **American Society for Testing and Materials**

- **ESPECIFICACIÓN ASTM A193** La norma es utilizada en barras roscadas y espárragos de acero al carbono y acero inoxidable para unir bridas, válvulas, recipientes a presión y accesorios para servicio a altas temperatura y presión.
- **ESPECIFICACIÓN ASTM A962** Esta especificación cubre un grupo de requisitos comunes que se aplicarán a los sujetadores o materiales de sujetadores de carbono, aleación y acero inoxidable, o a ambos. Estos materiales están destinados para su uso a cualquier temperatura, desde la criogénica hasta el rango de fluencia, es decir antes de ruptura.
- **ESPECIFICACIÓN: ASTM F593** La norma ASTM F593 cubre los requisitos químicos y mecánicos para pernos, espárragos y varillas roscadas de acero inoxidable en diámetros que varían de 1/4" a 1-1/2" inclusive. Estos sujetadores son para uso general y están disponibles en siete grupos de aleaciones.

### **American Society of Mechanical Engineers (ASME)**

- **ESPECIFICACION ASME B18.2.1** Normalización de Pernos, Tuercas, Remaches, Tornillos, Arandelas y sujetadores similares
- **ESPECIFICACION ASME B1.1** Roscas de tornillo en pulgadas unificadas (formas de rosca UN, UNR y UNJ).
- **ESPECIFICACION ASME/ANSI B1.5-1997 (R2009)** Roscas de tornillo ACME.

### **American Welding Society (AWS)**

- **AWS D1.6**, Norma estructural de soldadura de aceros inoxidables

### **Norma Oficial Mexicana**

- **NOM-Z-68-1986** Dibujo Técnico- Dimensiones y Formatos de las Láminas de Dibujo.
- **NOM-195-SCFI-2014** "Productos de Hierro y Acero Especificaciones de Seguridad".
- **NMX-B-083-1988** Productos siderúrgicos-Barras de aceros inoxidables y resistentes al calor. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1988.
- **NMX-B-176-1991** Tubos con o sin costura de acero inoxidable austenítico para usos higiénicos. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de enero de 1992.
- **NMX-B-185-CANACERO-2013** Tubería de cédula en acero inoxidable austenítico con y sin costura-Especificaciones y métodos de prueba (Cancela a la NMX-B-185-1988). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de mayo de 2014.

## **3.6 MATERIALES UTILIZADOS**

El material más utilizado en la fabricación de cámaras de vacío es el **acero inoxidable 304** (Ver **Tabla 1**). Este acero tiene propiedades deseables para la reconstrucción de la cámara de vacío, ya que son mecánicamente resistentes, maquinables, soldables, resistentes a la corrosión, con microestructura **austenítica** y capacidad de desgasificarse al hornear.

FICHA TECNICA DEL ACERO INOXIDABLE 304	
PROPIEDADES	VALOR
Densidad	8 g/cm <sup>3</sup>
Módulo De Elasticidad	193-200 GPa
Dureza, Vickers	159
Resistencia a la tracción, Rendimiento	210 MPa
Microestructura	austenítico (no magnético)
Resistencia la corrosión	muy buena
Ductilidad	alta

*Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.*

Se designa con el término austenítico a la microestructura del acero inoxidable que tiene un tipo de grano y que posee características de material no magnético como se especifica en el **Anexo A**.

Por otro lado, se requiere un material dieléctrico tal como el **politetrafluoroetileno**, también conocido como **PTFE** o teflón. La virtud principal de este material es que es prácticamente inerte, es decir, que no reacciona con otras sustancias químicas excepto bajo condiciones muy especiales. Es también un gran aislante eléctrico y sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz y es capaz de soportar temperaturas desde -270°C (3 K) hasta 300 °C (573 K).

El PTFE es un polímero de alto peso molecular, considerado uno de los más versátiles dentro de los materiales plásticos conocidos y su utilidad se extiende a un gran rango de productos para aplicaciones en las cuales otros materiales no pueden utilizarse (**Anexo A**).

Los sellos de vacío están hechos de materiales tales como **cobre y Viton**. El cobre es maleable y se deforma al momento de ejercer presión entre las bridas de acero inoxidable, haciendo la unión hermética. También se utilizan anillos de Viton, que es un polímero para vacío, para el sellado de la zona del tornillo de potencia.

Se determina utilizar **latón** en el disco del sistema opresor, que fungirá como conexión rápida para unir el conjunto de anillos con el tornillo de potencia, como se discute más adelante.

### 3.7 ESFUERZO-DEFORMACIÓN

El buen funcionamiento de las piezas mecánicas depende del cálculo correcto de los esfuerzos inducidos por las cargas, para que sean menores a la resistencia de los materiales utilizados. Es decir, debe permitirse que la resistencia del material exceda al esfuerzo calculado por un margen lo suficientemente grande para que, a pesar de las incertidumbres, la falla no se presente.

Al enfocar la comparación esfuerzo-resistencia en un punto crítico (controlado), a menudo se busca “resistencia en la geometría y condición de uso”. Las resistencias son magnitudes de esfuerzos en los cuales ocurre algo de interés, tal como el límite de proporcionalidad, la fluencia desplazada 0.2%, o la fractura. Ver **Figura 3.7.1**

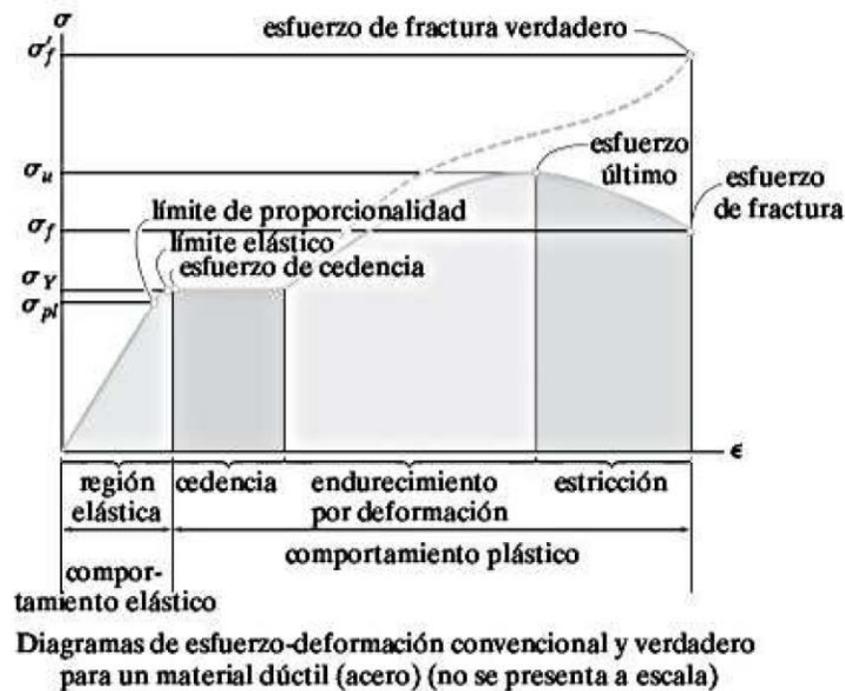


Figura 3.7.1 Diagrama esfuerzo deformación. Tomado de (Hibeler, 2011)

### 3.8 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

La **corrosión electroquímica**, que es la forma más común de ataque de metales, se presenta cuando los átomos del metal pierden electrones y se convierten en iones. A medida que el metal es gradualmente consumido por este proceso, por lo general se forma un subproducto del proceso de corrosión. La

corrosión electroquímica ocurre con más frecuencia en un medio acuoso, en el que hay iones presentes en agua, tierra o aire húmedo ([Askeland, 2017](#)).

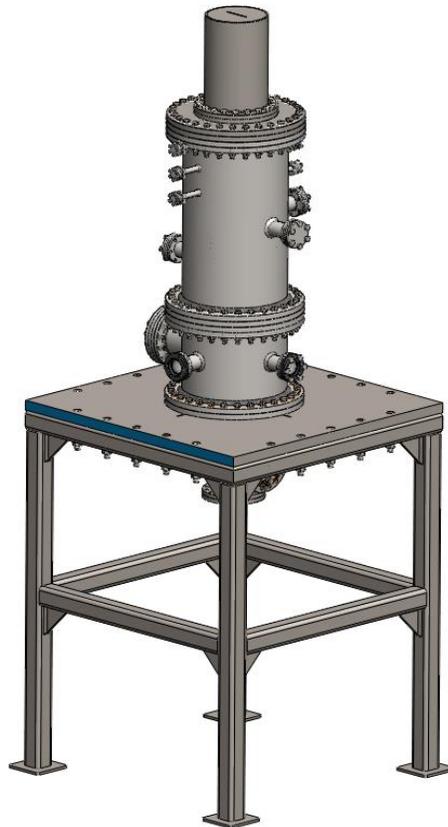
El nuevo diseño del TD utilizará algunas piezas de latón en conjunto con elementos de acero inoxidable, por lo cual se consideró la posibilidad de una reacción electroquímica que pueda generar corrosión de tipo galvánica sobre el latón, limitando las capacidades de la cámara de vacío y una posible contaminación. En la fase de construcción deberán hacerse pruebas exhaustivas sobre este fenómeno. No se espera otro tipo de corrosión debido a que solo se usarán gases no corrosivos en la cámara.

## CAPÍTULO 4. DISEÑO Y MODELAJE DE UN NUEVO TUBO DE DERIVA.

En este capítulo se toman como punto de partida las **etapas del proceso de diseño** del capítulo 3. Se describen las piezas que se reutilizaron del TD original, las cuales se midieron y modelaron en un formato digital para su fácil manejo. A partir de esos modelos, se trabajó con los diseños de las nuevas piezas en función de los espacios de las cámaras ya existentes (secciones tubulares A y B).

Si bien es cierto que se prefiere utilizar el sistema internacional de unidades, como el metro o su subunidad centímetros, para medir las longitudes de los elementos de diseño, en esta tesis se utilizará mayoritariamente el sistema imperial de medidas, en particular en pulgadas (in) debido a que los elementos originales fueron diseñados con estas unidades. Como referencia en el **Anexo D** se presenta una tabla de equivalencias con las unidades más utilizadas en este trabajo.

A continuación, se presenta en la **Figura 4** el rediseño propuesto del TD.



*Figura 4 Vista isométrica del nuevo tubo de deriva*

#### 4.1 SECCIONES TUBULARES DEL TD.

Para comenzar, se tomaron las medidas de las secciones tubulares del anterior TD para hacer los dibujos técnicos y su digitalización como sólidos virtuales en CAD. A estas dos partes las llamaremos sección **A** y **B** respectivamente, como se aprecia en la **Figura 4.1**. Estas dos partes constituyen la base del nuevo TD.

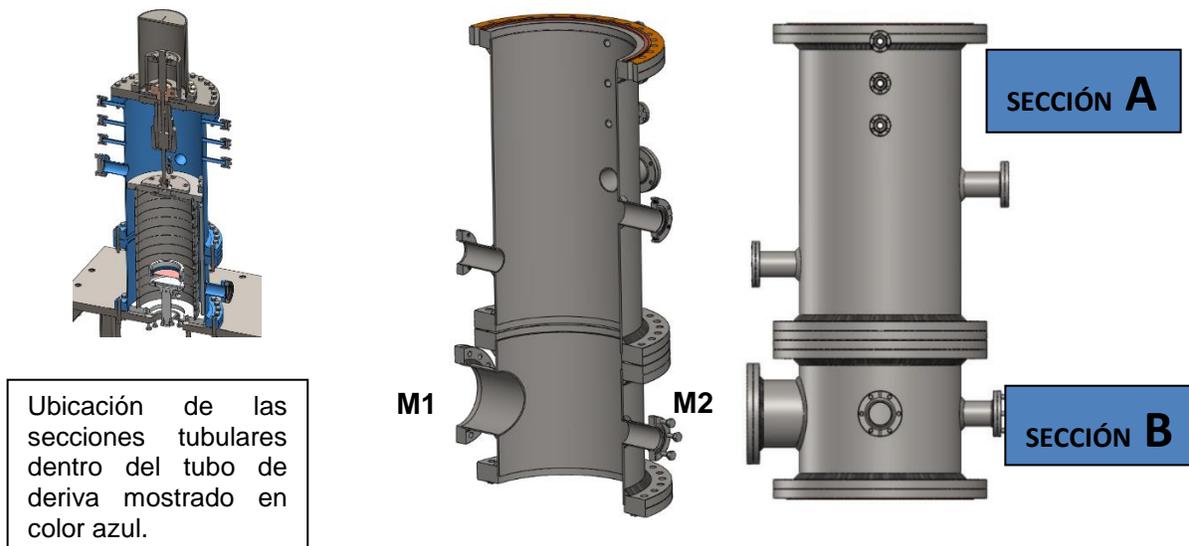


Figura 4.1 Secciones tubulares A y B del TD

Las características generales de las secciones tubulares se enlistan a continuación.

1. Ambas secciones están construidas con cilindros de acero inoxidable de un diámetro nominal de 10 pulgadas (25.4 cm) y una cédula de espesor de 5s que equivale a 0.134 pulgadas (0.34 cm)
2. Se encuentran unidas las secciones A y B por bridas soldadas de tipo Conflat de 13.250 pulgadas (33.65 cm) de diámetro y selladas con anillos de cobre en sus extremos.
3. La sección A tiene una altura de 8.9 pulgadas (22.60 cm) y la B de 27.65 pulgadas (70.23 cm). La altura total entre las dos secciones es de 28.15 pulgadas (71.50 cm).
4. La sección A, que forma parte de la **región de ionización**, contará con un sistema láser que la atravesará desde el exterior colinealmente, a través de los puertos con mirillas M1 y M2, que tienen diferentes diámetros (especificados **Anexo C3**).

5. La sección B, que forma parte de la **región de arrastre**, alojará en su interior el conjunto de anillos de guarda, utilizando algunas de las mirillas como puertos para cableado de los anillos.

Con las dos secciones ensambladas A sobre B en el software CAD, se determinaron las dimensiones del espacio disponible para los distintos componentes del TD que se describen a continuación.

