

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN MOLINO DE PINES**

**SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, SISTEMA DE TRITURACIÓN, Y  
SISTEMA DE DESCARGA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**INTI ROLANDO CASCO YÁNEZ**

**DIRECTOR: MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA**

**DM, febrero 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, INTI ROLANDO CASCO YÁNEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**INTI ROLANDO CASCO YÁNEZ**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por INTI ROLANDO CASCO YÁNEZ, bajo mi supervisión.



---

**MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA**  
**DIRECTOR**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

**NOMBRE\_REVISOR1**  
**REVISOR1 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

**NOMBRE\_REVISOR2**  
**REVISOR2 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

INTI ROLANDO CASCO YÁNEZ

MARIO ALBERTO CESÉN ARTEAGA

## DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado a mis padres, José y Alegría, quienes siempre me brindaron su amor, apoyo, cobijo y nunca me dejaron que me rinda, por ese gran esfuerzo que hicieron por verme cumplir un sueño anhelado, que se hace realidad. Cada palabra de aliento que me dieron día a día en este largo camino dieron frutos.

A mis hermanos Rumiñahui, Rubén y Marco que siempre estuvieron presentes en este camino, por estar conmigo, gracias. A mi familia que, con sus consejos y palabras de aliento, siempre los lleve presente.

A mi pareja, que estuvo a mi lado día a día, con su apoyo incondicional, su colaboración, amor y cariño, gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero y profundo agradecimiento a mis padres que siempre estuvieron conmigo, a mis hermanos que pusieron su confianza en mí, a mi pareja que siempre supo cómo ayudarme en cada etapa de este largo camino, a todos ellos que nunca perdieron la fe de ver como llego a cumplir el sueño más anhelado e importante en mi vida.

Para mi profesor tutor Mario Cesén, quien me guio en cada fase de este trabajo, que gracias a sus recomendaciones permitieron la finalización del Trabajo de Integración Curricular.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Alcance .....	3
1.4 Marco teórico .....	3
Industria alimenticia.....	3
El molino .....	4
Sistema de alimentación.....	5
Sistema de trituración .....	5
Sistema de descarga .....	5
Tipos de molinos.....	5
Leyes de la molienda.....	9
Estado del Arte .....	14
Benchmarking.....	17
2 METODOLOGÍA.....	24
Matriz de calidad QFD .....	26
Análisis funcional .....	31
Evaluación y selección de alternativas .....	34
Matriz morfológica .....	45
Cálculos y selección de componentes.....	46
Dimensionamiento de la tolva de alimentación.....	46
Cálculo de la potencia del motor por medio de la teoría de Bond.....	58
Dimensionamiento del pin para la molienda .....	61
Dimensionamiento de ducto de descarga.....	98
3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..	102
3.1 Pruebas.....	102

3.2	Resultados .....	106
3.3	Conclusiones.....	109
3.4	Recomendaciones.....	110
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111
5	ANEXOS.....	116
	ANEXO I. Entrevista para la voz del usuario. ....	116
	ANEXO II. Propiedades de plancha y eje de acero inoxidable 304. ....	118
	ANEXO III. Coeficiente de fluctuación. ....	118
	ANEXO IV. Parámetros de diseño del eje. ....	119
	ANEXO V. Diferentes tamaños de malla y conversión de malla a micras. ..	123
	ANEXO VI. Norma DIN 6885 A.....	124
	ANEXO VII. Rodamientos SKF.....	125
	ANEXO VIII. Planos.....	126



## RESUMEN

El presente trabajo de Integración Curricular consiste en el diseño del molino pines y contiene componentes desarrollados Inti Rolando Casco Yáñez y por Edwin Amaguaña. Se realizó un estudio para determinar las características más importantes de los molinos, se consultó con una persona del medio para recabar información y determinar a través de criterios ponderados las alternativas más idóneas del molino. Con ello se procedió al diseño de cada uno de los componentes asignados y que son los siguientes: el sistema de alimentación, el sistema de trituración y el sistema de descarga. Se realizó el diseño de los siguientes elementos de cada sistema: La tolva tipo bandeja rectangular con regulador de caudal del material; los discos portan pines con pines de sección circular; y el ducto de transición para la descarga del material molido.

Debido a que las cargas que se aplican son relativamente bajas, para calcular los factores de seguridad se siguió el procedimiento de ingeniería en el diseño de los componentes, sin embargo, los factores de seguridad encontrados son altos, lo que por un lado garantiza la seguridad y el correcto funcionamiento del equipo. Cabe destacar que no hay una información específica para determinar la potencia y parámetros específicos de la máquina, por ello se tomó como referencia molinos similares y la molienda de maíz suave.

Para completar el diseño se elaboraron los modelos CAD de los elementos y su respectivo ensamblaje. El trabajo finalizó con la elaboración de planos de conjunto y despiece del molino de pines.

**PALABRAS CLAVE:** molino de pines, tolva, cámara de molienda, descarga, criba, granulometría.

## **ABSTRACT**

The present work of Curricular Integration consists of the design of the pin mill and contains components developed by Inti Rolando Casco Yáñez and Edwin Amaguaña. A study was carried out to determine the most important characteristics of the mills, a person from the environment was consulted to gather information and determine through weighted criteria the most suitable alternatives of the mill. The following elements of each system were designed: the rectangular tray-type hopper with a material flow regulator; the discs have pins with circular section pins; and the transition duct for the discharge of the ground material.

Since the loads applied are relatively low, the engineering procedure was followed to calculate the safety factors in the design of the components; however, the safety factors found are high, which on the one hand guarantees the safety and correct operation of the equipment. To complete the design, CAD models of the elements and their respective assembly were elaborated. The work ended with the elaboration of assembly and exploded drawings of the pin mill.

