



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECÁNICA**  
**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO MECÁNICO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FITOCANNABIONOIDES A PARTIR DE BIOMASA DE CANNABIS NO PSICOACTIVO.”**

---

**Autor: Daniel Andrés García Núñez**

**Tutor: Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba**

**AMBATO – ECUADOR**

**Marzo - 2023**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO MECÁNICO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FITOCANNABIONOIDES A PARTIR DE BIOMASA DE CANNABIS NO PSICOACTIVO.”**, elaborado por el Sr. **Daniel Andrés García Núñez**, portador de la cedula de ciudadanía: **C.I. 1805193156**, estudiante de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



**Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACION

Yo, **Daniel Andrés García Núñez**, con **C.I. 1805193156** declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema “**DISEÑO MECÁNICO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FITOCANNABIONOIDES A PARTIR DE BIOMASA DE CANNABIS NO PSICOACTIVO.**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



-----  
**Daniel Andrés García Núñez**

**C.I. 1805193156**

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto Técnico, con fines de difusión no pública, además apruebo la producción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



-----  
**Daniel Andrés García Núñez**

**C.I. 1805193156**

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Daniel Andrés García Núñez. de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO MECÁNICO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE  $CO_2$  SUPERCRÍTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FITOCANNABIONOIDES A PARTIR DE BIOMASA DE CANNABIS NO PSICOACTIVO.”**

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



---

Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís

**MIEMBRO CALIFICADOR**



---

Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Carmen Amelia Nuñez Jordán, Hernán Bolívar García Córdoba, a mi hermano y hermana Paul Eduardo García Nuñez y Karla Elisabeth García Nuñez, a mi sobrino Tomas Alessandro Burbano García, a mi tía Nelly Rocio García Córdoba, a mi abuela Clara Elena Córdoba Sanches, primos y a todos quienes no dudaron en brindarme todo su apoyo, paciencia, amor y apoyo durante toda mi vida.

## AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis padres, Hernán García y Carmen Nuñez por el apoyo, la guía y cariño durante este gran desafío de preparación como Ingeniero Mecánico.

A mi padre quien siempre me regalo un consejo en momentos difíciles en los que pensaba que no se podía hacer nada más, gracias a su experiencia que me ayudo a sobresalir en circunstancias que no podría haberlo logrado sin su apoyo y consejo.

A mi hermano Paul Eduardo García Nuñez quien desde mi niñez me apoyo y, ayudo a formar al profesional y persona quien soy en esta etapa de mi vida, quien nunca nos abandonó ni a mí ni a mi hermana, junto con mi madre Carmen Amelia Nuñez Jordán permanecieron junto a mí en los múltiples desafíos que se presentaron a lo largo de este proceso.

A mi hermana Karla Elisabeth García Nuñez, que a más de ser mi hermana fue mi amiga, quien me escucho y ayudo a seguir hacia adelante, una hermana increíble y luchadora, sin duda ha sido mi mano derecha en cualquier proyecto que se nos ha presentado.

A mi tía Nelly Rocio García Córdoba, una mujer que siempre me extendió su mano sin dudar ni un solo momento, quien me inculco valores importantes en mi vida, quien me enseñó a expandir mi mente y tener nuevas perspectivas de vida.

Agradezco el apoyo brindado por el Ing. Jean Pierre Vera graduado de la Universidad Central del Ecuador, por brindarme su apoyo y conocimiento para poder desarrollar este proyecto.

Agradezco al Ing. Hugo Fernando Solís García docente de la Universidad Central del Ecuador por el apoyo y por inducirme a incursar en el diseño de procesos industriales relacionados a cannabis no psicoactivo dentro de nuestro país.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACION .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1    Ventajas que se pueden encontrar en los fluidos supercríticos. ....	3
1.2    OBJETIVOS.....	5
2.1    Materiales .....	6
2.2    Métodos .....	6
2.2.1    Metodología del diseño. ....	6
2.2.2    Definir las condiciones de funcionamiento de los elementos que contribuyen el equipo de extracción de fluidos supercríticos. ....	7
2.2.3    Caracterización de la materia prima.....	11
2.2.4    Recipientes a presión.....	12



2.2.5	Introducción al código ASME .....	14
2.2.6	Diseño y selección de los equipos de extracción de fluidos supercríticos aplicando teorías térmicas y mecánicas. ....	15
2.2.7	Extractor .....	16
2.2.8	Válvula de despresurización .....	48
2.2.9	Separador.....	49
2.2.10	Diámetro total requerido para el tanque separador .....	51
2.2.11	Diámetro Comercial .....	51
2.2.12	Altura del tanque separador .....	51
2.2.13	Volumen del separador .....	51
2.2.14	Espesor de la pared del tanque separador .....	52
2.2.15	Diseño del cabezal toriesférico. ....	52
2.2.16	Espesor de las cubiertas del tanque separador .....	57
2.2.17	Tasa de calor de Chaqueta Térmica .....	66
2.2.18	Tanque Recolector .....	66
2.2.19	Sistema de Refrigeración .....	71
2.2.20	Cálculo del diámetro de la tubería .....	72
2.2.21	Espesor de tuberías.....	73
2.2.22	Selección del material .....	75
2.2.23	Selección final de dimensiones de tuberías.....	77
CAPÍTULO III .....		78
3.1	Análisis y discusión de los resultados. ....	78
3.1.1	Diseño y geometría del tanque extractor.....	78
3.1.2	Simulación de presión del tanque extractor .....	79

3.1.3	Simulación de conexiones empernadas.....	81
3.1.4	Simulación del empaque para el tapón del tanque extractor.....	81
3.1.5	Simulación del tanque separador .....	82
CAPÍTULO IV .....		84
4.1	Conclusiones .....	84
4.2	Recomendaciones .....	84
ANEXOS .....		89

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Listado de herramientas y equipos .....	6
<b>Tabla 2.</b> Condiciones de temperatura y presión de los solventes.....	10
<b>Tabla 3.</b> Propiedades físicas de los fitocannabinoides. ....	11
<b>Tabla 4.</b> Composición del cannabis catalogado no psicoactivo. ....	11
<b>Tabla 5.</b> Densidades de la materia prima, sin triturar y triturada.....	11
<b>Tabla 6.</b> Códigos existentes en el mundo para el diseño y fabricación de recipientes a presión.....	13
<b>Tabla 7.</b> Características de la bomba.....	15
<b>Tabla 8.</b> Análisis comparativo entre Acero Inoxidable 316L y Súper Dúplex 2507 .....	27
<b>Tabla 9.</b> Desarrollo geométrico del tanque extractor .....	30
<b>Tabla 10.</b> Análisis no lineal del sello en el tanque extractor.....	39
<b>Tabla 11.</b> Comprobación de pasador/perno .....	40
<b>Tabla 12.</b> Colocación de presión interna.....	45
<b>Tabla 13.</b> Determinación del factor de seguridad .....	46
<b>Tabla 14.</b> Tensiones de Von Mises .....	47
<b>Tabla 15.</b> Desplazamientos .....	48
<b>Tabla 16.</b> Análisis comparativo entre Acero Inoxidable 316L y Súper Dúplex 2507. ...	50
<b>Tabla 17.</b> Variables cabezal toriesférico. ....	54
<b>Tabla 18.</b> Desarrollo geométrico del tanque separador.....	59
<b>Tabla 19.</b> Colocación de presión interna.....	64
<b>Tabla 20.</b> Determinación del factor de seguridad .....	64
<b>Tabla 21.</b> Tensiones de Von Mises .....	65

<b>Tabla 22.</b> Desplazamientos .....	66
<b>Tabla 23.</b> Desarrollo geométrico del tanque recolector .....	69
<b>Tabla 24.</b> Condiciones de entrada y salida del primer intercambiador de calor .....	72
<b>Tabla 25.</b> Condiciones de entrada y salida del segundo intercambiador de calor.....	72
<b>Tabla 26.</b> Valor del coeficiente Y para $t < D6$ (ASME B31.3,2010) .....	75
<b>Tabla 27.</b> Características de materiales seleccionados.....	76
<b>Tabla 28.</b> Datos de dimensionamiento de tuberías.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de presión y temperatura, punto crítico .....	3
<b>Figura 2.</b> Propiedades de los fluidos supercríticos.....	4
<b>Figura 3.</b> Metodología de diseño.....	6
<b>Figura 4.</b> Proceso de extracción .....	8
<b>Figura 5.</b> Vista partes principales de un tanque a presión.....	13
<b>Figura 6.</b> Norma ASME Sección VIII División 2.....	14
<b>Figura 7.</b> Separador Bifásico.....	49
<b>Figura 8.</b> Variables cabezal toriesférico.....	53
<b>Figura 9.</b> Variables identificadas del fondo toriesférico.....	56
<b>Figura 10.</b> Opciones de diseño para el tanque extractor. ....	78
<b>Figura 11.</b> Valores de esfuerzo de Von Mises del tanque extractor. ....	79
<b>Figura 12.</b> Esfuerzo de Von Mises en el valor máximo.....	80
<b>Figura 13.</b> Punto de referencia del desplazamiento en el tapón.....	80
<b>Figura 14.</b> Comprobación del FDS en los pernos de conexión.....	81
<b>Figura 15.</b> Valor de esfuerzo de Von Mises de los empaques en el tapón. ....	82
<b>Figura 16.</b> Factor de seguridad del tanque separador.....	83
<b>Figura 17.</b> Valores de esfuerzo de Von Mises del tanque separador. ....	83

## RESUMEN

En este proyecto se resolvió la necesidad de diseñar el equipo para la extracción de fluidos supercríticos, con el fin de proporcionar un apoyo a las industrias que optan por adquirir en el extranjero este tipo de equipos a costos muy elevados. Por medio del uso de códigos y normas ASME sección VIII div 1 y div 2 usadas en Ingeniería Mecánica y empleadas en este proyecto, permitieron el dimensionamiento mecánico de los tanques extractor, recolector y separador. Mediante el modelado en CAD se dimensionó geométricamente cada tanque tomando en cuenta los requerimientos de los niveles de producción, además se evaluó la resistencia de cada tanque en condiciones de funcionamiento a través de simulación. Al finalizar con el diseño y simulación de los tanques extractores se conoció que cada uno de ellos soporta la presión de diseño asignada con total seguridad, con el uso del Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 y el acero 316L que aseguran la resistencia e integridad de los tanques sometidos a altas presiones.

**Palabras claves:** Extracción supercrítica, Diseño de tanques, CAD, ASME, Tanques a presión, Acero inoxidable.

## ABSTRACT

This project resolved the need to design the equipment for the extraction of supercritical fluids, in order to provide support to industries that choose to acquire this type of equipment abroad at very high costs. By means of the use of ASME codes and standards section VIII div 1 and div 2 used in Mechanical Engineering and used in this project, allowed the mechanical dimensioning of the extractor, collector and separator tanks. By means of CAD modeling, each tank was geometrically dimensioned taking into account the requirements of the production levels, and the resistance of each tank under operating conditions was also evaluated through simulation. At the end of the design and simulation of the extractor tanks, it was found that each one of them withstands the assigned design pressure with total safety, with the use of Super Duplex 2507 Stainless Steel and 316L steel that ensure the resistance and integrity of the tanks subjected to high pressures.

**Keywords:** Supercritical extraction, Tank design, CAD, ASME, Pressure vessels, Stainless steel.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

En el mes de septiembre del año 2019 el día diecisiete, La Asamblea Nacional aprobó el uso de derivados del cannabis para fines medicinales como terapéuticos, aprobando su producción, comercialización, distribución, uso y consumo en el que se norma el contenido de (THC) el cual debe ser inferior al 1% de delta-tetrahidrocannabinol en peso seco [1].

El continuo aprendizaje sobre la innovación que se refieren a las técnicas de cultivo y manufactura logran ampliar el panorama de posibilidades y oportunidades para el país como de la región, creando plazas de empleo como inversiones del sector privado en la búsqueda de la producción manufacturada de alimentos y medicamentos, siendo este el mayor impulsador para la construcción de los equipos que se necesitan para la refinación de la materia prima [1][2].

La necesidad que tiene Ecuador de elevar el proceso de diseño y construcción de equipos, que agilicen la extracción de extractos, aceites, hace que los equipos y tanques necesarios para su extracción sean muy costosos, aun si las materias primas para la extracción es el cannabis, las semillas de girasol, el cacao, el proceso de extracción por fluido supercrítico es una manera eficiente de obtener un producto valioso que sirve para combinarlo en industrias de alto valor como la industria alimenticia, farmacéutica, cosméticos, etc.

Datos de la Organización Mundial de la salud, han determinado que el cannabinoide denominado como (CBD) o cannabidiol se considera como un compuesto no clasificado como una sustancia que esté sujeta a fiscalización internacional, permitiendo su uso regulado en las distintas naciones en las que hoy por hoy se encuentran siendo utilizadas de manera industrial [3].



Al momento existen parámetros que regulan siembra y cultivo, un ejemplo de lo mencionado son las licencias que son entregadas y necesitan ser solicitadas para poder operar desde la siembra hasta la producción de alimentos, garantizando un proceso manufacturero [4].

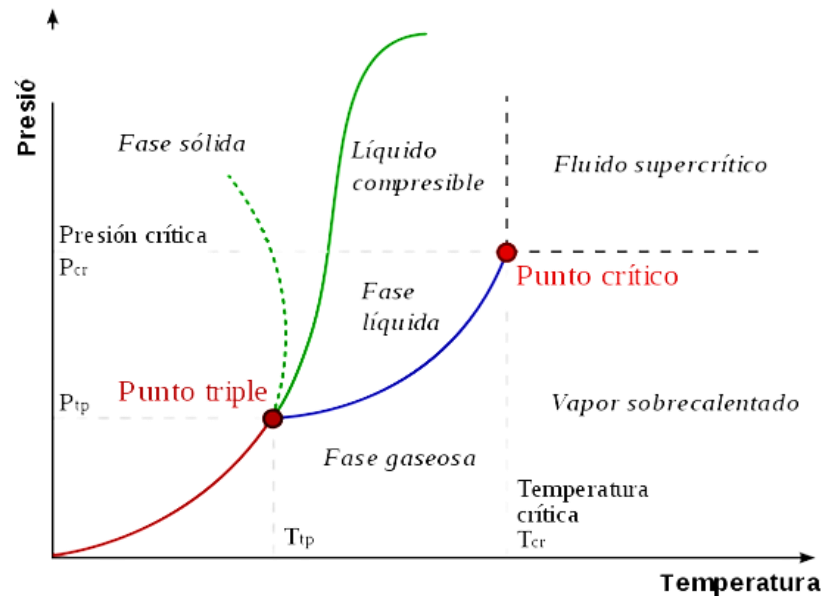
En el mes de octubre del año 2020, el día 19, el Ministerio de Agricultura del Ecuador expidió el Acuerdo Ministerial No.109-2020, en el que establece la regulación de importación, siembra, cultivo, cosecha, postcosecha, almacenamiento, transporte, procesamiento, comercialización como de la exportación del cannabis no psicoactivo o cáñamo para usos de manera Industrial [2][4].

La necesidad de procesos estandarizados para la manufactura del cáñamo incentiva al diseño y construcción de maquinaria de última tecnología, el método más eficiente y usado para la extracción de aceites esenciales como fitocannabinoides no psicoactivo es la extracción por fluido supercrítico, con este método se logra extraer la mayor cantidad de producto o CBD [1][2][4].

Cualquier sustancia que se encuentra a condiciones conocidas como críticas y estas son elevadas hasta alcanzar su punto crítico como presión y temperatura, obtiene propiedades de un fluido supercrítico, difuminándose a través de los sólidos y comportándose como un gas, disolviéndose como un líquido en la materia prima [1][2][4].

Las propiedades de temperatura y presión al encontrarse en puntos supercríticos permiten que rápidamente la densidad del fluido o CO<sub>2</sub> varíe, permitiendo clasificar a dichos solventes como orgánicos en los procesos de extracción [1][2][4].

La metodología en la que se basa el principio de fluido supercrítico es la del (gas) al encontrarse superior a su punto crítico muestra propiedades de un líquido solvente, a temperatura crítica (T<sub>c</sub>), el gas sufre un cambio al elevar la presión, por consiguiente, la presión crítica (P<sub>c</sub>), nuevamente sufre un cambio de líquido a gas al elevar la temperatura, encontrando como característica recurrente al punto crítico (C<sub>p</sub>), en el diagrama presión temperatura como se muestra en la Figura 1 [5].



**Figura 1.** Diagrama de presión y temperatura, punto crítico [4].

Este tipo de fluidos son clasificados y conocidos como fluidos supercríticos o con su abreviación (FSC), tienen la capacidad de separar agregados químicos debido al cambio de temperatura y presión en los solventes que son usados para las extracciones, manipulándolos hasta alcanzar presiones y temperaturas críticas [4], [5].

El solvente más reconocido en las extracciones por fluidos supercríticos es el  $\text{CO}_2$ , este cumple con los parámetros necesarios para la obtención del producto con las características más puras que se pueda lograr, teniendo propiedades como las siguientes; no es tóxico, no es inflamable, no corroe los conductos por donde es transportado, es incoloro y en comparación a otros solventes es una buena elección [4][5].

Usando  $\text{CO}_2$  los residuos que se pueden encontrar son muy escasos garantizando un producto final más puro, este solvente alcanza puntos críticos mucho más rápidos que otros solventes obteniendo diferentes grados de pureza [4].

### 1.1.1 Ventajas que se pueden encontrar en los fluidos supercríticos.

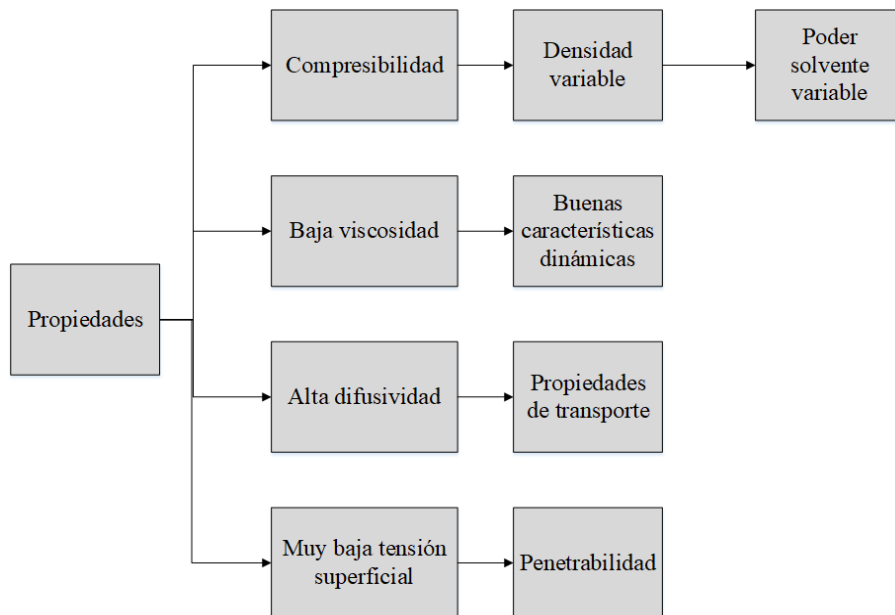
El coeficiente de difusión y viscosidad que maneja el fluido supercrítico es el más bajo en comparación de los líquidos [4][6].

La tensión superficial que presenta el solvente es considerada como ausente, esto permite trabajar de mejor manera, pues, eleva la efectividad de extracción penetrando al interior de los poros de la matriz heterogénea [6].

La extracción con el uso del solvente CO<sub>2</sub> permite trabajar sin dejar residuos al final de la extracción [6].

Con el uso del CO<sub>2</sub> como solvente se puede recuperar un porcentaje alto del fluido supercrítico con un proceso de reciclaje, además de ser protagonista en innumerables campos en los que su utilización es un éxito como en: agricultura, alimentos, pesticidas, petroquímica, farmacéutica y procesos microbianos [6].

Los costos de estos equipos al momento de la importación imposibilitan que la demanda aumente y que la producción manufacturera sea alta con respecto a la extracción de fluidos supercríticos al usar como materia prima al Cannabis [6].



**Figura 2.** Propiedades de los fluidos supercríticos [6].

## **1.2 OBJETIVOS**

- Definir las condiciones de funcionamiento de los elementos que contribuyen el equipo de extracción de fluidos supercríticos.
- Diseñar los elementos del equipo de extracción de fluidos supercríticos aplicando teorías térmicas y mecánicas.
- Verificar el desempeño de los elementos de extracción de fluidos supercríticos mediante programas de computador.




## CAPITULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Materiales

Las herramientas que se utilizaran a lo largo del proceso de diseño y simulación de los tanques para la extracción de fluido supercríticos.

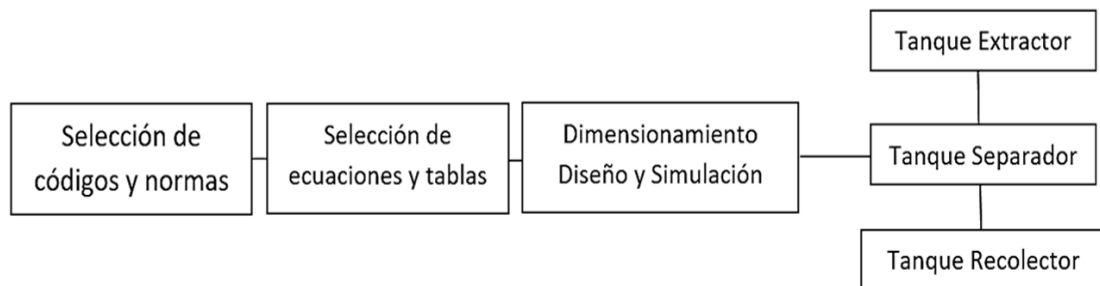
**Tabla 1.** Listado de herramientas y equipos.

Listado de herramientas y equipos		
Fotografía	Descripción	Detalle y funcionalidad
	Computadora portatil	Empleada para el diseño, modelamiento y simulación mediante software.
	Software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora)	Empleado para el diseño geométrico de los tanques extractor, separador, recolector.
	Software de simulación de ingeniería y diseño 3D	Empleado para la simulación de los tanques y comprobación de resistencia y factor de seguridad de cada uno de ellos.

#### 2.2 Métodos

##### 2.2.1 Metodología del diseño.

Se observa en la Fig 3. La metodología de diseño para los tanques: extractor, separador, recolector



**Figura 3.** Metodología de diseño.

## **2.2.2 Definir las condiciones de funcionamiento de los elementos que contribuyen el equipo de extracción de fluidos supercríticos.**

### **2.2.2.1. Condiciones de funcionamiento del equipo de extracción de fluidos supercríticos**

Para conseguir los resultados deseados es necesario implementar una infraestructura adecuada para llevar a cabo el proceso de extracción, es importante contar con materiales sumamente resistentes para las condiciones que se necesitan, capaces de soportar altas presiones como temperaturas y contar con sistemas de seguridad los cuales son imprescindibles para estos procesos de extracción y con la asistencia de personal calificado con conocimiento en ingeniería mecánica.

El proceso de extracción de fluidos supercríticos consta de cuatro etapas [7].

- **Presurización:** Mediante el uso de una bomba, el solvente se eleva a una presión más allá de la crítica [7].
- **Ajuste de temperatura:** Regular la temperatura del solvente donde es necesario, seleccionando el nivel adecuado [7].
- **Extracción:** El fluido supercrítico entra íntimamente en contacto cantidad con la materia prima seleccionada [7].
- **Separación:** Se realiza la descompresión y se separa el solvente del soluto [7].

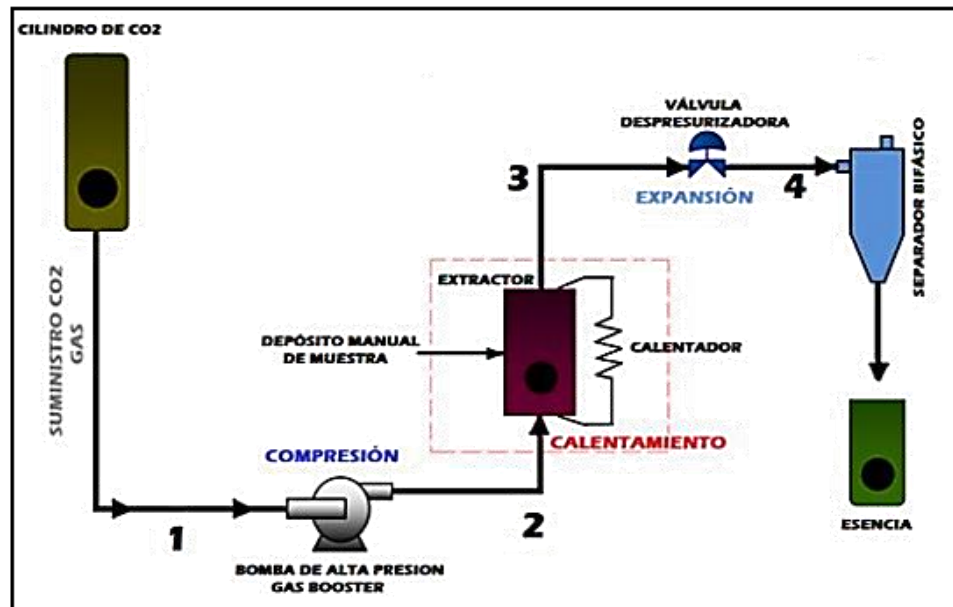


Figura 4. Proceso de extracción [7].

#### A) SUMINISTRO DE CO<sub>2</sub>:

El proporcionar el fluido de CO<sub>2</sub> el cual será utilizado como solvente para el proceso de extracción, este debe tener ciertas propiedades, al circular el CO<sub>2</sub> por la bomba y por el calentador ocurren cambios en sus propiedades, estos cambios llegan a un punto en común y estos son los tanques extractores en los que el CO<sub>2</sub> ingresa para tener un íntimo contacto con la materia prima, el solvente se debe encontrar a una temperatura y presión determinada de 40 a 50 MPa y a la temperatura ideal de hasta 326 K, para que el CO<sub>2</sub> se encuentre en un estado gaseoso [7].

#### B) BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO:

Se la emplea con el propósito de elevar la presión del fluido comprimiendo el gas con el objetivo de que en este caso el CO<sub>2</sub> alcance una presión que supere la presión crítica que se necesita para emplear como solvente al CO<sub>2</sub> [7].

#### C) CALENTADOR:

Con el objetivo de elevar la temperatura del solvente es necesario utilizar un calentador para que el CO<sub>2</sub> llegue a su punto supercrítico, gracias al elevar la presión y temperatura del solvente este se encuentra a condiciones ideales para la extracción [7].

#### **D) CÁMARA EXTRACTORA O TANQUE EXTRACTOR:**

Es el recipiente en el cual permite agrupar la materia prima como el solvente, el cual ha sido expuesto a elevaciones de presiones como de temperatura, ingresando al tanque receptor en el que se dará la separación, disolviéndolo y llevando componentes que son de gran interés en este proceso [7].

#### **E) VÁLVULA DE EXPANSIÓN:**

Se trata de un dispositivo que libera la presión a la que fue sometido el solvente para descender su presión por debajo de la crítica. Con esto el fluido pierde las características de un fluido supercrítico despresurizando por debajo de 30 MPa [7].

#### **F) SEPARADOR:**

Cumple con la tarea de separar el solvente CO<sub>2</sub> que se encuentra en estado gaseoso y una temperatura alta enfocándose en extraer el solvente por la parte superior y el producto, en este caso el extracto por la parte inferior del tanque, este proceso no se puede llevar con completa seguridad sin el uso de componentes de control como, medidores de presión como de temperatura controlando todo el flujo del solvente CO<sub>2</sub> por el circuito del proceso, de esto depende las propiedades del solvente para que se dé un buen control [7].

#### **E) CONDICIONES CRÍTICAS DEL SOLVENTE**

Según [8], mencionan que al transcurrir el tiempo los solventes o como también se conocen “sustancias” no presentan cambios. Estas “sustancias” cuando son sometidas a variaciones de presión como de temperatura, elevándolas por encima del punto crítico son clasificadas con el nombre de fluidos supercríticos, mencionado un punto importante sobre el solvente en este proceso, por más alta que sea su temperatura este no se vaporizará, únicamente teniendo cambios en su densidad.

Acorde a [8], la densidad varía y aun manteniendo valores que se acercan a los de un fluido en estado líquido, la viscosidad presentara condiciones que se asemejan a la de los gases, la difusividad se encuentra con valores mayores que no pasa así con los líquidos, siendo un punto positivo para el proceso de extracción al presentar una capacidad de penetración en los poros de las muestras que ingresan sin llegar a contaminar las mismas.



El punto crítico es de mucha importancia debido a sus características, estas características se presentan en la Tabla 2, en la que se detalla las condiciones críticas de presión y temperatura a la que los solventes se encontrarán sometidos, siendo estos muy utilizados en industrias como: industria farmacéutica y química [8].

Las propiedades que mayor resaltan al fluido supercrítico es que no es inflamable, además de ser económico, no perjudica al proceso ni a la materia prima, pues alcanza niveles altos en lo que se refiere a pureza del producto final, llegando fácilmente a temperaturas críticas del solvente si se compara con otros que llevan mayor temperatura para alcanzar su punto crítico.

Acorde a [8], el dióxido de carbono es considerado no polar esto se debe a su selectividad para disolver ciertos compuestos que son considerados pequeñamente polares y en esta clasificación encontramos a los fitocannabinoides, el dióxido de carbono es seleccionado frente a otros disolventes con características similares, pero no con el mismo nivel de pureza del producto final.

**Tabla 2.** Condiciones de temperatura y presión de los solventes para procesos de extracción supercrítica [8].

Solvente	Temperatura crítica (K)	Presión Crítica
Dióxido de carbono	304,1	7,376
Agua	647,09	22,064
Metano	190,4	4,6
Etano	305,3	4,873
Propano	369,8	4,245
Etileno	282,4	5,035

### 2.2.3 Caracterización de la materia prima

Acorde [8], Se mencionará rápidamente un recuento de las propiedades de la materia prima, además del estado en el que se encontrará para usarla en los tanques es y posterior extracción de sus activos, detallando su estructura química, peso molecular.

**Tabla 3.** Propiedades físicas de los fitocannabinoides [8].

Molécula	Peso Molecular g/mol	Temperatura de Fusión K
Cannabigerol (CBG)	316.5	>334
Cannabidiol (CBD)	314,5	340
Tetrahydrocannabinol ( $\Delta^9 - THC$ )	314,5	<298
Cannabinol (CBN)	310,5	350

El ministerio de agricultura y ganadería estableció que la cantidad de D9-THC permitida se encontrara en niveles por debajo del 1% hasta una máximo de 1%.

Según [8], la variedad Oregón Cherry es una marca comercial que, en Ecuador presento la siguiente composición, se mostrarán datos de su composición además de su densidad de cannabis no psicoactivo.

**Tabla 4.** Composición del cannabis catalogado no psicoactivo [8].

Variable	CBD	THC	Unidad
Composición	11,6	0,33	% masa

**Tabla 5.** Densidades de la materia prima, sin triturar y triturada [8].

Cannabis no psicoactivo	$\rho$	Unidad de medida
Sin triturar	(100 - 125)	[Kg /m <sup>3</sup> ]
Triturado	(225 - 250)	[Kg /m <sup>3</sup> ]

### **2.2.3.1. Condiciones típicas de operación**

Estas condiciones se reflejan en la presión y la temperatura, las cuales se describen a continuación:

- **Presión**

Según [8], determinaron la condición óptima de operación para la extracción de fluido supercrítico de entre 40 (MPa) a 50 (MPa).

- **Temperatura**

Acorde a [8], mencionan que la solubilidad de cannabinoides con el solvente, llegan a la conclusión que la temperatura idónea es de 326 K.

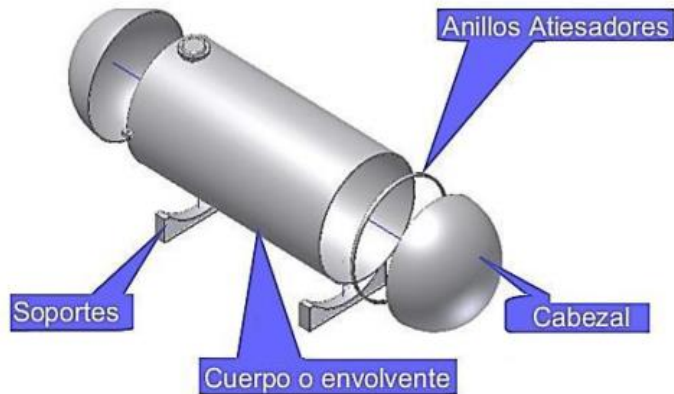
Para el diseño y simulación se seleccionó la temperatura de operación 326 K, puesto que el compuesto para la extracción es el CBD.

### **2.2.4 Recipientes a presión**

Entre la gran variedad de normas aplicables al diseño como la fabricación de tanques a presión, tenemos a la norma ASME sección VII, División 1. Entre los países que adoptan esta norma para el diseño como la fabricación de tanques a presión tenemos a Estados Unidos de América, México y Ecuador [9] .

Sujetos a diversas cargas, debido a diferentes esfuerzos como tangenciales y radiales que afectan a los componentes del recipiente. Los diferentes tipos de intensidad que tienen los esfuerzos depende mucho de la naturaleza de sus cargas, además de la geometría como de su construcción [9].

The American Society of Mechanical Engineers es la (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) quienes son los representantes del código ASME, son quienes los que designan comités especializados para el estudio, análisis, corrección como de su autorización de cada punto y sección del código ASME [9].



**Figura 5.** Vista partes principales de un tanque a presión [23].

#### 2.2.4.1. Tanques a presión códigos aplicables a su diseño.

Se observa en la Tabla 6 los códigos existentes para el diseño de tanques a presión que manejan los países a nivel mundial.