#### 4.2 ANILLOS DE GUARDA

Los anillos de guarda son piezas muy importantes que sirven para generar un campo eléctrico homogéneo dentro la zona de arrastre del TD. Se cuenta con **13 anillos** iguales de acero inoxidable no magnético, que tienen como función guiar a los iones desde la fuente hasta el detector.

Los anillos de guarda tienen 8.5 cm (3.34 pulgadas) de radio interno y 2.9 cm (1.14 pulgadas) de anchura; las 39 esferas de rubí tienen un diámetro de 2 mm (0.078 pulgadas). Los 13 anillos de guarda están hechos de acero inoxidable (Ver **Figura 4.2**), todos tienen un pequeño tornillo de ajuste en un costado el cual sirve para apretar los conectores de voltaje. Para bloquear la rotación que se pudiera tener en los anillos de guarda y poder alinear los 4 orificios, se implementaron seguros de 3 pasadores por cada anillo para mantenerlos en su lugar.

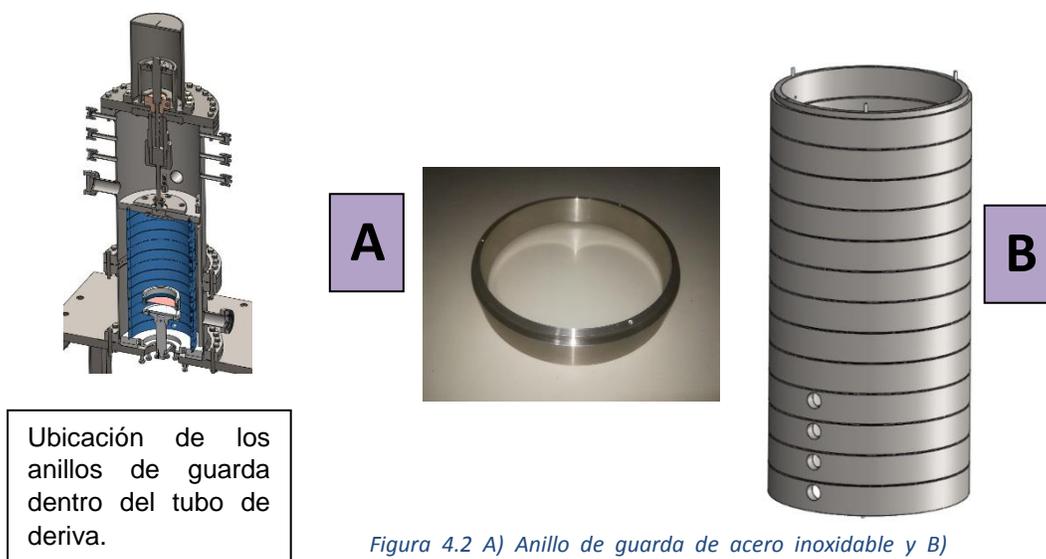


Figura 4.2 A) Anillo de guarda de acero inoxidable y B) Representación de anillo de guarda por ordenador con un orificio en los primeros 4 anillos.

En el nuevo diseño hay 4 posiciones diferentes de los anillos de guarda. Para tal efecto se diseña un sistema de soporte, discos y varillas opresoras que mantienen los 13 anillos en su posición, separados entre sí por esferas de rubí, evitándose así el contacto entre anillos, quedando aislados eléctricamente. Se perforó a los primeros 4 anillos para que el láser pueda pasar por la mitad, atravesando las mirillas M1 y M2 en la región de ionización.

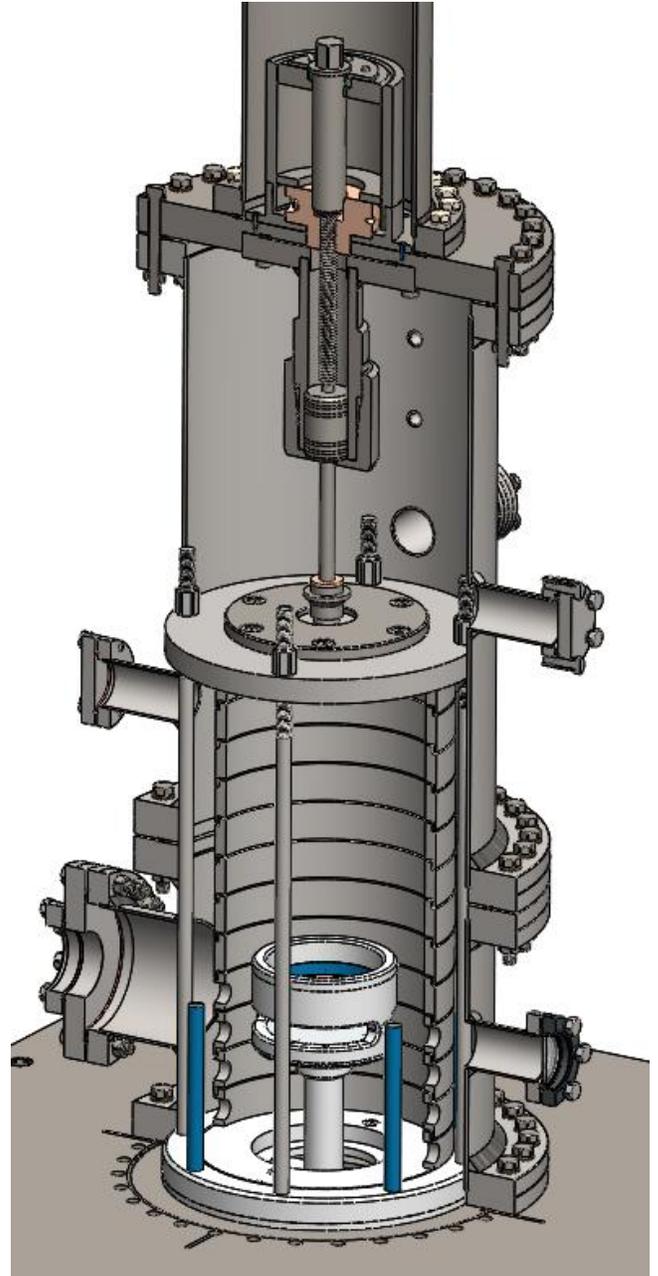
Los anillos de guarda, al igual que las secciones A y B, son piezas que ya se tenían físicamente en el laboratorio y que se pasaron al formato digital para poder dimensionar el espacio disponible. En base a ello y en conjunto con las secciones tubulares A y B se diseñaron las siguientes nuevas piezas: **Estructura opresora de los anillos de guarda, soporte de las rejillas de disparo, tornillo de potencia, disco de conexión rápida y tapa superior**, los cuales se describen más adelante.

### 4.3 NUEVO TUBO DE DERIVA

A continuación, en la **Figura 4.3.1** se presenta una vista isométrica de la estructura interna completa del nuevo TD con un corte a la sección transversal, donde se observa el conjunto de piezas, estructuras y soportes ya ensamblados.

Para el nuevo TD se diseñó una placa base hecha de aluminio en la cual se va a montar la sección tubular B, siendo el punto de partida para diseñar y soportar las demás piezas.

En el siguiente par de **Figuras 4.3.2** y **4.3.3** se muestra el movimiento que realiza el tornillo de potencia para desplazar el conjunto de anillos de guarda en su posición inferior y superior.



*Figura 4.3.1 Nuevo TD vista isométrica con corte en sección transversal*

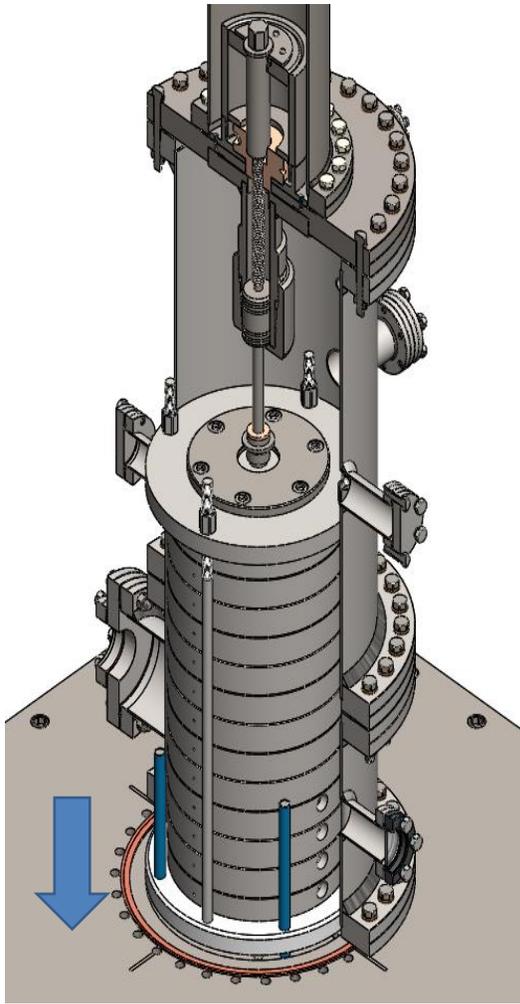


Figura 4.3.2 Posición inferior del conjunto de anillos de guarda

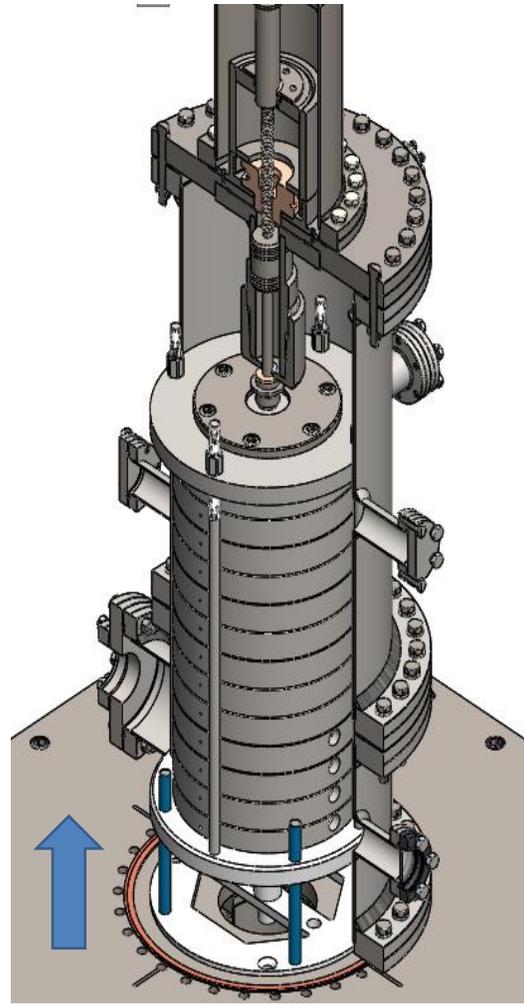


Figura 4.3.3 Posición superior del conjunto de anillos de guarda

Distancias de los anillos de guarda con respecto a la zona de detección		
No. Anillo	Distancia	
4	11.05 in	28.067 cm
3	12.25 in	31.115 cm
2	13.45 in	34.163 cm
1	14.65 in	37.211 cm

Tabla 2. Distancias de los anillos de guarda con respecto a la zona de detección.

En la **Tabla 2** se muestra la distancia desde el eje M1-M2 conformado por ambas mirillas hasta la zona de detección para los primeros cuatro anillos de guarda (ver **Figura 4.3.5**).

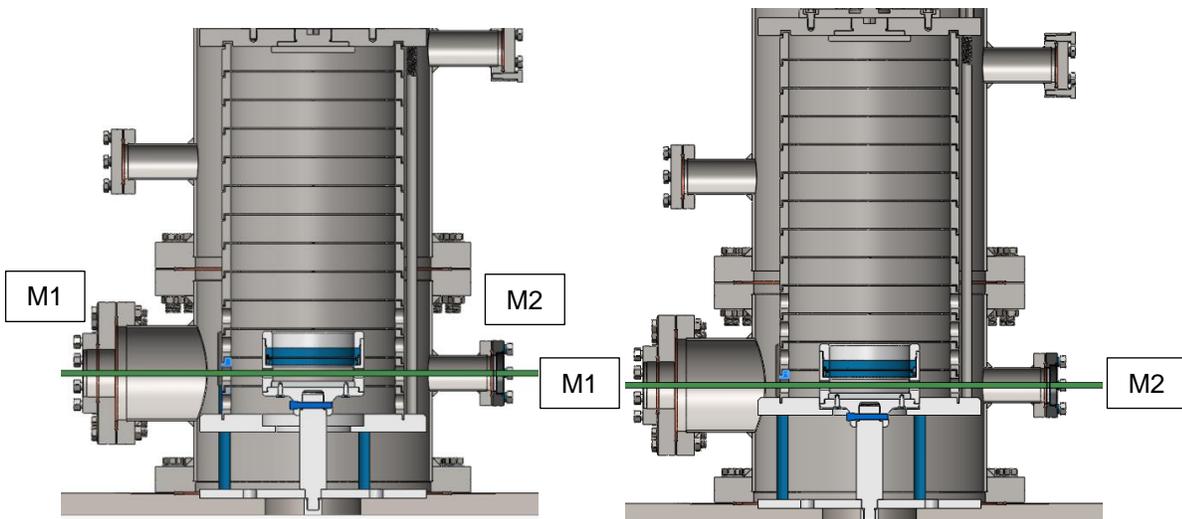
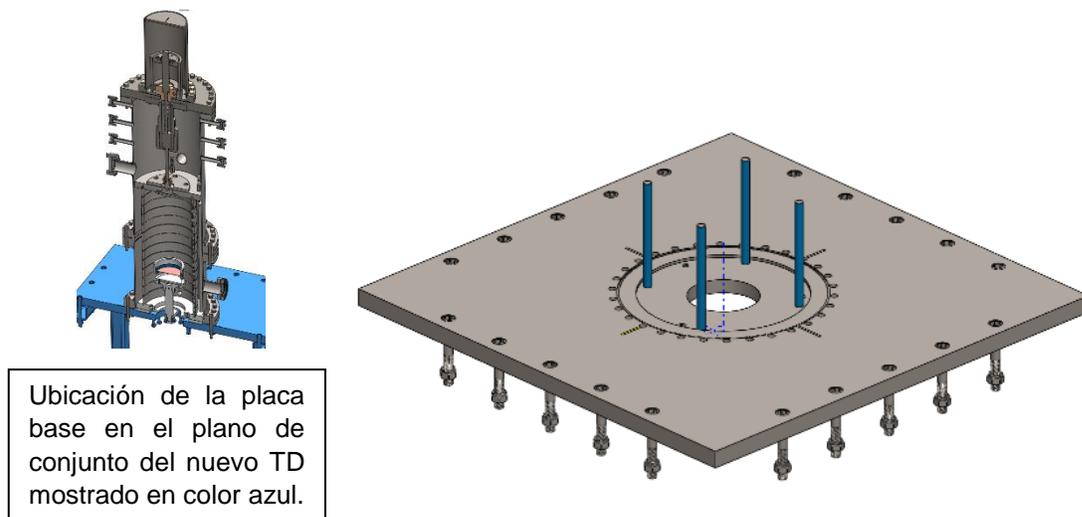


Figura 4.3.5 Distancia del anillo de guarda No. 4 a la zona de detección.