**KEYWORDS:** pin mill, hopper, grinding chamber, discharge, screen, granulometry.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El trabajo de diseño de un molino de pines constituye una actividad académica de integración curricular dividida en componentes. Unos componentes son desarrollados por el señor Edwin Amaguaña y los componentes desarrollados en el presente trabajo corresponden a Inti Rolando Casco Yáñez. Estos componentes son: sistema de alimentación, sistema de trituración y el sistema de descarga. Los detalles técnicos de cada componente se presentan en el capítulo de cálculos.

## *Sistema de alimentación*

El sistema de alimentación o módulo de carga permite almacenar temporalmente y dosificar la cantidad de producto a moler e ingresarlo hasta el área de molienda. Los parámetros que definen el diseño y construcción de los componentes de este módulo están dados principalmente por el material a ser molido, el volumen del trabajo de molienda y el uso final del molino. El elemento principal del módulo se denomina tolva.

Para el sistema de alimentación del molino del presente estudio se selecciona la tolva de forma rectangular con regulador de caudal del material que ingresa a la cámara de molienda por la gravedad y el ángulo de inclinación.

## *Sistema de trituración*

El sistema de trituración es el módulo que permite reducir el tamaño del material a ser molido. Existen diferentes sistemas para cada tipo de molinos. Entre los principales son: molino de martillos, de discos, de rodillos, de turbinas, de aspas y los de pines.

El presente trabajo desarrolló el diseño de un molino de pines para pulverizar el maíz. El módulo está compuesto de los siguientes componentes;

- Disco rotor. De acero inoxidable de grado alimenticio 304. Las dimensiones del disco giratorio ubicado al interior de la cámara son 20 cm. de diámetro por 1 cm de espesor. El disco rotor lleva 23 pines redondos de acero inoxidable de 55 mm de largo por 17 mm de diámetro, fijados con la suelda TIG. Como parte de la prueba de funcionamiento se debe realizar el balanceo dinámico para corregir el desbalanceo causado por carga desigual del material de suelda.
- Eje. De acero inoxidable de grado alimenticio 304. En el extremo interno de la cámara carga el disco giratorio porta pines. La mayor dimensión del eje queda fuera de la cámara de molienda. La tapa posterior de la cámara contiene ranura circular en línea con el eje para enquistar un retenedor; esta pieza a su vez está sujeta con

una lámina empernada contra la tapa. Luego viene la chumacera proximal, a continuación, un buje que encaja el cuerpo del eje y a continuación la chumacera distal y el eje finaliza con un chavetero en el extremo final para asegurar la polea de la banda que conecta al motor.

- Disco estator. De acero inoxidable de grado alimenticio 304. Las dimensiones del disco estator es de 20 cm de diámetro por 1 cm de espesor. Lleva 12 pines redondos de acero inoxidable de 55 mm de largo por 17 mm de diámetro, fijados con la suelda TIG. El disco está sujeta con 2 pernos a la tapa móvil. Este elemento, a más de configurar la estructura de la cámara de molienda, cumple la función de compuerta giratoria por medio de una bisagra en un extremo externo y permite acceder a la cámara de molienda. En el extremo opuesto externo contiene una abrazadera de montaje que se acopla al punto de anclaje en la tapa externa del rotor y asegura que la cámara quede cerrada totalmente.
- Pines. De acero inoxidable de grado alimenticio 304. Piezas cilíndricas colocadas de tal forma que no exista rozamiento entre ellas y el espacio de las órbitas giratorias entre los pines es menor a la dimensión menor del lado largo de la medida promedio del grano de maíz, gramínea referencial para los cálculos de granulometría.
- Criba o Tamiz. De acero inoxidable de grado alimenticio 304. Este componente y el rotor determinan los grados de grosor de los productos molidos. El diámetro de la abertura de los hoyos de la malla se diseña según la finura (granulometría) de la harina o polvo y de los materiales a moler. El molino del presente trabajo se diseña para pulverizar entre 2 a 50  $\mu\text{m}$ .

### *Sistema de descarga*

El ducto de salida de acero inoxidable de grado alimenticio 304. De la cámara de molienda sale el material molido expulsado por la fuerza centrífuga del aire, a través de un ducto de transición y una válvula mariposa que descarga el material molido en recipientes seleccionados por el usuario.

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar los sistemas de alimentación, molienda y descarga de un molino de pines.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar información académica, artículos, libros, tesis, etc., relacionado con el trabajo desarrollado.
2. Establecer las especificaciones.
3. Analizar alternativas y seleccionar la más conveniente.
4. Diseñar y seleccionar los elementos.
5. Elaborar modelo 3D, ensambles, planos de conjunto y despiece.

## **1.3 Alcance**

Este trabajo de integración de integración curricular comienza con la recopilación de la bibliografía para establecer la información necesaria relevante para el estudio del molino de pines, luego de lo cual se establecerán las especificaciones del molino y se propondrá, analizará y seleccionará el parámetro más adecuado y se procederá al diseño de los componentes de la trituradora, así como a la selección de los elementos de normalización necesarios. Una vez obtenido el diseño se procederá a la realización de un modelo 3D, así como montaje y elaboración de planos de montaje y desmontaje.

## **1.4 Marco teórico**

### **Industria alimenticia**

La historia registra las formas de alimentación de los seres humanos desde la antigüedad hasta la época contemporánea. La forma de preparar los insumos alimenticios ha variado con el transcurrir de los siglos por el desarrollo de los conocimientos y las aplicaciones tecnológicas. El ser humano prehistórico se alimentaba de forma directa de la mata a la boca. La antropología histórica narra que, en el periodo neolítico, aproximadamente cinco mil años A.C, datan vestigios de piedras talladas que fue utilizada para partir granos por fricción y presión entre una piedra base y otra piedra de menor tamaño en diferentes formas para generar rozamiento y moler frutos frescos y granos secos con las cuales variaban y mejoraban la calidad de los productos para la alimentación.