**Tabla 6.** Códigos existentes en el mundo para el diseño y fabricación de recipientes a presión [9].

País	Código	Institución
USA	ASME Boiler & Pressure Vessel Code	ASME
Reino Unido	BS 5500 Unfired Fusion Welded Pressure Vessel	BSI
Alemania	AD2000 - Merb latter	AD
Italia	ANCC	ANPCPC
Países Bajos	RTOD / Regeis Voor Toestellen	DS
Suiza	Tryekkarlskommissionen	SPVC
Australia	AS 1210: Unfired Pressure Vessel	SAA
Bélgica	IBN Construction Code for Pressure Vessel	BSI
Japón	JIS B 8265	MITI
Francia	CODAP/ SNCT Construction Code for Unfired Pressure	SNCTI
China	GB 150	SAC
Unión Europea	EN 13445 - Directiva 97/23/CE	PE
India	IS 2825	BIS
Corea	Kepic MG	KEA
Rusia	Gost R 52857	EASC
Nueva Zelanda	NZ 1210	NZS
Canadá	B5.1-R1	CSA

## 2.2.5 Introducción al código ASME

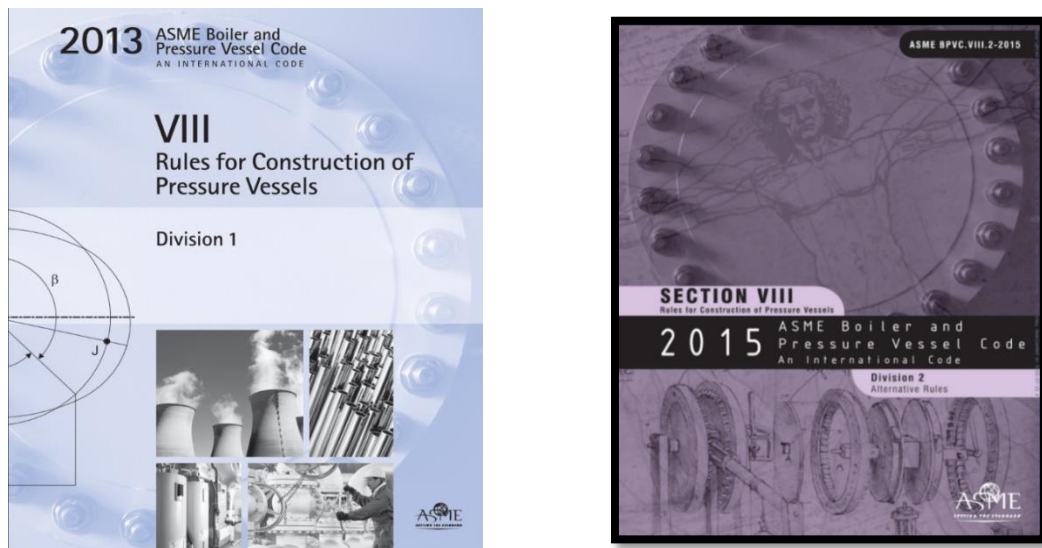
Diseño y fabricación de calderas por parte del código ASME ha tenido un largo proceso de mejoras al pasar los años, surgiendo a partir de la necesidad de precautelar la vida de la sociedad debido a repetidas explosiones en calderas que sucedieron antes de reglamentar el diseño de fabricación de tanques a presión [9].

Europa encamino esta reglamentación específicamente Inglaterra en dar el primer paso al sentir la necesidad de contar con normas para la fabricación de calderas como de recipientes a presión.

A medida que han pasado los años se han presentado varias secciones emitidas por ASME [9].

### 2.2.5.1. Norma ASME

Según a [10], la sección VIII del código ASME muestra los requerimientos de diseño mínimos, además de fabricación e inspección para tanques y recipientes a presión interna o externa, que se clasifican en presiones operacionales según su división que puede variar entre división 1 con una presión de operación de 20 (MPa) y la División 2. de 69 (MPa) debido a esto se instauran procedimientos para certificaciones y autorizaciones por parte de ASME [11].



**Figura 6.** Norma ASME Sección VIII División 2 [11].

### 2.2.6 Diseño y selección de los equipos de extracción de fluidos supercríticos aplicando teorías térmicas y mecánicas.

En el diseño de los equipos como los tanque extractores y separadores que necesitan ser diseñados específicamente con los dimensionamientos y propiedades que se mencionaran en este capítulo, encontramos equipos ya fabricados los cuales se debe realizar una selección con respecto a las especificaciones del proceso, de acuerdo con lo mencionado se iniciara con la selección de los equipos con los parámetros especificados para el proceso de extracción [12].

#### 2.2.6.1. Bomba

Acorde a [8], recomiendan para el manejo de fluidos en las que sus viscosidades puedan ser diferentes, se debe seleccionar una bomba de desplazamiento positivo. Esta bomba puede trabajar a bajos caudales y altas presiones.

Según [8], las características de la bomba se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Características de la bomba [8].

Variable	Valor	Unidad de medida
Potencia ideal de la bomba	4,65	KJ/s
Eficiencia de la Bomba	76	%
Potencia real de la bomba	6,26	KJ/s
Eficiencia del motor	89,99	%
Potencia real del motor	6,96	KJ/s

### **2.2.6.2. Calentador eléctrico**

Con el fin de elevar a temperaturas supercríticas se seleccionó un calentador eléctrico, con el que el dióxido de carbono llega a alcanzar altas temperaturas que se derivan del bombeo, ayudando a acortar ciclos adicionales como el de calentamiento, teniendo esto en cuenta es necesario calcular el calor requerido [8].

### **2.2.6.3. Cálculo del calor requerido**

Acorde a [8], para el cálculo del calor requerido para condiciones de presión constante y temperatura de  $P = 50 \text{ MPa}$  y  $T = 326 \text{ K}$  es de  $Q = 5,49 \text{ KJ/s}$  determinando que este será el calor que entregará el equipo.

### **2.2.7 Extractor**

Se desarrollará el cálculo de tiempos de extracción como de las siguientes incógnitas: volumen, altura, diámetro y espesores de la cubierta del extractor.

#### **2.2.7.1. Flujo de Solvente en el extractor**

Según [8], recomiendan utilizar un flujo de  $0,0015 \text{ m}^3/\text{min}$  para un extractor de  $0,005 \text{ m}^3$ , este equipo trabajara a una presión de  $55 \text{ MPa}$  y a una temperatura de  $120^\circ\text{C}$ .

Mencionando que el flujo del dióxido de carbono será de  $0,006 \text{ m}^3/\text{min}$ .

#### **2.2.7.2. Tiempo de extracción**

Acorde a [8], los tiempos de extracción que cumplirán los fitocannabinoides: cannabidiol y tetrahidrocannabinol serán respectivamente de  $250,30 \text{ min}$  para el primer fitocannabinoides y para el segundo será de  $3,14 \text{ min}$  el tiempo de extracción [12].

#### **2.2.7.3. Función que cumplirá el extractor**

El tanque extractor debe cumplir varias tareas, una de ellas es asegurar que la presión a la que se encontrará trabajando no logre desprender partes soldadas ni empernadas como bridas y pernos, que ayudan a resistir dichas presiones del tanque, para separar los fitocannabinoides el cannabis debe estar en contacto con el  $\text{CO}_2$  dentro del tanque extractor, al encontrarse ambos en contacto y en condiciones supercríticas, en las que la

temperatura y presión cambian su comportamiento, se logra obtener los fitocannabinoides que se busca en el proceso [13].

El sistema de extracción contará con una bomba de diafragma, que además de estar provista de un marco de acero inoxidable cumplirá con las condiciones necesarias para la extracción a condiciones supercríticas, las cuales son separar la materia prima del disolvente, recordando que para la extracción se debe cumplir varios parámetros de seguridad de diseño en bridas y pernos, manteniendo un factor de seguridad que satisfaga la exigencia que presenta el tanque a una presión promedio de 40 MPa llegando incluso a 60 MPa [12][13].

#### **2.2.7.4. Selección del acero para el tanque extractor**

- **Acero inoxidable 316L**

Para el diseño y la simulación de los tanques ya mencionados, se plantean los aceros inoxidables 316, 316L y el acero Duplex estos tienen diferencias en sus propiedades químicas como mecánicas [14].

El acero inoxidable 316L cuenta con menos porcentaje de carbono que su similar el 316 sin embargo esto no quiere decir que su durabilidad como resistencia disminuye inclusive si se ve afectada por corrosión, con estas buenas características que presenta este acero es una opción elegible para el diseño y simulación, además de mencionar que los tanques a presión deberán contar con cabezales soldados este acero inoxidable en especial es una opción cuando se requiere mucha soldadura [14].

- **Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507**

El Acero Inoxidable Súper Dúplex, también conocido como acero inoxidable austenítico-ferrítico, este acero pertenece a la familia que cuenta con grados proporcionales iguales de ferritos y austenitas, su microestructura desempeña un gran papel al contar con una alta fuerza como resistencia a lo que se conoce como fractura de corrosión de estrés [15].

El contenido de minerales en el acero inoxidable Dúplex como cromo, nitrógeno y molibdeno, los acero dúplex entre varias de sus características ofrecen gran resistencia a



la corrosión local como uniforme, la gran ventaja en comparación con el acero inoxidable 316L, es que el acero Dúplex es fácil de soldar lo que no ocurre con el 316L [15].

Los aceros modernos de dúplex están divididos en los siguientes tres grupos:

- Dúplex ligeros como LDX2101.
- Dúplex estándar como 2205, este es considerado como un acero pesado el cual contribuye con el 80% que dúplex usa.
- Súper Dúplex como Ferralium 255, Zeron 100 y 2507.

El Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 se caracteriza por ser excelente al resistir a la corrosión por cloruro, lo que combinado con una muy alta resistencia mecánica lo hace ideal para trabajar con altas presiones, esta adecuado para trabajar en ambientes muy agresivos, algunas de sus especificaciones de trabajo son, agua de mar clorada caliente como medios ácidos que contiene cloruro. Debido a su alta resistencia mecánica es muy aplicado en la industria de exploración como explotación de petróleo y gas en alta mar [15].

#### **2.2.7.5. Material del empaque**

Para asegurar la hermeticidad del tanque extractor es necesario utilizar dos empaques, que aseguren dicha condición, el diámetro interior del empaque será de 121,80 mm, con un espesor de 5 mm y una altura de 5,40 mm, para este se debe seleccionar el siguiente material para, el FKM o “Viton” también conocido con los siguientes nombres: FPM, Fluoropolímero, Fluoroelastómero, Viton. El compuesto Viton es uno de los más utilizados en aplicaciones químicas, aeroespaciales, automotrices e industriales, este compuesto ofrece una gran resistencia química y térmica.

En el **Anexo 6.** se muestran los valores de los diámetros interiores estandarizados para usos aeroespaciales como para la industria petroquímica usados para altas presiones, no siendo los únicos diámetros disponibles, la empresa GMORS ofrece el diseño personalizado.

#### **Características del compuesto**

- Resiste a altas temperaturas

- Tiene una gran resistencia a ácidos, combustibles, aceites minerales, fluidos hidráulicos no inflamables.
- Una resistencia alta al envejecimiento y al ozono.
- Considerable baja permeabilidad al gas, baja compresión.

**No se recomienda**

- Cetonas (MEK)
- Líquidos para frenos de automóviles / aviones
- Agua caliente y vapor

**Temperatura de servicio: -26° C / + 225° C**

Las temperaturas de -26° C y 225° C son aproximaciones ciertos servicios como de aire seco, esto dependerá de la configuración del alojamiento, fuerzas aplicadas, medios químicos, presión y efectos del ciclo térmico, etc.

**2.2.7.6. Soldadura para acero inoxidable Súper Dúplex 2507**

El Acero Súper Dúplex es una variación del Acero Inoxidable Dúplex, este acero presenta dificultades al momento unir partes que necesitan soldadura, esto se debe a que presenta porosidad en el material debido a la soldadura, la porosidad que se presenta tiene su causa en el elevado contenido de nitrógeno del material base y al momento de iniciar con la soldadura, se puede limitar durante la soldadura MIG/MAG [16].

Para la soldadura del Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 es necesario seleccionar el gas de protección, este gas puede ser Argón +20-30% Helio +0,5% CO<sub>2</sub>, además de un equipo de soldadura adecuado, especificando que debe ser con una soldadora sinérgica lo que significa al indicar ciertos parámetros: corriente, tensión y feed de alambre, espesor y tipo de alambre, con estos parámetros la computadora interna se encarga de seleccionar los parámetros primarios más adecuados, logrando excelentes resultados [16].

El alambre de soldadura cuenta con un estándar AWS A5.9: ER2209 es un electrodo que cuenta con un alambre sólido para GMAW apropiado para Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 [17].

Para disminuir el riesgo de porosidad, además de incrementar la velocidad de deposición con la utilización de hilos tubulares, se debe utilizar tanto el gas al 100% CO<sub>2</sub> como el 80% Ar+20% CO<sub>2</sub>, logrando tener depósitos libres de defectos en los que no se encuentre faltas de fusión y porosidad [16].

#### **2.2.7.7. Volumen del tanque extractor**

En el diseño planteado para la planta piloto, se ha determinado el valor del volumen efectivo, lo que quiere decir que el volumen de cannabis se encontrara definido por dos kilogramos de cannabis no psicoactivo a procesar [8].

$$V_{ef} = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

**Donde:**

$V_{ef}$  = Volumen efectivo del extractor, [m<sup>3</sup>]

$m$  = Masa de cannabis no psicoactivo, [kg]

$\rho$  = Densidad de cannabis no psicoactivo triturado, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

El volumen de materia prima que ingresará al tanque extractor corresponderá al 40% respecto al volumen total del tanque extractor, lo que se deberá determinar a continuación.

$$V_{ef} = \frac{2}{250}$$

$$V_{ef} = 0,008 \text{ m}^3$$

Por tanto, el volumen total del extractor es:

$$V = \frac{0,008}{0,4}$$

$$V = 0,02 \text{ m}^3$$

#### **2.2.7.8. Diámetro interior del extractor**

El diámetro se determina mediante la siguiente ecuación [8].

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{10.47 * \pi}} \quad (2)$$

**Donde:**

D = Diámetro interior del extractor, [m]

V = Volumen del extractor, [m<sup>3</sup>]

π = Número pi

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,020}{10.47 * \pi}}$$

$$D = 0,134 \text{ m}$$

Al calcular el diámetro interior del extractor se obtiene un valor de 0,134 m o 134 mm, para la fabricación de este tanque se debe considerar un diametro comercial de 0,130 mm

#### **2.2.7.9. Altura del extractor**

$$H = 10.47 D \quad (3)$$

**Donde:**

H = Altura del extractor, [m]

D = Diámetro interior del extractor, [m]

$$H = 13.1 * 0,130$$

$$H = 1,703 \text{ m}$$

### 2.2.7.10. Cálculo de parámetros de diseño de la tapa roscada del extractor.

- **Cálculo de la profundidad y el ancho de la rosca, diámetro de paso para rosca ACME.**

Según [18], se muestra el proceso para rosca ACME, para el valor del paso se asumirá un valor de  $p = 14$ , con un diámetro interior de  $d = 132$  mm, una fuerza por tornillo de  $F = 883$  kN [Autor].

- **Profundidad**

$$\frac{p}{2} = \frac{14}{2} = 7$$

- **Diámetro de paso**

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad (4)$$

$$d_m = 132 - \frac{14}{2}$$

$$d_m = 125 \text{ mm}$$

- **Diámetro menor**

$$d_r = d - p \quad (5)$$

$$d_r = 132 - 14$$

$$d_r = 118 \text{ mm}$$

- **Avance**

$$l = n * p \quad (6)$$

$$l = 1 * 14$$

$$l = 14$$

- **Par de torsión que se requiere para hacer girar el tornillo contra la carga se determine de la siguiente manera.**

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} * \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2} \quad (7)$$

$$T_R = \frac{883 * 125}{2} * \left( \frac{14 + \pi * 0,08 * 125}{\pi * 125 - 0,08 * 14} \right) + \left( \frac{883 * 0,08 * 0}{2} \right)$$

$$T_R = 6400,728 \text{ (N * m)}$$

- **Par de torsión para bajar la carga se determina, de la siguiente manera.**

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} * \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2} \quad (8)$$

$$T_L = \frac{883 * 125}{2} * \left( \frac{\pi * 0,08 * 125 - 14}{\pi * 125 + 0,08 * 14} \right) + \left( \frac{883 * 0,08 * 0}{2} \right)$$

$$T_L = 2440,56 \text{ (N * m)}$$

- **Eficiencia global al elevar la carga es:**

$$e = \frac{F l}{2 \pi * T_R} \quad (9)$$

$$e = \frac{883 * 14}{2 \pi * (6400,728)}$$

$$e = 0,3073$$

- **Esfuerzo cortante en el cuerpo, debido al momento de torsión  $T_R$  en el exterior del cuerpo del tornillo.**

$$\tau = \frac{16 T_R}{\pi * d_r^3} \quad (10)$$

$$\tau = \frac{16 * 6400,728}{\pi * (118)^3}$$

$$\tau = 19,84 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo axial normal ( $\sigma$ )**

$$\sigma = -\frac{4F}{\pi * d_r^2} \quad (11)$$

$$\sigma = -\frac{4 * 883}{\pi * (118)^2}$$

$$\sigma = -80,74 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo de apoyo ( $\sigma_B$ ), con una rosca que soporta  $0,38F$  asumiéndola como la más esforzada.**

$$\sigma_B = -\frac{2F}{\pi * d_m * nt * p} \quad (12)$$

$$\sigma_B = -\frac{2 * (0,38 * F)}{\pi * d_m * (1) * p}$$

$$\sigma_B = -\frac{2 * (0,38 * 883)}{\pi * 125 * 1 * 14}$$

$$\sigma_B = -122,063 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca ( $\sigma_b$ ) con una rosca que soporta  $0,38F$**

$$\sigma_b = \frac{6(0,38F)}{\pi * d_r * (1) * p} \quad (13)$$

$$\sigma_b = \frac{6 * (0,38 * 883)}{\pi * 118 * 1 * 14}$$

$$\sigma_b = 387,91 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = 387,91$$

$$\tau_{xy} = 19,84$$

$$\sigma_y = -80,74$$

$$\tau_{yz} = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{zx} = 0$$

- **Cálculo de los esfuerzos principales**

$$\frac{\sigma_y}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{yz}^2} \quad (14)$$

+

-

$$\frac{-80,74}{2} + \sqrt{\left(\frac{-80,74}{2}\right)^2 + (19,84)^2} \quad \frac{-80,74}{2} - \sqrt{\left(\frac{-80,74}{2}\right)^2 + (19,84)^2}$$

4,61 -85,35

- **Ordenamos los esfuerzos principales**

$$\sigma_1 = 387,91 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -80,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = -85,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \tau_{xy}^2} = 388,417 \text{ MPa}$$

- **Se calcula el esfuerzo cortante máximo**

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (15)$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{387,91 - (-85,35)}{2}$$



$$\tau_{\text{máx}} = 236,63 \text{ MPa}$$

- **Condición de autobloqueo**

$$\pi p d_m > l \quad (16)$$

$$\pi * 0,08 * 125$$

$$31,415 > 14 = \text{es autobloqueante}$$

- **Factor de seguridad**

$$n = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

$$n = \frac{551,581}{387,91} = 1,43$$

**Donde:**

**p** = paso

**dm** = Diámetro de paso

**dr** = Diámetro menor

**l** = Avance

**Tr** = Par de torsión para hacer girar el tornillo

**TL** = Par de torsión para bajar la carga

**e** = Eficiencia global para elevar la carga

**$\tau$**  = Esfuerzo cortante en el cuerpo

**$\sigma$**  = Esfuerzo axial normal

**$\sigma_B$**  = Esfuerzo de apoyo

**$\sigma_b$**  = Esfuerzo flexionante de la raiz en la rosca

**$\sigma'$**  = Esfuerzo de Von Misses

$\tau_{\text{máx}}$  = Esfuerzo cortante máximo

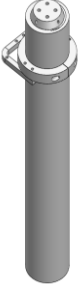

$f$  = Constante

$n$  = Factor de seguridad

$S_y$  = Esfuerzo ultimo de tensión del material

### 2.2.7.11. Análisis comparativo Acero Inoxidable 316L/Súper Dúplex 2507

**Tabla 8.** Análisis comparativo entre Acero Inoxidable 316L y Súper Dúplex 2507.

Ilustración	Tipo de Acero	Límite elástico	Límite ultimo a la tracción	Peso
	Acero Inoxidable Super Duplex 2507	552 MPa	799 MPa	Propiedades de masa de Ensamblaje Configuración: Completo Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 79.61 kilogramos
	Acero Inoxidable 316L	170 MPa	485 MPa	Propiedades de masa de Ensamblaje1 Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 370.21 kilogramos

### 2.2.7.12. Espesor de la pared del extractor

Según la Norma ASME Sección VIII División 2, el espesor de la pared del extractor se calcula de la siguiente manera.

$$t = \frac{D}{2} \left( \exp \left[ \frac{P}{SE} \right] - 1 \right) \quad (17)$$

$$t = \frac{130}{2} \left( \exp \left( \frac{50}{551.581 * 0.38} \right) - 1 \right)$$

$$t = 17.511 \text{ mm}$$

$$t_d = t + c = 19.511 \text{ mm}$$

Al emplear el Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 podemos considerar espesores con menores dimensiones, esto se debe a su resistencia que es superior en comparación con el acero inoxidable 316L, mencionando esto se define un espesor de 25 mm para el tanque extractor.

Para las conexiones entre el tanque con la tubería se necesita implementar racores que la marca Swagelok ofrece como se muestra en el **Anexo 2**. Así mismo el uso de tubería de acero inoxidable para altas presiones superiores a los 60 MPa la marca Swagelok ofrece una gran variedad con dimensiones adecuadas como se muestra en el **Anexo 3**.

**Donde:**

t = Espesor, [mm]

P = Presión máxima de trabajo o de diseño [bares]

R = Radio interno, [mm]

S = Esfuerzo admisible de trabajo [Kgf/cm<sup>2</sup>]

E = Eficiencia de la junta longitudinal

C = Tolerancia debida a la corrosión, [mm]

**2.2.7.13. Cálculo del factor de seguridad**

Para determinar el factor de seguridad se debe calcular los siguientes esfuerzos  $\sigma_a$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_r$  con la determinación de estos factores obtenemos que el diseño es factible y seguro.

$$\sigma_a = \frac{P * R^2}{(t + R)^2 - R^2} \tag{18}$$

$$\sigma_a = \frac{50 * 65}{(20 + 65)^2 - (65)^2}$$

$$\sigma_a = 70.41 \text{ MPa}$$

### Esfuerzo axial

$$\sigma_t = \frac{P * R^2}{(t + R)^2 - R^2} * \left(1 + \frac{(t + R^2)}{R^2}\right)$$
$$\sigma_t = \frac{50 * 65^2}{(20 + 65)^2 - (65)^2} * \left(1 + \frac{(20 + 65)^2}{65^2}\right)$$
$$\sigma_t = 190.83 \text{ MPa}$$

( 19)

### Esfuerzo Radial

$$\sigma_r = \frac{P * R^2}{(t + R)^2 - R^2} * \left(1 - \frac{(t + R^2)}{R^2}\right)$$
$$\sigma_r = \frac{50 * 65^2}{(20 + 65)^2 - (65)^2} * \left(1 - \frac{(20 + 65)^2}{65^2}\right)$$
$$\sigma_t = -50 \text{ MPa}$$

( 20)

### Factor de Seguridad

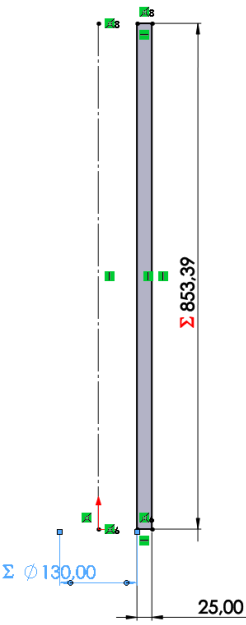
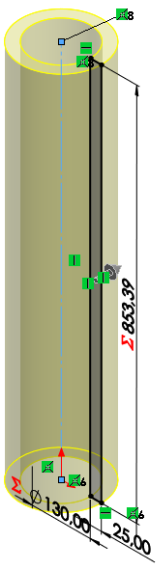
$$n = \frac{S}{\sigma_t}$$
$$n = \frac{551.581}{190.83}$$
$$n = 2.89$$


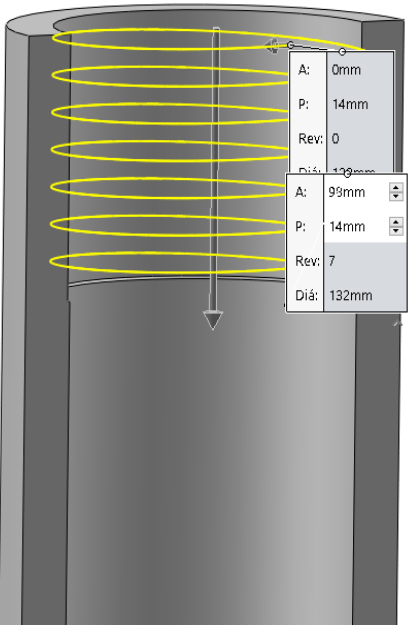
( 21)

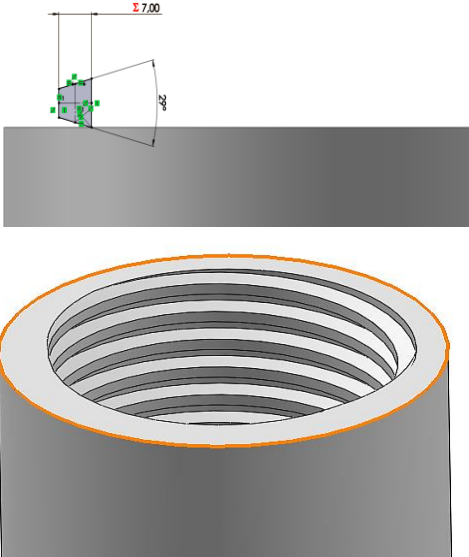
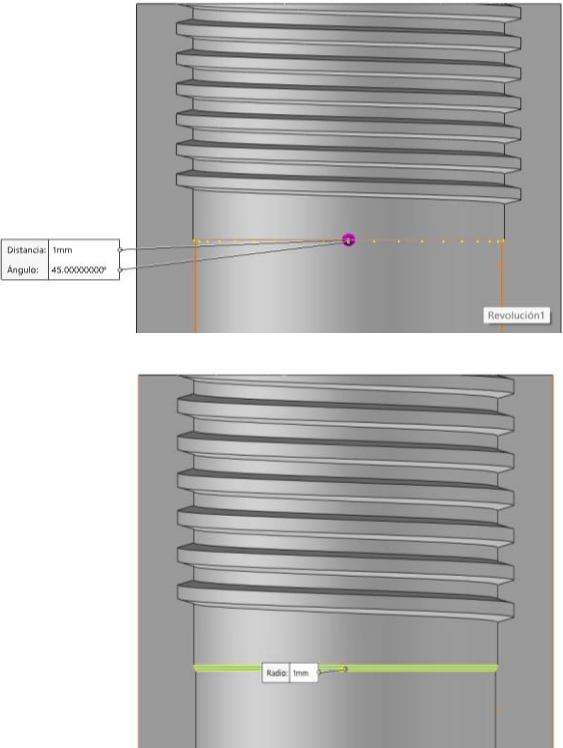
#### 2.2.7.14. Diseño geométrico del tanque extractor

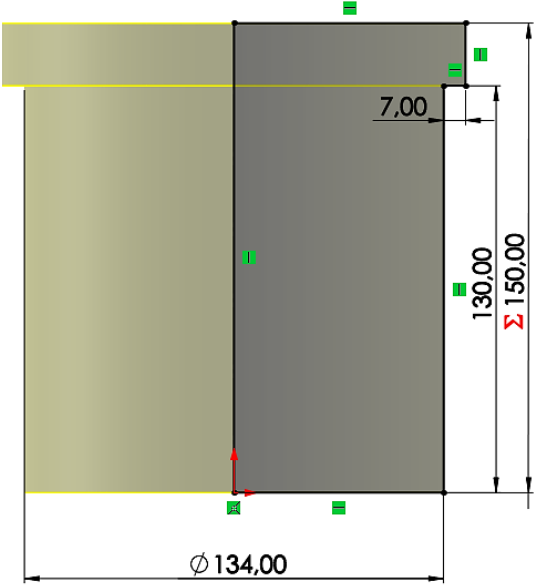
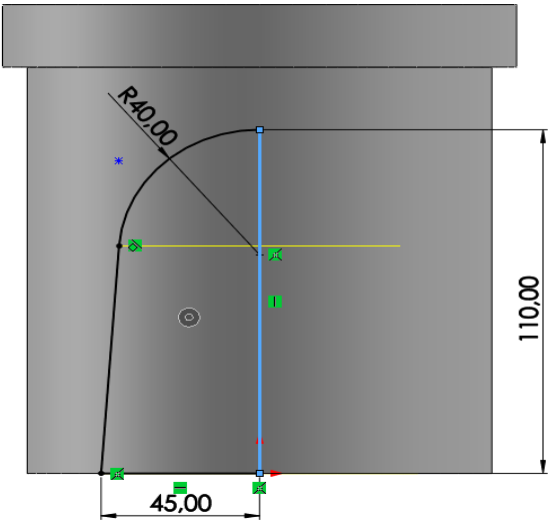
Para realizar el diseño y la simulación se necesita apoyarse del diseño asistido por computadora (CAD), el cual permite generar la geometría de diseño, además de análisis de comportamientos que ayudan a comprender como este se presentara en la vida real.

**Tabla 9.** Desarrollo geométrico del tanque extractor.

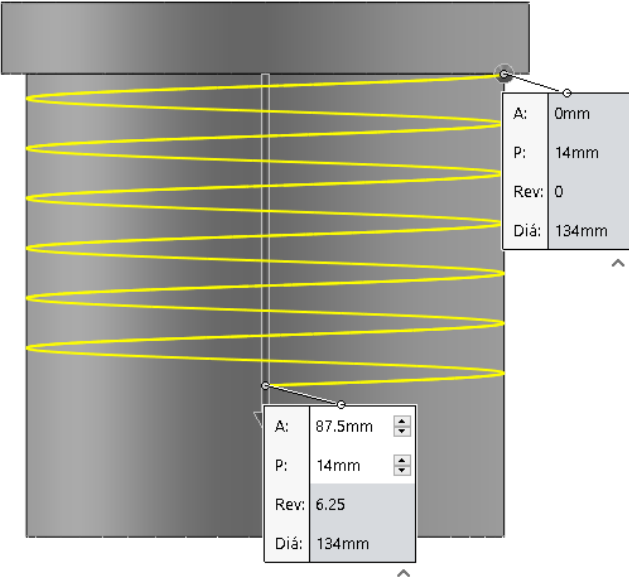
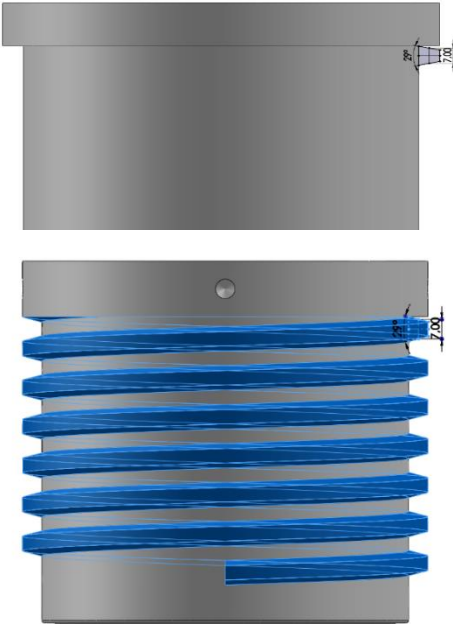
#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
1	 <p>A 2D technical drawing of a vertical cylinder. The total height is indicated as 853.39. The diameter is indicated as <math>\Sigma \varnothing 130.00</math>. A dimension of 25.00 is shown at the bottom, representing the offset from the centerline to the base edge. The drawing includes several green square markers and a red arrow pointing upwards.</p>	<p>Se inicia con el diseño del perfil del cilindro según los cálculos realizados, como diámetro interno, alturas.</p>
2	 <p>A 3D perspective view of the cylinder. The total height is 853.39, the diameter is <math>\Sigma \varnothing 130.00</math>, and the base offset is 25.00. The drawing shows the cylinder with a shaded surface, indicating the addition of thickness. Green square markers and a red arrow are also present.</p>	<p>Se añade el espesor calculado basándose en códigos y normas ASME</p>

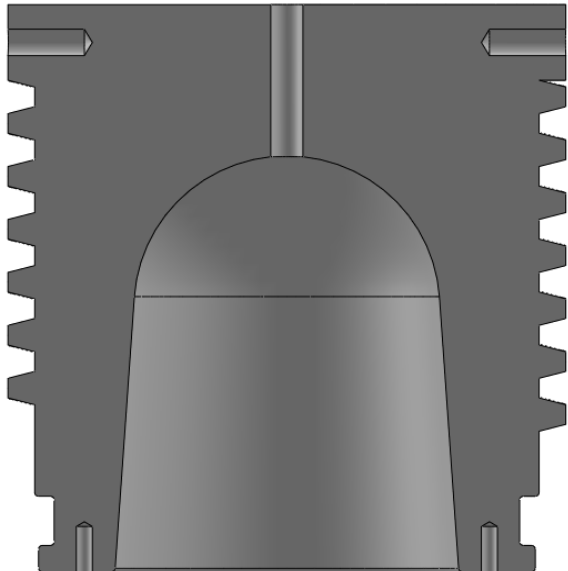
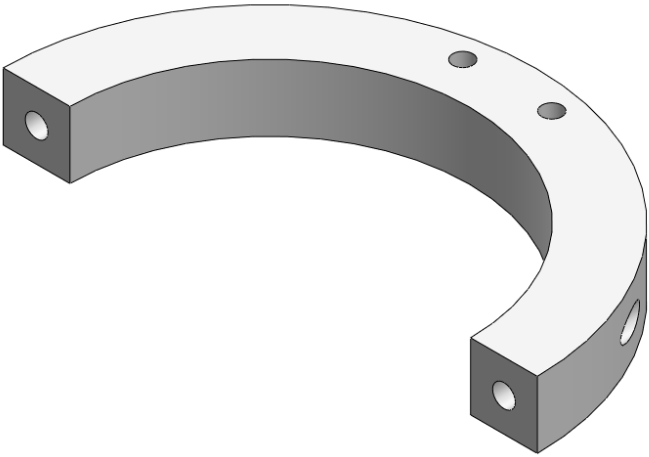
#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
3		<p>Asignamos la operación de revolución y obtenemos el cilindro con las especificaciones requeridas.</p>
4		<p>Se diseñan las hélices para el roscado interior, designando el paso y número de revoluciones.</p>