#### 4.4 PLACA BASE

Se propone fabricar en aluminio la placa base que sostiene la estructura del nuevo TD ya que por su resistencia, peso y facilidad de maquinado lo hacen una opción ideal para esta aplicación. El diámetro de la brida corresponde al de la sección tubular A, ya que es esta pieza la que va a colocarse sobre la placa base, como se observa en la **Figura 4.4**.



Ubicación de la placa base en el plano de conjunto del nuevo TD mostrado en color azul.

Figura 4.4 Placa base con muesca para sellado, barrenos, tornillos y varillas guía aisladas con forro de teflón.

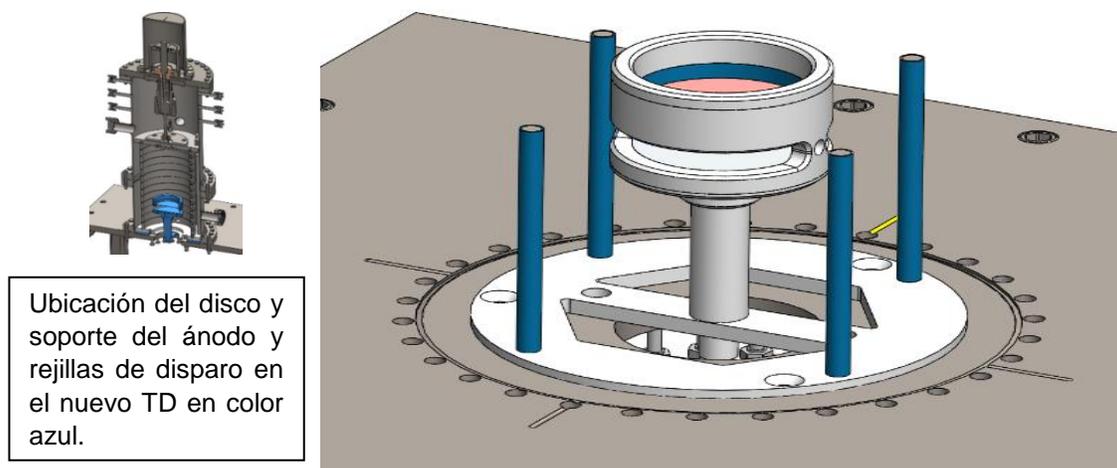
placa base es de forma cuadrada y tiene las siguientes medidas: Lado de 28 in, área de 784 in<sup>2</sup> (5058 cm<sup>2</sup>) y espesor de 1 in (2.54 cm). Sobre la placa base y tomando como referencia su centro, se diseña una muesca espejo a la que tiene la

brida de la sección tubular B de 13.25 pulgadas (33.65 cm) de diámetro, se coloca un anillo de cobre para sellar entre las muescas de la placa base y la sección tubular B. En el centro de la placa base se realiza una perforación de 4 pulgadas (10.16 cm) para la conexión con el sistema de vacío. Para ensamblar la sección tubular en la placa base se realizaron 30 perforaciones con las siguientes medidas  $\varnothing 0.41\text{in} \times 30$  con un diámetro de 12 in (30.48 cm) partiendo del centro.

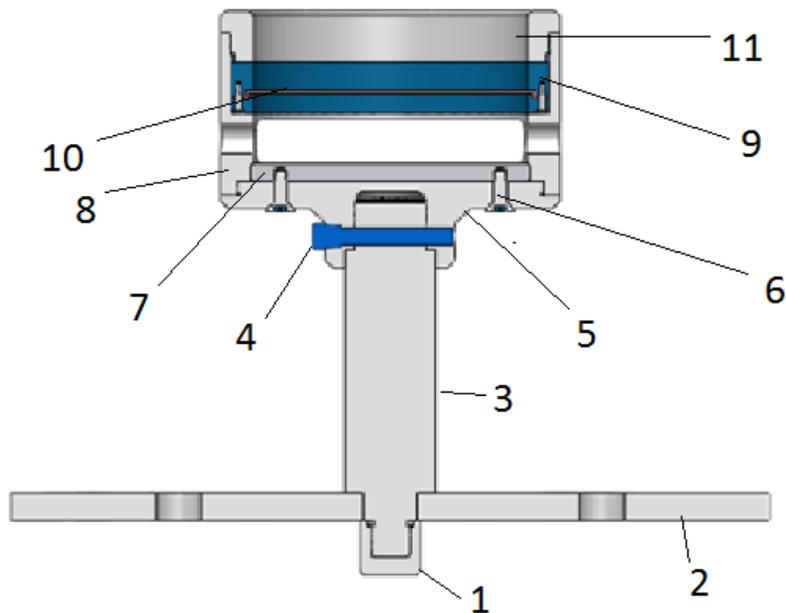
La siguiente pieza es el disco base para el soporte de las rejillas de disparo descrito en el siguiente apartado.

#### 4.5 DISCO Y SOPORTE DE LAS REJILLAS DE DISPARO.

Como parte importante de este nuevo diseño, se coloca un **disco base** montado sobre la mesa base que aloja **4 barras guía**, el soporte de **ánodo** y las **rejillas de disparo**, las cuales son de carácter fundamental para esta tesis. Se diseñó además un espacio que albergará al ánodo ubicado debajo de las rejillas de disparo (ver **Figura 4.5.1**).



*Figura 4.5.1 Vista isométrica del disco base con barras guía en color azul, así como el soporte para ánodo y de rejillas de disparo*



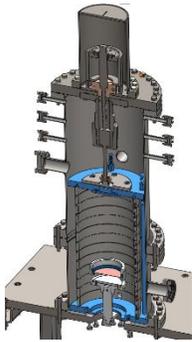
*Figura 4.5.2 Vista frontal de la sección transversal del soporte del ánodo y rejillas de disparo.*

#### VISTA FRONTAL

En la **Figura 4.5.2** se muestra la vista frontal con sección transversal del soporte de ánodo y rejillas de disparo. Se pueden apreciar los elementos con los que se compone.

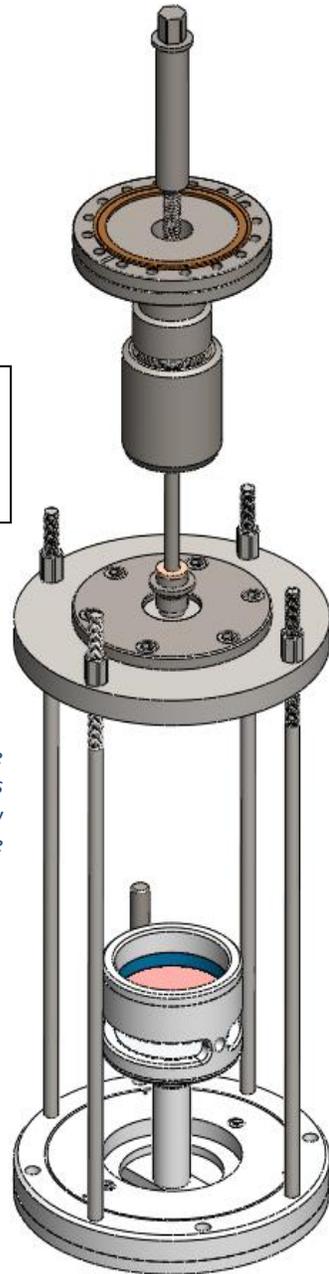
1. Tuerca de sujeción: Sirve para unir el disco base y el vástago central.
2. Disco base: Es una pieza que da apoyo y es concéntrica al vástago central
3. Vástago central con rosca: Es el soporte de los anillos que alojan al ánodo y a las rejillas de disparo
4. Pasador inmovilizador: Delimita el movimiento de la base del ánodo.
5. Base de ánodo: En esta base se diseña un espacio para el ánodo
6. Pijas de sujeción para ánodo: Tienen la finalidad de unir el ánodo con su base.
7. Ánodo: Sirve para expulsar a los iones generados por el láser
8. Anillo perforado: Es un soporte para los anillos que aprisionan las rejillas de disparo.
9. Anillos opresores: Estos anillos aprisionan a las rejillas de disparo y les da una cierta separación entre ellas.
10. Rejillas de disparo: Permiten o bloquean el paso de los iones según sea la configuración.
11. Anillo tapa de sujeción: Tiene como finalidad el aprisionar a los demás anillos dentro del soporte de ánodo y rejillas de disparo.

#### 4.6 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DE ANILLOS DE GUARDA.



Ubicación del sistema de desplazamiento de los anillos de guarda en el nuevo TD.

Figura 4.6. Sistema de discos y varillas opresoras para anillos de guarda y sistema de anclaje de conexión rápida.



El sistema de desplazamiento de anillos de guarda se compone de diversas piezas, las cuales en conjunto hacen posible el movimiento del sistema a través del eje en Z; cambiando la altura y distancia que hay entre electrodos inferior (ánodo) y superior (cátodo).

En la **Figura 4.6** se muestra el sistema de desplazamiento diseñado para cambiar la posición de los anillos y, a su vez, el cambio de distancia que hay entre los electrodos. El sistema de desplazamiento se compone de:

1.- El subsistema de **discos y varillas opresoras** las cuales sujetan y amordazan a los anillos de guarda para mantenerlos apilados verticalmente, anulando cualquier movimiento con ayuda de pasadores.

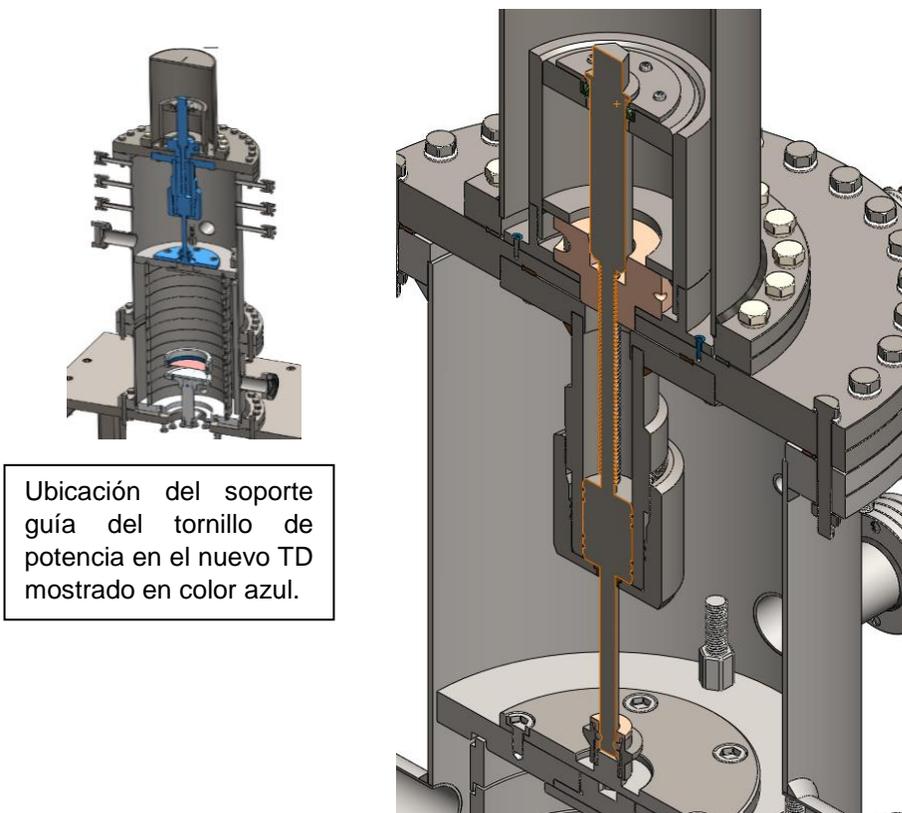
2.- **Los anillos de guarda** tienen como función principal la generación de un campo eléctrico

3.- **El tornillo de potencia** está diseñado con una rosca ACME y permite desplazar al subsistema de discos y varillas opresoras, así como, al conjunto de anillos de guarda. El tornillo de potencia diseñado resiste una masa de 100 kilogramos, equivalente a un peso de 981 N.

4.- **Sistema de anclaje.** Este sistema se ha diseñado para unir el subsistema de discos y varillas opresoras al tornillo de potencia y formar un conjunto de sistemas con el fin de facilitar el mantenimiento en el interior.

5.- **Conjunto de anillos de viton para vacío.** Este sistema ayuda a mantener el vacío al interior de la cámara del tubo de deriva, evitando fugas cuando gire el tornillo de potencia al mover todo el sistema de desplazamiento. Este sistema está pensando para accionarlo manualmente desde el exterior de la cámara mediante una cabeza hexagonal que se encuentra en la parte superior del tornillo de potencia.

#### 4.7 SOPORTE GUÍA DEL TORNILLO DE POTENCIA CON ACCESORIOS



*Figura 4.7.1 Soporte guía del tornillo de potencia con accesorios*

En este apartado describiremos el soporte sobre el cual se desplaza el tornillo de potencia. Este conjunto de piezas tiene un diseño que se sujeta de la tapa del TD y queda suspendido. En el interior de este soporte se encuentra el tornillo de potencia, que es una pieza importante de este sistema, ya que su geometría ha sido calculada para una carga de 980 N (Véase **Figura 4.7.1**).