Desde la época del dominio del uso de los metales, aproximadamente 1800 años A.C, hasta 1500 D.C. [1]; los seres humanos han inventado diferentes aparatos mecánicos para moler. Los aparatos mecánicos llamados molinos que la historia registra, todas tienen un común denominador: su mecanismo de molienda funciona en base del movimiento circular

al que han adaptado ejes en diferentes posiciones y con componentes internos desde la piedra tallada hasta el uso del acero que fueron impulsados por la energía generada por variadas fuerzas desde los brazos el propio ser humano, otros traccionado por animales, movida por las corrientes de agua y del viento. Toda la inventiva y el esfuerzo buscaron el mejoramiento de la calidad de los productos alimenticios.

Siguiendo a Ataroma-Valdiviezo, la primera revolución industrial (1760-1840) protagonizada por Inglaterra, generó profundas transformaciones económicas, científicas y tecnológicas. Era la época de las luces. El invento que marcó el antes y después de la humanidad fue el diseño y construcción de motores a vapor y el motor de combustión interna. La genialidad de Thomas Davenport puso a mover máquinas con motor eléctrico en 1837 [1]. Todas las industrias del mundo habían encendido sus motores y la industria alimenticia no se quedó atrás. Efectivamente, los empresarios de la rama de producción de harina de trigo y los innovadores de la mecánica industrial mejoraron los componentes internos, aprovechando los nuevos conocimientos de la ingeniería mecánica, el desarrollo de las ciencias de los materiales, experticia en la aleación y uso de los aceros, que en conjunto facilitó la modificación, mejora e innovación de nuevos tipos de molinos que actualmente conocemos.

## **El molino**

Comenzamos con una pregunta acerca del significado del aparato mecánico que es objeto del trabajo de Integración Curricular. ¿Qué es un molino? La Página online de la Real Academia de la Lengua Española lo define en dos conceptos: “Máquina para moler, compuesta de una muela, una solera y los mecanismos necesarios para transmitir y regularizar el movimiento producido por una fuerza motriz, como el agua, el viento, el vapor u otro agente mecánico”. “Artefacto con que, por un procedimiento determinado, se quebranta, machaca, lamina o estruja algo” [2].

Los conceptos conducen a describir con propiedad las características del artefacto, de los mecanismos internos y de la fuente de energía, que mediante los procedimientos determinados accionan movimientos que conducen a cumplir la función de moler de ciertos cuerpos sólidos como las gramíneas secas, rocas u otros elementos sometidos al proceso de la molienda.

En el presente trabajo, a la máquina para moler enfocamos desde dos ángulos: una descripción general de sus características funcionales de la estructura general que es común a todos los tipos de molinos actuales y esta descripción constituirá en insumos para los estudios de ingeniería de detalle de todos los elementos internos de cada componente

funcional del molino objeto del presente trabajo. Para caracterizar el funcionamiento del aparato mecánico denominado molino, se considera los siguientes componentes funcionales:

### **Sistema de alimentación**

El sistema de alimentación es el puerto de entrada del material para ser molido. Sus componentes son la tolva que permite caer al material por efecto de la gravedad y la vibración estructural. Algunos sistemas de molinería reciben el material a través de transportador de tornillos sin fin y en otros sistemas mediante las bandas transportadoras.

### **Sistema de trituración**

El sistema de trituración es el componente central del molino. Los elementos internos de los cuales está constituido, diferencian en el destino del uso y crean los tipos de molinos como de martillos, de cuchillas, de bolas, de rodillos, de pines, etc. Los estudios de ingeniería determinan las características de los materiales, su estructura interna y el tamaño del molino.

### **Sistema de descarga**

Es el encargado de dosificar el material molido en recipientes de acuerdo a la necesidad del usuario, conforma por un ducto de transición que a su vez almacena cierta cantidad del material molido y la regulación de la dosificación es mediante una válvula mariposa.

### **Tipos de molinos**

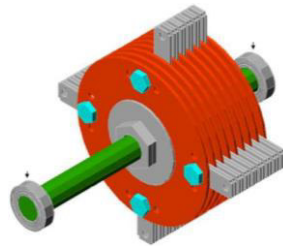
El componente del sistema de trituración es la que marca la diferenciación en cada tipo de molinos. Existen fuentes documentales como las tesis y las páginas de marketing de los tipos más conocidos de molinos que consideramos describir. Sin embargo, cabe destacar que no existe literatura técnica sobre el molino de pines que es objeto de nuestro estudio.

#### *De martillos*

Los elementos principales de la estructura del molino de martillo son:

- La tolva por donde ingresa los productos para la molienda. Este componente es construido en láminas de acero, en formato pendiente cuya boca de entrada al tambor de molienda posee una trampa que gradúa el volumen de entrada del material a moler. Estas tolvas generalmente se lo fabrican de planchas de acero A-36, sin embargo, el material depende de gran medida a la finalidad de uso del molino de bolas, ya sea: minería, alimenticia, etc.

- El sistema de trituración constituye el núcleo mecánico del molino. El conjunto de los componentes internos está constituido por eje principal en la que se carga los discos porta martillos y éstos a su vez contiene los pernos secundarios en las que están cargados los martillos y las arandelas de separación. Las cantidades y las dimensiones como las propiedades específicas con las que se construyen los componentes internos varían en función del tamaño del molino y el destino del uso final. El componente principal armado se observa en la siguiente imagen.



**Figura 1.** Esquema interior del molino de martillos. [3]

- El sistema de descarga está formado por la lámina de tamizado con perforaciones de distintos diámetros de acuerdo al tamaño de granulometría requerida para el producto final que sale del molino. Todos los componentes del molino de martillo son armados, según su tamaño, en estructuras metálicas que se construyen según las recomendaciones técnicas del diseño de la máquina.