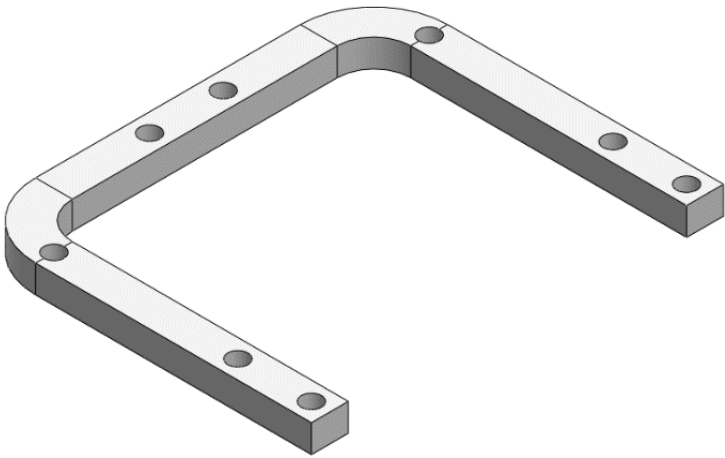
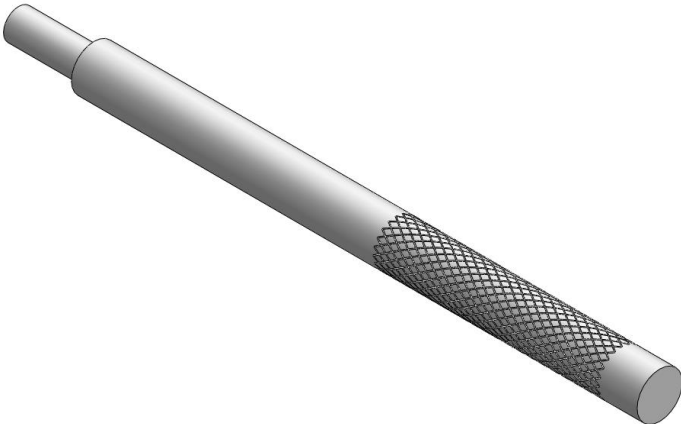
#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
5		<p>Se dimensiona el perfil de la rosca ACME y con el diseño de hélice hecho previamente se hace un corte barrido obteniendo el roscado interior dentro del cilindro.</p>
6		<p>Se selecciona la operación chaflán con una distancia de 1 mm y un ángulo de <math>45^\circ</math>. Además, se realiza dos redondeos con un radio de 1 mm.</p>


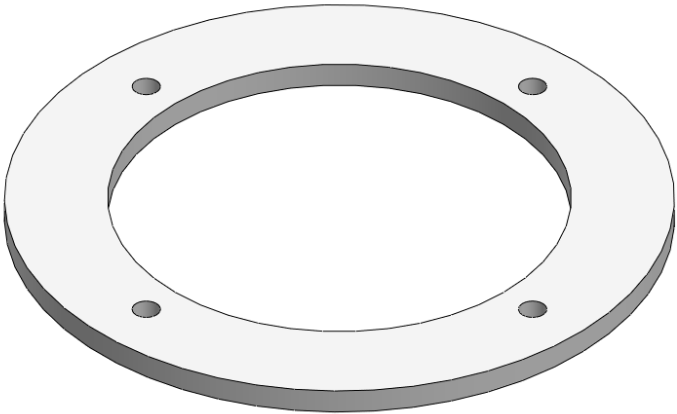
#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
7		<p>Se diseña el perfil del tapón con el diámetro interior del cilindro del extractor.</p>
8		<p>Se diseña cavidad en el interior del tapón con el fin de permitir que el extracto sea filtrado y a la vez incorporar más extracto en ese espacio de forma esférica.</p>

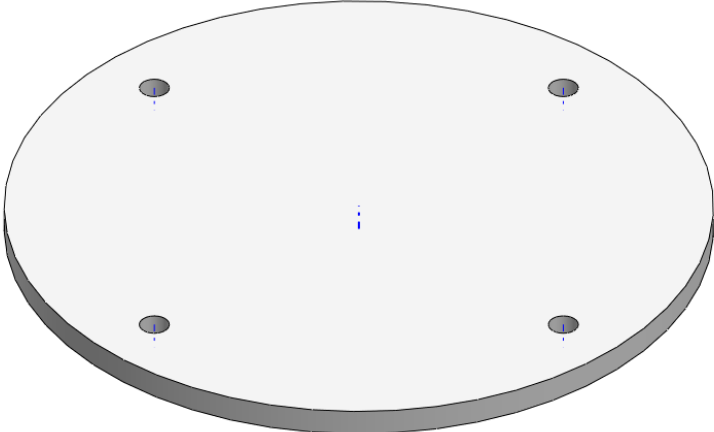
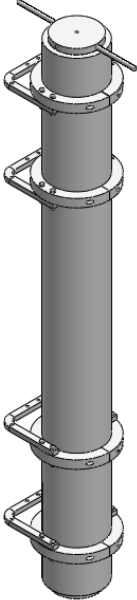


#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
9		<p>Se diseña las hélices para el roscado exterior con cálculos hechos previamente se asigna el paso y dimensiones de esta.</p>
10		<p>Se dimensiona el perfil de la rosca ACME y con el diseño de hélice hecho previamente se hace un corte barrido.</p>

#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
11		<p>Se hace las perforaciones para la tubería de entrada, salida, manómetro, válvulas de seguridad y más como se muestra en el <b>Anexo 1.</b> al <b>Anexo 4.</b></p>
12		<p>Se diseña semi anillos que sujetarán y compartirán las cargas en las zonas que tienen rosca y pueda generar tensiones.</p>

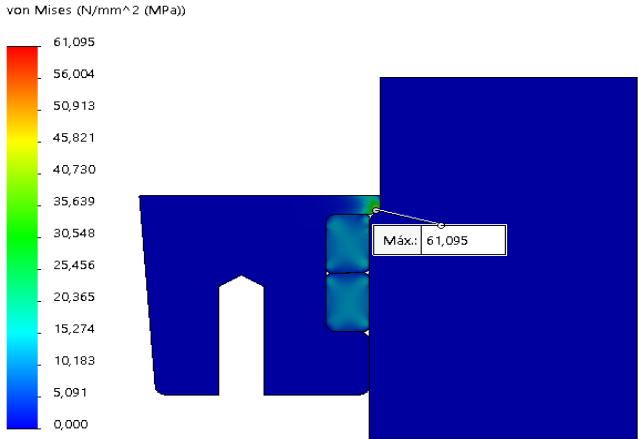
#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
13		<p>Para asegurar el soporte del tanque se añade un soporte que estará sujeto a los perfiles de la estructura que unirá los tres tanques.</p>
14		<p>Para roscar el tapón se necesita de un par de palancas para asegurar el torque necesario.</p>

#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
15		<p>Se dimensiono empaques para asegurarse que no existan fugas al momento de realizar la extracción.</p>
16		<p>El diseño del porta filtro el cual sostendrá al filtro que aprovechará del extracto.</p>

#	Desarrollo del tanque Extractor	Descripción
17		<p>El filtro realizara la tarea de filtrar uniformemente el extracto y que no se obstruya a la hora de transportar el líquido por las tuberías.</p>
18		<p>Ensamble completo</p>

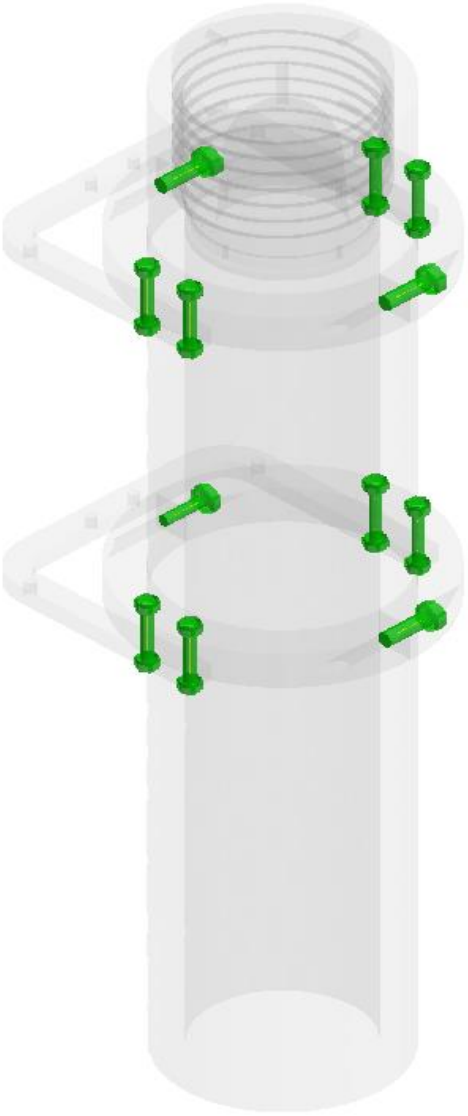
**2.2.7.15. Análisis no lineal del sello en el tanque extractor**

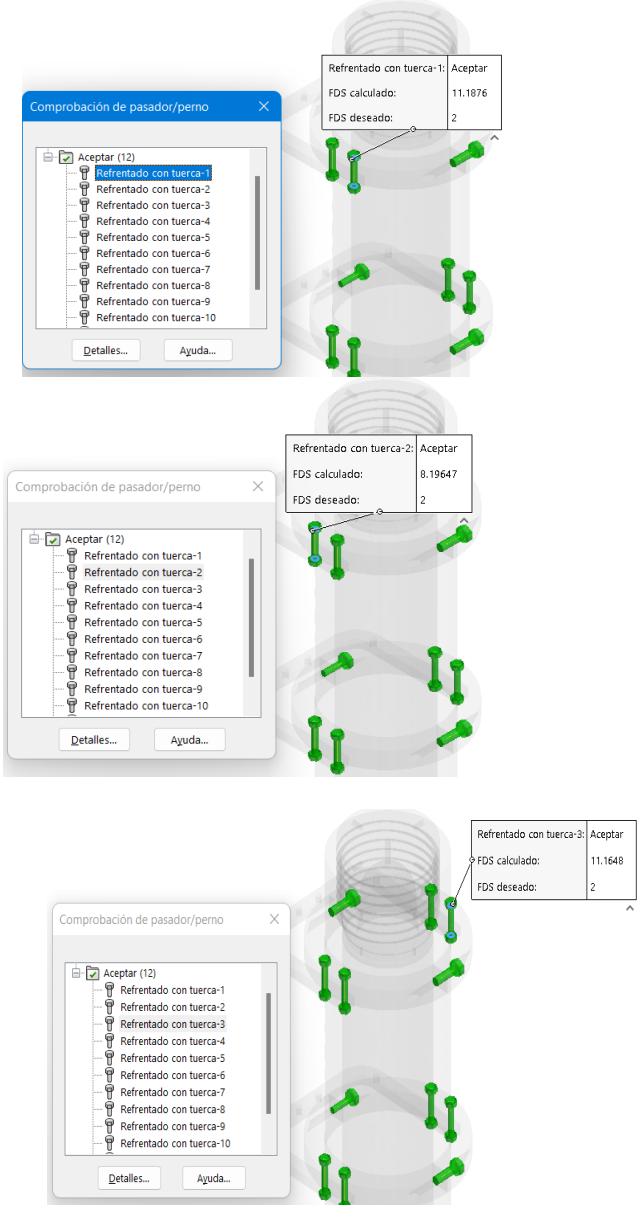
**Tabla 10.** Análisis no lineal del sello en el tanque extractor.

#	Análisis no lineal del sello en el tanque extractor	Descripción
1	 <p>von Mises (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</p> <p>61,095 56,004 50,913 45,821 40,730 35,639 30,548 25,456 20,365 15,274 10,183 5,091 0,000</p> <p>Máx.: 61,095</p>	<p>Con el análisis no lineal se obtiene que el esfuerzo equivalente es 61,095 MPa menor que el límite de fluencia del material.</p>

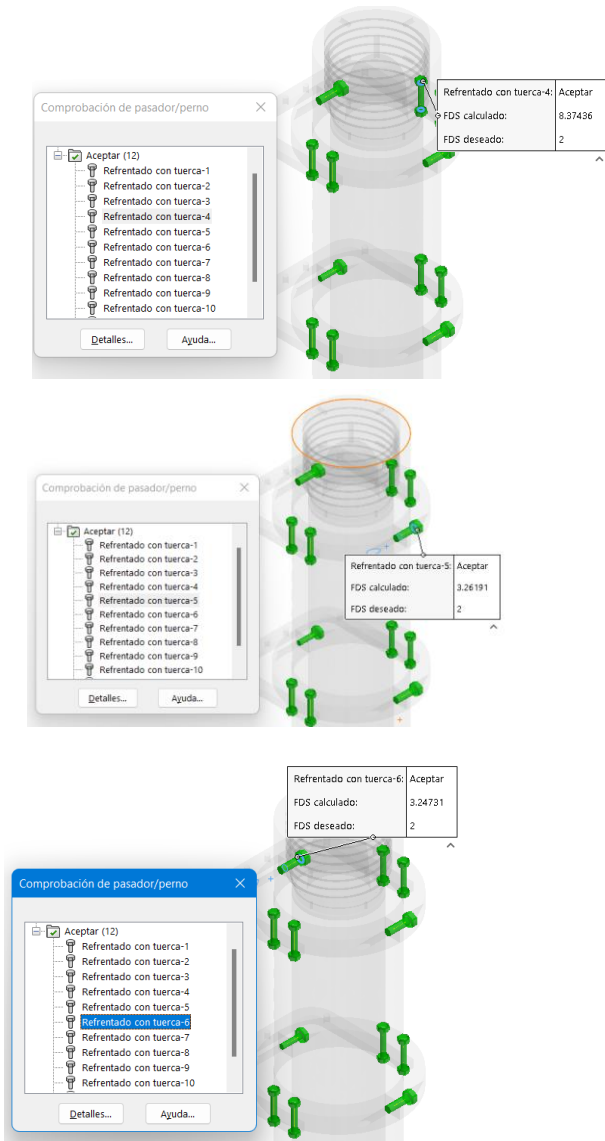
**2.2.7.16. Comprobación de pasador/perno**

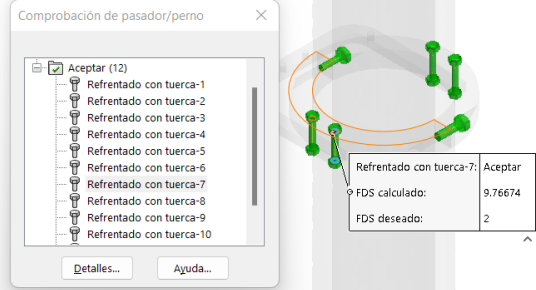
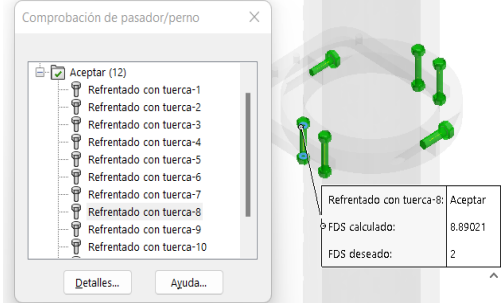
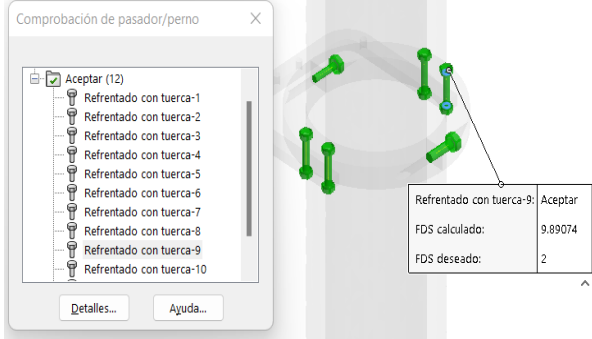
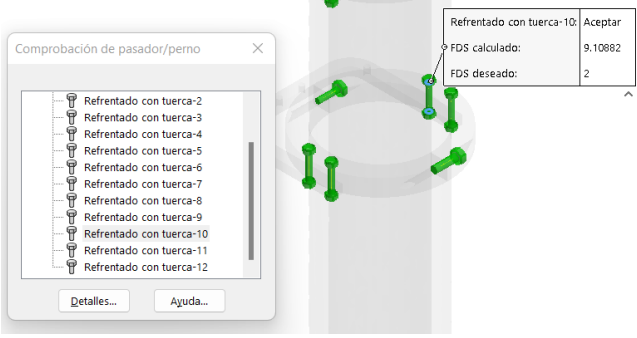
**Tabla 11.** Comprobación de pasador/perno.

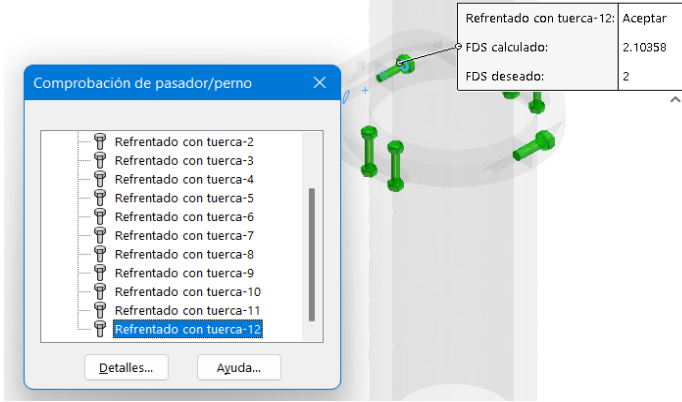
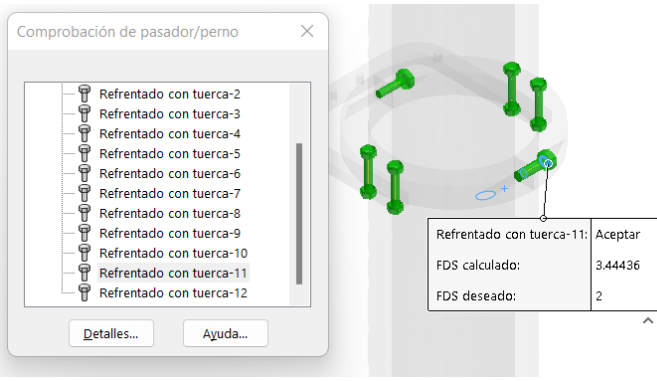
#	FDS deseado – calculado tanque extractor.	Descripción
1		<p>Los conectores para el tanque extractor necesitan asegurar la conexión de los componentes que están sujetos a presiones por lo que necesitan tener un factor de seguridad deseado como mínimo de 2.</p>

#	FDS deseado – calculado tanque extractor.	Descripción
	 <p>The figure consists of three vertically stacked screenshots of a software interface. Each screenshot shows a 3D model of a tank extractor with a bolt highlighted in green. A dialog box titled 'Comprobación de pasador/perno' is open, listing 12 bolts. A tooltip for the selected bolt shows 'FDS calculado' and 'FDS deseado' values.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Top screenshot:</b> Bolt 1 is selected. The tooltip shows 'FDS calculado: 11.1876' and 'FDS deseado: 2'.</li> <li><b>Middle screenshot:</b> Bolt 2 is selected. The tooltip shows 'FDS calculado: 8.19647' and 'FDS deseado: 2'.</li> <li><b>Bottom screenshot:</b> Bolt 3 is selected. The tooltip shows 'FDS calculado: 11.1648' and 'FDS deseado: 2'.</li> </ul>	<p>El conector número 1 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 11.18, es aceptable.</p> <p>El conector número 2 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 8.19647, es aceptable.</p> <p>El conector número 3 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 11.648, es aceptable.</p>



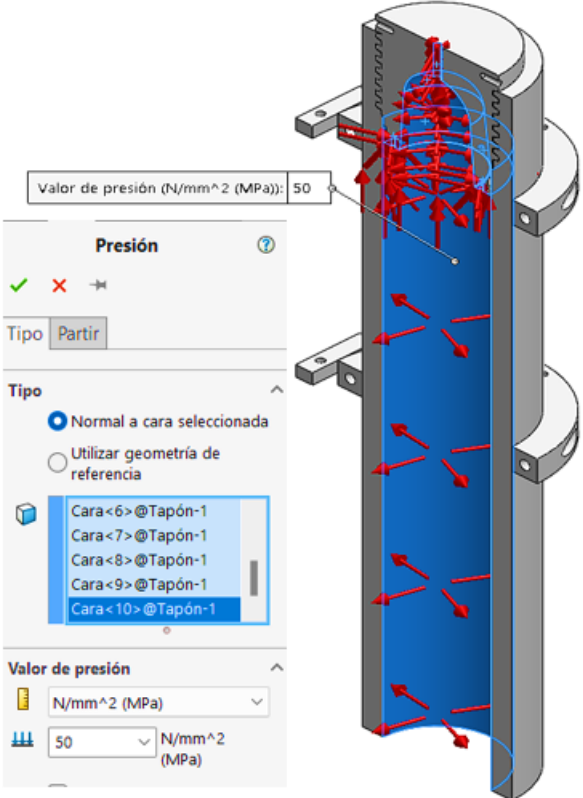
#	FDS deseado – calculado tanque extractor.	Descripción
		<p data-bbox="1149 405 1450 709">El conector número 4 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 8.37436, es aceptable.</p> <p data-bbox="1149 821 1450 1125">El conector número 5 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 3.2619, es aceptable.</p> <p data-bbox="1149 1236 1450 1541">El conector número 6 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 3.24731, es aceptable.</p>

#	FDS deseado – calculado tanque extractor.	Descripción
	   	<p>El conector número 7 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 9.76674, es aceptable.</p> <p>El conector número 8 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 8.89021, es aceptable.</p> <p>El conector número 9 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 9.89074, es aceptable.</p> <p>El conector número 10 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 9.10882, es aceptable.</p>

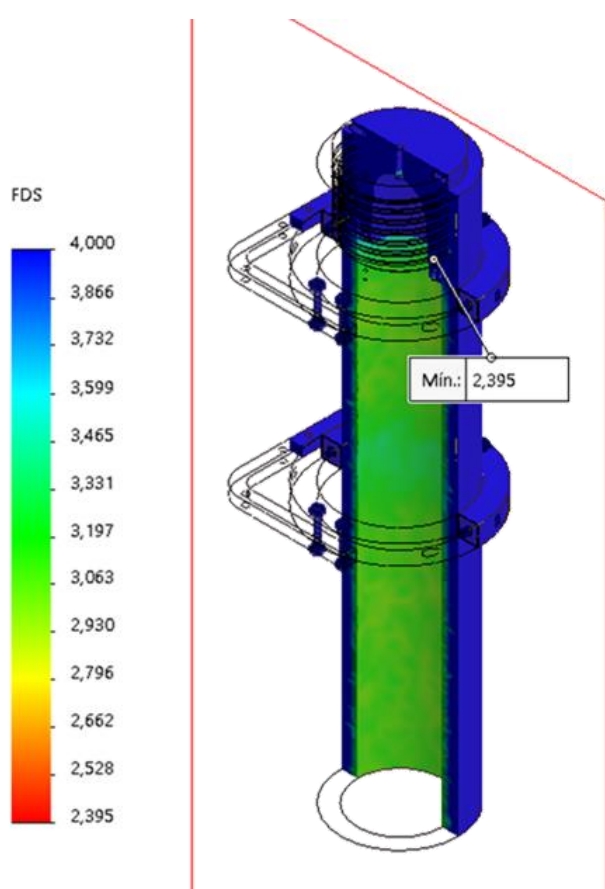
#	FDS deseado – calculado tanque extractor.	Descripción
	 	<p data-bbox="1149 457 1450 772">El conector número 11 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 3.44436, es aceptable.</p> <p data-bbox="1149 877 1450 1192">El conector número 12 como factor de seguridad deseado requiere como mínimo 2 y el FDS calculado es 2.10358, es aceptable.</p>

**2.2.7.17. Resultados de comprobación a presión interna de diseño**

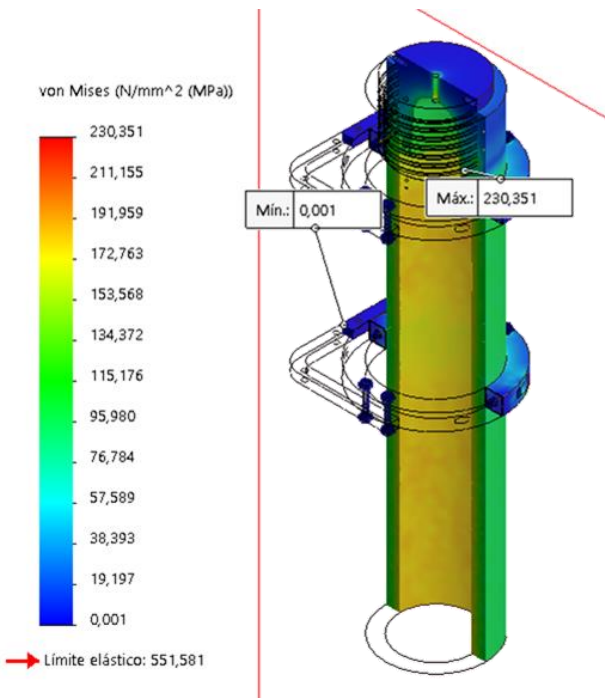
**Tabla 12.** Colocación de presión interna.

#	Presión Interna	Descripción
1		<p>En la Tabla 12 se aplican las presiones de diseño que servirán para conocer valores como factor de seguridad, deformaciones y muchos datos más que permitirán conocer cómo actúa dicha presión en el tanque.</p>

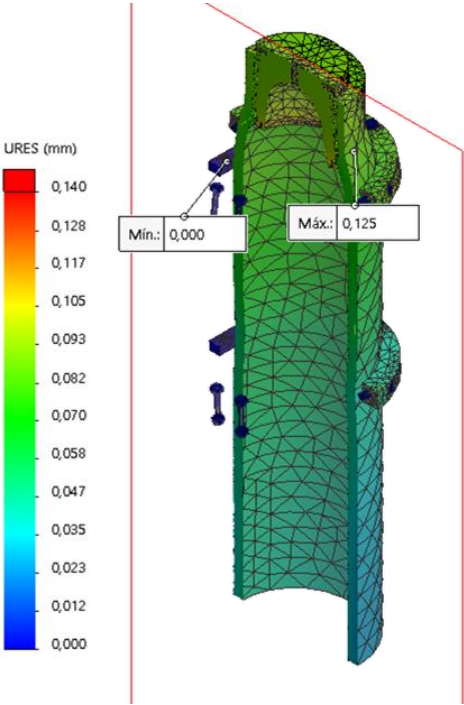
**Tabla 13.** Determinación del factor de seguridad.

#	Factor de Seguridad del tanque Extractor	Descripción
2	 <p>The image displays a 3D FEA model of a vertical cylindrical extractor tank. To the left of the model is a vertical color scale legend labeled 'FDS' (Factor of Safety). The scale ranges from 2,395 at the bottom (red) to 4,000 at the top (blue), with intermediate values: 2,528, 2,662, 2,796, 2,930, 3,063, 3,197, 3,331, 3,465, 3,599, 3,732, and 3,866. The tank model is colored according to this scale, with the lowest values (red/orange) concentrated at the bottom flange and the highest values (blue) at the top. A white callout box with a black border points to the bottom flange area, containing the text 'Mín.: 2,395'. The tank has two horizontal support structures or ladders on its side.</p>	<p>De acuerdo con la norma ASME para pruebas de comprobación se debe dimensionar a 1,25 veces la presión de diseño, En la Tabla 13 se muestra que se cumple con ese parámetro alcanzando incluso un valor superior.</p>

**Tabla 14.** Tensiones de Von Mises.

#	Tensiones de Von Mises	Descripción
3	 <p>von Mises (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</p> <p>230,351 211,155 191,959 172,763 153,568 134,372 115,176 95,980 76,784 57,589 38,393 19,197 0,001</p> <p>→ Límite elástico: 551,581</p> <p>Min.: 0,001      Máx.: 230,351</p>	<p>Con Von Mises se obtuvo un esfuerzo equivalente, el cual define su magnitud y muestra la confiabilidad del diseño. Como se muestra en la Tabla 14 en el diseño del tanque extractor, se obtuvo un valor de 320,351 MPa menor con respecto al <math>S_y</math> del material el cual es 551,581 MPa</p>

**Tabla 15.** Desplazamientos.

#	Desplazamientos	Descripción
4		<p>En la Tabla 13 se observa el desplazamiento máximo y mínimo de los nodos de dos zonas del diseño que va desde un desplazamiento inexistente en el nodo 1689 hasta un desplazamiento máximo 0.125 mm en el nodo 40.</p>

### 2.2.8 Válvula de despresurización

La válvula de despresurización se colocará luego de los tanques extractores, esta válvula de despresurización tendrá la finalidad de disminuir la presión del fluido que en este caso es el dióxido de carbono que se encuentra en una presión supercrítica de 50 MPa al salir del extractor y la válvula hará que disminuya hasta los 6 MPa, a esta presión el fluido se encuentra fuera del estado supercrítico perdiendo las propiedades disolventes, permitiendo que el solvente se separe del extractor [8].

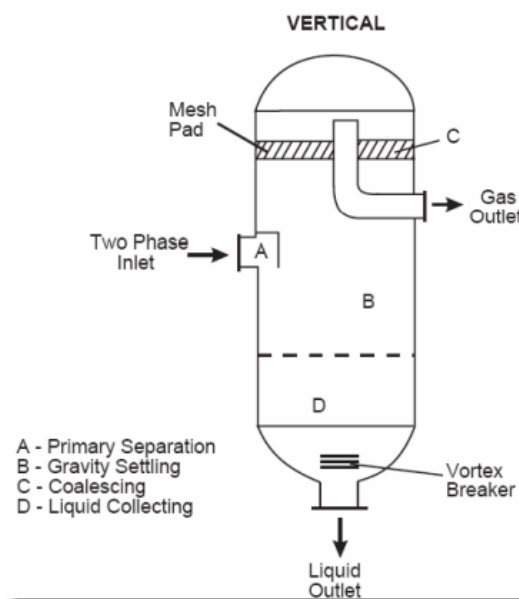
Según [8], determinaron una presión de 6 MPa ya que los componentes se separan a dicho valor, considerando que ha esa presión el fluido se encuentra líquido a temperatura

ambiente en los tanques acumuladores, este fluido que se encuentra a esa presión ingresara al tanque acumulador.

La empresa Swagelok ofrece una variedad de este tipo de válvulas para altas presiones como se muestra en el **Anexo 1**.

### 2.2.9 Separador

Acorde a [8] ,recomiendan seleccionar el separador bifásico vertical de acuerdo con los principios de Separación, para líquidos o sólidos, estos principios serán los que se mencionan a continuación: momentum o cantidad de movimiento, fuerza de gravedad y coalescencia, considerando que las fases de fluidos deben ser inmiscibles con diferentes densidades par que se produzca la separación [19][20][21].



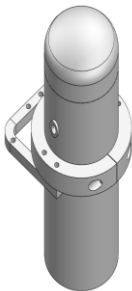
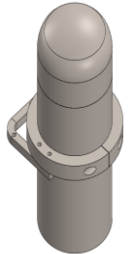
**Figura 7.** Separador Bifásico [21]

#### 2.2.9.1. Selección del tanque separador

Para la selección del material con el cual será diseñado el tanque separador, se considerará dos diseños con dos distintos materiales, uno con acero inoxidable 316L y el segundo con el Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507, como se observa en la Tabla 8 el peso del tanque con Acero Inoxidable Súper Dúplex muestra un menor peso en consideración con el 316L.



**Tabla 16.** Análisis comparativo entre Acero Inoxidable 316L y Súper Dúplex 2507.

Ilustración	Tipo de Acero	Límite elástico	Límite ultimo a la tracción	Peso
	Acero Inoxidable Super Duplex 2507	552 Mpa	779 MPa	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                     Propiedades de masa de Ensamblaje TSDP 8 mm                      Configuración: Predeterminado                      Sistema de coordenadas: -- predeterminado --                      Masa = 17.26 kilogramos                 </div>
	Acero Inoxidable 316 L	170 Mpa	485 MPa	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                     Propiedades de masa de Ensamblaje tanque separador 3 20-12-2022                      Configuración: Predeterminado                      Sistema de coordenadas: -- predeterminado --                      Masa = 59.64 kilogramos                 </div>

### 2.2.9.2. Volumen requerido para el tanque separador

Según [8], el volumen requerido para el tanque separador se conseguirá de sumar el volumen requerido por el gas y el volumen ocupado por el líquido, y se debe calcular de la siguiente manera.

$$V_{\text{total}} = V_G + V_L \quad (22)$$

$$V_{\text{total}} = 0,00303 + 0,000757$$

$$V_{\text{total}} = 0,00379 \text{ m}^3$$

**Donde:**

$V_{\text{total}}$  = Volumen total requerido por el tanque [m<sup>3</sup>]

$V_G$  = Volumen requerido por el gas, [m<sup>3</sup>]

$V_L$  = Volumen ocupado por el líquido, [m<sup>3</sup>]

### 2.2.10 Diámetro total requerido para el tanque separador

Para determinar el diámetro total requerido se considera una relación H/D que equivale a 4, se determina el diámetro requerido por el separador [8].

$$D = \sqrt[3]{\frac{0,00379}{0,25 * \pi * 4}}$$

$$D = 0,106 \text{ m}$$

### 2.2.11 Diámetro Comercial

Según [8], para elegir el diámetro necesario para el tanque separador se debe considerar aumentar un 30% al diámetro determinado inicialmente lo que se traduce a un valor de 0,138 m (5,43 in), aproximándole a un diámetro disponible en el mercado de 0,152 m (6 in), considerando las conexiones de entrada y salida del tanque separador.

Para las conexiones entre el tanque con la tubería se necesita implementar racores que la marca Swagelok ofrece como se muestra en el **Anexo 2**.

### 2.2.12 Altura del tanque separador

Las relaciones que se pueden presentar para determinar la altura del separador de forma vertical se encuentran en los rangos de 2 a 4.

Con el diámetro comercial utilizado como base se calculará la altura del tanque separador como sigue en la siguiente ecuación [8].

$$H = D \tag{23}$$

$$H = 4 * (0,152)$$

$$H = 0,608 \text{ m}$$

### 2.2.13 Volumen del separador

Según [8], recomiendan recalcular el valor del volumen con el valor del diámetro comercial escogido, como se muestra a continuación.

$$V = 0,25 * \pi * (0,152)^2 * 0.608$$

$$V = 0,011 \text{ m}^3$$

#### 2.2.14 Espesor de la pared del tanque separador

Las recomendaciones por parte de ASME Sección VIII División 1, el espesor de pared del separador se calculará de la siguiente manera, seleccionando como material al Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 [22].

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6 P} + C \quad (24)$$

$$t = \frac{7,19 * 76,2}{(551,581 * 0,30) - (0,6 * 7,19)} + 3,175$$

$$t = 6.57 \text{ mm}$$

$$t = (6.57 \text{ mm} + (0.10 * 6.57 \text{ mm}))$$

$$t = 7.23 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

#### Donde:

t= Espesor, [mm]

P= Presión máxima de trabajo o de diseño, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

R= Radio interno, [mm]

S= Esfuerzo admisible de trabajo, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

E= Eficiencia de la junta longitudinal

C= Tolerancia debida a la corrosión, [mm]

#### 2.2.15 Diseño del cabezal toriesférico.

##### A) Límite elástico

Se entiende que el límite elástico es la tensión máxima a la que el material puede llegar a estar sometido, buscando que no sufra deformaciones permanentes. Para cada material el

límite elástico cambia debido a las propiedades que se presenta cuando son puestos a prueba, como a variaciones de temperatura y presión. Para el tanque separador se ha utilizado el acero inoxidable súper dúplex 2507 debido a su gran resistencia a la corrosión y a su alto límite elástico de 551,58 MPa mucho mayor que el acero 316 o 316L [23][24].