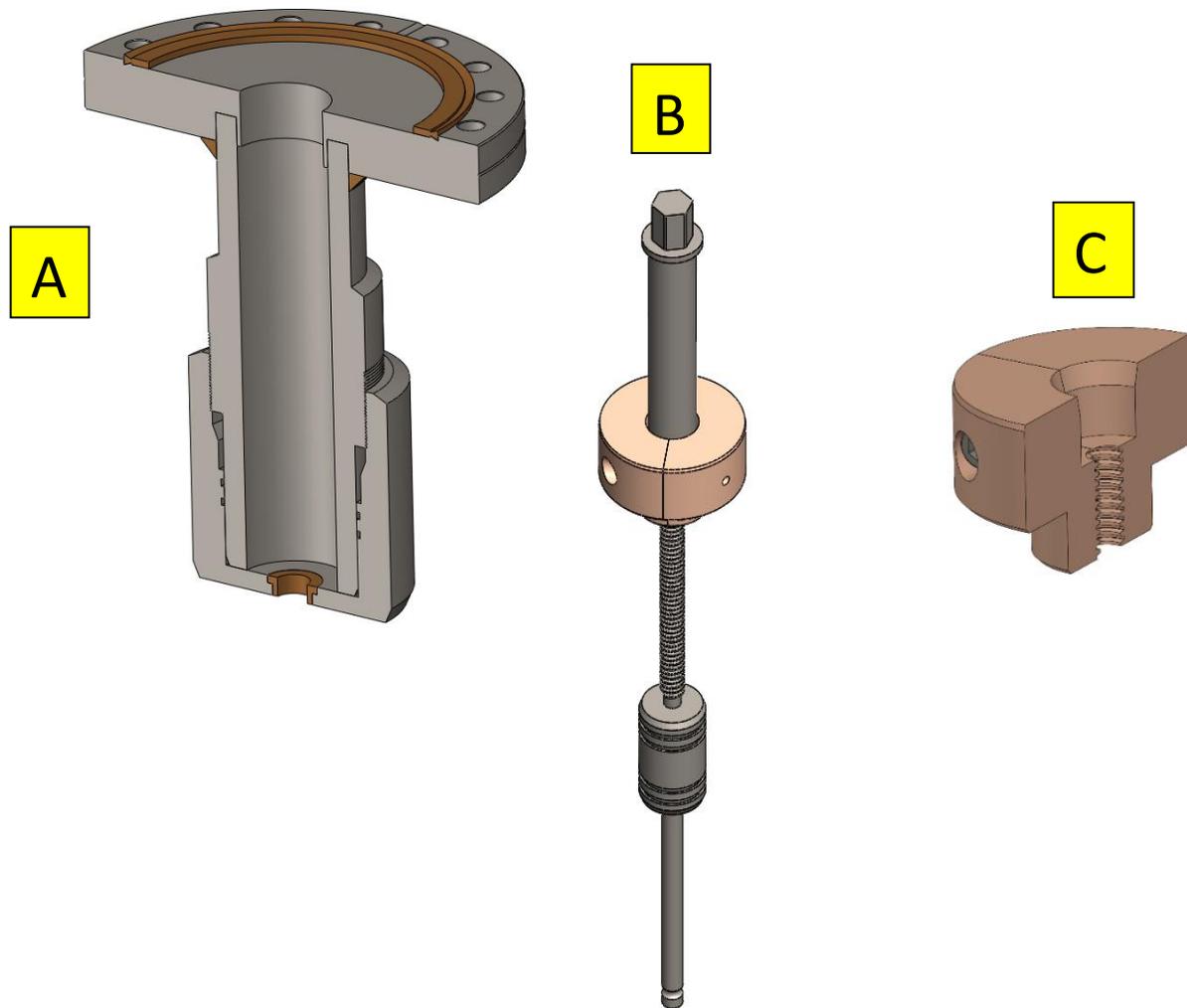


Figura 4.7.2 A) Soporte guía para vástago de tornillo de potencia, B) Tornillo de potencia, C) Tuerca guía.

El soporte guía para el vástago del tornillo de potencia tiene como pieza base una brida de 6 pulgadas de diámetro nominal (15.24 cm). Basándonos en este modelo de brida, se diseña y adapta un tubo guía con cuerda y cavidades en su cara exterior para alojar dos anillos de viton y acoplar una tuerca especial opresora, tal como se puede apreciar en la **Figura 4.7.2. Imagen A.**

En la misma **Figura 4.7.2** se puede apreciar en la imagen **B** el diseño del tornillo de potencia que se compone de 5 partes: En la parte inferior se aprecia una muesca que se utilizará para unir el tornillo al sistema de anclaje, a través de un cople con balines. Enseguida se observa un cilindro de 1.37 in (3.48 cm) de diámetro con 4 cavidades en donde se alojan 4 anillos de viton y que sirve para mantener la hermeticidad de la cámara. A continuación, se encuentra la rosca **ACME** diseñada con los parámetros de la norma ASME/ANSI B1.8-1988 (R1994), y que proporciona

la potencia necesaria al tornillo para que este pueda girar. La parte fundamental del diseño del tornillo de potencia es la tuerca guía de latón acoplada al tornillo. El tornillo termina en un vástago en cuyo final se encuentra una cabeza hexagonal, que puede acoplarse a un dado  $\frac{3}{4}$  in (1.90 cm) para darle el movimiento rotatorio al tornillo y permitir el desplazamiento del sistema de anillos de guarda.

En la imagen **C** se muestra la tuerca guía del tornillo de potencia que se hace con un diseño de dos secciones para poder acoplarla al tornillo. Esto facilita ponerla o quitarla cuando sea necesario, sin remover otros componentes (Plano en **Anexo C Figura C11**).

#### 4.8 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE ROSCA TRAPEZIAL ACME

Los cálculos realizados para determinar las dimensiones de la rosca **ACME** del tornillo de potencia se describen a continuación.

Para ello se tienen las siguientes consideraciones:

- La carga por soportar es de 256 N (Conjunto de anillos, sistema de discos-varillas opresoras y electrodo superior) que equivale a una masa de 26 kg según datos proporcionados de los componentes antes mencionados con el material asignado (acero inoxidable 304) en el programa SolidWorks.
- El material asignado es acero inoxidable serie 304 no magnético con las propiedades que se muestran en la **Tabla 1, Pág. 27**.

Se considera utilizar un tornillo de potencia tipo ACME con las siguientes características respecto a la tabla de diámetros y área de roscas (Budynas, 2008) que se muestra en **Tabla 3**.

Diametro en pulgada	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/5"
Paso en hilos/pulgada	12	10	8	8	8	5	5	4

Tabla 3. Dimensiones de rosca trapezoidal ACME normalizada.

Para el cálculo del tornillo de potencia se utilizará un tornillo estandarizado trapezoidal tipo *ACME* 1/2 – 10, esto significa que es un tornillo de media pulgada de diámetro externo y de 10 hilos por pulgada.

#### Fórmulas para elaborar una Rosca ACME

Paso del tornillo:  $D = \frac{P}{0.2}$  ; Despeje:  $P = 0.2D$ .....Fórmula 1

Número de hilos:  $N = \frac{1}{p}$ .....Fórmula 2

Profundidad de filete:  $h = 0.5p + 0.01in$ .....Fórmula 3

Ancho de la Cresta:  $f = 0.3707p$ ..... Fórmula 4

Ancho del fondo:  $c = (0.3707p) - 0.0052in$ .....Fórmula 5

Distancia entre flancos:  $s = 0.6292p$ .....Fórmula 6

Diámetro al fondo del tornillo:  $D_i = D - 2h$ .....Fórmula 7

Diámetro a toronar la tuerca:  $dt = (D - 2h) + 0.005in$ .....Fórmula 8

**Dónde:**

D: Diámetro exterior del tornillo.

p: Paso del tornillo

h: Altura del filete

f: Ancho de la cresta

c: Ancho del fondo

s: Distancia entre dos flancos consecutivos

Di: Diámetro al fondo del tornillo

dt: Diámetro a torneear la tuerca

Para aplicar las fórmulas de la Rosca tipo ACME, se consideran los siguientes datos:

- Ángulo del filete:  $\alpha=29^\circ$
- Diámetro externo del tornillo:  $\frac{1}{2}$  in
- Roscas por pulgada: 10 hilos

1. Cálculo del paso del tornillo:

$$p = 0.2D = 0.2(0.5 \text{ in}) = 0.1 \text{ in}$$

2. Número de hilos correspondientes al paso:

$$N = \frac{1}{p}$$

$$N = \frac{1}{0.1 \text{ in}}$$

$$N = 10 \text{ hilos}$$

3. Profundidad del filete:

$$h = 0.5p + 0.01 \text{ in}$$

$$h = (0.5 * 0.1 \text{ in}) + 0.01 \text{ in}$$

$$h = 0.06 \text{ in}$$

Con un equivalente en sistema internacional de:

$$h = 0.06 \text{ in} = 1.524 \text{ mm}$$

4. Ancho de la cresta:

$$f = 0.3707p$$

$$f = 0.3707(0.1 \text{ in})$$

$$f = 0.03707 \text{ in}$$

Con un equivalente en sistema internacional de:

$$f = 0.03707 \text{ in} = 0.941 \text{ mm}$$

5. Ancho del fondo:

$$c = (0.3707p) - 0.0052 \text{ in}$$

$$c = (0.3707 * 0.1 \text{ in}) - 0.0052 \text{ in}$$

$$c = 0.032 \text{ in}$$

Con un equivalente en sistema internacional de:

$$c = 0.032 \text{ in} = 0.8128 \text{ mm}$$

6. Distancia entre flancos:

$$s = 0.6292p$$

$$s = (0.6292)(0.1 \text{ in})$$

$$s = 0.06292 \text{ in}$$

Con un equivalente en sistema internacional de:

$$s = 0.06292 \text{ in} = 1.598 \text{ mm}$$

7. Diámetro al fondo del tonillo:

$$D_i = D - 2h$$

$$D_i = 0.5 \text{ in} - 2(0.06 \text{ in})$$

$$D_i = 0.38 \text{ in}$$

Con un equivalente en sistema internacional de:

$$D_i = 0.38 \text{ in}$$

8. Diámetro a torneear la tuerca:

$$d_t = (D - 2h) + 0.005 \text{ in}$$

$$d_t = 0.38 \text{ in} + 0.005 \text{ in}$$

$$d_t = 0.385 \text{ in}$$

Con un equivalente en sistema internacional de:

$$d_t = 0.385 \text{ in} = 9.779 \text{ mm}$$

La **Figura 4.8.1** es la representación gráfica de las dimensiones obtenidas de cada fórmula antes mencionada para el tornillo de potencia propuesto.

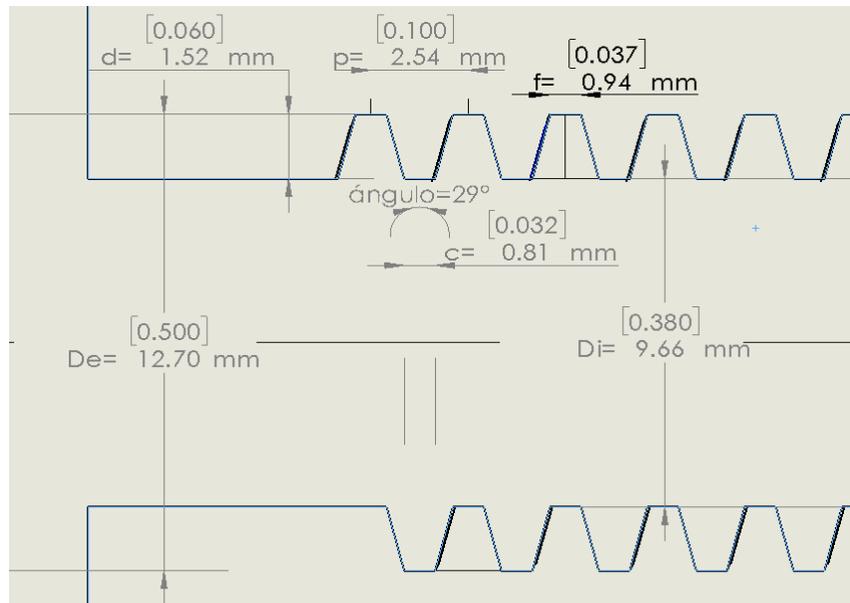


Figura 4.8.1 Dimensiones del tornillo de potencia.

### Tornillo irreversible o de autobloqueo

El tornillo de potencia que se encuentra sometido a una carga sostenida involucra el rozamiento de dos materiales, si se tiene un coeficiente de rozamiento bajo tiende a descender por sí solo, ya que el momento torsional para bajar la carga es de un valor negativo o nulo. Lo que significa que puede ser peligroso al momento de utilizarlo.

Por lo que se utilizan los llamados tornillos irreversibles o de autobloqueo en cuyo caso el valor del par torsional siempre debe ser positivo, lo que significa que se debe aplicar un momento torsional externo positivo para hacer descender la carga.

Por ello, es lo mismo que se cumpla la siguiente condición:

$$\mu > \text{tg}\alpha \dots \dots \dots \text{Fórmula 9}$$

Es decir, que la condición de irreversibilidad para un tornillo de rosca ACME es que posea un coeficiente de rozamiento estático ( $\mu$ ) mayor que la tangente de su ángulo de hélice  $\text{tg}(\alpha)$ .

De acuerdo con valores conocidos, el coeficiente de rozamiento estático entre el latón y acero inoxidable tiene un valor de 0.51.

Por lo anterior, se aplica el siguiente cálculo para conocer la tangente del ángulo de la hélice:

$$tg(\alpha) = \frac{p}{2 * \pi * r_m}$$

$$tg(\alpha) = \frac{0.1}{2 * 3.14159 * 0.19}$$

$$tg(\alpha) = 0.08376$$

Con el valor calculado, se tiene que  $0.51 > 0.08376$ , cumpliendo la Formula 9 donde  $\mu > tg(\alpha)$ .