#### *De aspas o cuchillas*

- El sistema de carga del material a moler depende por el tamaño de la máquina y el producto a moler. Los molinos grandes tienen tolvas especializadas y componentes adaptados según la capacidad del volumen de molienda, Por ejemplo, los molinos de reciclaje de botellas de plástico son cargados a través de bandas y por tornillos sin fin. Mientras que los molinos pequeños, la carga es manual o tienen tolvas con dosificadores para abastecer a la cámara de cuchillas por gravedad y a la medida.
- En el sistema de trituración, el componente principal es el eje porta cuchillas ubicada en la cámara de molienda. Este mecanismo, según el tamaño del molino y su destino de uso, pueden ser colocados horizontalmente y las cuchillas rotan en sentido vertical para moler los objetos por acción de corte y cizallamiento. En máquinas de formato pequeña y mediana, principalmente en fabricaciones de última generación, el eje es vertical y las cuchillas giran en sentido horizontal. Los molinos de cuchillas de tamaño grande son utilizados en la industria de reciclaje de plásticos, neumáticos, chatarrización y en la minería. Los molinos pequeños y



medianos son construidos con mayor sofisticación y automatización. Se utiliza en los laboratorios de investigación y en pequeñas empresas que muelen productos especiales como la combinación de cereales con frutos secos para obtener recetas alimenticias; en la medicina naturista muelen plantas medicinales y obtienen polvos ultra finos para aromatizar los ambientes de las habitaciones por medio de la combustión de polvos aromáticos clasificados.

- Los sistemas de salida tienen su propio diseño. En molinos industriales, los productos molidos se dirigen por bandas o en medios de transporte hacia grandes contenedores o a sitios de almacenaje. De los molinos pequeños el producto se recoge en recipientes especiales.



**Figura 2.** Molino vertical de cuchilla de rotación horizontal. [4]



**Figura 3.** Molino de eje horizontal de rotación vertical. [4]

#### *De bolas*

- La carga del material en un molino de bolas ocurre en el lado opuesto al de la salida del cilindro de molienda que también se los conoce como chancadora. Esta máquina es ampliamente utilizada en la industria minera. El diseño del lado de la alimentación del cilindro tiene sus características funcionales apropiadas y componentes específicos, tal que permita realizar la provisión de materiales a moler, con eficiencia y seguridad.
- El componente central que hace la acción de molienda es un cilindro de acero con dos tapas circulares. Una de las tapas, a más de proveer seguridad, cumple la

función de acoplar componentes para la carga del material y la tapa opuesta cumple la función de acoplar componentes de descarga del material molido.

- El cilindro tiene revestimientos interiores especiales para mitigar las fuerzas de degradación física-química ocasionada por la rotación en cascada de las bolas de acero, por el proceso de molienda del material, por los componentes químicos y el agua añadido para mejorar el proceso de disminución del tamaño original mayor—por ejemplo-, de las rocas hasta obtener gránulos finos. En la minería metálica, el producto obtenido de la molienda debe tener las características necesarias para ser sometido a los procesos de concentración del mineral buscado, es decir, el material debe ser apto para separar minerales por el método de flotación, gravimetría o por atracción magnética; y también, para el método de lixiviación con cianuro en el caso de la minería aurífera. Se debe indicar que existen diferentes diseños de molinos, por tanto, distintos sistemas de entrada y salida de materiales.
- El sistema de descarga del molino de bolas está ubicado en la tapa circular opuesta al del sistema de alimentación. Como en ésta última, tiene sus características funcionales apropiadas y componentes específicos, tal que permita manejar el material obtenido con seguridad y sin generar desperdicios.



**Figura 4.** Molino de bolas. [5]

#### *De pines*

- El sistema de alimentación de los molinos de pines está formado por la tolva construida en lámina de acero. Posee lámina dosificadora para graduar la entrada por gravedad de los productos para la molienda. El abastecimiento puede ser manual según la capacidad de carga de la tolva y de la fuerza del motor.
- La cámara de molienda de formato circular está hecha de dos componentes. Un disco circular giratorio con el eje acoplado a la polea de la banda que conecta con la polea del eje del motor que genera el movimiento. El disco giratorio tiene inserto en su cara anterior hacia la cámara circular, piezas de acero colocado previo diseño y cálculos de ingeniería, llamados pines y son las que dan origen al nombre del molino. El componente dos es la carcasa sólida diseñada y construida a manera de

bastidor de la puerta. Que en la práctica es la puerta de abertura de la cámara de la molienda. Esta estructura también contiene pines y están ubicados en puntos y alineación circular opuesta al de los pines del disco fijo giratorio. La cantidad de pines, su lugar de ubicación y el tipo del material depende del estudio de ingeniería y el uso proyectado. La granulometría depende del diámetro y formas de los orificios de la malla de cribado. Si la malla es fina, se obtendrá harina fina.

- El sistema de descarga está ubicado en la parte inferior de la cámara de molienda, A medida que se criba, la harina fluye por gravedad y es recogida en los recipientes de uso común. Los molinos de tamaño mediano poseen uno o dos respiradores para regular la presión interna del aire generado por la alta velocidad giratoria del disco con los pines.



**Figura 5.** Molino de pines semiindustrial. [6]

### **Leyes de la molienda**

El enfoque técnico de las leyes de la molienda se basa en dos principios fundamentales: el uso de la energía por unidad de masa sometida al proceso de molienda y cómo ésta produce un cambio físico al material original de entrada; matemáticamente se puede plantear como una función de la ley de la potencia, atendiendo al tamaño de las partículas resultantes del proceso, a cuyo modelo se los conoce como la teoría de la ley general de ruptura de los materiales [7].