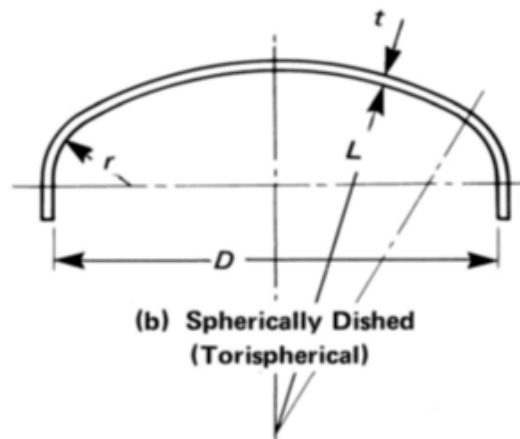
### **B) Factor de soldadura (E)**

Es necesario considerar el factor de soldadura el cual permite impedir un posible error que pueda contener el límite elástico, esto quiere decir, se debe dimensionar el tanque poniéndolo en términos de tensión con el propósito de conseguir que no se deforme cuando se produzca una sobre tensión. Para el cálculo del espesor del tanque separador se considerará un factor de soldadura de 0,85, basándose en estudios similares que se han realizado con el uso de un radiografiado parcial [24].

### **C) Factor M**

Para el factor M se considera la relación entre los radios del cabezal escogido, en este caso, toriesférico.

En la siguiente figura se presenta las variables de cabezal toriesférico según el Código ASME Sección VIII div 1 [23][24].



**Figura 8.** Variables cabezal toriesférico [24].

Para el cálculo de las variables se considera un diámetro interior de 152,4 mm ya previamente calculado, se usan las siguientes ecuaciones a continuación para obtener dichas variables [24].

$$L = 0,9 \times D \quad (25)$$

$$L(m) = 0,9 \times 152,4 = 137,16 \text{ mm}$$

Una vez determinada estas variables se puede realizar la relación L/r, esta relación permite

$$r(m) = 0,085 \times L \quad (26)$$

$$r(m) = 0,085 \times 137,16 = 11,65 \text{ mm}$$

determinar el parámetro M con el uso de tablas que proporciona ASME sección VIII div 1 si el valor determinado entre la relación L/r no se encuentra en la tabla, tendrá que ser interpolado para hallar el valor [24].

$$\frac{L}{r} = \frac{137,16}{11,65} = 11,77 \text{ mm}$$

**Tabla 17.** Variables cabezal toriesférico [24].

<b>L/r</b>	1	1,25	1,5	1,75	2		2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5
<b>M</b>	1	1,03	1,06	1,08	1,1		1,13	1,15	1,17	1,18	1,2	1,22
<b>L/r</b>	4	4,5	5	5,5	6		6,5	7	7,5	8	8,5	9
<b>M</b>	1,25	1,28	1,31	1,34	1,36		1,39	1,41	1,44	1,46	1,48	1,5
<b>L/r</b>	9,5	10	10,5	11	11,5	11,77	12	13	14	15	16	16 <sup>2/3</sup>
<b>M</b>	1,52	1,54	1,56	1,58	1,6	1,608	1,62	1,65	1,69	1,72	1,75	1,77

Mediante la relación L/r tenemos un valor de 11,77 y con interpolación tenemos un M de 1,608

$$M = 1,608$$

#### **D) Sobre espesor por corrosión (C1)**

Cuando se produce indicios de posible corrosión en los materiales, es necesario añadir un espesor por corrosión. Este valor que se añade permite compensar la corrosión que pueden

sufrir al transcurrir sus años de uso. Normalmente, se tiene que escoger entre un valor que oscila entre 1 y 6 mm durante el periodo de vida útil de los equipos, que se considera un promedio de 10 años. Por lo tanto, el valor escogido para el sobre espesor por corrosión es de 3,175 mm para el tanque separador [24].

### **E) Tolerancia de fabricación (C2)**

Normalmente en las curvas para los fondos toriesféricos, suele perder parte de su espesor, debido a esto se añade un sobre espesor designado con un porcentaje del 10% del espesor del cuerpo [24].

### **F) Cálculo del espesor del cabezal**

Para encontrar el espesor del cabezal, es necesario escoger la ecuación que se encuentra en el código ASME sección VIII div 2 esto se debe a que el cabezal escogido es del tipo toriesférico [24].

$$t_{\text{CABEZAL}} = \frac{PLM}{2SE - 0,2P} + C1 + C2 \quad (27)$$

$$t_{\text{CABEZAL}} = \frac{1042,82 * 5,4 * 1,608}{2 * 80000 * 0,85 - 0,2 * 1015,26} + 3,175$$

$$t_{\text{CABEZAL}} = 3,24 + (0,10 * 3,24)$$

$$t_{\text{CABEZAL}} = 3,56 \text{ mm} \rightarrow 4 \text{ mm}$$

### **Donde**

$t_{\text{CABEZAL}}$  = Espesor del cabezal (in).

P = Presión de diseño (psi).

M = Factor M.

L = Radio de la esfera que forma el toriesférico (in)

S = Límite elástico (psi)

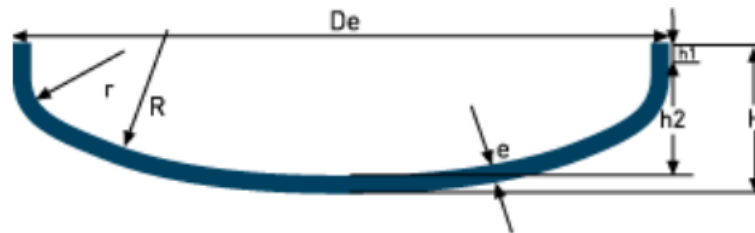
E= Factor de soldadura

C1= Sobreespesor por corrosión (mm)

C2= Tolerancia de fabricación y se calcula con un sobredimensionamiento del 10% de la primera parte de la ecuación

### G) Altura del cabezal toriesférico

Para calcular la altura del cabezal toriesférico es necesario conocer el catálogo, escoger una empresa que en este caso es Fondeyur S.L. a continuación se muestra una ilustración en la que se indica las variables para desarrollar las ecuaciones [23] [24]:



**Figura 9.** Variables identificadas del fondo toriesférico.

Fuente: [24].

**Donde:**

$$R = D_e \quad (28)$$

$$R = 168,4 \rightarrow 0,1684$$

$$r = R/10 \quad (29)$$

$$r = \frac{0,1684}{10} = 0,01684 \text{ mm}$$

Para el cálculo de  $h_1$  se considerará un espesor de 8 mm similar al espesor de las paredes del tanque separador, permitiendo que ambas partes mantengan el mismo espesor de diseño.

$$h1 = 3,5 * e \quad (30)$$

$$h1 = 3,5 * 8$$

$$h1 = 28 \text{ mm}$$

$$h2 = 0,1935 * (De) - (0,455 * e) \quad (31)$$

$$h2 = \left( (0,1935 * 0,1684) - (0,455 * \left( \frac{8}{1000} \right)) \right)$$

$$h2 = 28.9 \text{ mm}$$

$$h_{\text{cabezal toriesférico}} = h2 + h1 + e \quad (32)$$

$$h_{\text{cabezal toriesférico}} = 28,2 + 28 + 8$$

$$h_{\text{cabezal toriesférico}} = 64.2 \text{ mm}$$

Continuando con el proceso es necesario calcular la altura del cabezal toriesférico. Con este valor, para determinar la altura del cabezal toriesférico se hace uso de la siguiente ecuación [24]:

$$H_{\text{equipo}} = 2 * h_{\text{toriesférico}} + H_{\text{CILINDRO}} \quad (33)$$

$$H_{\text{equipo}} = 2 * 0,0642 + 0,608$$

$$H_{\text{equipo}} = 736,4 \text{ mm}$$

### 2.2.16 Espesor de las cubiertas del tanque separador

Según la norma ASME Sección VIII División 1, se calculará el espesor de las cubiertas del separador de la siguiente manera [24]:

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2 P} + C$$

$$t = \frac{73,42 * 152,4}{2 * 1406,14 * 0,85 - 0,2 * 73,42} + 3,175$$



$$t = 7,9 \text{ mm}$$

**Donde:**

t = Espesor, [mm]

P = Presión máxima de trabajo o de diseño, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

R = Radio interno, [mm]

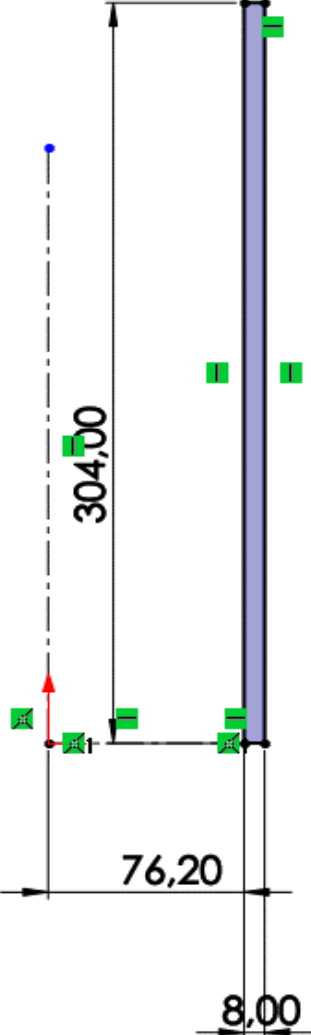
S = Esfuerzo admisible de trabajo, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

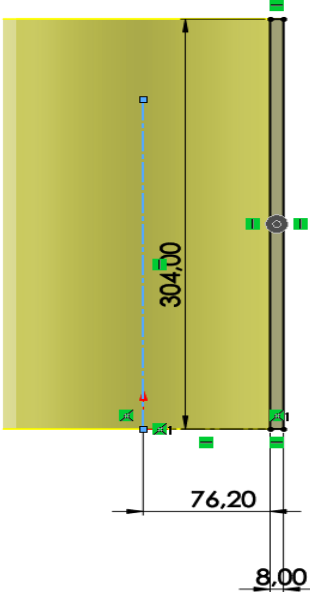

E = Eficiencia de la junta longitudinal

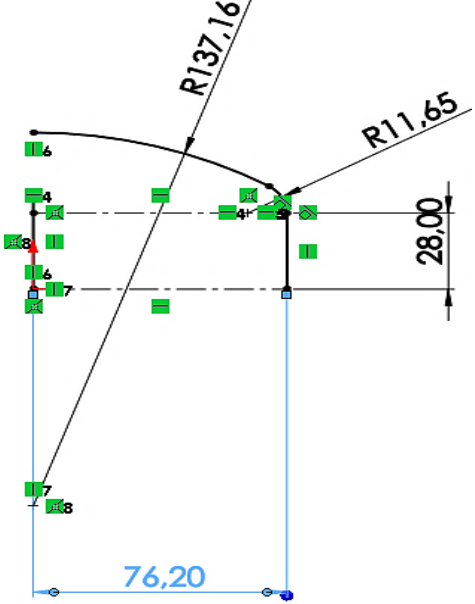
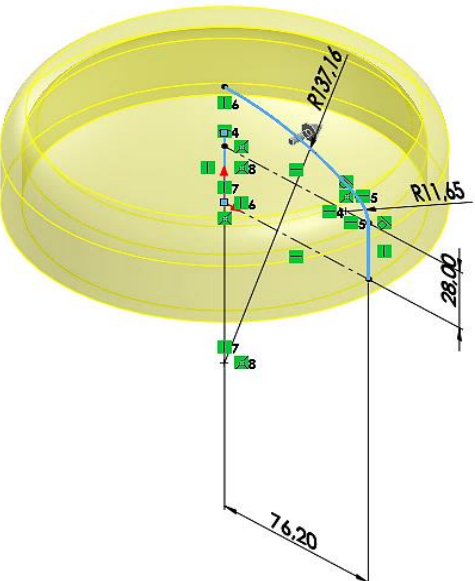
C = Tolerancia debida a la corrosión, [mm]

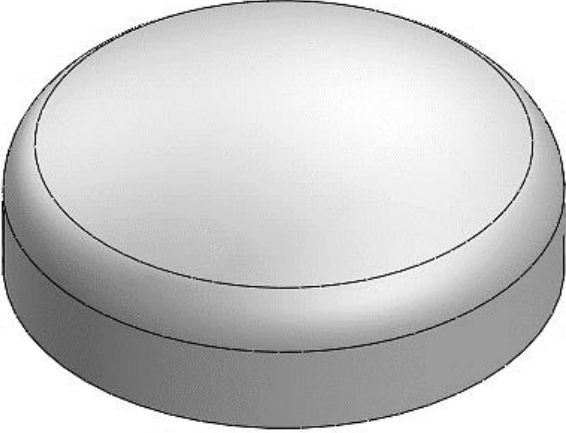
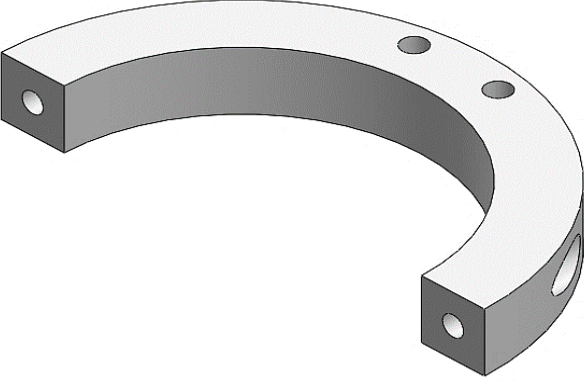
**2.2.16.1. Diseño geométrico del tanque separador.**

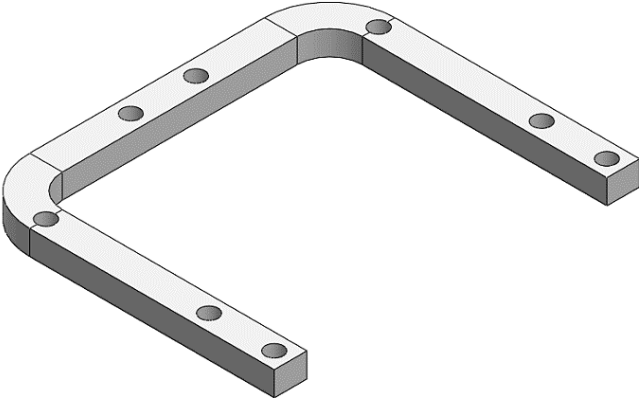
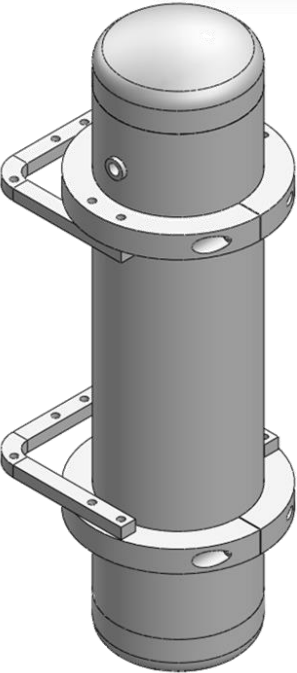
**Tabla 18.** Desarrollo geométrico del tanque separador.

#	Desarrollo del tanque Separador	Descripción
1		<p>Se inicio con el diseño del perfil del cilindro según los cálculos realizados, como diámetro interno, alturas.</p>

#	Desarrollo del tanque Separador	Descripción
2	 <p>The drawing shows a yellow rectangular development of a tank separator. A vertical dimension line on the right side indicates a height of 304,00. A horizontal dimension line at the bottom indicates a width of 76,20. A small horizontal dimension line at the bottom right indicates a thickness of 8,00. The drawing includes various construction lines and markers in green and blue.</p>	<p>Se añade el espesor calculado basándose en códigos y normas ASME</p>
3	 <p>The image shows a 3D perspective view of a grey cylindrical tank separator. It features a top flange with a circular opening and a side port with a circular opening. The cylinder is shaded to show its three-dimensional form.</p>	<p>Asignamos la operación de revolución y obtenemos el cilindro con las especificaciones requeridas.</p>

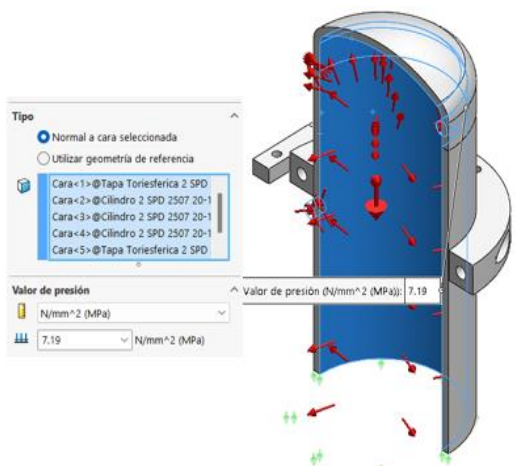
#	Desarrollo del tanque Separador	Descripción
4		<p>Se diseña y dimensiona el perfil de la tapa toriesférica</p>
5		<p>Se añade el espesor calculado mediante el código ASME</p>

#	Desarrollo del tanque Separador	Descripción
6		<p>Se selecciona el material para la tapa toriesférica, acero súper dúplex 2507</p>
7		<p>Se diseña los semi anillos que sujetarán al tanque y permitirá unir a un soporte el cual estará sujeto a la estructura fina.</p>

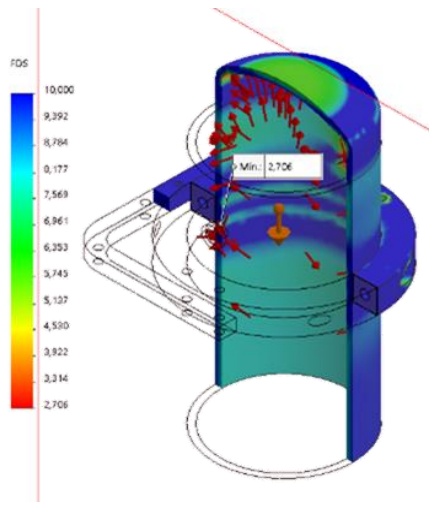
#	Desarrollo del tanque Separador	Descripción
8		<p>Para asegurar el soporte del tanque se diseña un soporte externo el cual estará sujeto con los anillos.</p>
9		<p>Finalmente se ensambla todos los componentes mostrando su diseño final.</p>

### 2.2.16.2. Resultados de comprobación a presión interna de diseño

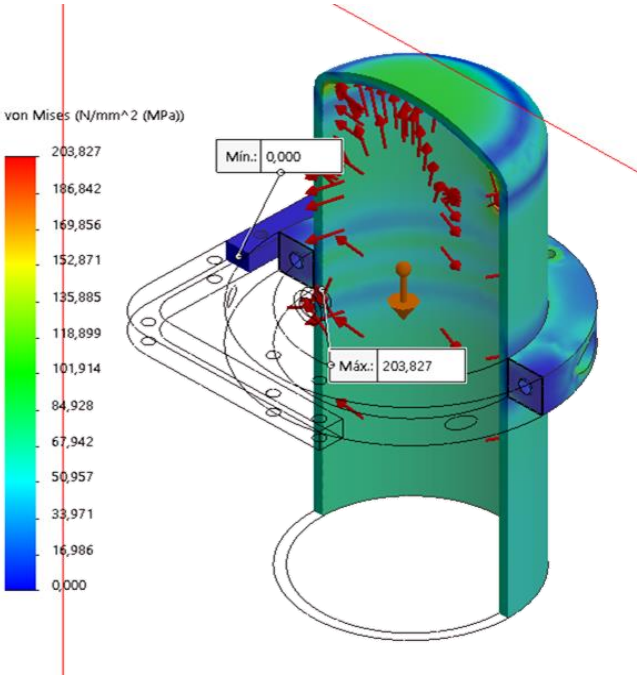
**Tabla 19.** Colocación de presión interna.

#	Presión Interna	Descripción
1		<p>En la Tabla 17 se presenta los componentes asignados con presión interna a cada una de las partes que conforma el tanque separador, cilindro y tapas toriesféricas.</p>

**Tabla 20.** Determinación del factor de seguridad.

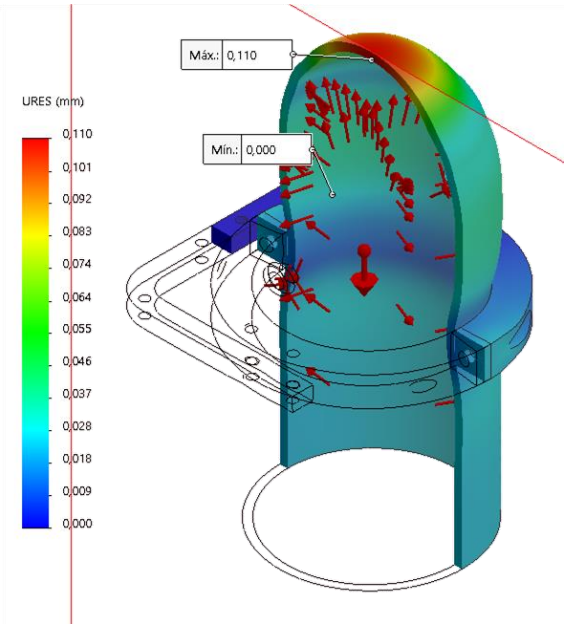
#	Factor de Seguridad del tanque Separador	Descripción
2		<p>En la Tabla 18 se muestra que el factor de seguridad de 2,706 es aceptable para soportar incluso el doble de la presión de diseño.</p>

**Tabla 21.** Tensiones de Von Mises.

#	Tensión de Von Mises	Descripción
1	 <p>von Mises (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</p> <p>203,827 186,842 169,856 152,871 135,885 118,899 101,914 84,928 67,942 50,957 33,971 16,986 0,000</p> <p>Min.: 0,000</p> <p>Máx.: 203,827</p>	<p>En la Tabla 21 se muestra la diferencia de tensiones presentes del diseño, expresadas en Von Mises o tensión equivalente la cual no tiene dirección y se encuentra definida por su magnitud con unidades de tensión, en el diseño del tanque separador encontramos una tensión mínima de 203,827 N/mm<sup>2</sup> y una máxima de 311,372 MPa</p>



**Tabla 22.** Desplazamientos.

#	Desplazamientos	Descripción
1		<p>En la Tabla 22 se observa el desplazamiento máximo y mínimo de los nodos de dos zonas del diseño que van desde un desplazamiento inexistente en el nodo, hasta un desplazamiento máximo de 0,110 mm</p>

### 2.2.17 Tasa de calor de Chaqueta Térmica

Según [8], para el tanque separador el fluido que ingresará deberá cumplir la condición de tener una temperatura de 30 °C, esto se debe a que el dióxido de carbono pasa a estado gaseoso permitiendo que con estas condiciones sea de lugar a la saturación del solvente con el extracto, significando que la temperatura de saturación del dióxido de carbono a una presión de 6 MPa es de 21,85 °C, necesitando como calor requerido para calentar el flujo un valor de  $Q= 16,99$  KJ/s.

### 2.2.18 Tanque Recolector

#### H) Volumen

Este volumen de tanque abierto aportara para la recolección del extracto el cual es equivalente al volumen que ocupará el líquido.

### I) Diámetro

En esta sección se asumirá que la relación altura/diámetro se considerará igual a uno, debido a que se trabaja a presión atmosférica, obteniendo el diámetro de la siguiente ecuación.

Asumiendo la relación de altura con diámetro igual a  $H/D = 1$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi}} \quad (34)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,001 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$D = 0,1084 \text{ m}$$

#### Donde:

D = Diámetro interior del tanque recolector, [mm]

V = Volumen del tanque recolector, [m<sup>3</sup>]

$\pi$  = Número pi

### J) Altura

$$H = D \quad (35)$$

$$H = 0,1084 \text{ m}$$

#### Donde:

H = Altura del tanque recolector, [m]

D = Diámetro interior del tanque recolector, [mm]

**K) Espesor de las paredes del tanque recolector**

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.6 P} + C \quad (36)$$

$$t = \frac{(0,88) * (68,33)}{(1406,14)(0,85) - 0,6(0,88)} + 3,175$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

**Donde:**

t = Espesor, [mm]

P = Presión máxima de trabajo o de diseño, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

R = Radio interno, [mm]

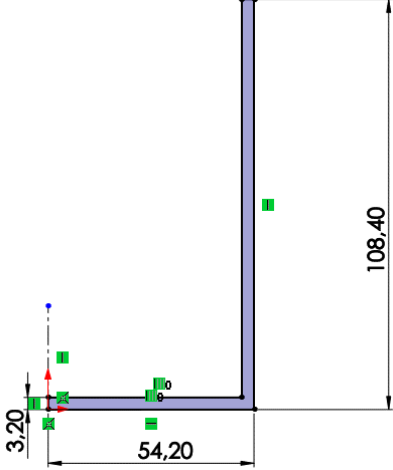
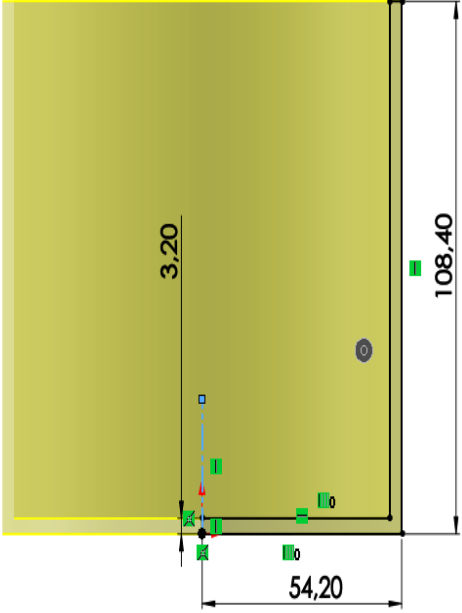
S = Esfuerzo admisible de trabajo, [Kgf/cm<sup>2</sup>]

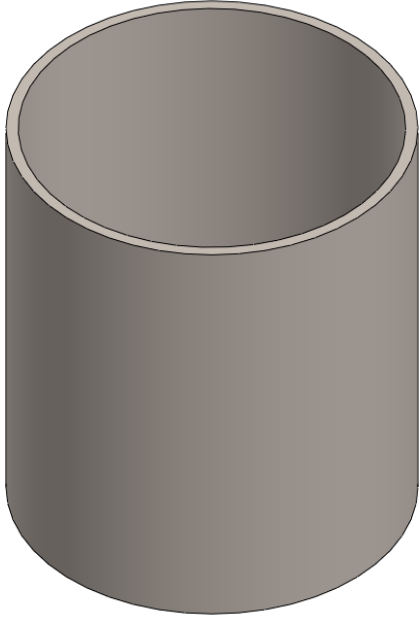
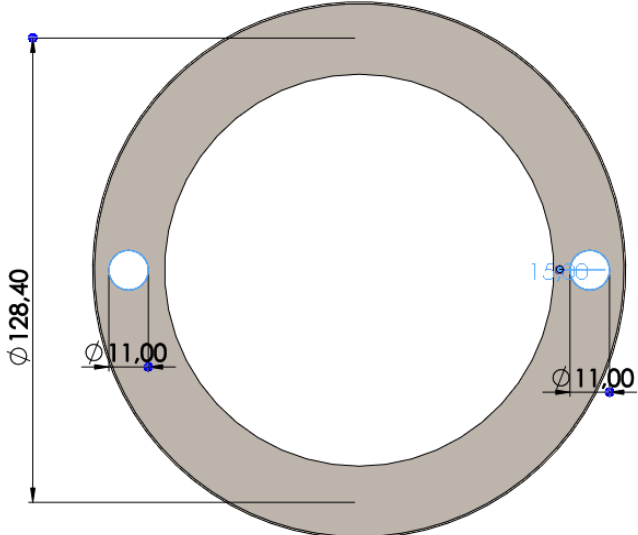
E = Eficiencia de la junta longitudinal

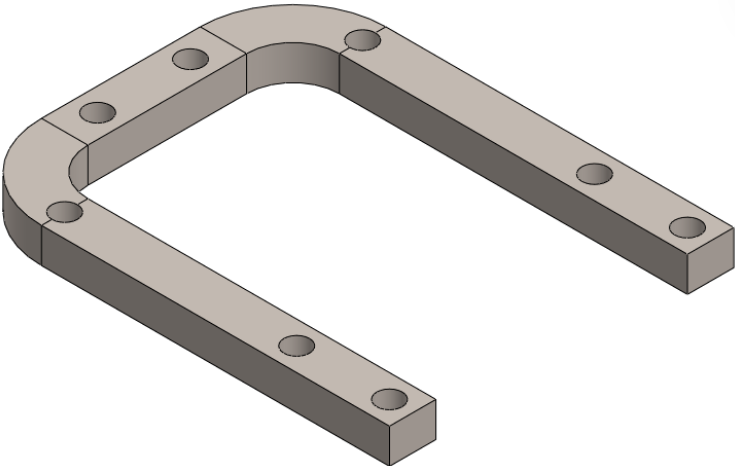
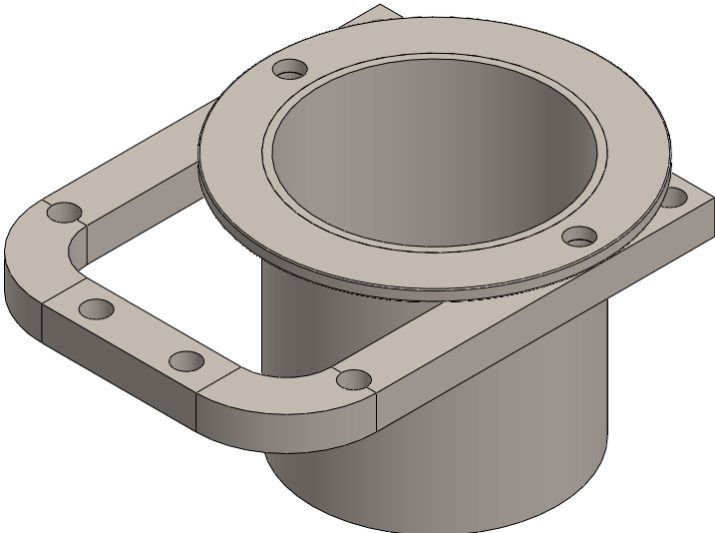
C = Tolerancia debida a la corrosión, [mm]

2.2.18.1. Diseño geométrico del tanque recolector.

Tabla 23. Desarrollo geométrico del tanque recolector.

#	Desarrollo del tanque Recolector	Descripción
1	 <p>The diagram shows a cross-section of the tank profile. It consists of a horizontal base and a vertical wall. The horizontal base has a total width of 54,20 units. On the left side, there is a vertical offset of 3,20 units. The vertical wall on the right side has a height of 108,40 units. The drawing includes various construction lines, such as dashed lines for centerlines and solid lines for the profile, along with small green squares indicating specific points or features.</p>	<p>Se Inicia con el diseño del perfil del cilindro según los cálculos realizados, como diámetro interno, alturas.</p>
2	 <p>The diagram shows the development of the tank profile, which is a flat rectangular area. The width of the development is 54,20 units, and the height is 108,40 units. A vertical dimension of 3,20 units is shown on the left side, indicating the offset from the bottom edge. The drawing includes various construction lines, such as dashed lines for centerlines and solid lines for the development, along with small green squares indicating specific points or features.</p>	<p>Se añade el espesor calculado basándose en códigos y normas ASME</p>

#	Desarrollo del tanque Recolector	Descripción
3		<p>Asignamos la operación de revolución y obtenemos el cilindro con las especificaciones requeridas.</p>
4		<p>Se dimensiona el aro que sostendrá el cilindro para acoplarlo en el sujetador.</p>

#	Desarrollo del tanque Recolector	Descripción
5		<p>Para asegurar el soporte del tanque se diseña un soporte externo el cual estará sujetado con los anillos.</p>
6		<p>Finalmente se ensambla todos los componentes mostrando el diseño final completo.</p>

### 2.2.19 Sistema de Refrigeración

Según [8], recomiendan seleccionar el refrigerante R 134-A, esto se debe a que se puede conseguir fácilmente, mencionan que para el ciclo de refrigeración se debe considerar los

siguientes equipos: evaporador, compresor, condensador, tanque acumulador, válvula de expansión.

Acorde a [8], mencionan que para el proceso de extracción será necesario implementar dos intercambiadores de calor, en el que la temperatura de operación del primer intercambiador será 5 °C, a continuación, el segundo intercambiador de calor toma lugar con el objetivo de la temperatura del dióxido de carbono hasta una temperatura de -10 °C necesitando que opere a una temperatura de -20 °C. Según [8], mencionan que la temperatura de condensación en equipos comerciales la asumen de 50 °C.

**L) Parámetros de entrada y salida del primer intercambiador de calor**

**Tabla 24.** Condiciones de entrada y salida del primer intercambiador de calor [8].

Propiedad	R134-A P = 0,37 MPa	CO2 P = 6 MPa
Temperatura (entrada), K	278	303
Temperatura (salida), K	278	288

**M) Parámetros de entrada y salida del segundo intercambiador de calor**

**Tabla 25.** Condiciones de entrada y salida del segundo intercambiador de calor [8].

Propiedad	R134-A P = 0,37 MPa	CO2 P = 6 MPa
Temperatura (entrada), K	278	303
Temperatura (salida), K	278	288

**2.2.20 Cálculo del diámetro de la tubería**

Para el tramo de ingreso de la bomba se considera las siguientes condiciones de flujo de dióxido de carbono el cual será constante en todo el ciclo, se obtiene el siguiente flujo volumétrico en BPD [25]:

$$Q = \frac{0,00011577}{s} * \frac{1000}{1} * \frac{3600}{1} * \frac{24}{1} * \frac{1}{3,7854} * \frac{1}{42} = 62,916 \text{ BPD}$$

$$V_1 = \frac{0,012Q_1}{d^2} \quad (37)$$

$$d = \sqrt{\frac{0,012 Q_1}{d}} \quad (38)$$

$$d = \sqrt{\frac{0,012 * 62,916}{9,84252}} = 0,277 \text{ pulg} = 0,007 \text{ m}$$

Se ha designado un diámetro comercial de ¼ in o 0,00635 m para todas las tuberías del sistema.