#### 4.9 TAPA DEL NUEVO TUBO DE DERIVA

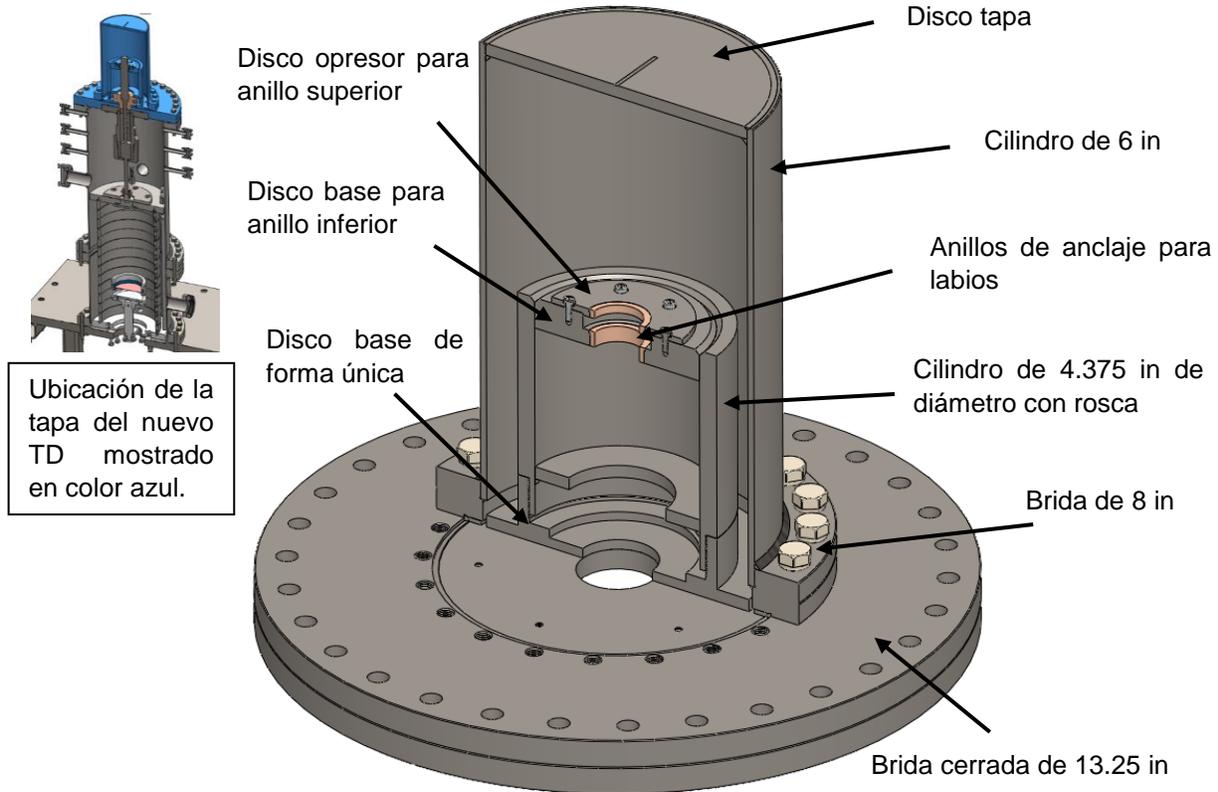


Figura 4.9.1 Tapa del tubo de deriva.

En este nuevo apartado se describe la tapa del nuevo tubo de deriva (Véase **Figura 4.9.1**). Se utiliza una brida cerrada de 13.25 in a la cual se le diseña un barreno de 1.53 in de diámetro en el centro para que atraviese libremente el vástago del tornillo de potencia; se adapta a la brida cerrada una segunda brida de 8 pulgadas de diámetro nominal como base para adaptar un cilindro de 6 in de diámetro junto con un disco tapa. Además, se diseña un soporte para alojar unos labios limpiadores con alma de metal; este soporte consta de un disco base de forma única, un cilindro de 4.37 in de diámetro con rosca exterior, un disco base para anillo inferior y disco opresor para anillo superior, siendo que este último utiliza 6 pijas para su sujeción. En la **Figura 4.9.2** se puede observar una sección transversal de vástago del tornillo de potencia con el sistema de retención con labios limpiadores y anillos de anclaje.

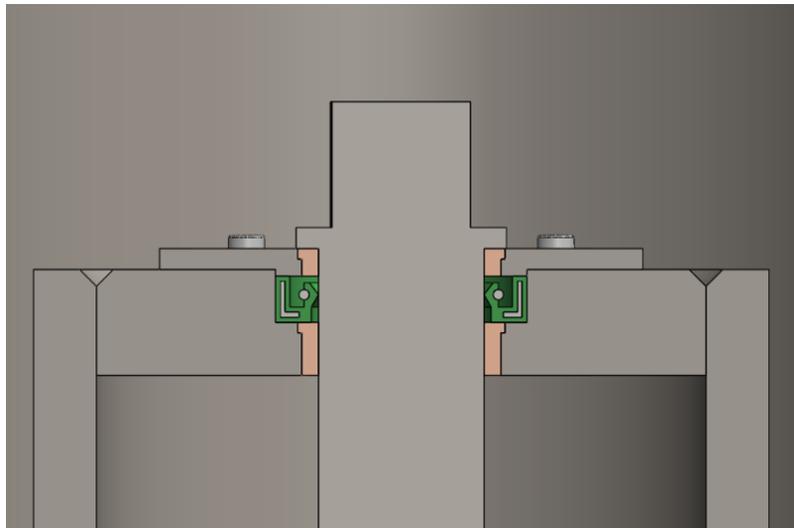


Figura 4.9.2 Anillo de anclaje con retén y labio guardapolvo.

Para el vástago se diseña un sistema que no permita el paso de impurezas hacia el interior de la cámara, para lo que se propone utilizar un retén radial con carcasa recubierta de elastómero y labio guardapolvo. Un mayor detalle se presenta en la siguiente **Figura 4.9.3**

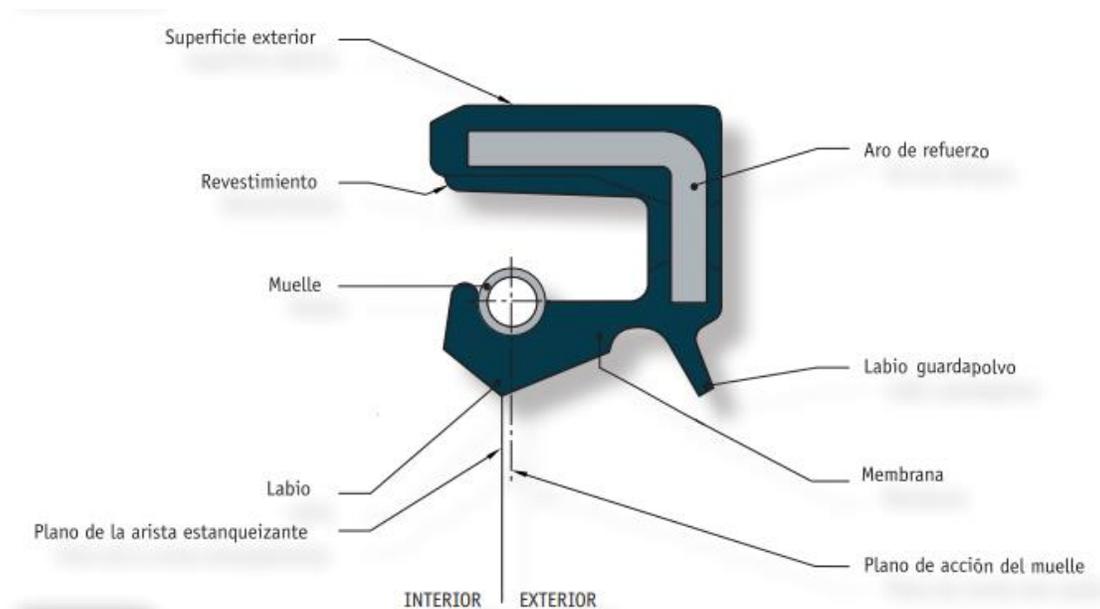
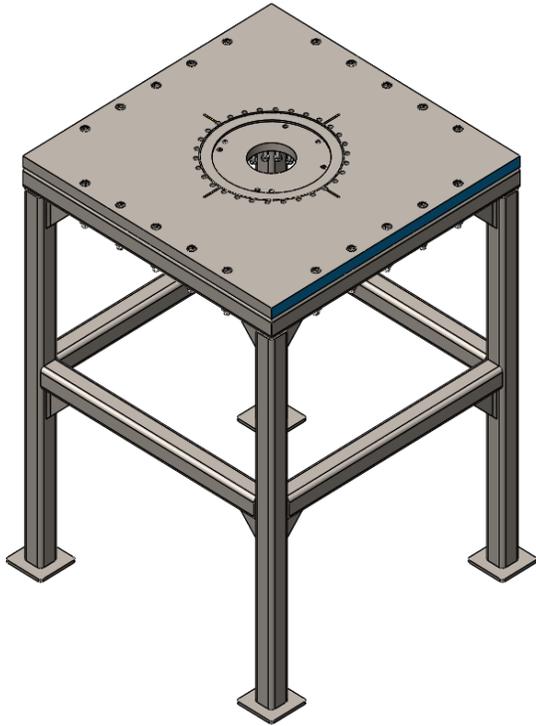


Figura 4.9.3 Sección transversal de un retén radial con carcasa recubierta de elastómero y labio guardapolvo (Epidor 2022).

#### 4.10 SOPORTE DEL NUEVO TUBO DE DERIVA

Dentro del desarrollo para el nuevo diseño del TD se propone crear una base especial que soporte la placa base del nuevo tubo de deriva. Dicho soporte debe cumplir ciertos requisitos para que resista el peso total del dispositivo sin flexionarse o romperse, o que represente un riesgo.

Para ello se diseña con una geometría y materiales seleccionados para garantizar un correcto funcionamiento y bajo costo.



*Figura 4.10 Soporte base del nuevo tubo de deriva.*

El soporte propuesto tiene una altura de 37.2 in (94.49 cm) que cuenta con una placa de material aluminio cuadrada con un espesor de 1 in y un valor de 28 in (71.12 cm) de cada lado de la placa. La base de la placa consta de una estructura hecha de PTR ASTM – A36 de 2X2 pulgadas Calibre 7, reforzada con cartelas de 3 in de lado y un espesor de ¼ in y soldadas con electrodos comerciales 6013 para mayor resistencia en cada esquina. A la placa de la

mesa base y la estructura se les diseña en la parte superior barrenos pasados para fijar la placa a la estructura tal como se muestra en la **Figura 4.10**.

#### 4.11 LÁSER DE ND-YAG

En la **Figura 4.11** se observan las dos secciones del tubo de deriva. La cámara superior es la sección de arrastre y la inferior es aquella en la que se forman los iones.

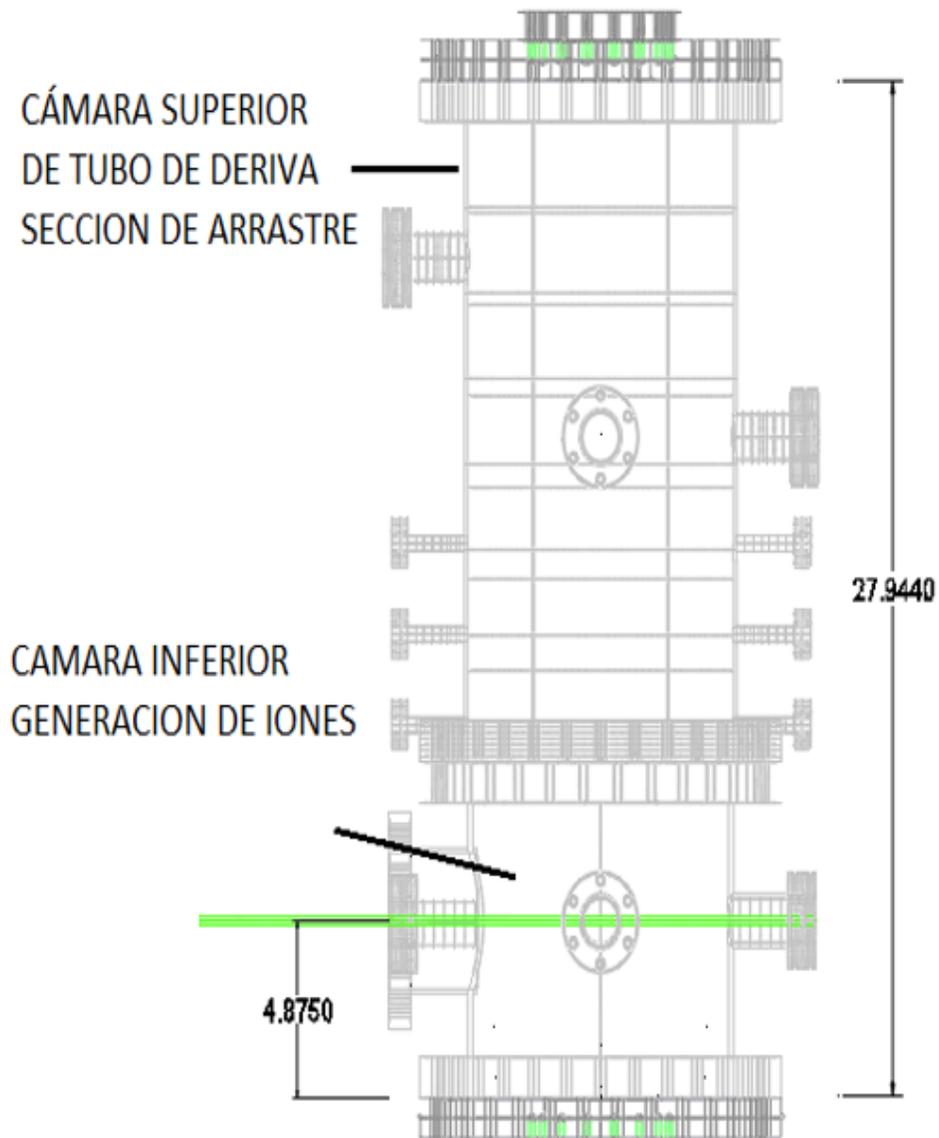


Figura 4.11 Representación del paso del láser por el TD

#### 4.12 PLANOS MECÁNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TD

Se realizaron los dibujos técnicos que proporcionan información detallada sobre los componentes mecánicos diseñados para este proyecto.