Sea la función:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{K}{x^n}$$

**Ecuación 1.** Ley general de la ruptura de los materiales. [7]

Donde:

E = energía

K = constante del material

X = tamaño de la partícula (diámetro)

Esta expresión conocida como la teoría de la ley general de la ruptura es el modelo que sirve para interpretar teorías particulares de las leyes de molienda expuesta por los siguientes autores.

*Von Rittinger*

Conocida como la Ley de Rittinger. Su postulado explica que la energía que se necesita para reducir los tamaños de un cuerpo sólido (granos secos) es proporcional al cambio físico del área superficial del material sometido a la molienda. El razonamiento fue que, si muele un material, la energía que se necesita para moler debería tener una relación con la nueva superficie resultante de la molienda [7], [8].

Su deducción matemática explica así:

$$m_1 = N_1 \rho_p k_v X_1^3$$

**Ecuación 2.** Masa inicial. [7]

$$m_2 = N_2 \rho_p k_v X_2^3$$

**Ecuación 3.** Masa final. [7]

Donde:

$k_v$  = factor de forma del volumen a moler. Si la partícula es esférica:  $k_v = \pi/6$

$N_1, N_2$  = materiales o partículas antes y después de la molienda.

Los materiales o masas de entrada y de salida del molino son iguales, se plantea la siguiente deducción:

$$N_2 = N_1 \frac{X_1^3}{X_2^3}$$

**Ecuación 4.** Relación entre masas. [7]

La nueva superficie de las partículas resultante del proceso de la molienda puede calcularse con los datos de la superficie áreas inicial y final. El cual se representa con la siguiente ecuación para el área inicial:

$$S_1 = N_1 k_s X_1^2$$

**Ecuación 5.** Superficie inicial. [7]

$$S_2 = N_2 k_S X_2^2$$

**Ecuación 6.** Superficie final. [7]

Donde:

$k_S$  = factor de forma de superficie. (En caso de área esférica:  $k_S = \pi$ )

Resulta el área generada:

$$S = N_2 k_S X_2^2 - N_1 k_S X_1^2$$

**Ecuación 7.** Área generada. [7]

Reemplazando la ecuación 4 en 7 se obtiene la nueva expresión:

$$E' = \frac{m_1}{k_{v\rho p}} k_S \left\{ \frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right\}$$

**Ecuación 8.** Energía consumida. [7]

Y finalmente estamos en condiciones de calcular la energía consumida por la unidad de masa molido planteada por Rittinger.

$$E = \frac{E'}{m_1} = \frac{k_S}{k_{v\rho p}} \left\{ \frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right\} = C_R \left\{ \frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right\}$$

**Ecuación 9.** Consumo de energía de Rittinger. [7]

En resumen, la Ley general de ruptura de Rittinger presenta con la siguiente ecuación, cuando (n=2).

$$\frac{dE}{dx} = \frac{K}{x^2}$$

**Ecuación 10.** Ley general de ruptura de Rittinger cuando n=2. [7]

El autor explica que cuando el material a moler no es homogéneo, para los cálculos debe utilizarse los diámetros medios con la siguiente expresión: ( $X_{NS}$ ).

En situación real de molienda y especialmente cuando es pulverización, se requiere mayor energía al de los índices de los cálculos y para este fin, la explicación del autor ayuda para realizar aproximaciones confiables para el diseño de la estructura del molino y de la potencia del motor.

*Kick (1885).*

En la teoría de su segunda ley de fragmentación determinó que la energía que se requiere para que ocurra cambios iguales en los materiales cuyos tamaños y formas geométricas son similares, es proporcional al volumen de esos materiales a moler. En otros términos, la energía requerida para moler un material debe ser proporcional a la reducción del tamaño, en comparación al tamaño de los cuerpos de entrada [7], [8].

Entonces:

Tamaño inicial.  $X_1$

$$X_2 = X_1 - \Delta X$$

**Ecuación 11.** Tamaño final de fragmentación. [7]

Desde otra explicación, la energía es proporcional a:

$$\Delta E \propto \frac{\Delta X}{X}$$

**Ecuación 12.** Proporción de la energía. [7]

Cuando el límite para  $\Delta X$  tiende a 0 (cero), lleva a la ecuación de Kick que es equivalente a la ley general de rotura presentada en la ecuación 1 del presente capítulo.

$$\frac{dE}{dx} = \frac{k}{x}$$

**Ecuación 1.** Ley general de rotura de los materiales. [7]

Integrando la ecuación 13 se obtiene:

$$E = K \cdot \ln \left\{ \frac{X_1}{X_2} \right\}$$

**Ecuación 13.** Ley de rotura de Kick. [7]

La ecuación de Kick explica que con la misma cantidad de energía se puede moler partículas finas (10  $\mu\text{m}$  a 1  $\mu\text{m}$ ) o gránulos gruesos como las rocas (de 1 m a cubos de 10 cm) [7]. En la realidad no es posible principalmente cuando muele hasta pulverizar, debido a la presencia de sobremolienda, es decir, no presenta uniformidad de la granulometría final que existe en el proceso de moler o triturar. Se afirma que el cálculo buena aproximación cuando es para obtener materiales gruesos en la salida del molino [7], [8], el cual no es una ecuación referente para el caso del molino de pines, del trabajo actual.

*Fred Bond (1952)*

El postulado del Bond se fundamenta en el Índice de Trabajo (en inglés WI: word index). El **WI** toma en cuenta la energía necesaria por unidad de masa por moler un material de tamaño infinito y convertir en un tamaño de 100 micrones [7], [8].