**Donde:**

$V_1$  = Velocidad de líquido, [ft/s]

$Q_1$  = Caudal del líquido, [BPD]

$d$  = Diámetro interno de la tubería, [in]

### 2.2.21 Espesor de tuberías

Para el cálculo del espesor del espesor de las tuberías se debe utilizar la norma ASME B31.3 (2010), con el uso de las siguientes ecuaciones [26].

$$t = \frac{PD}{2(SEW - P(1 - y))} \quad (39)$$

$$t = \frac{PD}{2(SEW + Py)} \quad (40)$$

$$t = \frac{73,42 * 6,35}{2 * (1174,13 * 1 * 1 + 73,42 * 0,4)}$$



$$t = 0,1937 \text{ mm}$$

- Cuando se cumple que  $t/D < 1/6$ , entonces  $\gamma = 0,4$ .

$$t = \frac{0,0001937}{0,00635} = 0,0305 < 0,1667$$

- Tramo Gas (Ingreso al primer intercambiador de calor(E-001))

$$t = \frac{73,42 * 6,35}{2 * (1174,13 * 1 * 1 + 73,42 * 0,4)}$$

$$t = 0,1937 \text{ in}$$

$$t = 0,0001937 \text{ m}$$

Cuando se cumple que  $t/D < 1/6$ , entonces  $\gamma = 0,4$ .

$$\frac{t}{D} = \frac{0,0001937}{0,00635} = 0,0305 < 0,1667$$

**Donde:**

$t$  = Espesor de diseño por presión, [mm]

$P$  = Presión de diseño interna manométrica, [kgf/cm<sup>2</sup>]

$D$  = Diámetro externo del tubo, [mm]

$d$  = Diámetro interno del tubo, [mm]

$c$  = Suma de tolerancias mecánicas, [mm]

$S$  = Valor de esfuerzo del material, [mm]

$E$  = Factor de calidad

$W$  = Factor de reducción de la resistencia de la junta de soldadura

$\gamma$  = Coeficiente obtenido de la Tabla 26, cuando  $t < D/6$

**Tabla 26.** Valor del coeficiente Y para  $t < D/6$  (ASME B31.3,2010) [26].

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferriticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeniticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0	...	...	...	...	...

Si el caso es contrario el espesor de diseño por presión es:  $t < D/6$  empleamos la siguiente ecuación.

$$Y = \frac{d + 2c}{D + d + 2c} \quad (41)$$

**Donde:**

D = Diámetro externo del tubo, [mm]

d = Diámetro interno del tubo, [mm]

c = Suma de tolerancias mecánicas, [mm]

### 2.2.22 Selección del material

La selección de materiales como los aceros 316 y 316L para procesos y operaciones industriales que requieren resistir presiones elevadas, temperaturas y buenas soldaduras. Los aceros inoxidables presentan buenas características como la resistencia a la corrosión lo que es un buen indicador al usar productos químicos [27].

La corrosión que se puede dar con el dióxido de carbono puede darse cuando existe la presencia de agua los gases provenientes de la industria petrolera, produciendo reacciones electroquímicas que ocasionan daños a los materiales, es una ventaja que en la extracción de fitocannabinoides no se presentan los gases antes mencionados [27].

Entre los criterios para la selección de los Aceros 316L para las tuberías de los tanques, es necesario contar con un buen valor de esfuerzo máximo admisible. Se presenta entre el espesor de paredes/cubiertas y el esfuerzo máximo admisible una condición inversamente proporcional. Según el código ASME B31.3 esta relación es de 20 000 psi para el Acero 316 y 16 700 psi para el Acero 316L [27].

En una de las consideraciones de los aceros para los tanques se puede añadir el Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 que presenta mejores condiciones para el diseño de los tanques [28].

**Tabla 27.** Características de materiales seleccionados.

Acero Inoxidable 316	Acero 2507 Súper Dúplex	Acero Inoxidable 316L
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es de cromo níquel austenítico.</li> <li>• Alta resistencia a la corrosión, especialmente ácido sulfúrico, acético, fórmico, sulfato, alcalino, hidroclorehídrico.</li> <li>• Resistencia a altas temperaturas.</li> <li>• Resistente a la tracción (75 min)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto cromo molibdeno, nitrógeno resulta una excelente resistencia a la picadura de cloruro y corrosión de rendija.</li> <li>• Altamente resistente a la corrosión uniforme causada por ácidos orgánicos como ácidos fórmicos y acéticos.</li> <li>• Sugerido para aplicaciones de hasta 600°F.</li> <li>• Resistencia ultima a la cedencia de 80 000 psi a 551.580 MPa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es de cromo níquel austenítico.</li> <li>• De carbón extra bajo.</li> <li>• Resistencia a químicos utilizados en la industria textil, fitográfica y papelera.</li> <li>• Alta resistencia a las soldaduras.</li> <li>• Resistencia a la tracción (70 min)</li> </ul>

### 2.2.23 Selección final de dimensiones de tuberías

Para el diseño de las tuberías se seleccionó como material el acero 316L, en cálculos anteriores se determinó un diámetro de tubería de ¼ in, lo que equivale a 0,00635 m, con una presión máxima de 60 MPa.

Como proveedor que cumpla con los requerimientos de alta presión se consideró a la empresa **Swagelok** conocido proveedor de accesorios de alta presión, elaboración y venta de sistemas de tubería, como se muestra en la siguiente Tabla 28.

**Tabla 28.** Datos de dimensionamiento de tuberías.

<b>Ø ext de tubo</b>	<b>Espesor del tubo</b>	<b>Referencia</b>	<b>Peso</b>	<b>Presión Máxima</b>
m	m		kg/m	Mpa
0,00635	0,000889	SS-T4-S-0.35-20	0,11905	35,16
	0,0012446	SS-T4-S-049-20	0,1565	51,71
	0,001651	SS-T4-S-065-20	0,19048	70,33

## CAPÍTULO III

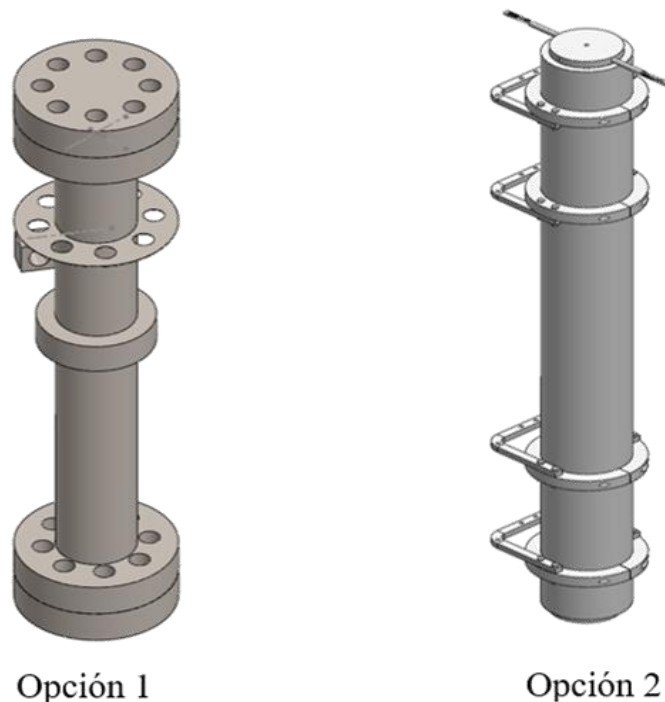
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis y discusión de los resultados.

##### 3.1.1 Diseño y geometría del tanque extractor

El diseño del tanque extractor sufrió cambios considerables con respecto a su material y su geometría como se muestra en la Figura 11, en su geometría por cuestiones de tiempos de operación se analizó dos opciones para el sellado del tanque extractor.

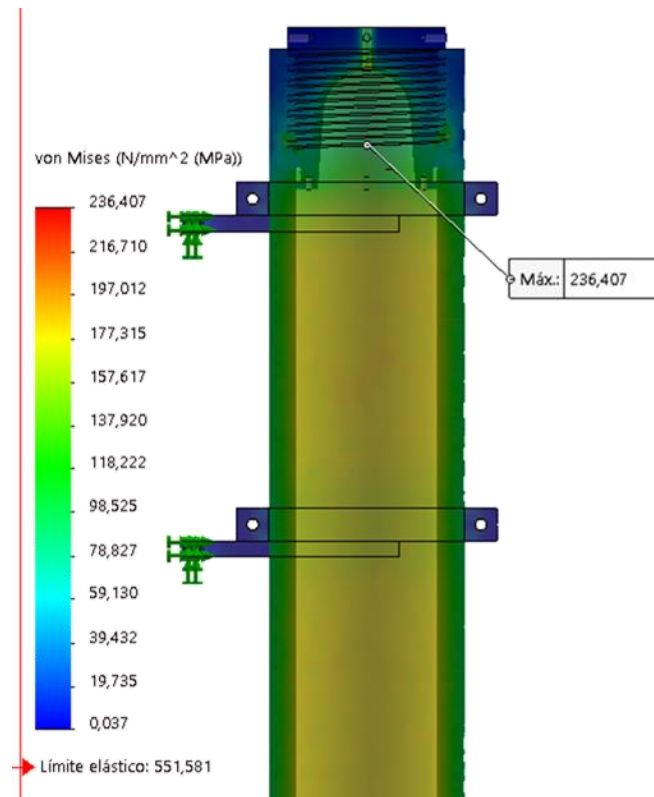
La primera opción fue el uso de bridas y la segunda fue un tapón roscado, en resumen, se optó por usar el tapón roscado por cuestiones de llenado del tanque, con respecto al material se consideró dos opciones para su diseño, finalmente se seleccionó al Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507 por sus altas propiedades mecánicas como resistencia a la fluencia y resistencia última a la tracción, además de su peso como se menciona en la Tabla 8.



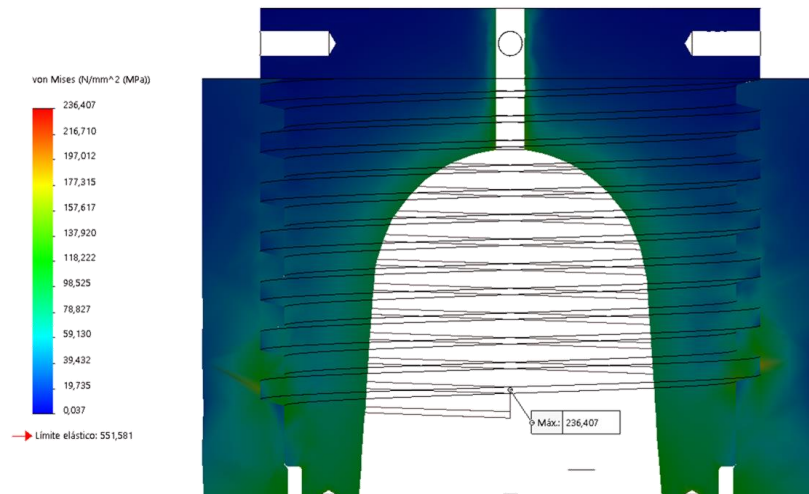
**Figura 10.** Opciones de diseño para el tanque extractor.

### 3.1.2 Simulación de presión del tanque extractor

El valor máximo del esfuerzo de Von Mises es 230 MPa como se muestra en la Figura 10, este valor está por debajo del límite de fluencia y el límite de resistencia última a la tracción del material Súper Dúplex 2507 (551 MPa y 779 MPa) por lo que se considera un análisis no lineal. El valor máximo presente en el cilindro no supone que el tanque pueda fallar debido a las presiones ejercidas en los procesos de extracción como se muestra en la Figura 11.

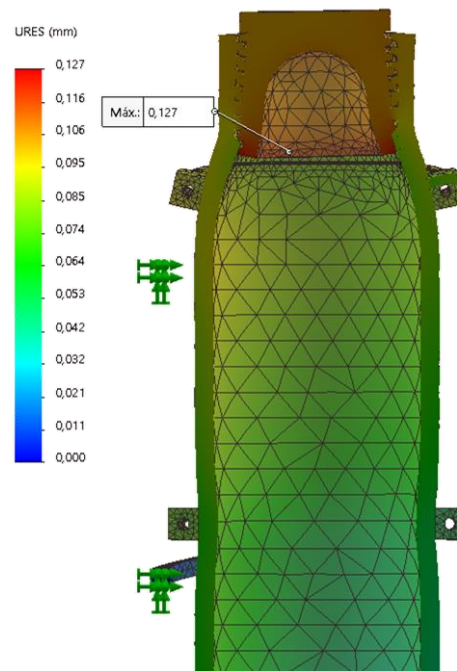


**Figura 11.** Valores de esfuerzo de Von Mises del tanque extractor.



**Figura 12.** Esfuerzo de Von Mises en el valor máximo.

Las deformaciones que se pueden producir en los puntos críticos del tanque extractor se ubican en el roscado del tapón, como punto de referencia se lo localiza en la parte inferior con un valor relativamente bajo, esto dependió de la selección del material Súper Dúplex 2507 con el que se tiene como resultado una deformación de 0.127 mm como se muestra en la Figura

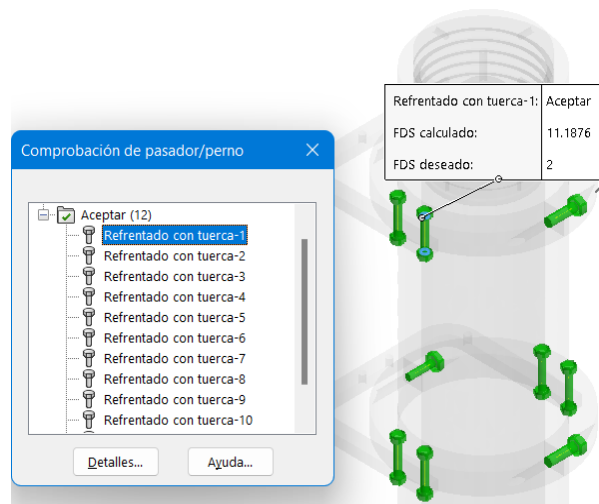


**Figura 13.** Punto de referencia del desplazamiento en el tapón.

### 3.1.3 Simulación de conexiones empernadas

Para asegurar las conexiones entre los componentes que conforman el tanque extractor, separador, recolector fue necesario mantener dos tipos de pernos para que todos los tanques compartan las mismas dimensiones de estos, para ello los pernos de acero inoxidable SAE grado 12.9 M8 y M12 fueron los seleccionados para asegurar las conexiones entre los componentes y evitar corrosión galvánica, se debe tener un factor de seguridad deseado de dos para cada conexión que necesite el uso de pernos, en el **Anexo 5**. la empresa GT Industry ofrece el grado de pernos que se necesita para los tres tipos de tanques.

En las simulaciones de comprobación de este valor, se obtuvieron factores de seguridad calculados superiores a los deseados como se muestra en la Figura 14, lo que significa que el requerimiento del FDS deseado se cumplió con éxito.



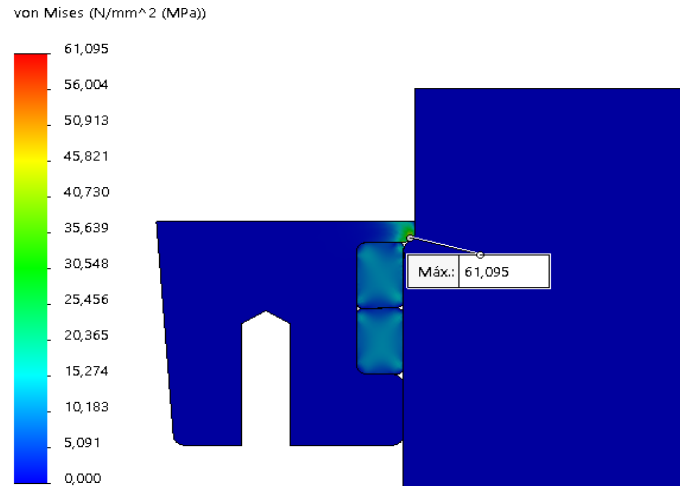
**Figura 14.** Comprobación del FDS en los pernos de conexión.

### 3.1.4 Simulación del empaque para el tapón del tanque extractor.

Se realizó varias configuraciones con respecto a la cavidad del tapón para el empaque y la forma de este, con el fin de garantizar la hermeticidad fue necesario usar dos empaques seleccionado un material adecuado, que soporte presiones elevadas y sea apto para el uso alimenticio de aceites y grasas para esto se seleccionó el material (Vitón).



El valor máximo del esfuerzo de Von Mises es 61 MPa como se muestra en la Figura 15, este valor está por debajo del límite de fluencia como del límite de resistencia ultima a la tracción, por medio de un estudio lineal se obtiene que el empaque, como el diseño de la cavidad aseguran la hermeticidad e integridad del empaque.

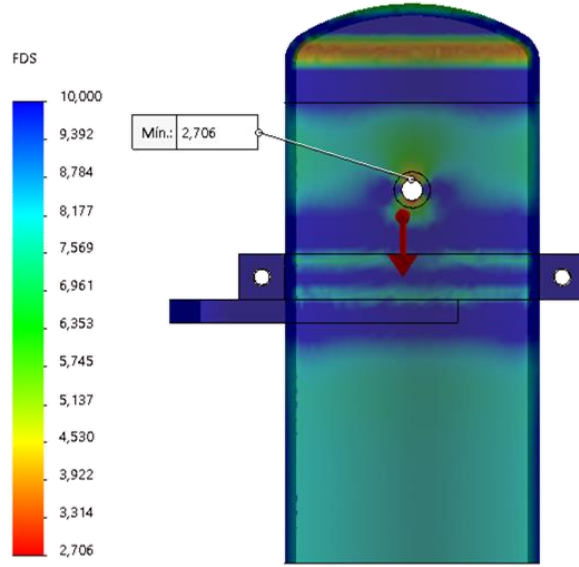


**Figura 15.** Valor de esfuerzo de Von Mises de los empaques en el tapón.

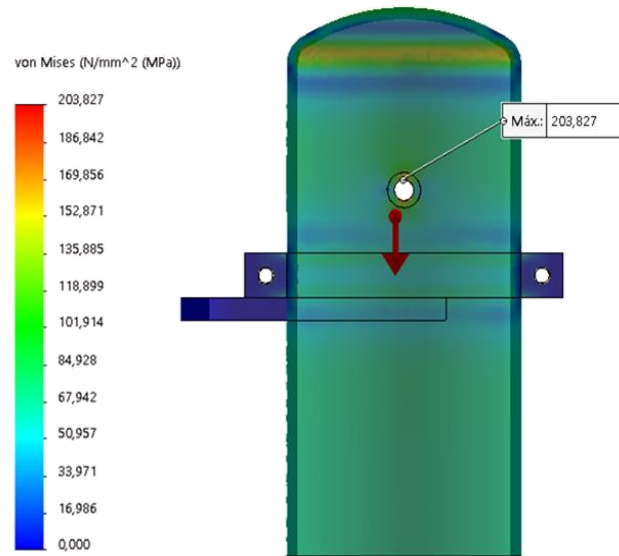
### 3.1.5 Simulación del tanque separador

El diseño del tanque separador tiene la configuración de un separador bifásico, en su diseño consta de dos tapas toriesféricas dimensionadas con ecuaciones tomadas del Código ASME Sección VIII div 1 para cabezales, el espesor del cabezal se determinó en un valor de 4 mm y el espesor del cilindro fue de 8 mm, ambos valores calculados con la norma ASME distinta división, para el diseño final se seleccionó uno solo valor de 8 mm para el espesor de cabezal como del cilindro con el cual se garantizó un factor de seguridad de 2.70 como se muestra en la Figura 16.

El valor del esfuerzo de Von Mises es 203 MPa como se muestra en la Figura 17 el valor obtenido está por debajo del límite de fluencia del material como del límite de resistencia ultima a la tracción del material Súper Dúplex 2507 (551 MPa y 779 MPa) por lo que se considera un análisis no lineal.



**Figura 16.** Factor de seguridad del tanque separador.



**Figura 17.** Valores de esfuerzo de Von Mises del tanque separador.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Conclusiones

- El diseño de los tanques de extracción, tanque separador y recolector del prototipo cumple con la cantidad necesaria de producción de extracto de cannabis y con los requisitos indicados en el código ASME sección VIII división 1 y 2, verificándose también el diseño mediante simulación la resistencia de los recipientes a las presiones de trabajo.
- El acero inoxidable super duplex 2507 es el material adecuado para la fabricación del tanque extractor y separador, disminuyendo considerablemente su peso y conservando la resistencia mecánica requerida, por ende, disminuyendo los costos de fabricación.
- El sellado del tanque extractor, entre el tapón y el cilindro se alcanza a través de un roscado con rosca tipo ACME que asegura la condición de autobloqueo.
- En los extremos de los tanques, al finalizar la sección roscada fue necesario la implantación de anillos rigidizadores que limitan el desplazamiento radial de los cilindros, en consecuencia, se redujo notablemente los esfuerzos al final de la rosca.
- Se eligió una tubería con un diámetro de 6 mm (1/4 plg) de la marca swagelok, mientras exista presiones altas no es necesario seleccionar tuberías de mayor diámetro, como resultado, el extracto fluye sin ningún problema.

### 4.2 Recomendaciones

- Para iniciar con cualquier diseño de tanques a presión se debe revisar inicialmente las ecuaciones que definen los espesores para tanques de pared gruesa como pared delgada, esto ayudara a simplificar procesos de simulación, basándose siempre en códigos y normas.
- Analizar la geometría que más se adopte a los requerimientos que se busca, buscando que pueda ser transportable, además de permitir mantenimientos rápidos.
- Es necesario seleccionar en cuanto aceros inoxidables se refiere el que presente mejores propiedades mecánicas, esto proporciona menores costos de fabricación, además que reduce significativamente los espesores para su diseño.

- Para conocer que sucederá con los tanques al ser simulados, se debe entender que parámetros deben ser seleccionados para una simulación confiable puede presentarse variaciones que afecten si no se asigna los parámetros necesarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gallegos Valarezo Neira, “Normativa y Oportunidades del Cultivo de Cannabis en Ecuador – GVN Abogados,” Normativa y Oportunidades del Cultivo de Cannabis en Ecuador - GVN Abogados, Oct. 27, 2020. <https://gvn.com.ec/2020/10/26/normativa-y-oportunidades-del-cultivo-de-cannabis-en-ecuador/> (accessed May 14, 2022).
- [2] “Emisión de Licencia para el Cultivo de Cannabis No Psicoactivo o Cáñamo. | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios.” <https://www.gob.ec/mag/tramites/emision-licencia-cultivo-cannabis-no-psicoactivo-canamo-0> (accessed Jul. 03, 2022).
- [3] Solis Hugo, “UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA,” 2021.
- [4] “Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria» Arcsa emite normativa para regular productos que contengan cannabis no psicoactivo en Ecuador.” <https://www.controlsanitario.gob.ec/normativa-cannabis/> (accessed Jul. 03, 2022).
- [5] D. Kumar Verma, D. Kumar Mahato, and M. Kapri, “Supercritical Fluid Extraction (SCFE) for Rice Aroma Chemicals: Recent and Advance Extraction Method,” India, Oct. 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/318672467>
- [6] C. M. F. Fernández, “Diseño de equipo de 4 litros para extracción de aceite del polvillo de arroz por fluidos supercríticos utilizando CO<sub>2</sub>,” Universidad Católica de Santa María, Perú, 2011.
- [7] J. Javier and Y. Alomaliza, “departamento de eléctrica y electrónica carátula carrera de ingeniería electromecánica trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero electromecánico tema: diseño y construcción de un prototipo extractor de esencias de plantas aromáticas con fluidos supercríticos. autores: alex fernando ronquillo moreta.”

- [8] v. cárdenas, d. karen, v. german, and j. pierre, “universidad central del ecuador facultad de ingeniería química carrera de ingeniería química trabajo de titulación modalidad propuesta tecnológica para la obtención del título de ingeniero químico.”
- [9] asme, “2013 asme boiler and pressure vessel code a n i n t e r n a t i o n a l c o d e viii rules for construction of pressure vessels,” new york, jul. 2013.
- [10] d. y. simulación de un tanque hidroneumático and a. javier iza pillajo, “escuela politécnica nacional facultad de ingeniería mecánica capacidad de 400 gl para la empresa pmec s.a. según la norma asme sección viii división 1 proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico.”
- [11] ASME, “Division 2 SECTION VIII R ules for Construction of Pressure Vessels 2015 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code,” New York, Jul. 2015. [Online]. Available: [www.techstreet.com](http://www.techstreet.com)
- [12] M. F. Saenz, “cannabissfe 3x 5L Processing Platform Proposal Prepared for.”
- [13] “Extractor de fluidos supercríticos SCFN: cotice acá.” <https://www.catalogodeempaques.com/ficha-producto/Extractor-de-fluidos-supercriticos-SCFN-P24CDWPLC+138096> (accessed May 16, 2022).
- [14] Bohman Ivan, “IVAN BOHMAN C.A. PÁGINA WEB,” IVAN BOHMAN C.A. CATÁLOGO DE PRODUCTOS, Guayaquil, pp. 1–402, Aug. 05, 2022. [Online]. Available: [www.ivanbohman.com.ec](http://www.ivanbohman.com.ec)
- [15] “Aceros Inoxidables Duplex | Acero Duplex | Acero Super Duplex - Mega Mex.” <https://megamex.com/es/aceros-inoxidables-duplex/> (accessed Oct. 28, 2022).
- [16] Krieken Geri van - Cobben Johan, “Soldadura de aceros inoxidables dúplex. No es difícil, sólo diferente - Metalmecánica.” <https://www.interempresas.net/metalmecanica/Articulos/165771-Soldadura-de-aceros-inoxidables-duplex-No-es-dificil-solo-diferente.html> (accessed Dec. 24, 2022).

- [17] “Alambre de soldadura inoxidable.”  
[https://www.xiangind.com/stainless\\_welding\\_wire\\_spanish1](https://www.xiangind.com/stainless_welding_wire_spanish1) (accessed Dec. 24, 2022).
- [18] i. J. Manuel and I. Estrada, “diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión recipientes sujetos a presión contenido.”
- [19] j. Javier and y. Alomaliza, “departamento de eléctrica y electrónica carátula carrera de ingeniería electromecánica trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero electromecánico tema: diseño y construcción de un prototipo extractor de esencias de plantas aromáticas con fluidos supercríticos. Autores: alex fernando ronquillo moreta.”
- [20] “\_diseño y cálculo de tanques de almacenamiento  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_2.”
- [21] c. Pasquali, “coalescer gas/liquid separator designs,” 2021.
- [22] “2013 asme boiler and pressure vessel code a n i n t e r n a t i o n a l c o d e viii rules for construction of pressure vessels.”
- [23] “instituto politécnico nacional escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica.”
- [24] “página 11-2 capítulo 11 manual de cálculos planta de producción de ácido fórmico.”
- [25] “pdf-api-rp-14e-pdf\_compress”.
- [26] u. E. Nacional estadounidense, “tuberías de proceso código asme para tuberías a presión, b31.”
- [27] “ivan bohman c.a. página web.” [online]. Available: [www.ivanbohman.com.ec](http://www.ivanbohman.com.ec)
- [28] “pac\_alloy-2507-super-duplex-datasheet”.

# ANEXOS

## Anexo 1: Válvula reguladora de presión.

22 Reguladores de presión, serie RHPS

### Reguladores de presión de muelle para servicio general— Series RS(H)10, RS(H)15 y RS(H)20

#### Características

- Diseño de obturador equilibrado
- RS(H)10 y RS(H)15—sensor de diafragma o pistón RS(H)20—sensor de diafragma solo

#### Opciones

- Modelos de conformidad con NACE MR0175/ISO 15156
- Limpieza especial según ASTM G93 Nivel C



#### Información técnica

Serie	Máxima presión de entrada bar (psig)	Máxima presión de control de salida bar (psig)	Tipo de sensor	Temperatura de servicio °C (°F)	Coeficiente de caudal (C <sub>v</sub> )	Diámetro del asiento mm (pulg.)	Conexiones			Peso (sin bridas) kg (lb)
							Entrada y Salida		Manómetro <sup>1,2</sup>	
							Tamaño	Tipo		
RS(H)10	RS: 70,0 (1015)	RS: 20,0 (290)	Diafragma: 0 a 20,0 bar (290 psig)	-45 a 80 (-49 a 176)  Vea Presión y temperatura de servicio en la página 8.	3,79	RS: 14,0 (0,55)	1 pulg. DN25	NPT	1/4 pulg. NPT o rosca paralela ISO/BSP <sup>1</sup>	7,5 (16,5)
		RSH: 250 (3625)	Pistón: 0 a 250 bar (0 a 3625 psig)			RSH: 13,5 (0,53)				
RS(H)15	RSH: 400 (5800)	250 (3625)	0 a 250 bar (0 a 3625 psig)		7,30	19,0 (0,75)	1 1/2 pulg. DN40	Rosca paralela ISO/BSP Brida ASME o DIN	10,0 (22,0)	
RS(H)20		20,0 (290)	Diafragma		13	25,0 (0,98)	2 pulg. DN50		18,0 (39,6)	

Vea la Pág. 23 a 27 para los datos de caudal.

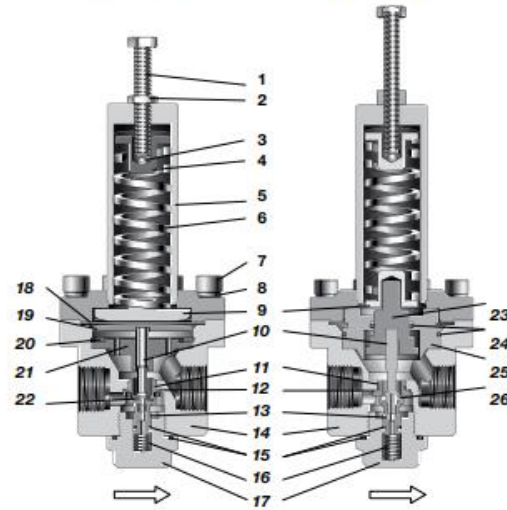
① Los reguladores con conexiones de entrada / salida NPT tienen conexiones de manómetro de 1/4 pulg. NPT.

② Todos los reguladores RS(H)20 incorporan puertas de manómetro de 1/4 pulg. ISO/BSP.

#### Materiales de construcción

Regulador serie RS con sensor de diafragma y cierre del asiento blando

Regulador serie RSH con sensor de pistón y cierre del asiento duro



Componente	Material / Especificación
1 Tornillo de ajuste	A2-70
2 Tuerca	A2
3 Bola	Acero inox. 420 (Endurecido)
4 Guía superior del muelle	Acero inox. 316L / A479
5 Conjunto carcasa muelle	Acero inox. 316L / A479
6 Muelle de regulación	50CRV4
7 Tornillo de la carcasa	A4-80
8 Anillo del tornillo de la carcasa	A4
9 Guía inferior del muelle	Acero inox. 316L / A479
10 Obturador	Acero inox. S17400 o Acero inox. 431
11 Asiento	Acero inox. 316L / A479
12 Junta tórica del asiento	EPDM, FKM o nitrilo
13 Carcasa del obturador	Acero inox. 316L / A479
14 Cuerpo	Acero inox. 316L / A479
15 Juntas tóricas	EPDM, FKM o nitrilo
16 Muelle del obturador	Acero inox. 302 / A313
17 Tapón del cuerpo	Acero inox. 316L / A479
18 Diafragma	EPDM, FKM o nitrilo
19 Placa del diafragma	Acero inox. 316L / A479
20 Anillo de sujeción	Acero inoxidable comercial
21 Placa del cuerpo	Acero inox. 316L / A479
22 Cierre del asiento	EPDM, FKM o nitrilo
23 Pistón	Acero inox. 316L / A479
24 Juntas tóricas del pistón	EPDM, FKM o nitrilo
25 Placa del pistón	Acero inox. 316L / A479
26 Cierre del asiento	PEEK o PCTFE

Lubricante húmedo: Con base de silicona y con base de hidrocarburo sintético

Componentes húmedos mostrados en cursiva.

Tapones de los manómetros (no se muestran): Acero inox. 431 / A276.

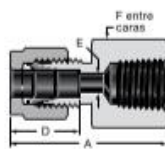
Swagelok



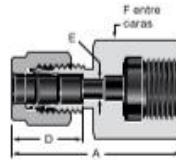
## Anexo 2: Conectores hembra.

### Racores rectos

#### Conectores hembra



Consulte la página 9 para especificaciones de roscas.



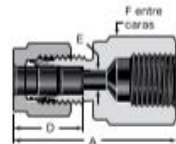
Los racores con rosca ISO/BSP paralela (RJ) están disponibles únicamente en acero inoxidable. Consulte la página 9 para especificaciones de roscas.

#### Rosca ISO/BSP Cónica (RT)

Ø Ext. Tubo	Tamaño rosca ISO pulg	Referencia Básica	Dimensiones			
			A	D	E	F
Dimensiones, pulg						
1/8	1/8	-200-7-2RT	1,13	0,50	0,09	9/16
1/4	1/8	-400-7-2RT	1,23			9/16
	1/4	-400-7-4RT	1,41			3/4
	3/8	-400-7-6RT	1,48	0,60	0,19	7/8
	1/2	-400-7-8RT	1,67			1 1/16
3/8	1/4	-600-7-4RT	1,48			3/4
	3/8	-600-7-6RT	1,54	0,66	0,28	7/8
	1/2	-600-7-8RT	1,73			1 1/16
1/2	1/4	-810-7-4RT	1,59			13/16
	3/8	-810-7-6RT	1,65	0,90	0,41	7/8
	1/2	-810-7-8RT	1,84			1 1/16
Dimensiones, mm						
3	1/8	-3M0-7-2RT	28,7	12,9	2,4	14
6	1/8	-6M0-7-2RT	31,3			14
	1/4	-6M0-7-4RT	35,8	15,3	4,8	19
	3/8	-6M0-7-6RT	37,6			22
	1/2	-6M0-7-8RT	42,5			27
8	1/8	-8M0-7-2RT	32,1			15
	1/4	-8M0-7-4RT	37,0	16,2	6,4	19
	3/8	-8M0-7-6RT	38,5			22
	1/2	-8M0-7-8RT	43,3			27
10	1/8	-10M0-7-2RT	33,0			18
	1/4	-10M0-7-4RT	37,8	17,2	7,9	19
	3/8	-10M0-7-6RT	39,4			22
	1/2	-10M0-7-8RT	44,2			27
12	1/8	-12M0-7-2RT	35,5		8,3	22
	1/4	-12M0-7-4RT	40,3		9,5	22
	3/8	-12M0-7-6RT	41,9	22,8	9,5	22
	1/2	-12M0-7-8RT	46,7		9,5	27
	3/4	-12M0-7-12RT	49,0		9,5	35
15	3/8	-15M0-7-6RT	41,9	24,4	11,9	24
	1/2	-15M0-7-8RT	46,7			27
20	1/2	-20M0-7-8RT	47,9	26,0	15,9	30
	3/4	-20M0-7-12RT	49,7			35
22	3/4	-22M0-7-12RT	49,7	26,0	18,3	35
	1	-22M0-7-16RT	57,9			41
25	3/4	-25M0-7-12RT	53,4	31,3	21,8	35
	1	-25M0-7-16RT	62,3			41

#### Rosca ISO/BSP Paralela (RJ)

Ø Ext. Tubo	Tamaño rosca ISO pulg	Referencia Básica	Dimensiones			
			A	D	E	F
Dimensiones, pulg						
1/8	1/8	SS-200-7-2RJ	1,19	0,50	0,09	9/16
1/4	1/4	SS-400-7-4RJ	1,48		0,18	3/4
	3/8	SS-400-7-6RJ	1,48	0,60	0,19	15/16
	1/2	SS-400-7-8RJ	1,71		0,19	1 1/16
5/16	1/4	SS-500-7-4RJ	1,51	0,64	0,22	3/4
	1/2	SS-500-7-8RJ	1,81		0,28	1 1/16
3/8	1/4	SS-600-7-4RJ	1,54		0,22	3/4
	3/8	SS-600-7-6RJ	1,52	0,66	0,26	15/16
	1/2	SS-600-7-8RJ	1,65		0,28	1 1/16
1/2	1/4	SS-810-7-4RJ	1,65		0,22	13/16
	3/8	SS-810-7-6RJ	1,75	0,90	0,26	15/16
	1/2	SS-810-7-8RJ	1,90		0,28	1 1/16
Dimensiones, mm						
6	1/4	SS-6M0-7-4RJ	37,6			19
	3/8	SS-6M0-7-6RJ	37,6	15,3	4,8	24
	1/2	SS-6M0-7-8RJ	43,5			27
8	1/4	SS-8M0-7-4RJ	38,5		5,5	19
	3/8	SS-8M0-7-6RJ	36,2	16,2	6,5	24
	1/2	SS-8M0-7-8RJ	41,0		7,0	27
10	1/4	SS-10M0-7-4RJ	39,4		5,5	19
	3/8	SS-10M0-7-6RJ	38,8	17,2	6,5	24
	1/2	SS-10M0-7-8RJ	42,1		7,0	27
12	1/4	SS-12M0-7-4RJ	41,9		5,5	22
	3/8	SS-12M0-7-6RJ	44,4	22,8	6,5	24
	1/2	SS-12M0-7-8RJ	48,2		7,0	27



Consulte la página 9 para especificaciones de roscas.