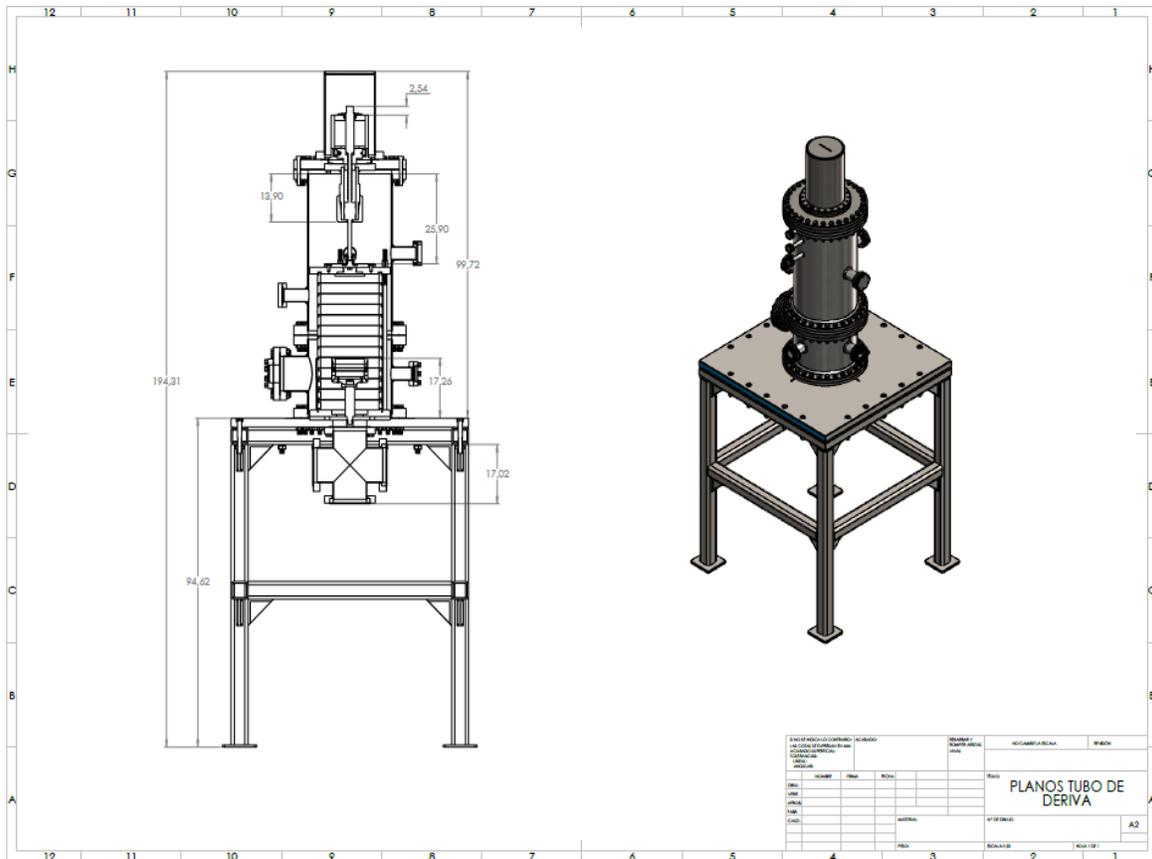


Figura 4.12 Planos mecánicos para la construcción del TD. Vista general

En la **Figura 4.12** se presenta un ejemplo de plano mecánico con una vista general. Planos completos **Anexo C**.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

Se modeló parte del TD original en sólidos virtuales con la finalidad de tener planos digitales, los cuales se emplearon para la reconversión del Tubo de Deriva.

A partir de la información obtenida con el modelado de piezas del TD Original, se diseñaron nuevos componentes mecánicos: Una placa base de aluminio que sostiene al nuevo tubo de deriva, el disco base y soporte de las rejillas de disparo, un sistema de desplazamiento de anillos de guarda compuesto por 2 discos y 4 varillas opresoras, 13 anillos de guarda y un tornillo de potencia que se une a un sistema de anclaje.

El diseño del disco base y soporte de rejillas de disparo es la propuesta para una nueva fuente de iones la cual utiliza un haz de láser pulsado para fotoionizar el gas que se inyecte al TD en pruebas futuras. Cabe resaltar que la nueva fuente de iones y el sistema de desplazamiento tienen una orientación en forma vertical ya que es un requisito de diseño para este proyecto.

Se elaboraron los dibujos técnicos de todas sus partes y de los componentes mecánicos del nuevo diseño del TD en vista ortogonal 2D de tipo panorámica y de vista explosionada isométrica.

El nuevo diseño del TD toma en cuenta las propiedades mecánicas y de vacío de los materiales propuestos para su construcción, además se tomaron en cuenta las normas aplicables para garantizar la mejora en el diseño.

## CAPITULO 6. RECOMENDACIONES

Como trabajos a futuro se recomienda:

1. Realizar la simulación de los diseños propuestos con el programa SolidWorks a través de un Análisis de Elementos Finitos (FEA) con la finalidad de predecir el comportamiento estructural real del diseño obtenido en este proyecto de tesis.
2. Construir el prototipo del nuevo TD tomando en cuenta las simulaciones previas y estudiar el posible fenómeno de corrosión de tipo galvánica que pueda presentarse entre los materiales acero inoxidable y latón.
3. Realizar las pruebas experimentales del prototipo construido para validarlo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceromafe (2022) Ficha técnica del teflón [imagen]  
<https://www.aceromafe.com/teflon/propiedadesmecanicas>

Arbitron, D.L. (1967) Ph.D. thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta.

Askeland, D. R. (2017) *Ciencia e ingeniería de los materiales*, Séptima Edición, México, Cengage Learning, Inc.

Basurto Uribe, E. (2000). *Propiedades de transporte y de reacción de iones en gases puros y en mezclas de interés atmosférico e industrial*. México D.F.: Tesis doctoral. IPN.

Budynas Richard G, (2008) *Diseño en Ingeniería Mecánica* de Shigley, Octava Edición, México, McGraw-Hill Companies, Inc.

Carbone, E. (2022) *ficha técnica del acero inoxidable* [imagen]  
<https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>

Dassault Systems SolidWorks Corporation.(2022) SolidWorks recuperado el 22 de Octubre de 2022 <https://www.solidworks.com>

de Urquijo-Carmona, J et al (1990) *Mobility and longitudinal diffusion of SF<sub>3</sub><sup>+</sup> and SF<sub>5</sub><sup>+</sup> in SF<sub>6</sub>*, J. Phys. D: Appl. Phys. 23 778

Díaz del Castillo Rodríguez, F. (2011) *Diseño de elementos de máquinas* Facultad Cuautitlán Izcalli, UNAM

Epidor (2022) *Catálogo de retenes* recuperado el 18 de octubre de 2022 <https://epidor.com/descargas/epidor-catalogo-retenes.pdf>

Hibbeler, R. C. (2017) *Mecánica de Materiales*, Novena Edición, México, Pearson Educación.

Kurt J Lesker (2022) *Bridas y componentes ConFlat (CF)* recuperado el 02 de diciembre de 2022 <https://www.lesker.com>

Metallium, *Propiedades de los aceros inoxidables* ([http://www.metallium.mx/acero-inoxidable/acero-inoxidable-aisi304/AISI\\_304](http://www.metallium.mx/acero-inoxidable/acero-inoxidable-aisi304/AISI_304)).

Mott, Robert L. (2006) *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta Edición, México, Pearson Educación.

Norton, R. L. (2011) *Diseño de Maquinas*, Cuarta Edición, México, Pearson Educación.

Oberg, E. *Machinery's Handbook*. Nueva York: INDUSTRIAL PRESS, 2012

MatWeb Material Property Data (2023). Acero Inoxidable AISI tipo 304L [En línea] <https://matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=e2147b8f727343b0b0d51efe02a6127e>

Garcia, J. I. (2004). *Fundamentos del diseño mecánico*, Colombia, Artes Gráficas del Valle.

## ANEXOS

### ANEXO A. FICHAS TÉCNICAS

Tomado de (Carbone, 2022)

#### FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		<b>C ≤ 0.08%*</b> Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% <b>Cr 18% - 20%*</b> <b>Ni 8% - 10,5%*</b>	<b>C ≤ 0.08%*</b> Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% <b>Cr 16% - 18%*</b> <b>Ni 10% - 14%*</b> <b>Mo 2% - 2.5%*</b>	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ <sub>1/10<sup>5</sup>/t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

## FICHA TÉCNICA DE POLITETRAFLUORETILENO

Tomado de (Aceromafe, 2022)



### PFTE - Polietrafluoretileno

El Politetrafluoroetileno (PTFE) es un plástico de uso industrial similar al polietileno, pero con una composición molecular que le brinda características únicas. Cuenta con propiedades antiadherentes, de resistencia a altas temperaturas, químicos y solventes.

### Colores disponibles:

Blanco (Natural)

### Aplicaciones:

Cojinetes, Anillos de sello y Anillos para pistón

### Propiedades Mecánicas

	Unidad	ASTM	Valores
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D1457	2,18
Dureza shore	D	ASTM D2240	51
Resistencia a la tracción	Kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D1457	315
Alargamiento	%	ASTM D1457	300/400
Esfuerzo compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	—	44
0,2 % deformación	Kg/cm <sup>2</sup>	—	77
1,0 % deformación	Kg/cm <sup>2</sup>	—	314
25 % deformación	—	—	—
Deformación permanente	—	ASTM D621	—
23° y 140 Kg/cm <sup>2</sup> (periodo 24h)	%	—	9
260° y 42 Kg/cm <sup>2</sup> (periodo 24h)	%	—	18
Resistencia al impacto (izod)	Kg.cm/cm	ASTM D 256	15,4
Coficiente dinámico fricción	P=0,14Kg/cm <sup>2</sup> V=6m/min	—	0,08
P.V. límite	—	—	—
3m/min	Kg*m cm <sup>2</sup> *min	—	26
30m/min	Kg*m cm <sup>2</sup> *min	—	39
300m/min	Kg*m cm <sup>2</sup> *min	—	54
Absorción de H <sub>2</sub> O	%	—	0,001
Coficiente de dilatación térmica lineal 25/95°C	1/°C*10 <sup>-5</sup>	ASTM D696	12,2
Coficiente de transmisión térmica	Cal*cm Seg*cm <sup>2</sup> *°C	ASTM D696	6*10 <sup>-4</sup>
Rigidez dieléctrica	KV/mm	ASTM D149	20

## ANEXO B. TABLA DE DIAMETROS DE ROSCAS ACME,

De Machinery's Handbook (Oberg, 2012)

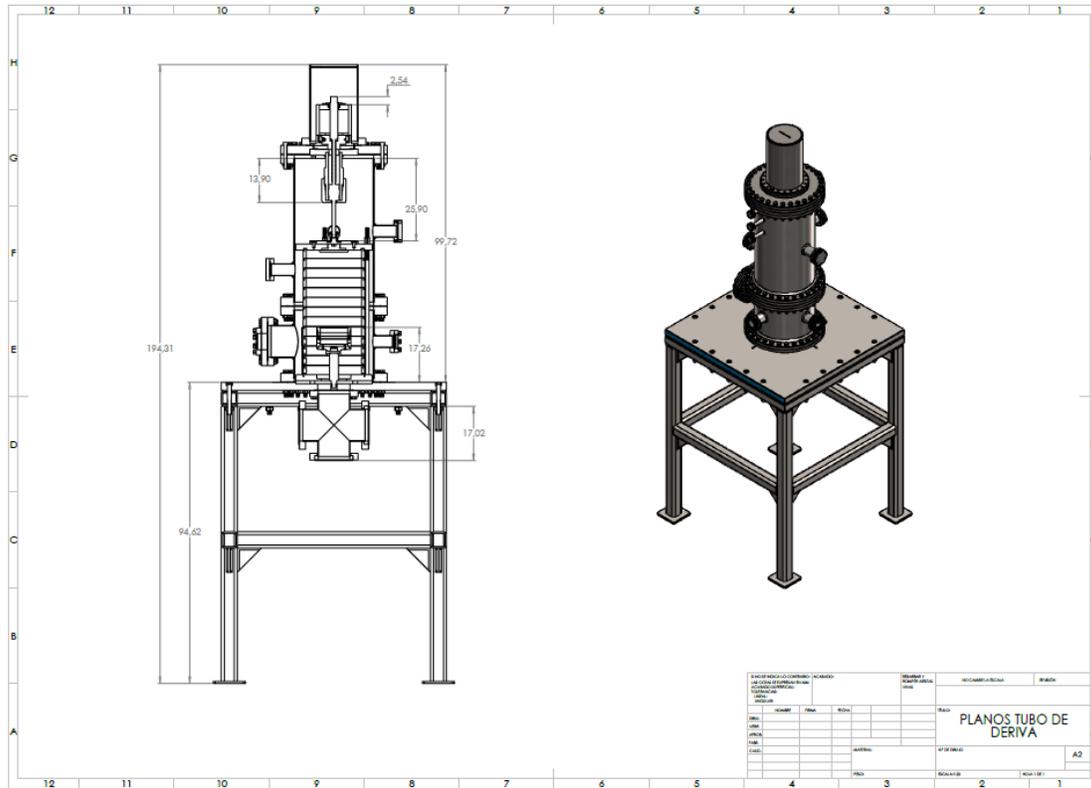
**TABLA 17-1** Diámetros preferidos para roscas Acme