La deducción matemática expresa que la energía consumida para reducir el tamaño en una proporción de 80 % de cualquier material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño 80 %, y que esta porción de material molido es igual a la abertura del tamiz expresada en **micrones** por donde pasa el 80 % en peso de las partículas finales que sale del molino. Bond presenta su ecuación de la siguiente manera [8]:

$$E = W_I \frac{10}{\sqrt{x_2}} - \frac{10}{\sqrt{x_1}}$$

**Ecuación 14.** Ley de bond. [7]

Donde:

$X_2$  y  $X_1$  Representan el tamaño de tamiz leída en micrones por donde pasa el 80 % de material que entra y sale del molino.

$W_I$  Es el parámetro Índice de Trabajo de Bond. Representa la energía necesaria, por unidad de masa, capaz de moler un material seco de cualquier tamaño hasta obtener un tamaño (polvo) de 100 micrones [7].

La ecuación de Bond representa la Tercera Ley general de la ruptura y expresa de la siguiente forma:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{K}{x^{1.5}}$$

**Ecuación 15.** Tercera ley de Bond. [7]

En general, la ecuación de Bond es la mejor fórmula matemática para representar el cálculo de la molienda por cuanto permite aproximar a indicador razonable para materiales gruesos y finos que se quiera obtener.

Como conclusión del análisis de las leyes de molienda, se asume que la ecuación de Bond es la que mejor cohesiona los cálculos iniciales y permite medir la eficiencia mecánica del molino de pines que es el objeto del estudio del presente trabajo, debido además a la revisión bibliográfica, que la energía consumida por los molinos de impactos se los

determina con la ecuación de Bond, no siendo la más exacta, sin embargo, es la expresión que más se acerca a la realidad del comportamiento del molino de pines.

### *Granulometría*

El término granulometría es definido por la Real Academia de la Lengua Española como “Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos” incluido polvo [9].

En el lenguaje técnico de la ingeniería es conocido como número de malla. Para la interpretación se utiliza la tabla de tamiz estándar, el cual tiene escalas en función del número de malla y el tamaño de las aberturas (puntos) en el área de cribado. Existen diferentes mallas para distintos propósitos de cribado de tantos y cuantos materiales finales se quiera obtener del proceso de la molienda.

La función de la malla es graduar el tamaño de grano del material que ingresa a la cámara de la molienda. Los gránulos mayores a la abertura de los puntos de la malla estarán expuestos a las fuerzas mecánicas de la rotación de los pines, hasta que todo el material de cámara sea pulverizado.

El molino del presente trabajo acoplará mallas en el rango de 20 hasta 150. La razón de la selección se debe a que, en el procesamiento de los granos para la alimentación humana, se requiere obtener productos pulverizados. Las mallas seleccionadas permiten alcanzar ese objetivo del trabajo de molienda.

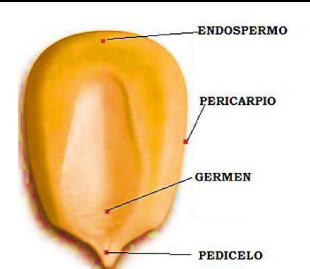
### **Estado del Arte**

La molienda es parte fundamental en la cadena de la industria alimenticia, entendida ésta en su acepción más amplia que fabrica productos que se destinan al consumo humano y de los animales. El campo del conocimiento en la cual sustenta la ingeniería de alimentos es la Bromatología. La Real Academia de la Lengua Española lo define como “Ciencia que trata de los alimentos” [2]. Otra fuente en Web lo define así: *“Bromatología es una parte de la ciencia que estudia en profundidad todo lo relativo a los alimentos en cuanto a su composición, nutrientes y otras sustancias, características fisicoquímicas, cualidades organolépticas (sabor, olor, textura, aspecto, color, etc.), características y comportamiento en cuanto a producción, manipulación, elaboración, conservación e incluso en cuanto a aspectos sanitarios. El conocimiento que proporciona la bromatología es imprescindible para el desarrollo de aspectos como la nutrición, para conocer los efectos beneficiosos o perjudiciales de alimentos o ingredientes alimentarios sobre el organismo, la calidad y la seguridad alimentaria, etc.”* [10].



Las investigaciones físico-químicas y de cualidades organolépticas muestran que los cereales contienen diferentes propiedades nutricionales en función de las partes de cada tipo de grano. El punto de partida de los procesos industriales con granos secos es la molienda. La calidad y la clase de productos de molinaje dependen del tipo de molino utilizado. Si la harina de maíz va a ser parte de una composición de una receta nutricional específica, el típico molino de discos de piedra no obtiene harinas integrales, porque una parte importante de composición del maíz (pericarpio y endospermo) principalmente es desechada en el tamizaje como subproducto afrechillo. La explicación lo demostramos en el siguiente gráfico.

**Tabla 1.** Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz en porcentajes. [11]

	Componente químico	Partes fundamentales en %		
		Pericarpio	Endospermo	Germen
	Proteínas	3.7	8.0	18.4
	Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
	Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
	Cenizas	0.8	0.3	10.5
	Almidón	7.3	87.6	18.3
	Azúcar	0.4	0.6	10.8

Material constituyente de un grano de maíz, se puede apreciar en la tabla 2, donde se tabula los porcentajes de materiales constituyentes de un grano de maíz.

**Tabla 2.** Material constituyente del maíz. [12]

Constituyentes	Porcentaje
Agua	13.5
Proteína	10.0
Aceite	4.5
Almidón	61.0
Azúcares	1.4
Pentosanos	6.0
Fibra cruda	2.3
Otras sustancias	1.3

Características nutricionales de maíz se encuentra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Valor nutritivo del maíz. [12]

Parámetros	Porcentaje
Almidón	75.0
Proteína	7.68
Fibra	2.46
Grasa	5.0
Ceniza	1.65

Contenidos de macronutrientes en el maíz suave en 100 gramos, se muestra a continuación.