#### Rosca ISO/BSP Paralela (RP)

Ø Ext. Tubo	Tamaño rosca ISO pulg	Referencia Básica	Dimensiones			
			A	D	E	F
Dimensiones, mm						
6	1/8	-6M0-7-2RP	33,5	15,3	4,8	14
	1/4	-6M0-7-4RP	39,4			19
22	3/4	-22M0-7-12RP	53,3	26,0	18,3	35
25	1	-25M0-7-16RP	63,9	26,5	21,8	40

Consulte las instrucciones de instalación que empiezan en la página 69

Swagelok

### Anexo 3: Tubería de acero inoxidable

Para presiones de servicio hasta 4134 bar (60.000 psig)



- Para utilizar con los productos de alta presión Sno-Trik
- Acero inoxidable 316 / 316L
  - endurecido
  - recocido
- Presión de servicio
  - hasta 4134 bar (60.000 psig) con tubo endurecido
  - hasta 2067 bar (30.000 psig) con tubo recocido
- Tamaños de 1/4, 3/8 y 9/16 de diámetro exterior

- Calibrado por Ø exterior real.
- Los tramos tienen una longitud de 120 pulgadas.
- Disponibles en longitudes personalizadas bajo petición.
- Marcado con indicación del tamaño, material, clase y número de colada.

#### Información técnica

#### Normativas y propiedades mecánicas de los materiales

El tubo endurecido es más robusto y tiene un menor espesor de pared con mejores características de caudal que el tubo del mismo diámetro.

Calidad	UNS	Especificación	Límite elástico mínimo para intervalos del 0,2 % ksi	Mínima resistencia a la tracción ksi	Elongación sobre 50,8 mm (2 pulg.) % mín.
<b>Tubo sin soldadura de acero inoxidable 316 / 316L endurecido</b>					
316 / 316L	S31600 / S31603	ASTM A269 ASTM A269 EN ISO3651-2	75	100	20
<b>Tubo sin soldadura de acero inoxidable 316 / 316L recocido</b>					
316 / 316L	S31600 / S31603	ASTM A269 ASTM A262 EN ISO3651-2	40	70	35

#### Composición química

Elemento	Especificación
	ASTM Composición, % del peso
Cromo	17,0 a 18,0
Níquel	10,0 a 15,0
Moibdeno	2,50 a 3,00
Manganeso	2,00 máx.
Silicio	0,75 máx.
Carbono	0,035 máx.
Azufre	0,030 máx.

#### Radio de curvatura

A continuación se muestran los límites de radios de curvatura y espesores de pared para doblar tubo de acero inoxidable sin soldadura estirado en frío.

Ø Ext. del tubo pulg.	Espesor de pared mm (pulg.)	Radio mínimo de curvatura (pulg. Radio de la matriz)
1/4	2,1 (0,083)	1,25
1/4	2,4 (0,096)	1,25
3/8	3,2 (0,125)	1,75
9/16	4,7 (0,187)	2,625

**⚠ No utilice la dobladora de tubo manual para doblar tubo de acero inoxidable recocido de alto espesor de pared o estirado en frío de dureza 1/8. Utilice la dobladora de tubo Swagelok para banco con matrices de acero.**

Para ampliar la información sobre el doblado de tubo de media presión, consulte el catálogo Swagelok *Dobladora de tubo para banco, Manual del usuario, MS-13-145.*

Swagelok

#### Anexo 4: Manómetro para altas presiones.



Especificaciones	
Modelo	B: Manómetro de acero inoxidable para servicio general con puntero ajustable
Tamaño de esfera	63 mm
Rango de la esfera	MPa (escala primaria: MPa; sin escala secundaria)
Mínima	0
Máximo	60
Ubicación de la conexión a proceso	Montaje inferior
Conexiones finales	Adaptador a tubo Swagelok
Tamaño	1/4 in.
Líquido de llenado	Glicerina
Certificado de calibración	Si
Certificado de material	Si
Brida trasera	No
Puntero de indicación de máximos	Si
Orificio (0,58 mm [0,023 pulg.])	No

## Anexo 5: Pernos de acero inoxidable

www.gtindustry.com/hex-socket-bolt

Tel: +86 1376105029 Email: mkt@gtinfast.com GET A QUOTE

**GT INDUSTRY** Home Products About Us VR OEM&ODM Application Contact Us

### Hex Socket Bolt

Hexagon socket Bolts with a hexagonal hole on a cylindrical head that's fastened with a hex wrench. Although they are also called cap screws or socket...

Email: sales@gtm.com  
Tel: 86 1376105029

REQUEST A QUOTE

CONTACT US

Tel: +86 1376105029 Email: mkt@gtinfast.com GET A QUOTE

**GT INDUSTRY** Home Products About Us VR OEM&ODM Application Contact Us

### Product Information

Product Features:  
Standard: DIN913, CR 7 703, ISO 4762, DIN EN ISO 12424, ANSI/ASME B 18.3.3M, UNI 5981, NF E 20 125, AS 1420  
Size: M4-M30  
Material: Stainless Steel, Brass, Steel, Carbon Steel, Aluminum or Aluminum Alloy  
Grade/Class: 4-8, 5-8, 6-8, 8-8, 10-9, 12-9  
Thread: UNF, UNF, UNF, UNF, UNF  
Finish: Plain, Black (oxide), Zinc Plated, Clear/Blue/Yellow/Black, H.D.G, Nickel, Chrome, PTFE, Dacromet, Cosmes, Magn, Zinc, Nickel, ZrNickel  
Trade Term: FOB, CIF, EXW, DDP, DDU, DEX, DED, DDD  
Payment: T/T, L/C, West Union, Paypal, Etc  
Market: Europe/South America/East/South East Asia/Middle East/Australia And Etc.

CONTACT US

**Anexo 6** Tamaños estándar para empaques GMORS.

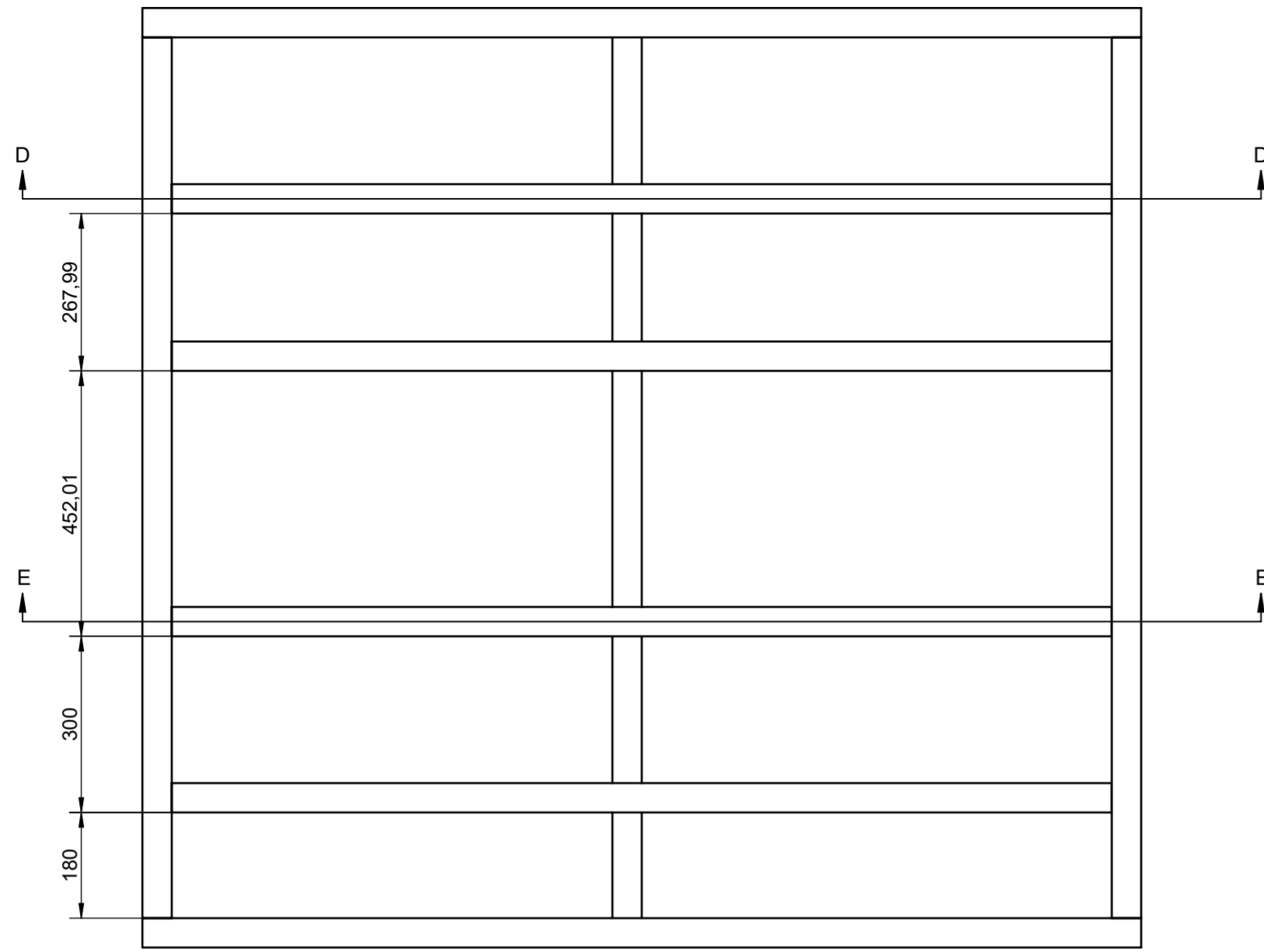
## Washer Standard Size

Washer Standard Size												
Washer Size	MEASUREMENTS IN MILLIMETERS						MEASUREMENTS IN INCHES					
	ID	±	W	±	H	±	ID	±	W	±	H	±
W0005	2.57	0.13	1.68	0.08	1.68	0.08	0.101	0.005	0.066	0.003	0.066	0.003
W0006	2.90	0.13					0.114	0.005				
W0007	3.68	0.13					0.145	0.005				
W0008	4.47	0.13					0.176	0.005				
W0009	5.28	0.13					0.208	0.005				
W0010	6.07	0.13					0.239	0.005				
W0011	7.65	0.13					0.301	0.005				
W0012	9.25	0.13					0.364	0.005				
W0013	10.82	0.13					0.426	0.005				
W0014	12.42	0.13					0.489	0.005				
W0015	14.00	0.18					0.551	0.007				
W0016	15.60	0.23					0.614	0.009				
W0017	17.17	0.23					0.676	0.009				
W0018	18.77	0.23					0.739	0.009				
W0019	20.35	0.23					0.801	0.009				
W0020	21.95	0.23					0.864	0.009				
W0021	23.52	0.23					0.926	0.009				
W0022	25.12	0.25					0.989	0.010				
W0023	26.70	0.25					1.051	0.010				
W0024	28.30	0.25					1.114	0.010				
W0025	29.87	0.28					1.176	0.011				
W0026	31.47	0.28					1.239	0.011				
W0027	33.05	0.28					1.301	0.011				
W0028	34.65	0.33	1.68	0.10	1.68	0.08	1.364	0.013	0.066	0.004	0.066	0.003
W0029	37.82	0.33					1.489	0.013				
W0030	41.00	0.33					1.614	0.013				
W0031	44.17	0.38					1.739	0.015				
W0032	47.35	0.38					1.864	0.015				
W0033	50.52	0.46					1.989	0.018				
W0034	53.70	0.46					2.114	0.018				
W0035	56.87	0.46					2.239	0.018				
W0036	60.05	0.46					2.364	0.018				
W0037	63.22	0.46					2.489	0.018				
W0038	66.40	0.51					2.614	0.020				
W0039	69.57	0.51					2.739	0.020				
W0040	72.75	0.51					2.864	0.020				
W0041	75.92	0.61					2.989	0.024				
W0042	82.27	0.61					3.239	0.024				
W0043	88.62	0.61					3.489	0.024				
W0044	94.97	0.69					3.739	0.027				
W0045	101.32	0.69					3.989	0.027				
W0046	107.67	0.76					4.239	0.030				
W0047	114.02	0.76					4.489	0.030				
W0048	120.37	0.76					4.739	0.030				
W0049	126.72	0.94					4.989	0.037				
W0050	133.07	0.94					5.239	0.037				
Washer	ID	±	W	±	H	±	ID	±	W	±	H	±

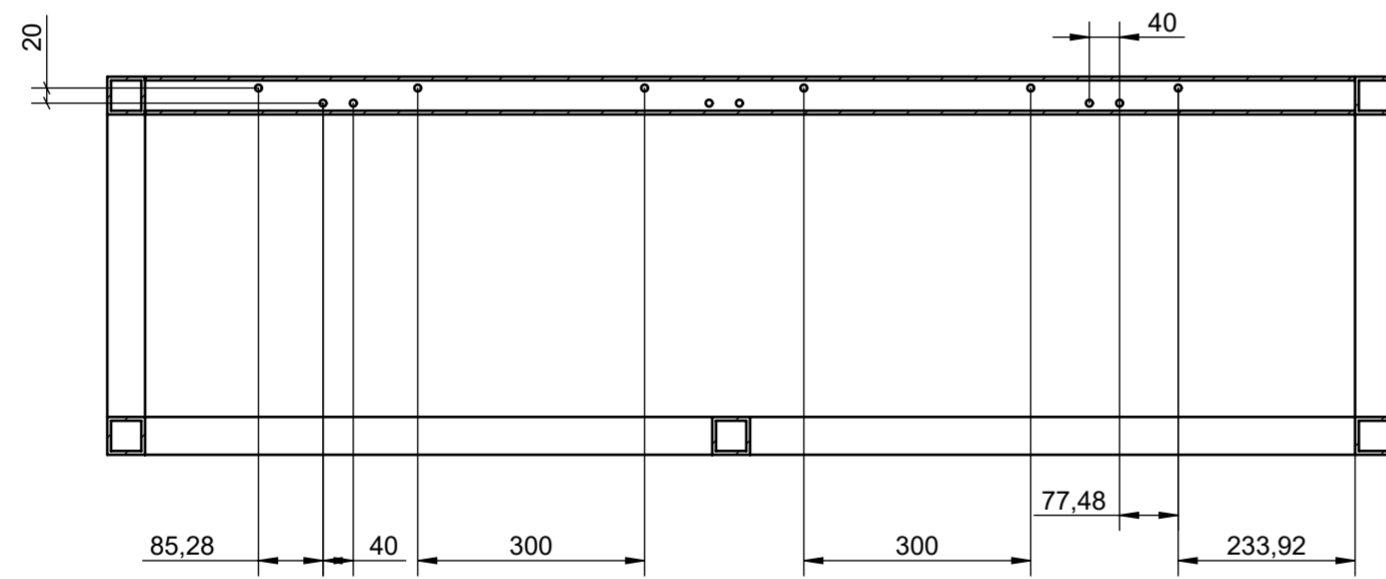
Washer Standard Size

## **Anexo 7: Planos**

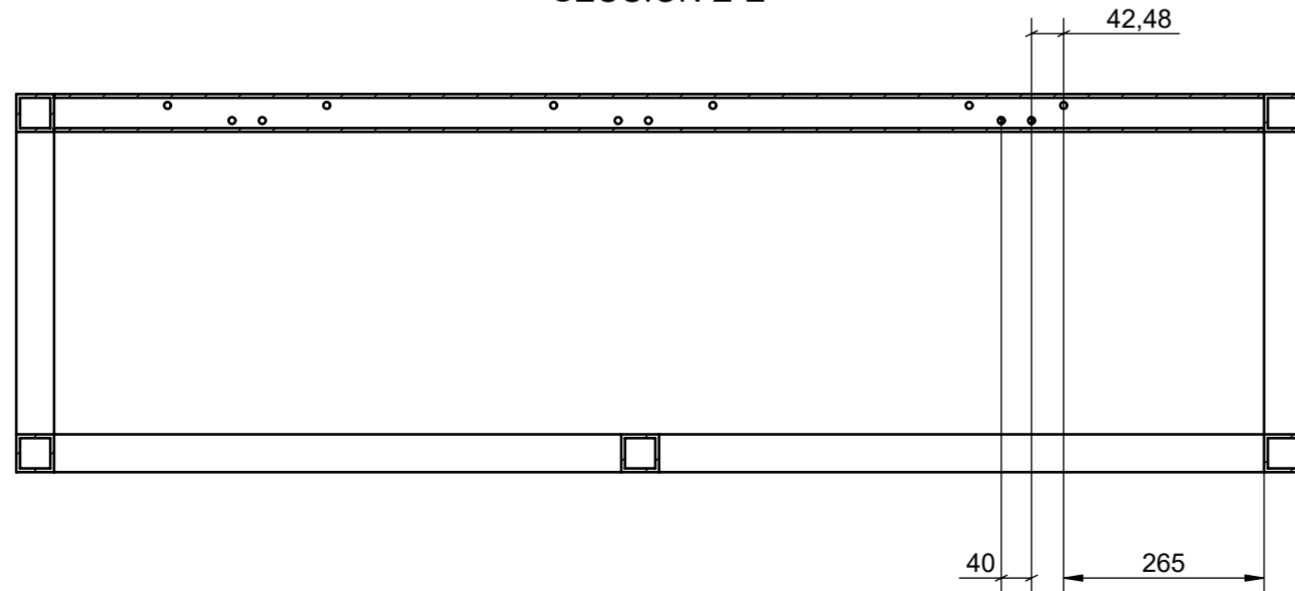




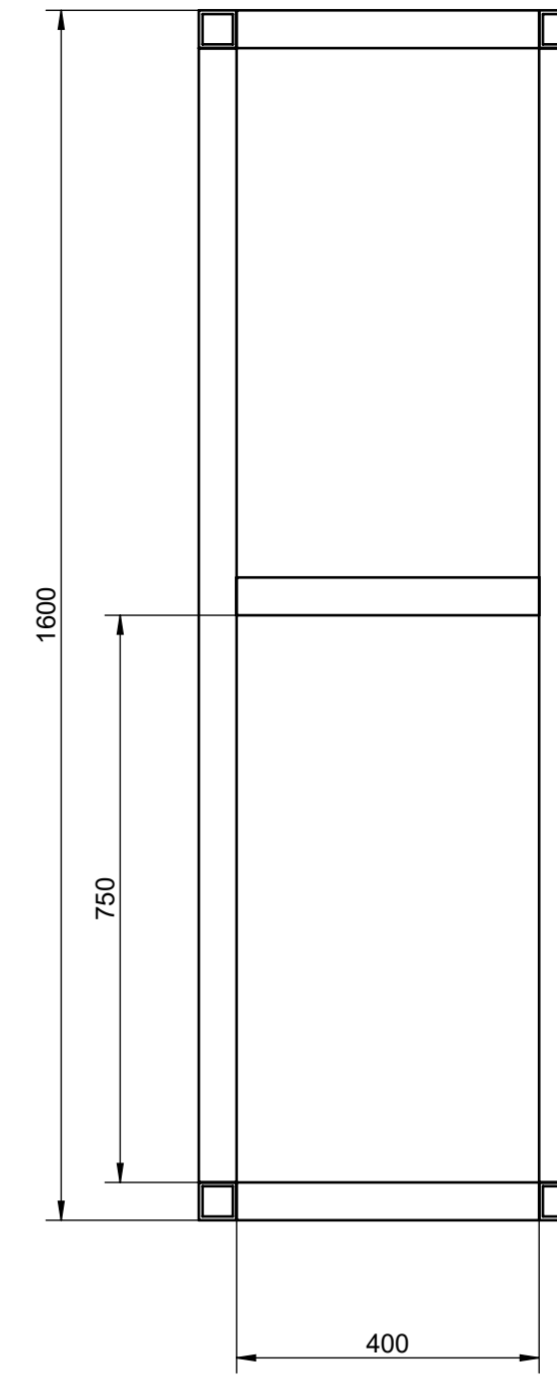
SECCIÓN D-D



SECCIÓN E-E

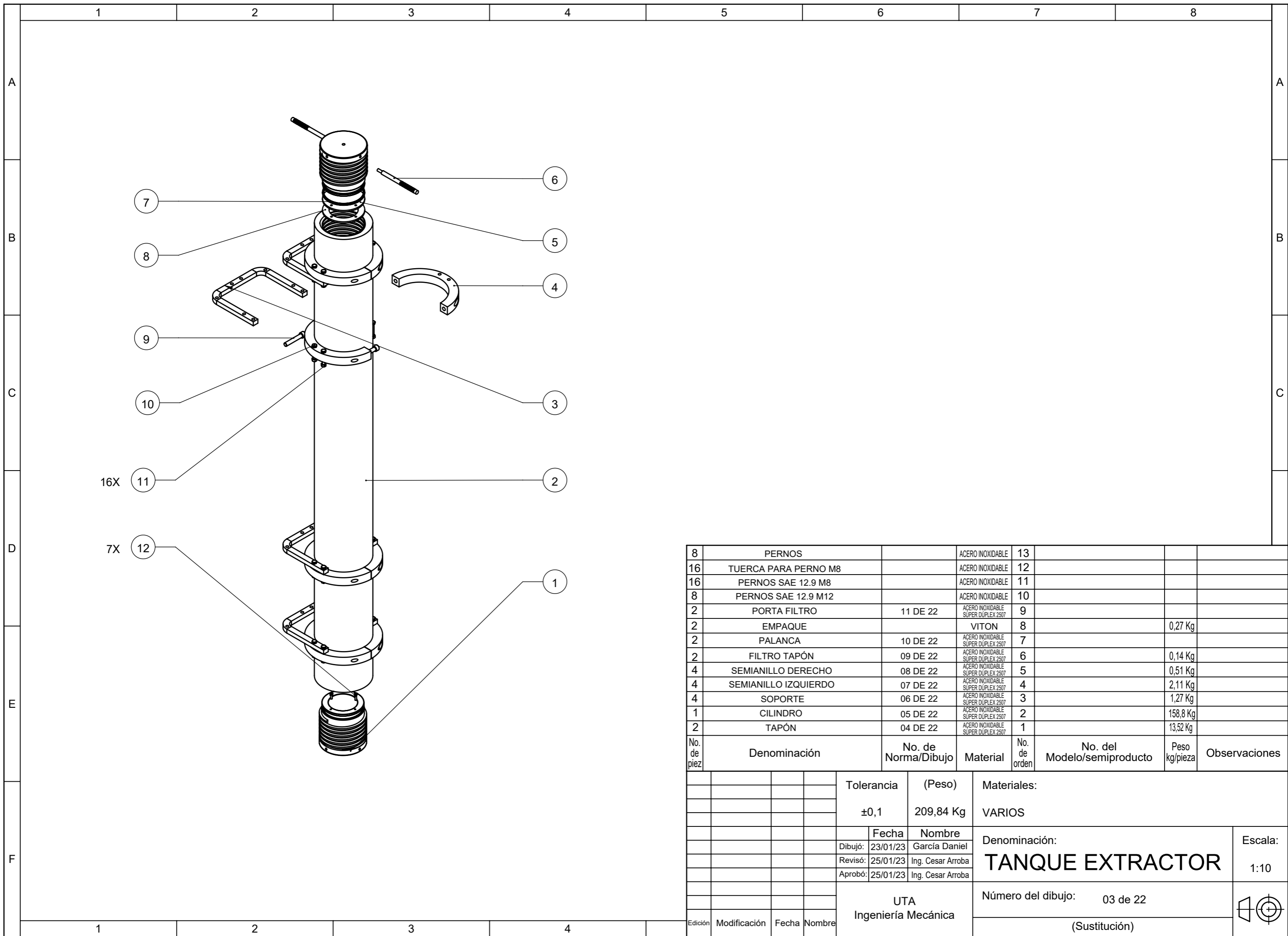


Los perfiles tienen una dimension de 50X50X5



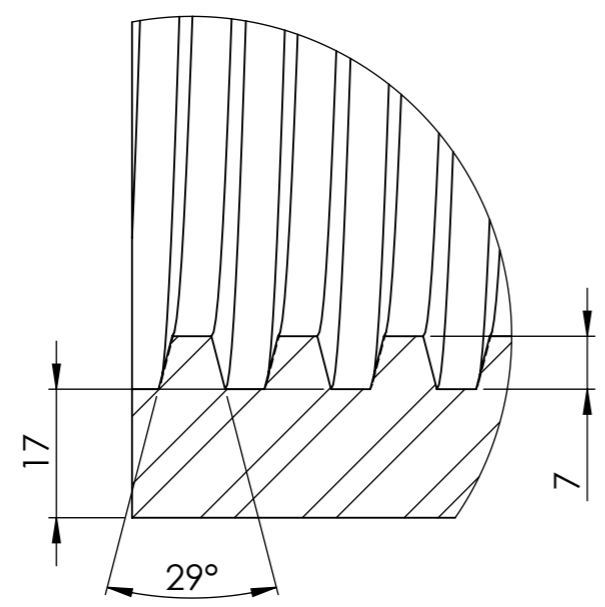
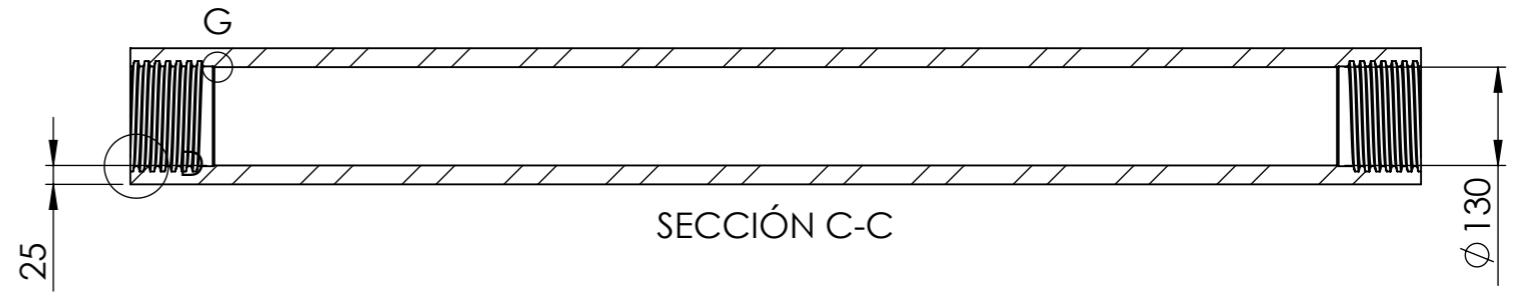
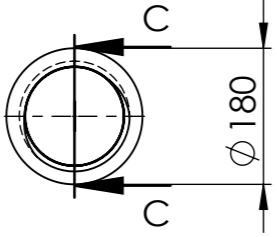
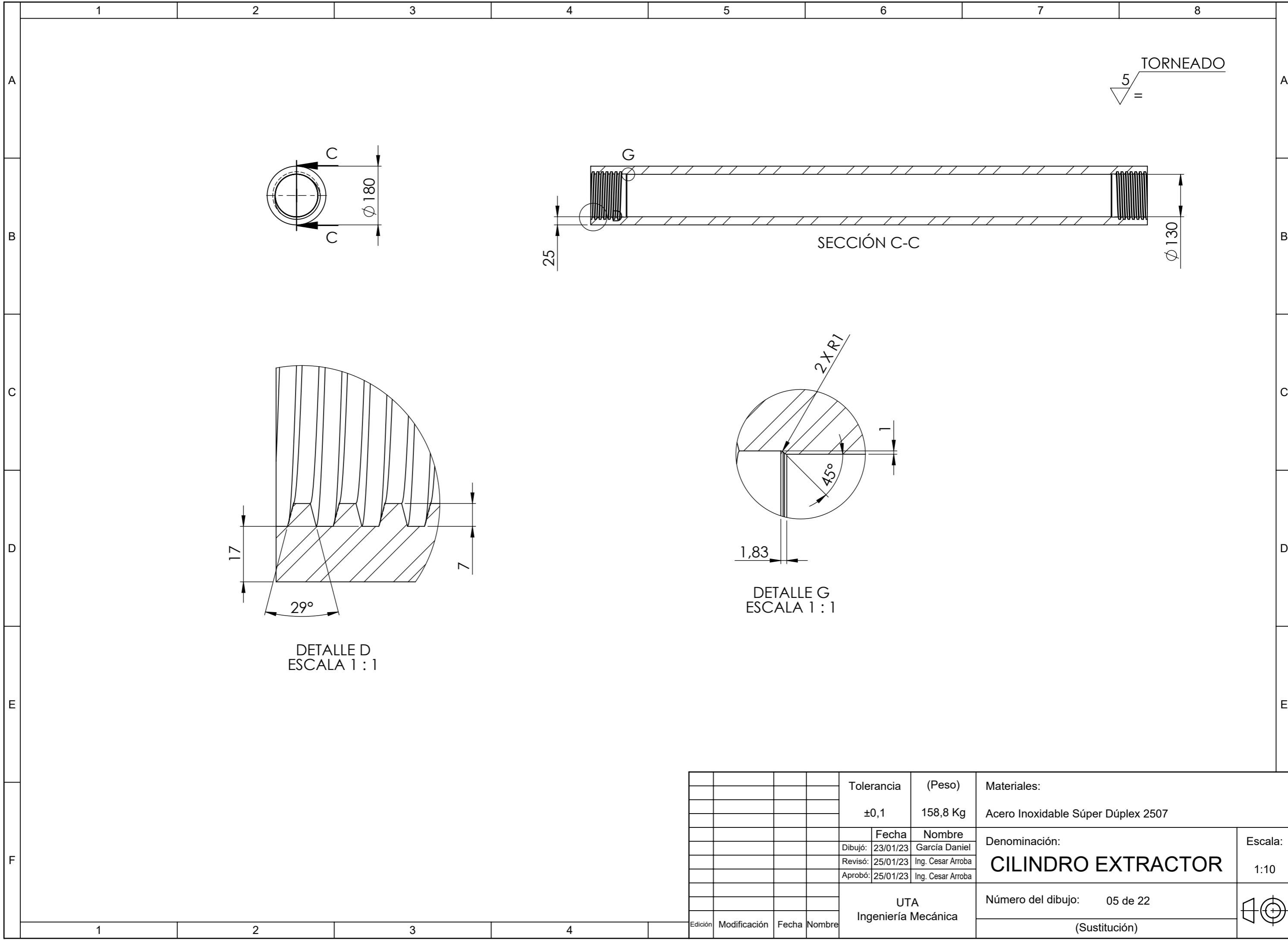
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	477.05 Kg	Acero A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel	<b>ESTRUCTURA</b>	1:10
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Número del dibujo: 02 de 22	
						(Sustitución)	



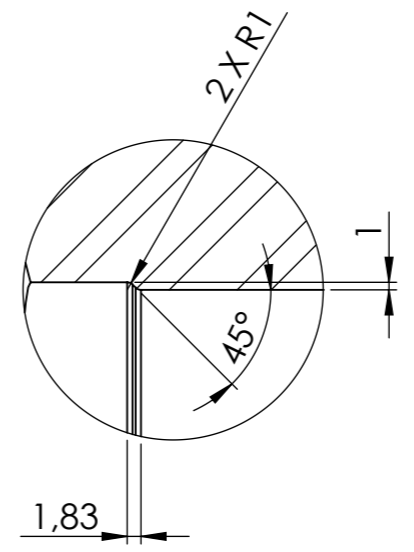


No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
8	PERNOS		ACERO INOXIDABLE	13			
16	TUERCA PARA PERNO M8		ACERO INOXIDABLE	12			
16	PERNOS SAE 12.9 M8		ACERO INOXIDABLE	11			
8	PERNOS SAE 12.9 M12		ACERO INOXIDABLE	10			
2	PORTA FILTRO	11 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	9			
2	EMPAQUE		VITON	8		0,27 Kg	
2	PALANCA	10 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	7			
2	FILTRO TAPÓN	09 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	6		0,14 Kg	
4	SEMIANILLO DERECHO	08 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	5		0,51 Kg	
4	SEMIANILLO IZQUIERDO	07 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	4		2,11 Kg	
4	SOPORTE	06 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	3		1,27 Kg	
1	CILINDRO	05 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	2		158,8 Kg	
2	TAPÓN	04 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DÚPLEX 2507	1		13,52 Kg	
Tolerancia		(Peso)		Materiales:			
±0,1		209,84 Kg		VARIOS			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 23/01/23		García Daniel		TANQUE EXTRACTOR			1:10
Revisó: 25/01/23		Ing. Cesar Arroba					
Aprobó: 25/01/23		Ing. Cesar Arroba					
UTA Ingeniería Mecánica				Número del dibujo: 03 de 22			
				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				