Diámetro mayor nominal, $D$ (pulg)	Roscas por pulg, $n$	Paso, $p = 1/n$ (pulg)	Diámetro menor mínimo, $D_r$ (pulg)	Diámetro mínimo de paso, $D_p$ (pulg)	Área al esfuerzo de tensión, $A_t$ (pulg <sup>2</sup> )	Área al esfuerzo cortante, $A_s$ (pulg <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>
1/4	16	0.0625	0.1618	0.2043	0.026 32	0.3355
5/16	14	0.0714	0.2140	0.2614	0.044 38	0.4344
3/8	12	0.0833	0.2632	0.3161	0.065 89	0.5276
7/16	12	0.0833	0.3253	0.3783	0.097 20	0.6396
<b>1/2</b>	<b>10</b>	<b>0.1000</b>	<b>0.3594</b>	<b>0.4306</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.7278</b>
5/8	8	0.1250	0.4570	0.5408	0.1955	0.9180
3/4	6	0.1667	0.5371	0.6424	0.2732	1.084
7/8	6	0.1667	0.6615	0.7663	0.4003	1.313
1	5	0.2000	0.7509	0.8726	0.5175	1.493
1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	5	0.2000	0.8753	0.9967	0.6881	1.722
1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5	0.2000	0.9998	1.1210	0.8831	1.952
1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	4	0.2500	1.0719	1.2188	1.030	2.110
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4	0.2500	1.1965	1.3429	1.266	2.341
1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4	0.2500	1.4456	1.5916	1.811	2.803
2	4	0.2500	1.6948	1.8402	2.454	3.262
2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3	0.3333	1.8572	2.0450	2.982	3.610
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3	0.3333	2.1065	2.2939	3.802	4.075
2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3	0.3333	2.3558	2.5427	4.711	4.538
3	2	0.5000	2.4326	2.7044	5.181	4.757
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2	0.5000	2.9314	3.2026	7.388	5.700
4	2	0.5000	3.4302	3.7008	9.985	6.640
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2	0.5000	3.9291	4.1991	12.972	7.577
5	2	0.5000	4.4281	4.6973	16.351	8.511

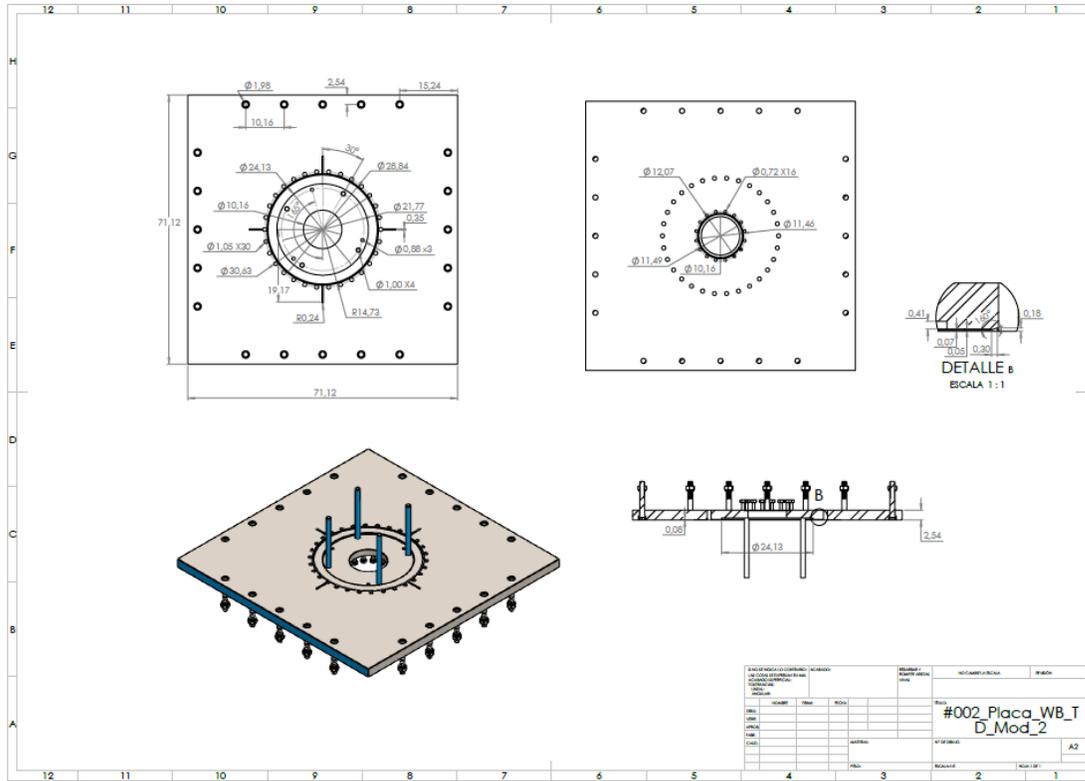
## ANEXO C. PLANOS DEL NUEVO TUBO DE DERIVA

A continuación, se presentan los planos mecánicos realizados del nuevo tubo de deriva, comenzando por la vista general.

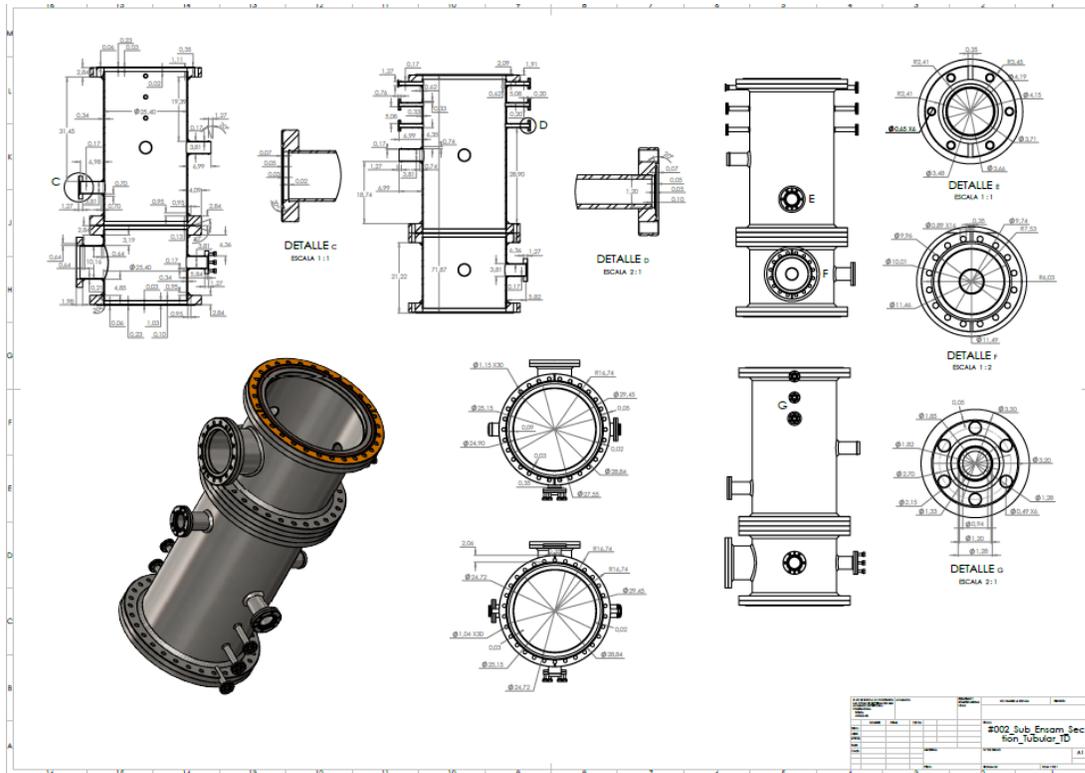
### FIGURA C1. VISTA FRONTAL E ISOMÉTRICA



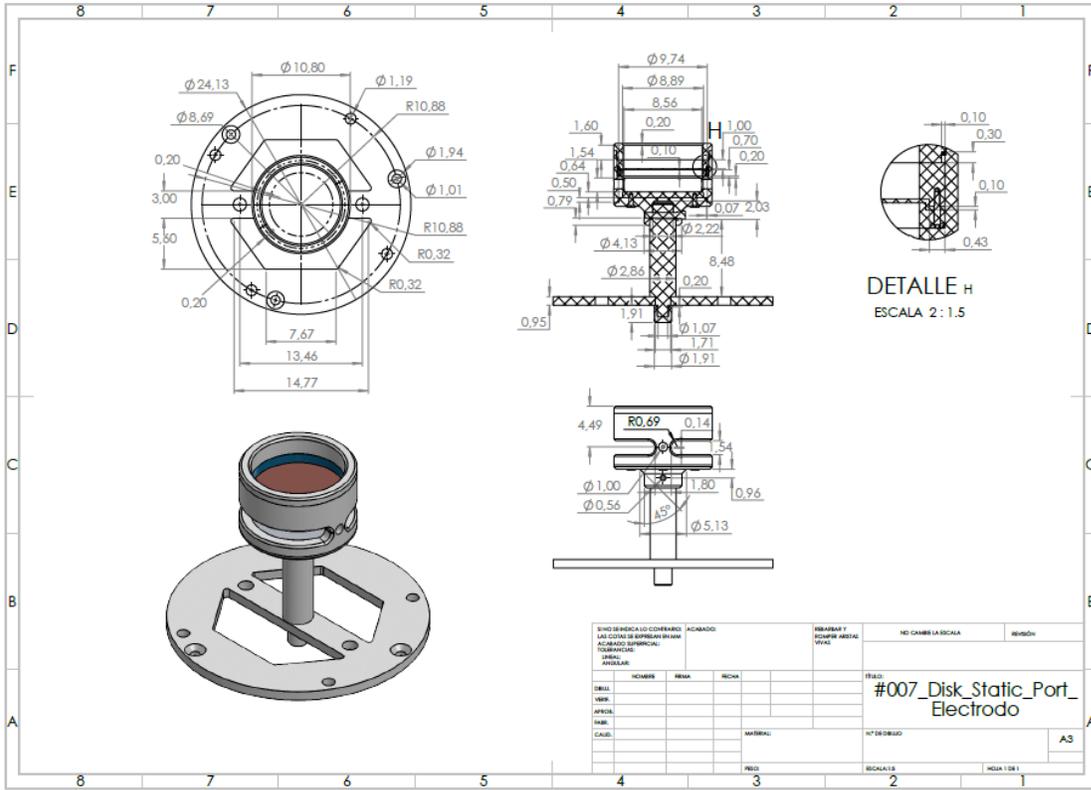
**FIGURA C2. PLACA BASE**



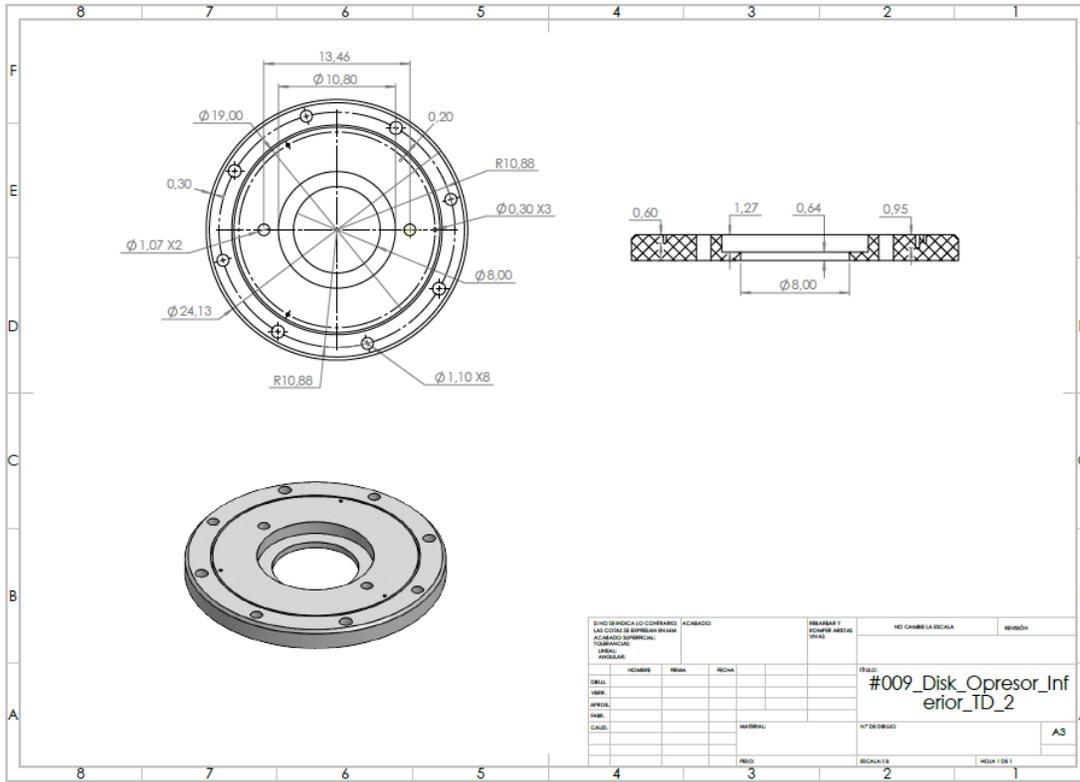
**FIGURA C3. SECCIONES TUBULARES A Y B**