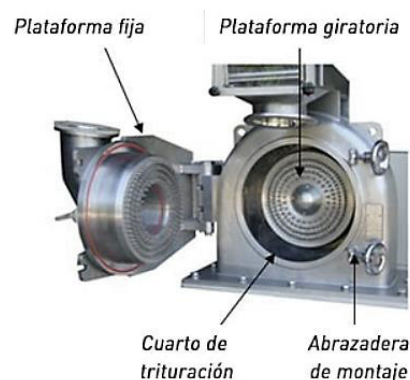
**Tabla 4.** Contenido macronutrientes en el maíz suave. [12]

<b>Macronutrientes</b>	<b>Porcentaje</b>
Energía	4.1
Proteína	10.2
Grasa	4.2
Carbohidratos	81.5

La tecnología en el desarrollo de la mejora de los molinos apunta a maximizar el aprovechamiento total de los componentes nutritivos utilizando en la molienda el molino de pin. Esta maximización se logra al pulverizar totalmente el material constituyente de los granos del maíz y se integra al consumo con el cien por ciento de las características nutricionales y sus macronutrientes. En el ámbito comercial, la harina de maíz integral será muy competitivo por su contenido nutritivo y por la textura de una harina muy fina que facilita la asimilación en el sistema digestivo del consumidor y abrirá nuevos nichos de mercados de productos alimenticios integrales en crecimiento a nivel mundial gracias a la nueva cultura en la demanda de alimentos saludables y con composiciones químicas específicas. Según la FAO, el consumo per cápita de maíz en Ecuador es alrededor de 14.5 Kg/año [13].

Para atender el requerimiento de harinas integrales de un solo cereal o la combinación de variedades de cereales, la ingeniería mecánica ha diseñado molinos de pines por su capacidad de pulverización mediante la fuerza de impacto y la propiedad de centrifugado que muele toda la carga ingresada a la cámara de molienda. En el mercado mundial se puede encontrar distintos modelos de molinos de pines, de diferentes tamaños y marcas destinados para el uso de laboratorios y para el uso en la industria de alimentación humana.

Los molinos de pines tienen la siguiente estructura general:



**Figura 6.** Molino pulverizador de pines. [8]

La fabricación de molinos de pines en Ecuador aún es artesanal y se construyen bajo pedido. Mientras en el contexto externo existen líneas de fabricación en series que cumplen las normas ISO TC 293 [14].

Para el presente trabajo se selecciona cuatro modelos de molinos de pines que se describen en los siguientes capítulos.

### **Benchmarking**

La industria de alimentos procesados con la materia prima de origen agrícola ha tenido crecimiento sostenido durante la última década. La línea de harina de cereales tiene importante volumen de participación en la fabricación de alimentos. A pesar de ello, la tecnología de procesamiento de harinas sigue estancada y con tendencia a desaparecer los servicios de molinaje a pequeña y mediana escala. El fenómeno es visible en los sectores rurales y en las pequeñas ciudades y en las zonas periféricas a las grandes urbes como Quito y Guayaquil. Los tradicionales lugares de molino de discos de piedra ya no existen. Algunos factores explicarían el fenómeno. La industria de alimentos utiliza en sus líneas de producción materia prima importada que satisfacen los requerimientos para obtener productos finales de calidad y de aceptación del consumidor. La siguiente hipótesis se enfoca a la variable cultural de los consumidores. En efecto, la olla familiar tradicional ya no es preparada con insumos alimenticios hechos en casa. Las familias urbanas se abastecen de los elementos de la canasta básica en los supermercados, mercados populares y tiendas del barrio. Aproximadamente el 50 % de los componentes de la canasta básica alimentaria de las familias rurales dependen de los productos procesados y de los mercados de las ciudades [15]. En medio del panorama de masificación de los productos alimenticios procesados en las grandes y pequeñas industrias, ha surgido con mayor énfasis, la propuesta disruptiva de consumir alimentos naturales nutritivos para una vida sana que mitiguen los problemas de obesidad; patologías causadas por culturas alimentarias nocivas que dañan temprano el cuerpo humano. La respuesta desde las ciencias de la nutrición recomienda alimentos naturales que nutran al cuerpo sin trastocar el sistema natural metabólico del organismo. Esta tendencia está calando en la conciencia de la humanidad, gracias a la filosofía de la sustentabilidad y la sostenibilidad de los recursos naturales del planeta Tierra. En el contexto tecnológico y de la ingeniería, tanto alimentaria como de la mecánica, son retos urgentes a responder a las expectativas de las nuevas formas y criterios de la alimentación humana. La respuesta debe incluir en el análisis la calidad del molino, el tamaño, la composición de los materiales, la fuente de energía y el precio final de la máquina. La creciente tendencia cultural de consumo responsable es una oportunidad para ofrecer productos integrales con la combinación de

varios cereales a partir de harinas pulverizadas. Al no existir una industria local de fabricación de molinos de pines, el presente trabajo realiza la comparación por el método de enfoque externo. Para ello ha seleccionado los siguientes modelos de molinos, considerando el criterio de que todos los molinos de pines poseen tres grandes componentes mecánicos que caracterizan el modo de funcionamiento para pulverizar el material sometido a la molienda. Estos son:

1. La velocidad de rotación del componente rotor.
2. La cantidad y la forma de los pines en los componentes rotor y en el componente estator.
3. El diseño de la salida del flujo del aire en función de la presión generada en la cámara de la molienda por el efecto de la velocidad del componente rotor y la rotación de los materiales dentro de la cámara.

Del cálculo de estos factores depende el control de granulometría del producto final de la harina pulverizada. Los materiales utilizados en la construcción del molino deben satisfacer las normas de control de calidad para la línea de equipos de procesamiento de alimentos para humanos. A continuación, el análisis comparativo de los modelos de molinos de pines seleccionados.