DETALLE D  
ESCALA 1 : 1

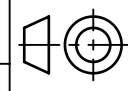


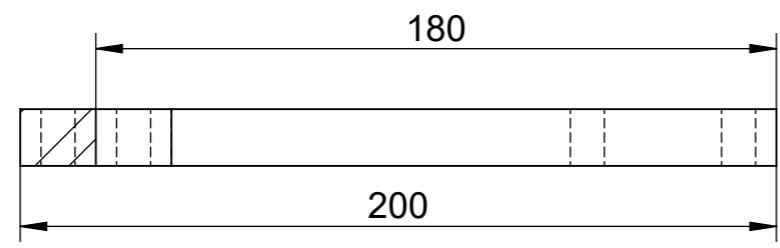
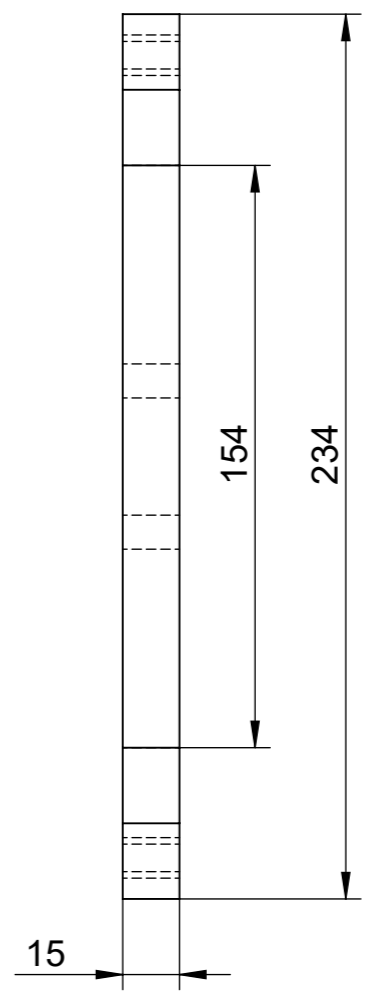
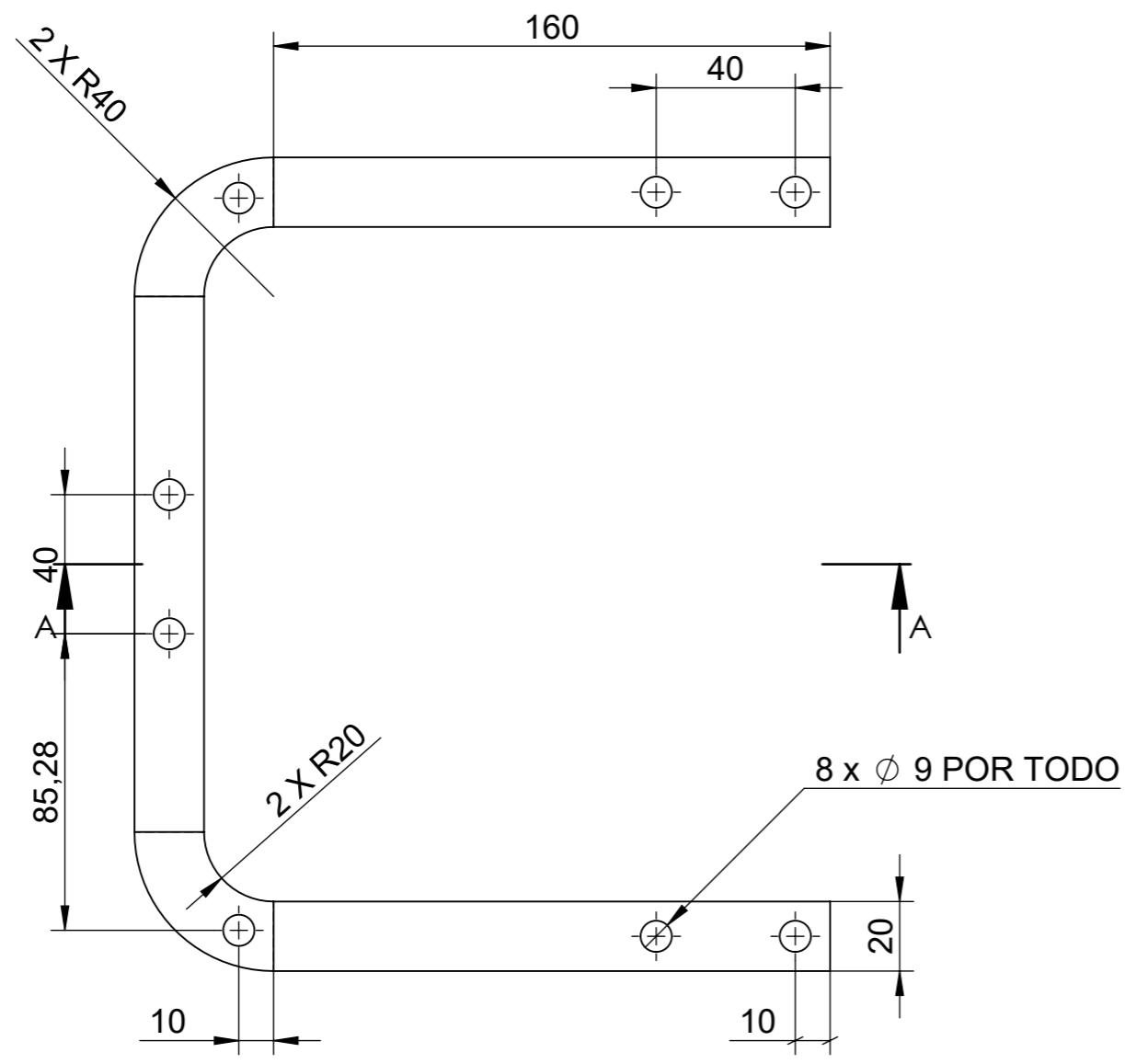
DETALLE G  
ESCALA 1 : 1

TORNEADO  
5  
=

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	158,8 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507		
					Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó:	23/01/23	García Daniel		
				Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	Escala: 1:10	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 05 de 22		
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)

**CILINDRO EXTRACTOR**



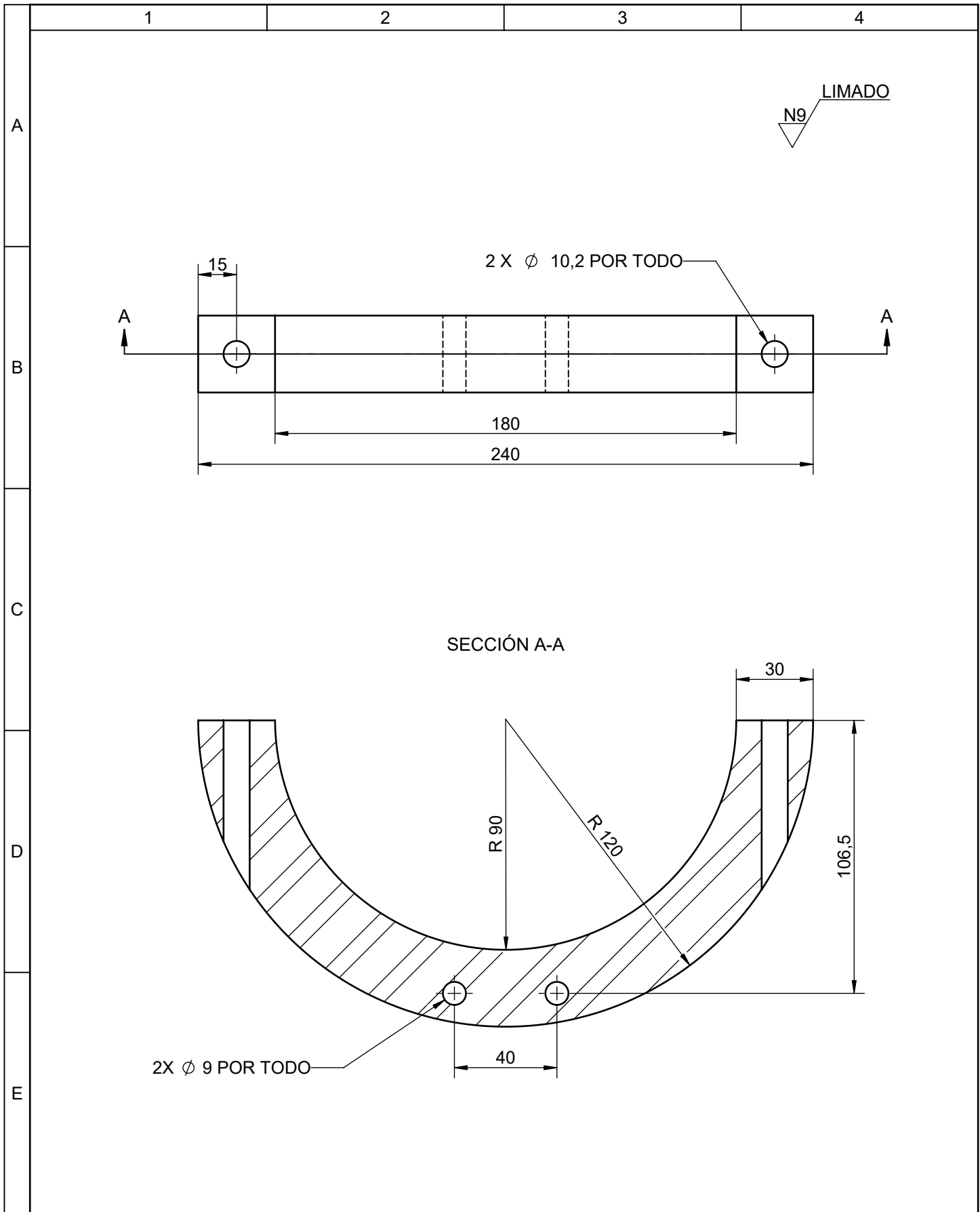


SECCIÓN A-A

N8 LIMADO

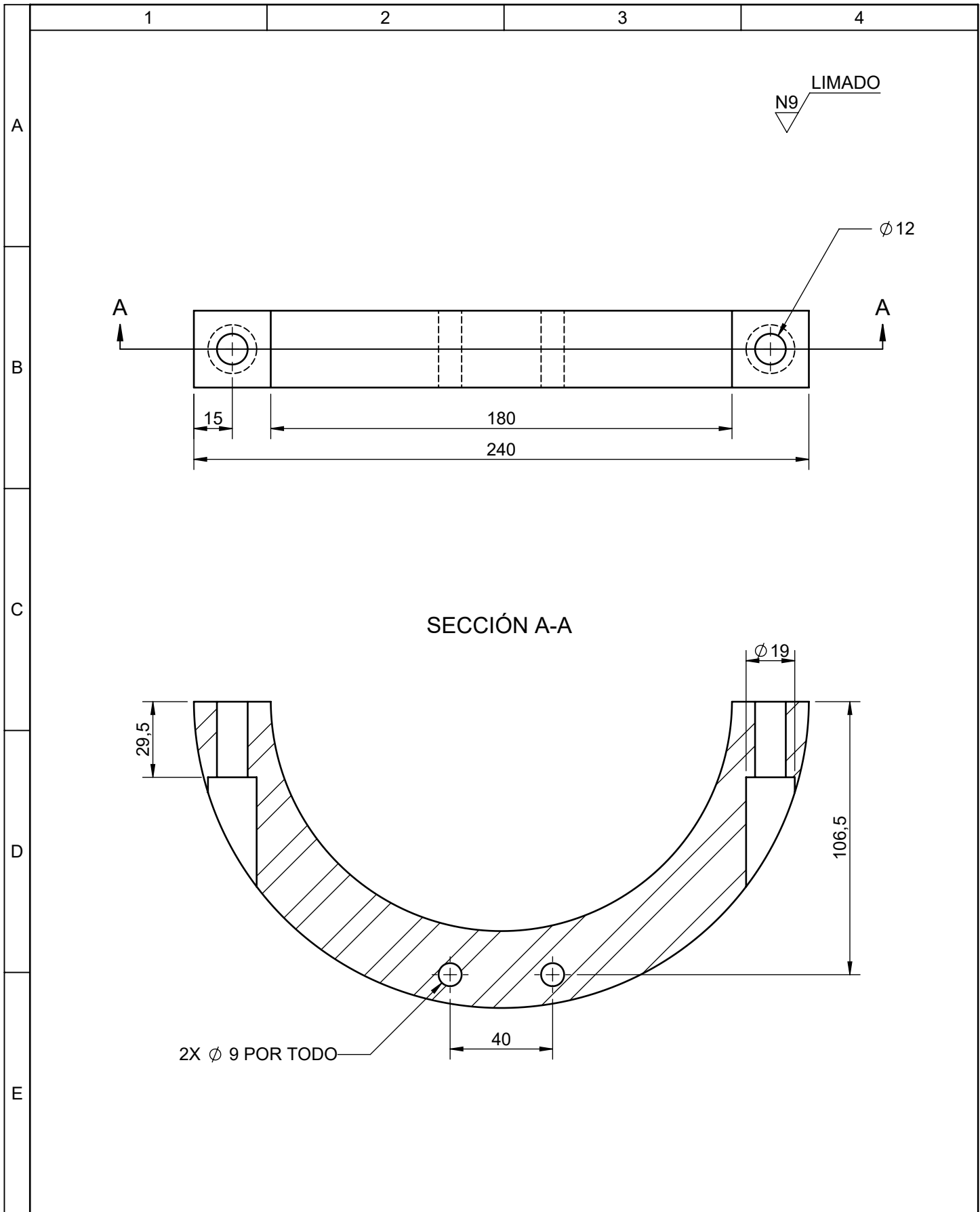
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.27 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	23/01/23	Daniel García	
				Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	Escala:
				UTA Ingeniería Mecánica			
							Número del dibujo: 06 de 22
				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

Grid labels: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (horizontal); A, B, C, D, E, F (vertical)

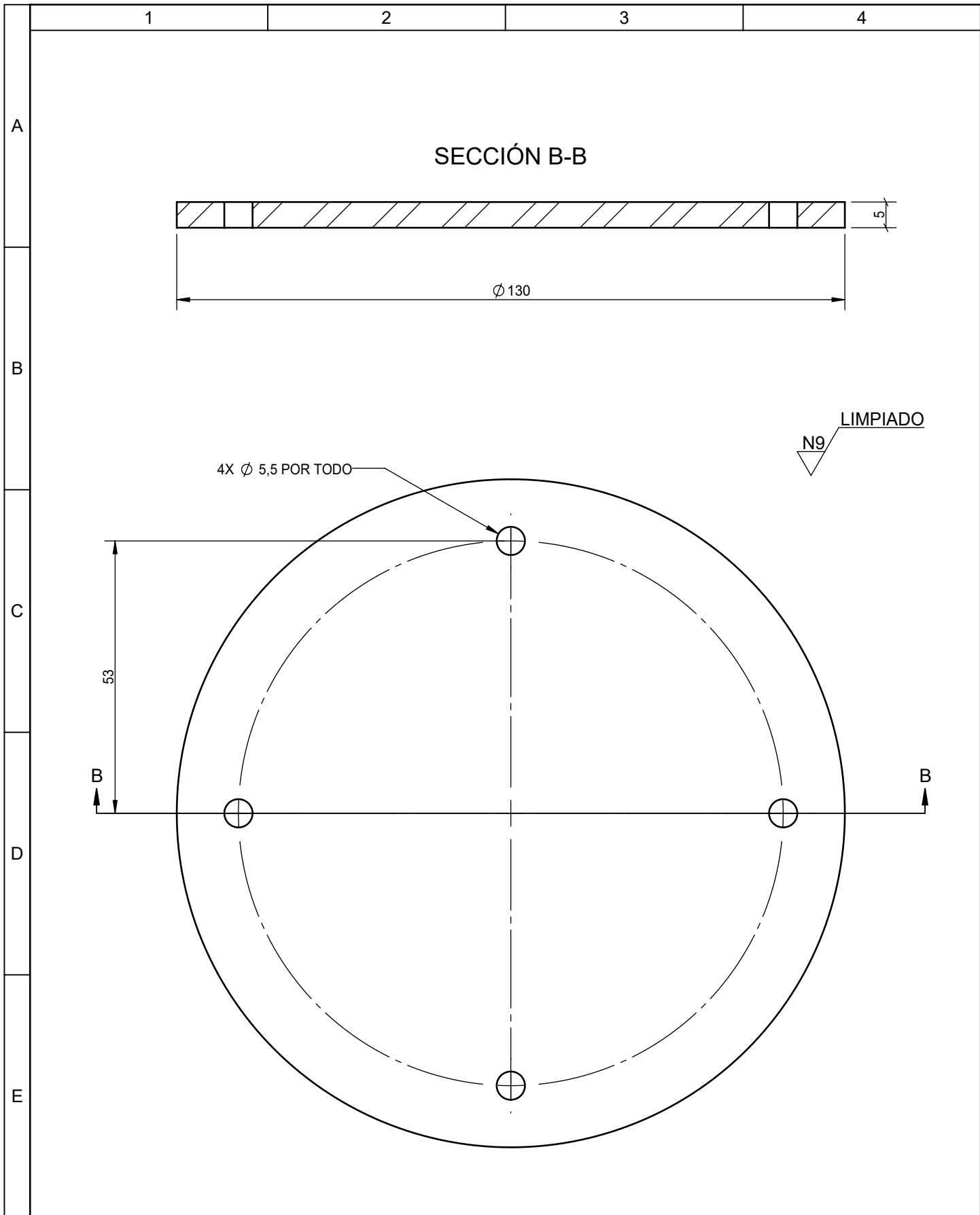


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.21 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	23/01/23	García Daniel		
			Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	07 de 22
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

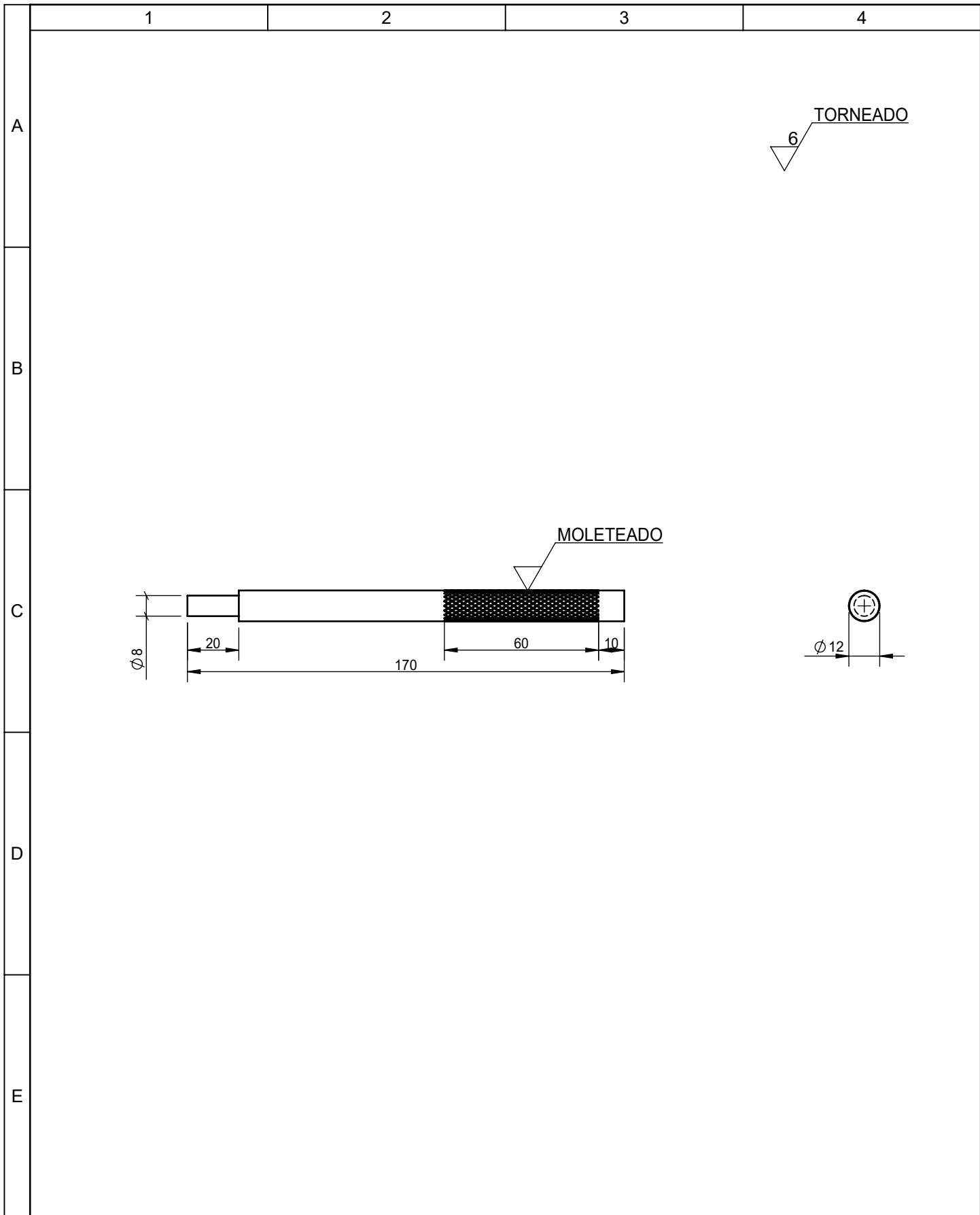
# ANILLO IZQUIERDO

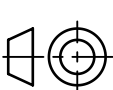


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2,11 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel	<b>SEMIANILLO DERECHO</b>	1:2
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 08 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

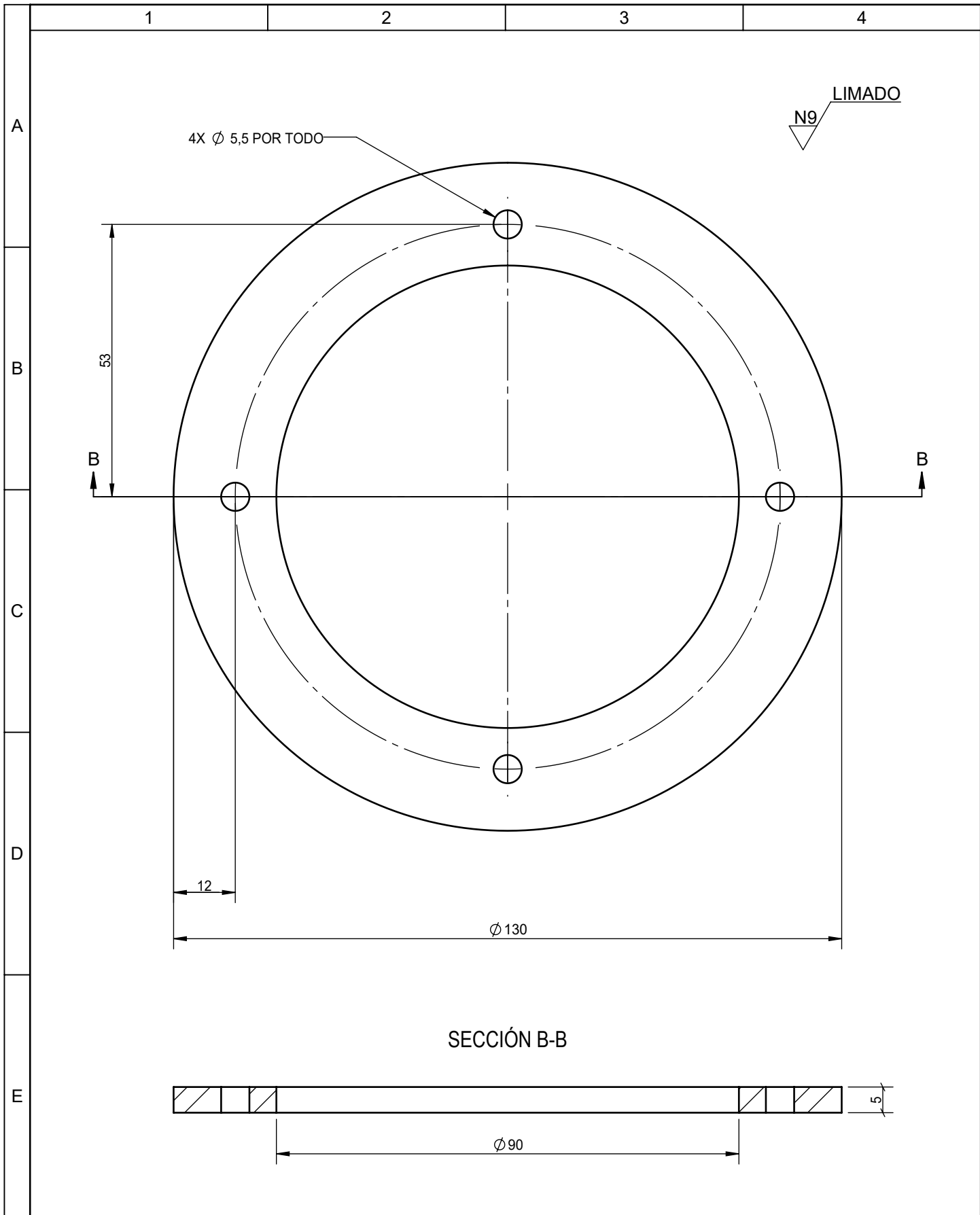


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0,51 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	23/01/23	García Daniel		
			Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	1:1
				UTA		Número del dibujo: 09 de 22	
				Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



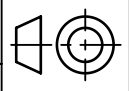
					Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
					±0,1	0,14 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507		
					Fecha	Nombre	<b>PALANCA</b>		Escala:
				Dibujó:	22/01/23	García Daniel			1:2
				Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba			
					Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	Número del dibujo: 10 de 22	
					UTA		(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica					

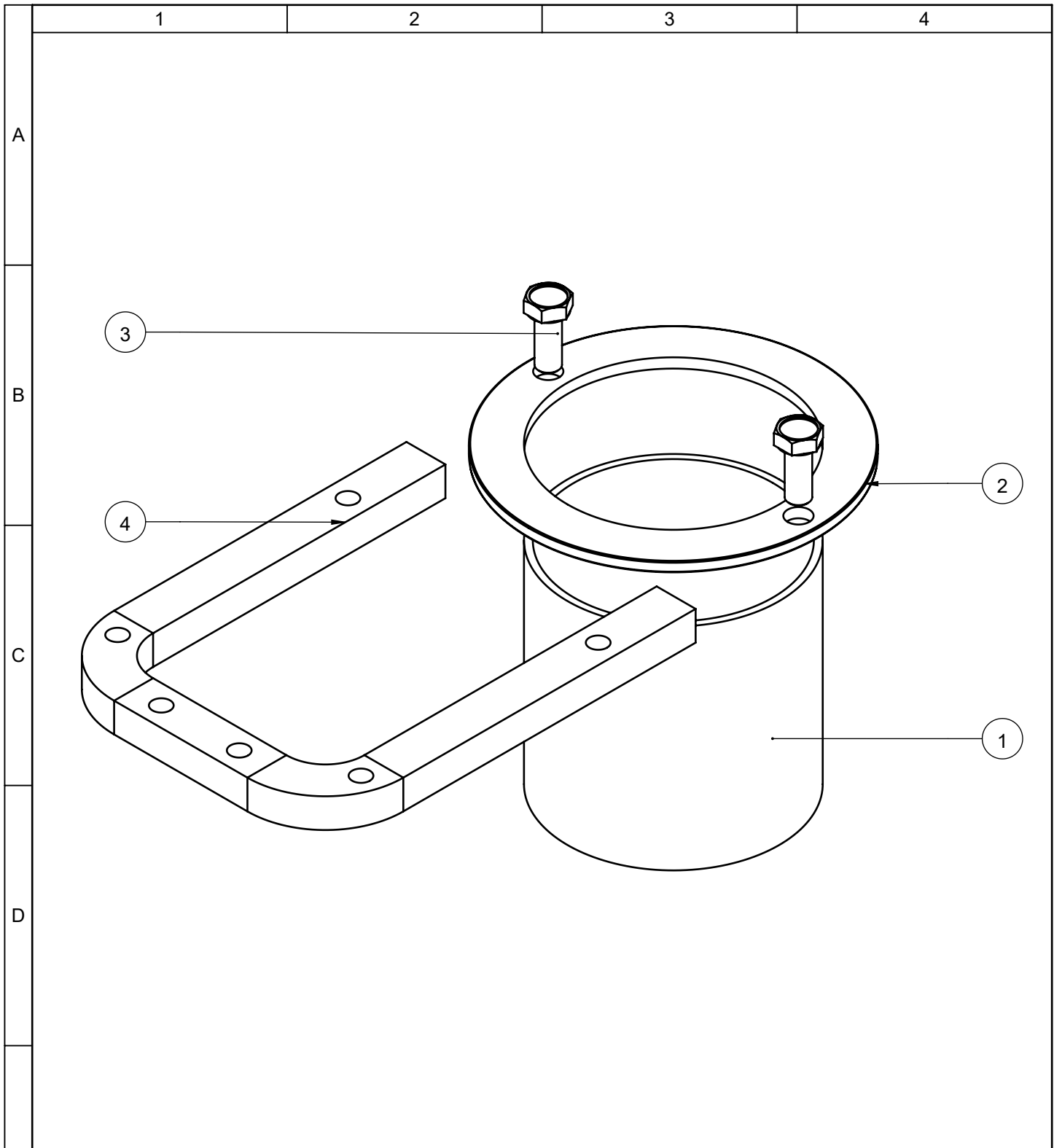




				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0,27 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
			Dibujó:	23/01/23	García Daniel			
			Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba			
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	1:1	
				UTA		Número del dibujo:		11 de 22
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica		(Sustitución)		

# PORTA FILTRO





1	SOPORTE	15 DE 22	ACERO INOXIDABLE 316L	4		1,02 Kg	
2	PERNO ASTM M8		ACERO INOXIDABLE 316L	3			
1	ARO CILINDRO	14 DE 22	ACERO INOXIDABLE 316L	2		0,315 Kg	
1	CILINDRO RECOLECTOR	13 DE 22	ACERO INOXIDABLE 316L	1		1,13 Kg	
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	2,52 Kg	VARIOS		
				Fecha	Nombre	Denominación:		
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel	<b>TANQUE RECOLECTOR</b>		
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba			
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba			
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 12 de 22		
						(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					Escala: 1:2 

1

2

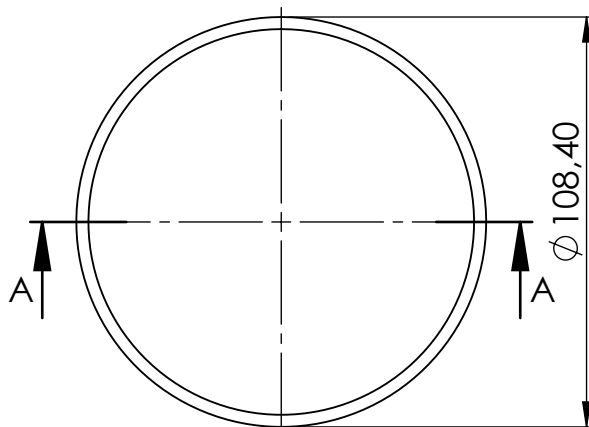
3

4

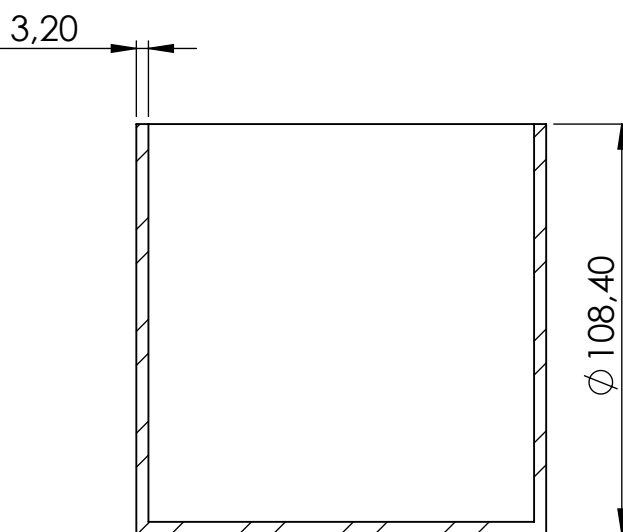
A

N8 LIMADO

B



C



D

SECCIÓN A-A

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	1.13 Kg	Acero Inoxidable 316L	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel		
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba	<b>CILINDRO RECOLECTOR</b>	1:2
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

N8 LIMADO

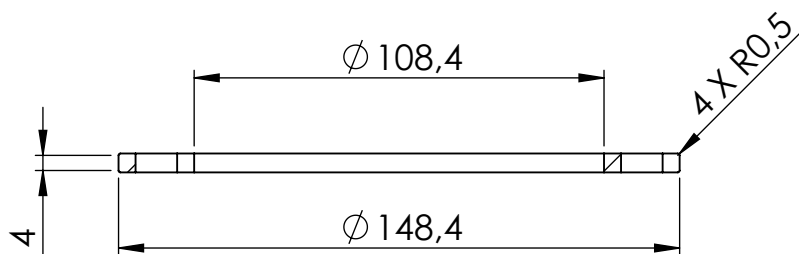
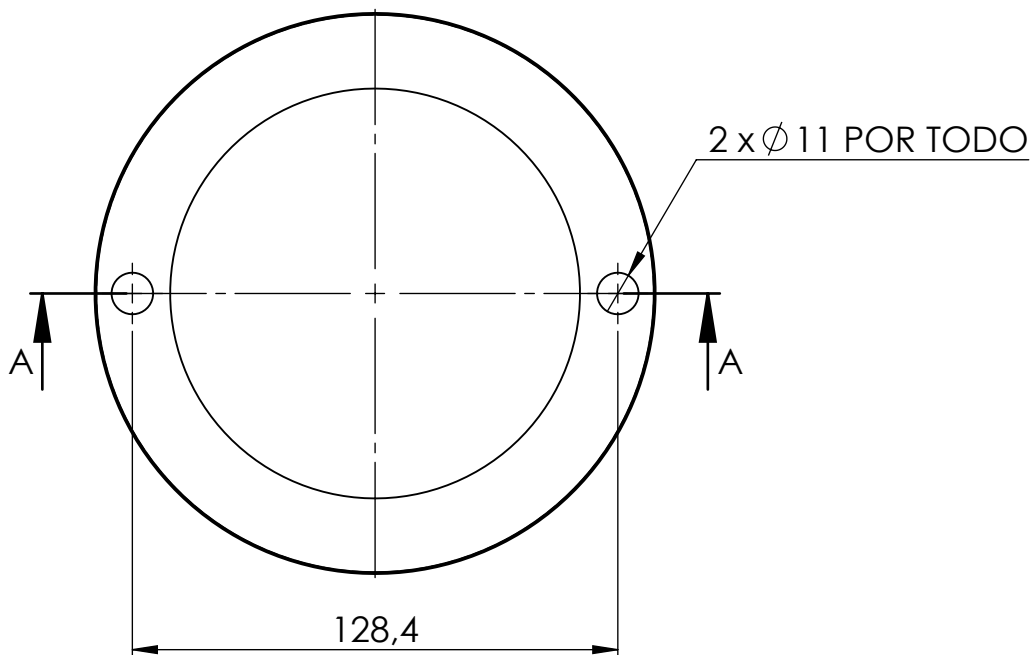
A