**FIGURA C4. PORTA ELECTRODO CON REJILLAS DE DISPARO**



**FIGURA C6. DISCO OPRESOR INFERIOR PARA ANILLOS DE GUARDA**



**FIGURA C7. CONJUNTO DE ANILLOS DE GUARDA.**

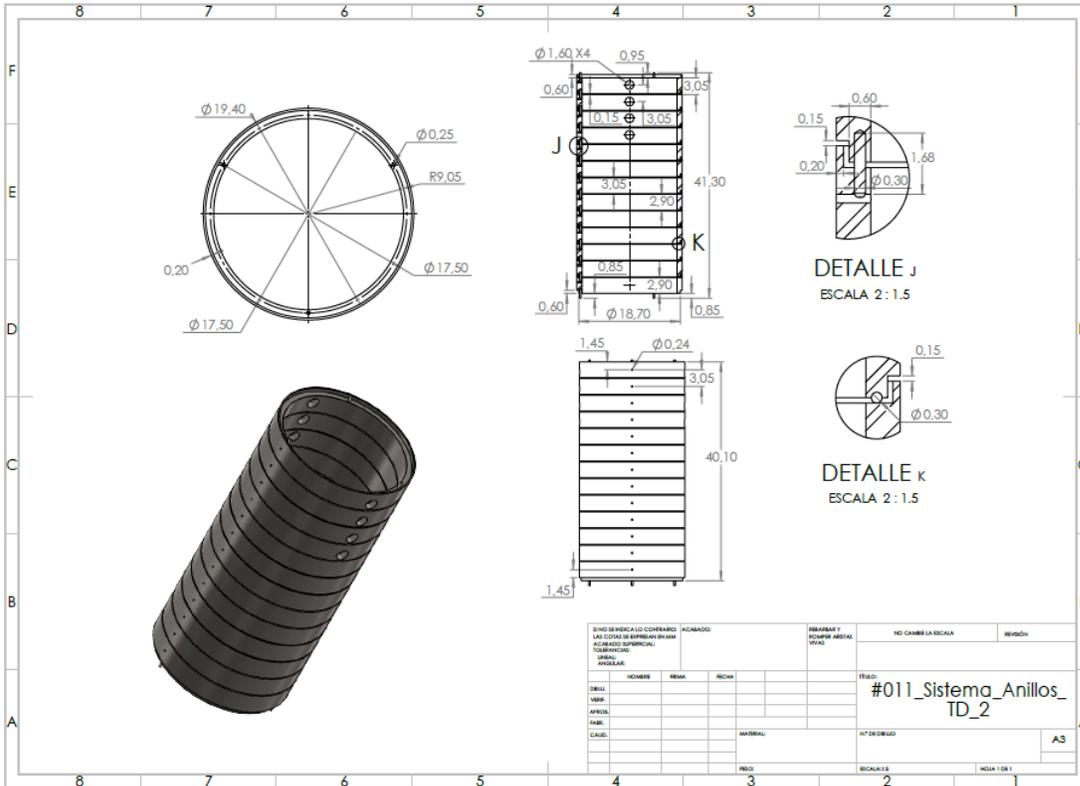
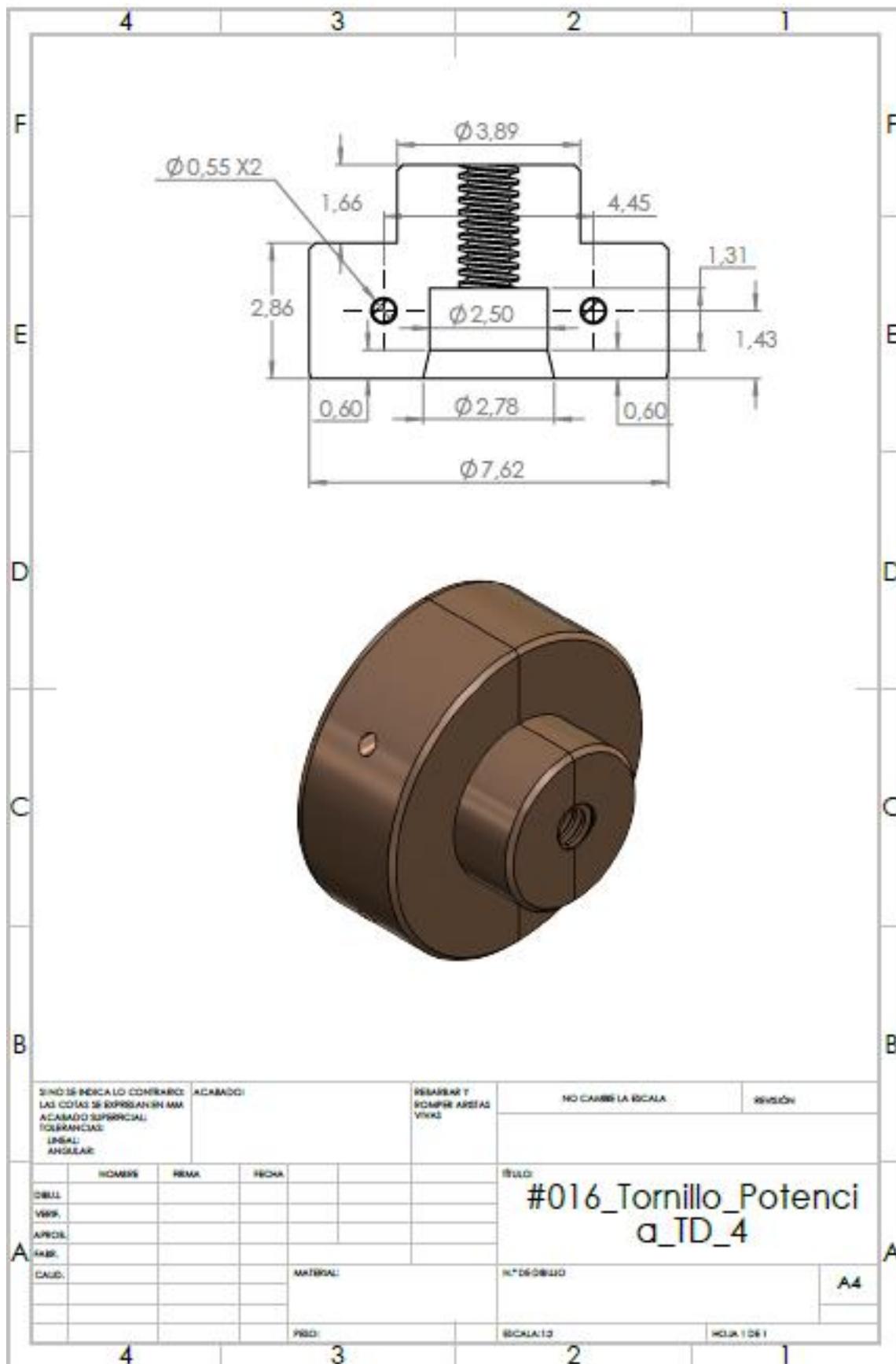






FIGURA C11. TUERCA GUIA PARA TORNILLO DE POTENCIA.





**ANEXO D. TABLA DE EQUIVALENCIA DE PULGADAS A CENTIMETROS.**

<b>Nombre</b>	<b>Dimensiones medidas</b>	<b>Valores en pulgadas</b>	<b>Valores en centímetros</b>
<b>Placa base</b>	Lado	28	71.12
	Área	784 in <sup>2</sup>	5058 cm <sup>2</sup>
	Espesor	1	2.54
	Perforación centro	4	10.16
<b>Brida de la sección tubular A</b>	Diámetro	13.25	33.65
<b>Disco y soporte de las rejillas de disparo</b>	Diámetro	9.5	24.13
	Espesor	0.374	0.95



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería



**DR. ÁLVARO TORRES ISLAS**  
**DR. JOSE ALFREDO ARIZA ESPINOZA**  
**DR. VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES**  
**DR. OLMO GONZALEZ MAGAÑA**  
**DR. JAIME DE URQUIJO CARMONA**  
**P R E S E N T E**

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

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

FORMA T-4A  
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a 18 de septiembre del 2023

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

**TESIS**  
Titulado:

### **DISEÑO Y MODELADO CAD DE SÓLIDOS VIRTUALES PARA LA RECONVERSIÓN DE UN TUBO DE DERIVA**

Que presenta (el) o (la) **C. RAMIREZ ALVAREZ PEDRO LUIS**

Director de trabajo: **DR. OLMO GONZÁLEZ MAGAÑA**

Para obtener el grado académico de: **INGENIERO MECÁNICO**

**A T E N T A M E N T E**  
Por una humanidad culta

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ DIRECTORA**

Se anexa firma electrónica

### **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 **DICTÁMEN** sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

<b>VOTO</b>	<b>NOMBR E</b>	<b>FIRMA</b>
<b>APROBATORIO</b>	<b>DR. ÁLVARO TORRES ISLAS</b>	
<b>APROBATORIO</b>	<b>DR. JOSE ALFREDO ARIZA ESPINOZA</b>	
<b>APROBATORIO</b>	<b>DR. VICTOR MANUEL ZEZATTI FLORES</b>	
<b>APROBATORIO</b>	<b>DR. OLMO GONZALEZ MAGAÑA</b>	
<b>APROBATORIO</b>	<b>DR. JAIME DE URQUIJO CARMONA</b>	

El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas

VALH/ATI/srpm

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209,  
Tel. (777) 329 70,00, Ext. 7039/ fcqei@uaem.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2023-09-27 13:53:26 | Firmante**

H3RAZ6ooHL+yLTG4TMtnoFlm1Xb6YKI07WhjiNLz3buiH7nhHc/65F1kEwgCsxqY6lDz4FXkys/OcMyjinkdyf0OVDFYVo9at6oXNrouGD3tapdP83Cd/KDsUt3d9whncvKPSJtr+REPI9IS58+RzA2VX+7x/Wmft/6n3lel5qU7/EEV3igkdLAjLm1L4P×Ydpgl7CTmbu6h/3cDfcVAwbR4WesqAOKHbq3G6uAlyxdfrrCTdN6EbUa/pfqh7zDf/b86YNNsKUKM/6SkZYimiFEfWa+HL1D/K5lUmNevZzjuOD883xTy2i4uSyAJXaxTyalSmlJH3X8hI9l2oRU84A==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**9k7aLDEnC**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/sPVG6xN8sEdYIgu0MsCpSxOcNowQgp1G>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**JAIME DE URQUIJO CARMONA | Fecha:2023-10-02 22:05:52 | Firmante**

A8QLvtcb1C0JNBazpItXnPdVph3VrFVhNbVvGityWSQ2Kn7Yg0JuK1JDop2w5LvXUCLrrhNp9Xw75+0iclwP6dBGHZaPtfceie3aPBvdoUqj05Ww74jXDyrXXohUXY/kBky0qFiUthg6SZK0gyMxKcdGHsQblL89xu232NhwQolcy5MzPAm3QtakjeGNU0fypwQJYiOxdPxFE2ExOQLsJowwvEqWuzLyXdcquiYBJ0THSYchJvdUjyG13xeDW4J0Mv/s3f/r3bLagooQN903A0ndChMx+3QAI3V2kp3TwtjWIEeTZTWWNKRvYpWLSV3sKc4rxHY3MgyBNC5p2UA+0w==

**JOSE ALFREDO ARIZA ESPINOZA | Fecha:2023-10-03 01:40:39 | Firmante**

ASRVB9QmN52MfrZvdrceBvagG/K/eClHq71zaEX9IEK04vLnOwlQxPD85pZkrr40CcAj7B8V+WVik1bAiw6Jx1frbmbnoWueS8ky5Agw/ECqHb2tUogeTsmjMqAXzpuDRqpK+SEv8BCE3ikFE99gr5Zau5M6JMkx0e0NHuNZInllc4LFYTYteJeaSNjFQNDKoweGKFF0yMr3CvqUCOKh+0UrcL60xzLlW9d4Q1OJmtBOXE1f0lewYstC6yadSXZLUiowPz148igV6KYRIPZwfaTzii9CW91GK149JqGYZE+cuy0rK0K0KkYmHrhyIY9HEbkWMP7xtZH1MfMaf+rg==

**ALVARO TORRES ISLAS | Fecha:2023-10-03 10:12:45 | Firmante**

A757Sd29xtLxmGb/gy+RSu6EjbTVBWyHBGRwVUaoSsJKJF0KH47NhbWzZPH15E9QBmRS/sqijN75e6ZdgYMYqO1sAUarwTNmOgeCdrVJIN4Ufwm/5R5LGfYL+WzFo7IAMtyavwfyMkVRDVOCBdQY/4E1HE7oKPPsUZ5x8RzabwYalnEGZTEc3UWgtuHUbeS68YKjFpm7v2+AIF4WdlBW6DesmZU7IBI0eR180yGgK3Gc0OW3xdvTV8gkx8+JPDukAaYw0d5FgFOP3t9NAWskh65Od3NeVbFOaU5ljpjkbNAWKfdrGwsyfk/7srrCEEazJcNRTkh5V5c8xVE1Vnqg==

**OLMO GONZÁLEZ MAGAÑA | Fecha:2023-10-05 09:05:51 | Firmante**

A+qRo8NVnG0lldk9V1U3RoIWadCqmzh+67mRgalyyDH3oXSPmKjCyVk1fBEzEPUmC/PFWM6ln1Zee3DH70Pc83uqrMFDloOjfalOQdl9hQoq9WA7KJBZi6Op0wcU3Jsfy/xrN91vgWPXxzQdY2eRtv8GmQk914EBp9G1xIDGnHVoiS/S7Pd/RhyT3NKYzZSV48jubHBIL+Bw0dpMeUBKQPZIH1EcAWlvZxRo8GnYfEotu3/5+yiLXx7eAaRod5yYiOYHGAL05QQ/pjw//wOsBrX4IEpjae+58QgEWYz5YIRUilJZuW1Of7zcw81W7xN9MGtkJSYeKvRqftoDz5fBw==

**VICTOR MANUEL ZEZZATI FLORES | Fecha:2023-10-05 12:05:05 | Firmante**

keDd/Ff65AE2/TxbHXgik1XgXkhGw5ojEHpeke5F1w1T0jdpkSokfw6EzshVJE5J3+XTad4b0xdvBtq0GRuEidCzlAmQ5YPmM8IHn+WD1uY6bkwJ8m8qE8liysrlun/ASoLyqL06DaMPsS3ZMZMimRn7Ei+3o87jjLA4URUD7HbesmG/6/NZcMh8o2/F1i5p8eAohX2G2Oo7X3wWYPRcTQT1vlucUs+HmUMqXBsfn5M26RQLBvk08Og56bV/sWtSlvZfvXarWqWUJnZpBj8Wf16qgGirsAeE28Hj5wIozt+qHX+c0RJPkVch8RPhLYm090+u1RBEPkVF2a8ajH1g==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



Ua5mfRw1r

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0WqSm2vaOLjxyGJXSsebh3tBtiHUNNMP>