B

C

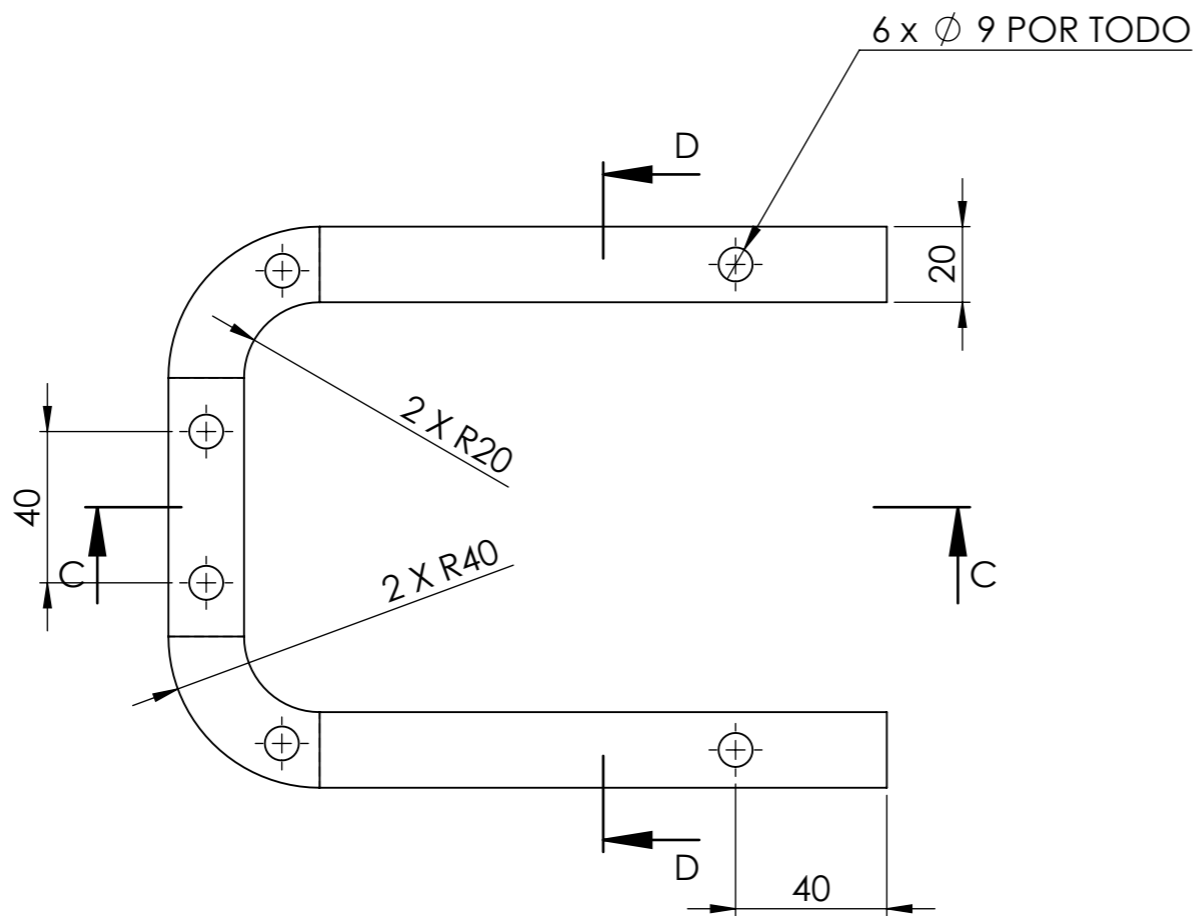
D

E

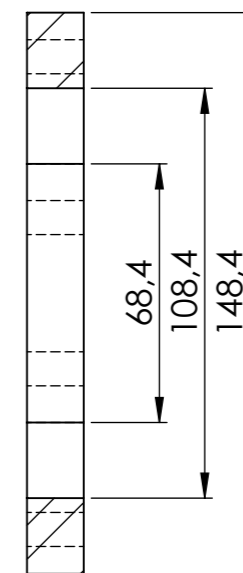


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

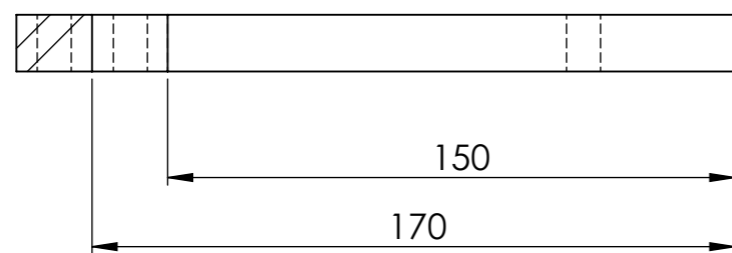
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0,315 Kg	Acero Inoxidable 316L	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 25/01/23	García Daniel		
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba	<p><b>ARO CILINDRO</b></p>	1:2
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



N8 LIMADO

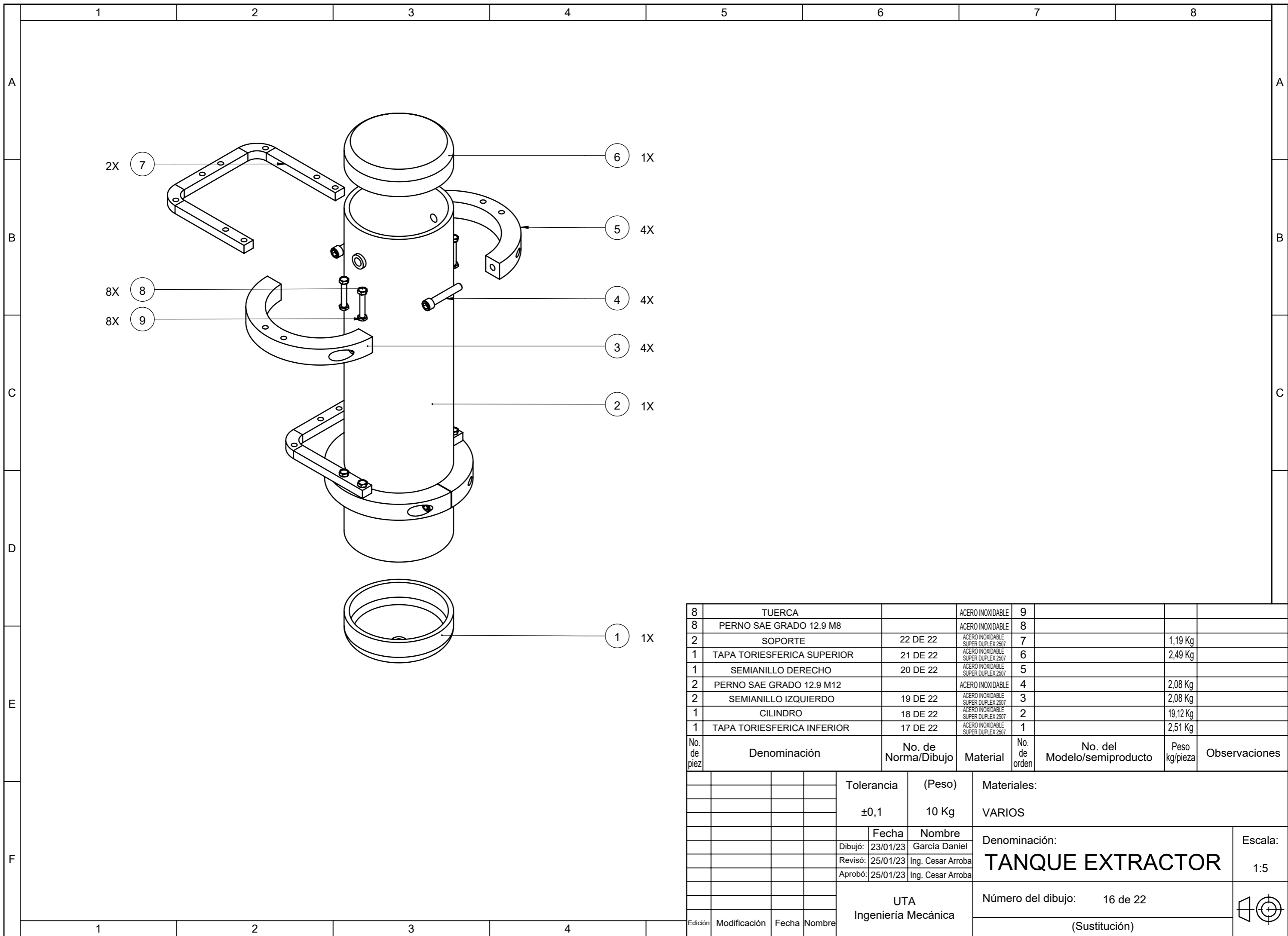


SECCIÓN D-D

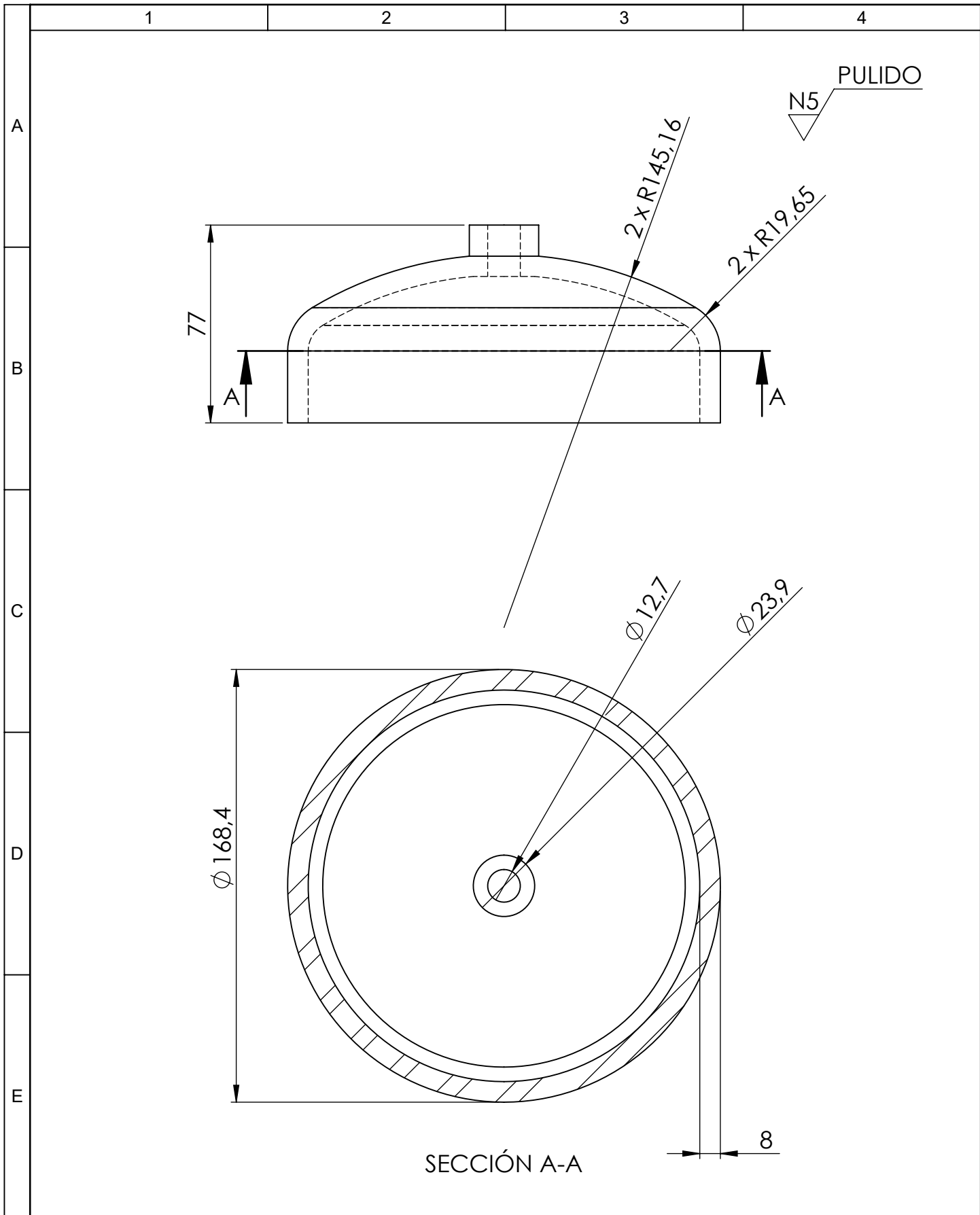


SECCIÓN C-C

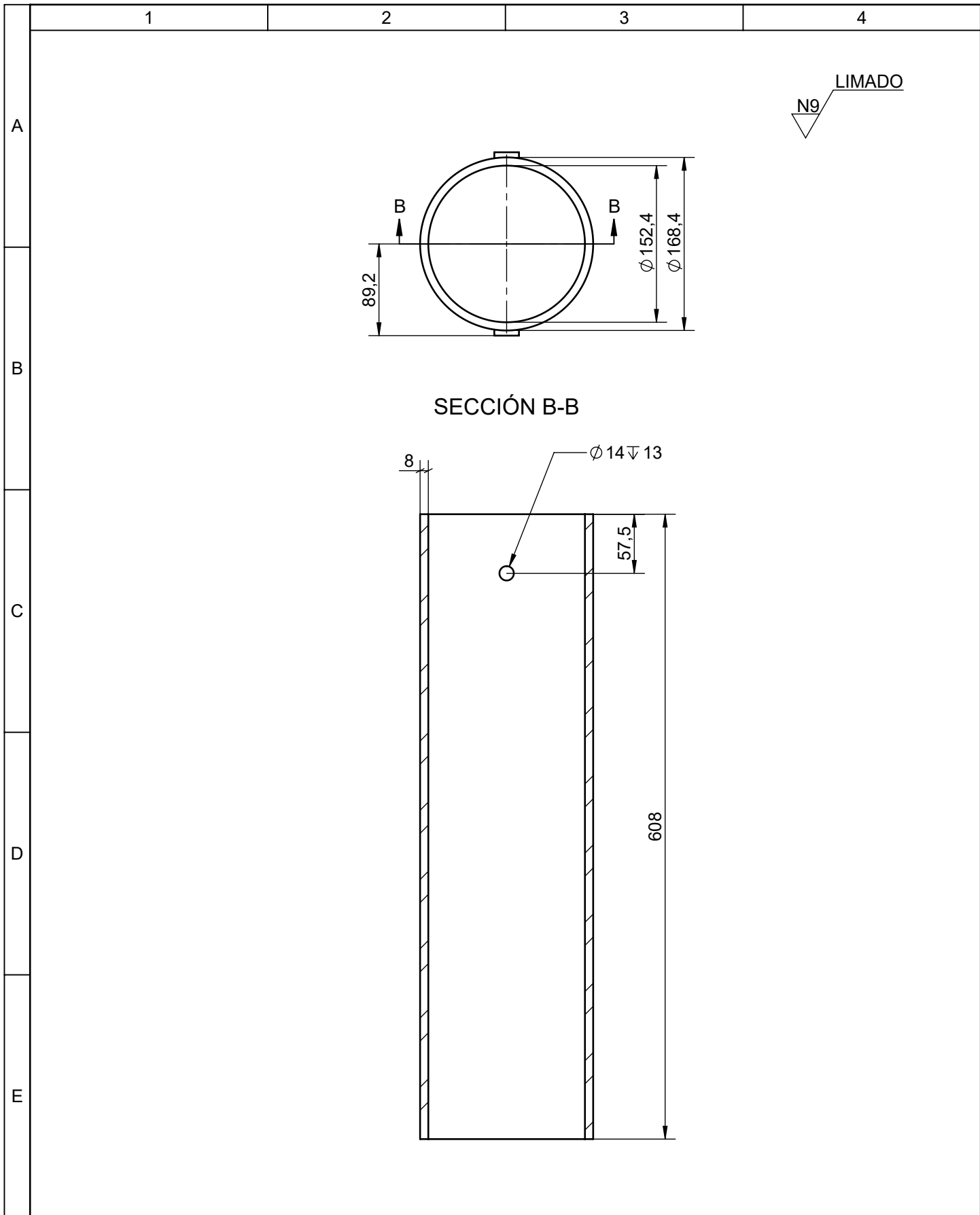
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1,02 Kg	Acero Inoxidable 316L	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	23/01/23	García Daniel	
				Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 15 de 22	
						(Sustitución)	



No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
8	TUERCA		ACERO INOXIDABLE	9			
8	PERNO SAE GRADO 12.9 M8		ACERO INOXIDABLE	8			
2	SOPORTE	22 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DUPLEX 2507	7		1,19 Kg	
1	TAPA TORIESFERICA SUPERIOR	21 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DUPLEX 2507	6		2,49 Kg	
1	SEMIANILLO DERECHO	20 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DUPLEX 2507	5			
2	PERNO SAE GRADO 12.9 M12		ACERO INOXIDABLE	4		2,08 Kg	
2	SEMIANILLO IZQUIERDO	19 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DUPLEX 2507	3		2,08 Kg	
1	CILINDRO	18 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DUPLEX 2507	2		19,12 Kg	
1	TAPA TORIESFERICA INFERIOR	17 DE 22	ACERO INOXIDABLE SUPER DUPLEX 2507	1		2,51 Kg	
Tolerancia		(Peso)		Materiales:			
±0,1		10 Kg		VARIOS			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 23/01/23		García Daniel		TANQUE EXTRACTOR			1:5
Revisó: 25/01/23		Ing. Cesar Arroba		Número del dibujo: 16 de 22			
Aprobó: 25/01/23		Ing. Cesar Arroba					
UTA Ingeniería Mecánica				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.52 Kg	Acero Inoxidable Super Duplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel	<b>TAPA TORIEFÉRICA INFERIOR</b>	1:2
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 17 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	19,12 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel	<b>CILINDRO SEPARADOR</b>	1:5
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 18 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



1

2

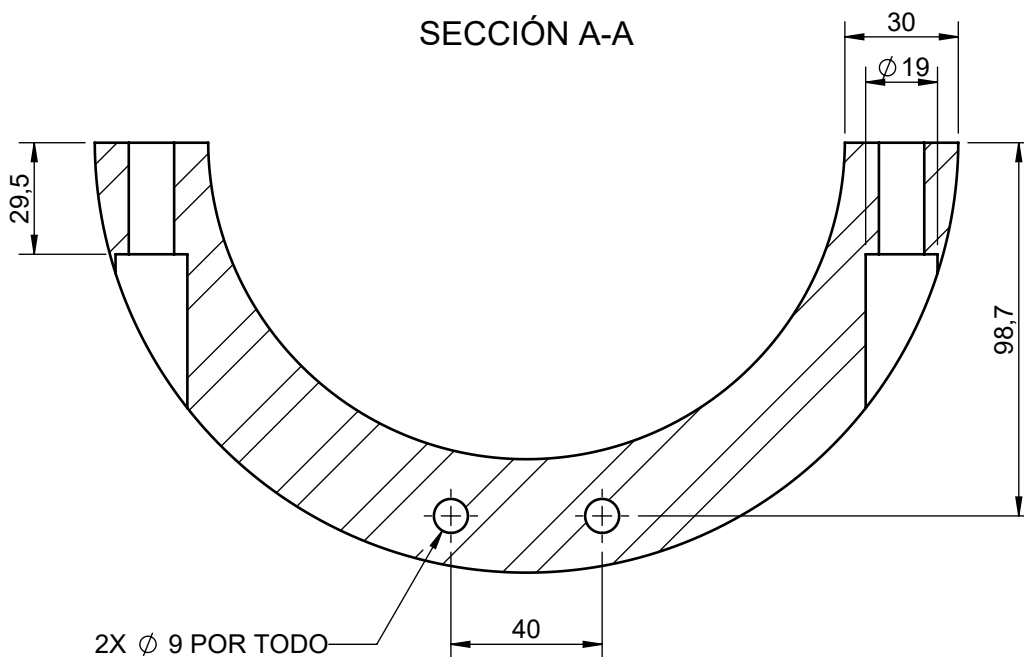
3

4

A

N9 LIMADO

## SECCIÓN A-A

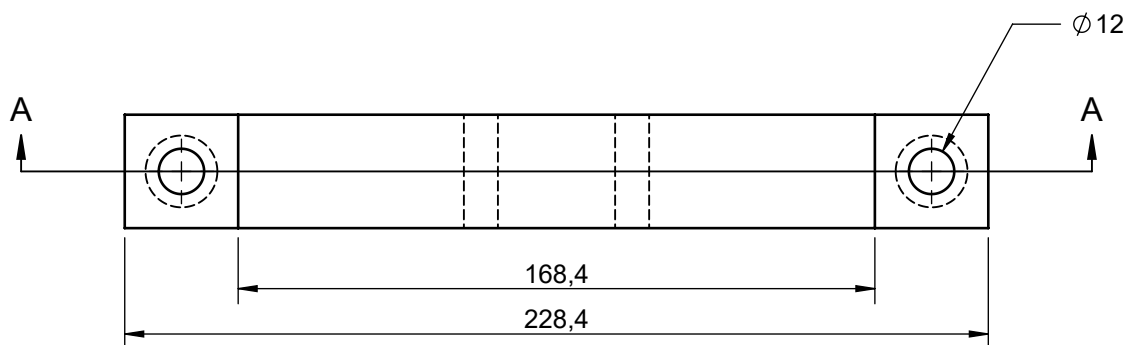


B

C

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2,08 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel	<b>SEMIANILLO IZQUIERDO</b>	1:2
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 19 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

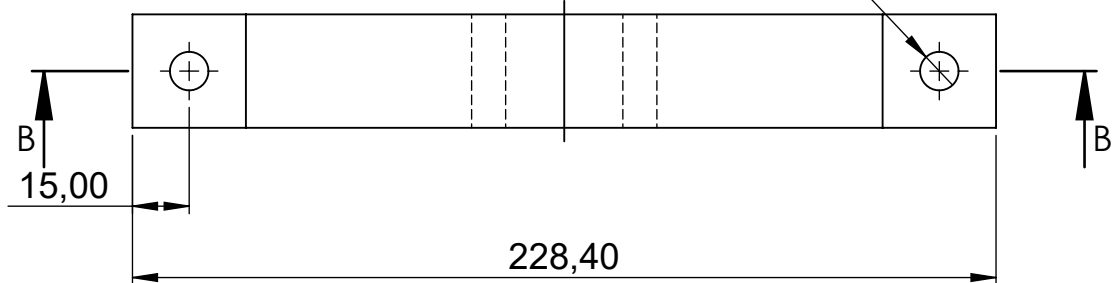
4

N9 LIMADO

A

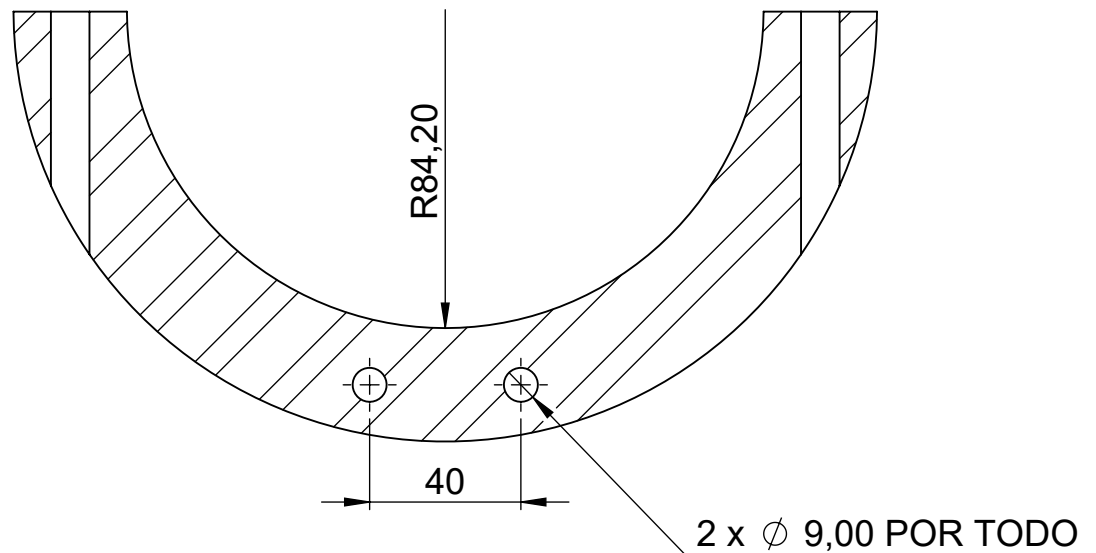
2 x  $\varnothing$  10,20 POR TODO

B



C

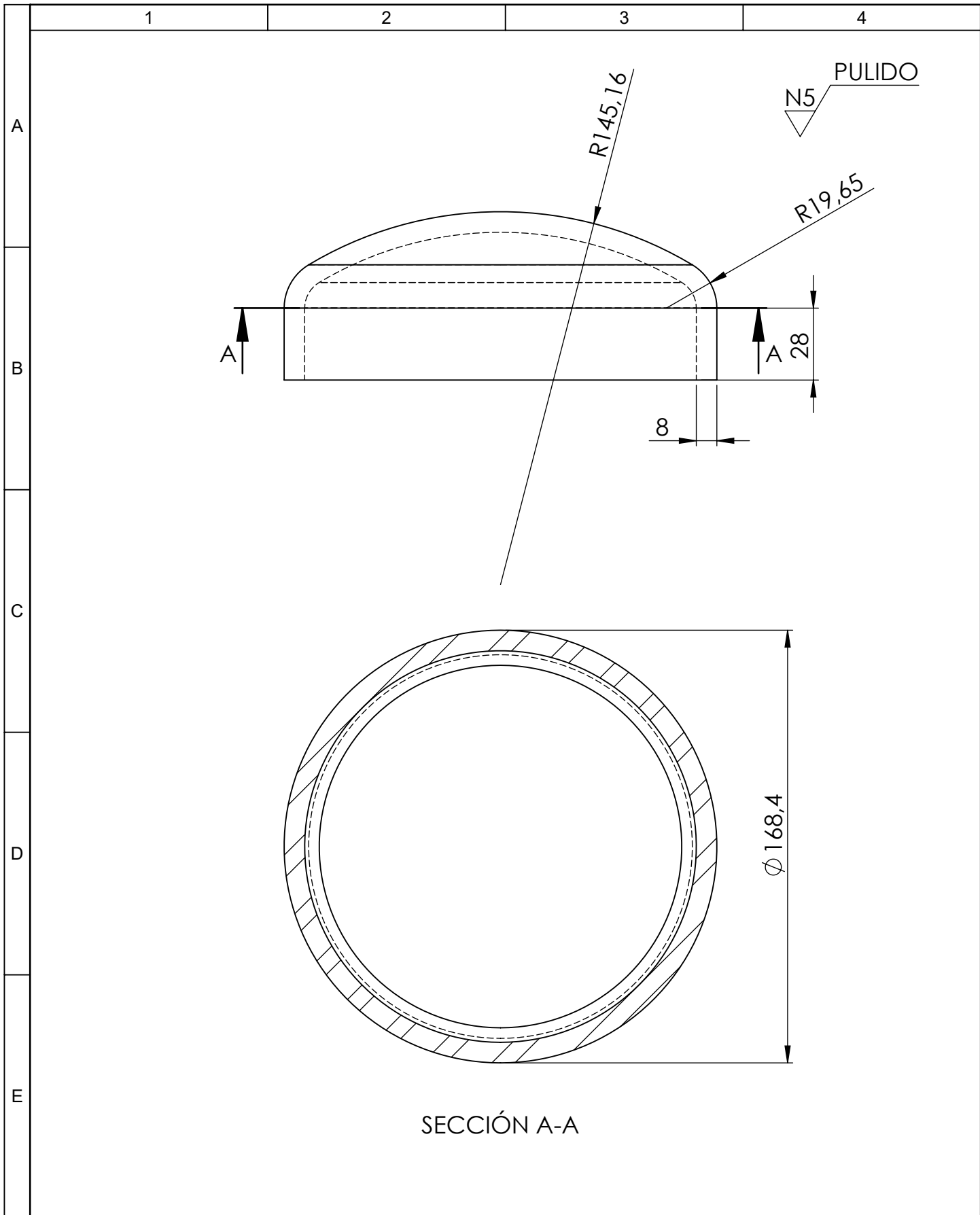
D



SECCIÓN B-B

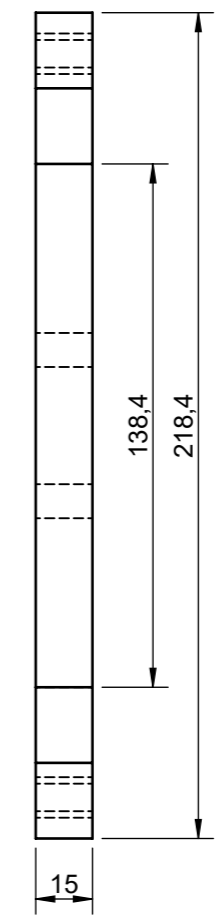
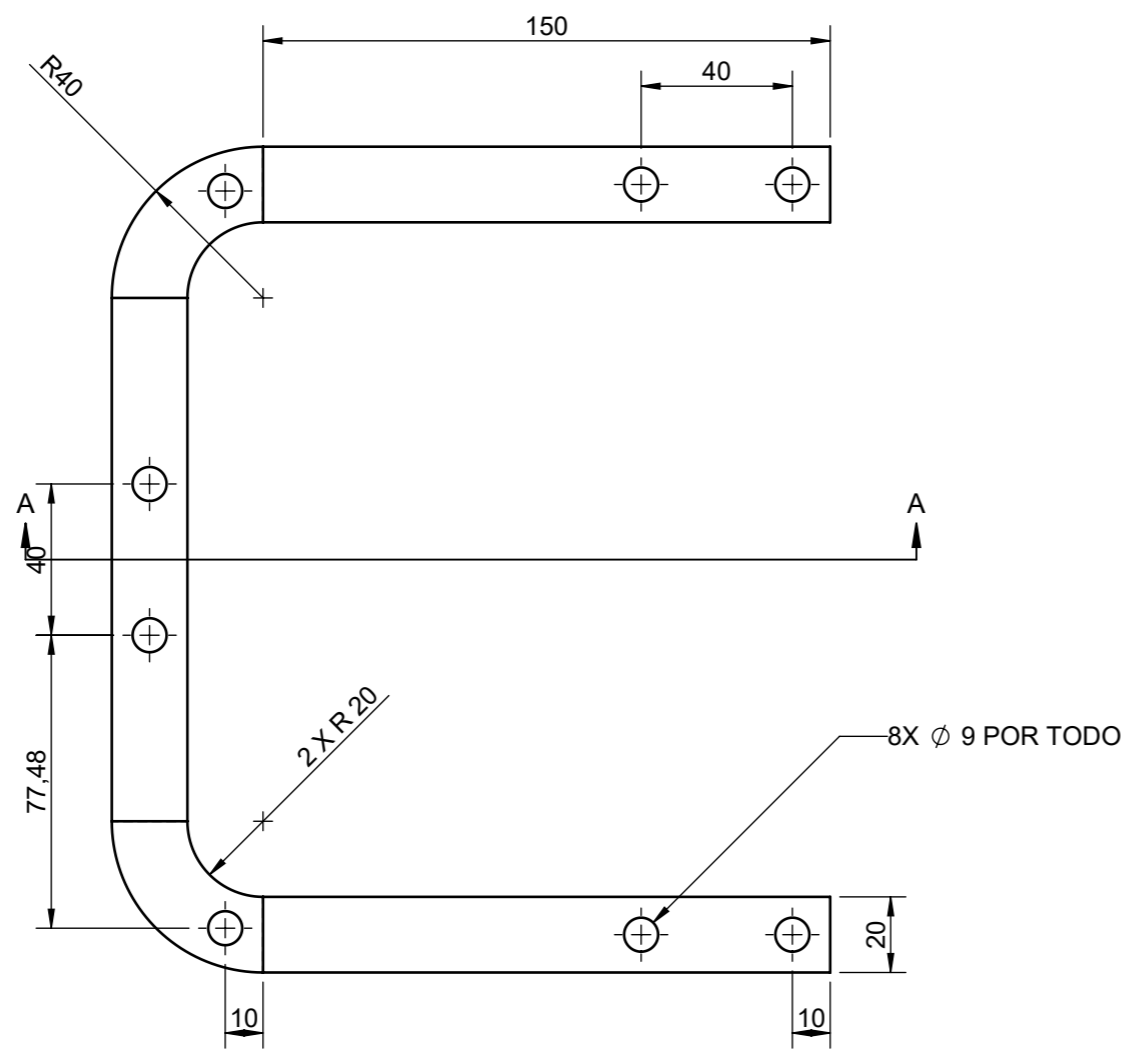
E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	2.08 Kg	Acero Inoxidable Super Duplex 2507	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>SEMIANILLO DERECHO</b>
				Dibujó:	24/01/23	García Daniel	
				Revisó:	24/01/23	Ing. Cesar Arroba	
					Aprobó:	24/01/23	Ing. Cesar Arroba
				UTA		Número del dibujo: 20 de 22	
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 1:2	



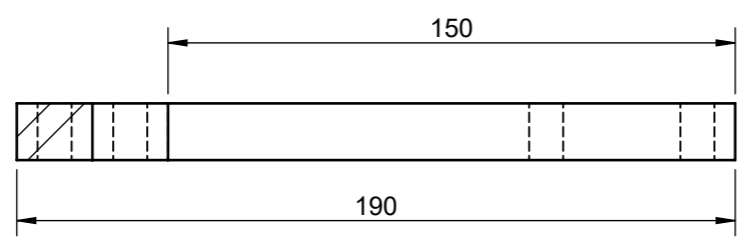
SECCIÓN A-A

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2,49 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/01/23	García Daniel		
				Revisó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba		
				Aprobó: 25/01/23	Ing. Cesar Arroba	<b>TAPA TORIESFÉRICA SUPERIOR</b> Número del dibujo: 21 de 22 (Sustitución)	1:2
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			



N8 LIMADO

SECCIÓN A-A



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1,19 Kg	Acero Inoxidable Súper Dúplex 2507	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	23/01/23	García Daniel	
				Revisó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	
				Aprobó:	25/01/23	Ing. Cesar Arroba	Escala:
				UTA Ingeniería Mecánica			
				Número del dibujo: 22 de 22			
				(Sustitución)			