*Molino de pines. Importadora LA COBACHA. Ecuador.*



**Figura 7.** Molino Pulverizador Eléctrico Granos Especias. [16]

Es un molino de procedencia china. No cuenta con variador de velocidad ni otros automatismos. Funciona directamente encendido-apagado. El precio es asequible para proyectos de emprendimientos o de uso microempresarial. Ideal para moler maíz y otros cereales. Estas son las características principales del molino.

**Tabla 5.** Características generales y técnicas del modelo de competencia 1. [16]

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>DATOS</b>
Procedencia	China
Fabricante	Power Bull
Modelo	XH-15
Material	Metal
Medidas	Largo: 27 cm. Ancho: 25 cm. Alto: 40 cm.
Energía	220V/60Hz
Potencia	2200 W
Peso	13 kg.
Color	Amarillo
Capacidad	60-80 kg/h
Velocidad	2800 rpm
Sistema de molido	Pines
Precio en el mercado	\$ 450,00

Ventajas:

- Muele cualquier grano seco.
- Se obtiene buena calidad de harina.
- El componente estator que sirve de compuerta es seguro.
- El cierre de la cámara de molienda es seguro para evitar la fuga de polvillos de harina.
- El peso favorece la movilidad para transportar de un lugar a otro.
- El precio es asequible para los emprendimientos individuales.

Desventajas:

- Los componentes del molino no cumplen las normas ISO respecto del uso del material. Los equipos industriales para la fabricación de alimento humano deben ser de acero inoxidable.
- No tiene variador de velocidad para graduar la calidad y tipo de harinas.
- Necesita realizar adaptaciones mecánicas en la tolva de entrada y en la boca de salida.
- Encendido directo, no cuenta con un control para el arranque del motor.

*Molino de pines Importadora COARA-Ecuador*



**Figura 8.** Molino de pines. [17]

El fabricante informa en el catálogo promocional que el molino es recomendado para moler maíz y otros granos. La pulverización ocurre dentro de la cámara de molienda. Es un equipo compacto y liviano para transportar. Es de fácil mantenimiento.

**Tabla 6.** Características generales y técnicas del modelo de competencia 2. [18]

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>DATOS</b>
Procedencia	China
Fabricante	Empresa Trading
Modelo	GM-100
Material	Acero inoxidable
Medidas	480x520x1040 mm
Energía	110 – 220 V
Potencia	2.2 kW
Peso	80 kg
Color	Plateado
Capacidad	30 – 700 kg/h
Velocidad	1450 rpm
Sistema de molido	Pines
Precio en el mercado	\$ 730.00

Ventajas:

- Muele granos secos, azúcar, café.
- El rango de pulverizado 20 – 200 (malla)
- Sistema constructivo compacto.
- Material de acero inoxidable.
- El peso favorece la movilidad para transportar de un lugar a otro.

- El precio es asequible para microempresas.

Desventajas:

- Está ubicado en la ciudad de Jiansu China.
- El costo de importación actual es caro y variará el precio final de la máquina.

*Molino de pines. Importadora PORTAL DEL CAMPO. CHILE*



**Figura 9.** Molino de pines 2HP harinero. [19]

Es un molino para moler maíz y otros granos, incluido café, frijoles y arroz. La cámara de molienda contiene tres dientes planos y seis dientes redondos. Genera alta calidad harina pulverizada. Contiene malla de cribado de 0.8 hasta de 2 milímetro.

**Tabla 7.** Características generales y técnicas del modelo de competencia 3. [20]

CARACTERÍSTICAS	DATOS
Procedencia	China
Fabricante	
Modelo	Power Classic
Material	
Medidas	
Energía	Monofásico
Potencia	1.5 W
Peso	
Color	Amarillo
Capacidad	50 a 100 kg/hora
Velocidad	2800 rpm
Sistema de molido	Pines
Precio en el mercado	\$ 456.23

Ventajas:

- Muele maíz, frijoles, trigo, arroz y otros granos secos. También muele papas deshidratadas, panela, frutas secas y frescas; pimientos y hierbas medicinales.

- El rango de pulverizado 0.8 a 0.02 mm (malla)
- Sistema constructivo compacto.
- Material de acero inoxidable.
- El peso permite mover a brazo a la máquina de un lugar a otro.
- El precio es asequible para microempresas.

Desventajas:

- No presenta detalles del fabricante.
- Es de origen China.
- El anunciante es una empresa importadora chilena.
- El costo de importación directa actual es caro y variará el precio final de la máquina aun importando desde Chile.

*Mill POWDER TECH.*



**Figura 10.** Pin mill. [21]

Esta máquina tiene la capacidad de pulverizar cualquier tipo de material. Por la característica de intercambiabilidad de los componentes internos, se puede graduar la obtención de productos con diferentes tamaños de gránulos hasta el polvo fino de 40 – 100 (mesh). Presenta un separador de objetos metálicos en la tolva de alimentación, para garantizar el material molido. Además, cuenta con un sistema de control, para el encendido, la regulación de las velocidades, además, en el mismo panel de control, cuenta con



indicadores de tensión de cada fase. El sistema de descarga se encuentra por el costado del molino.

**Tabla 8.** Características generales y técnicas del modelo de competencia 4.

CARACTERÍSTICAS	DATOS
Procedencia	EE. UU
Fabricante	Mill POWDER TECH
Modelo	PM-1
Material	Acero inoxidable
Medidas	500–560–1300 mm
Energía	
Potencia	2 HP
Peso	
Color	Plomo
Capacidad	20 – 50 kg/h
Velocidad	3500 rpm
Sistema de molido	Pines
Precio en el mercado	

Ventajas:

- Pulveriza cualquier tipo de material sometido a la molienda.
- El rango de pulverizado 40 a 100 mm (malla)
- Sistema constructivo compacto.
- Material de acero inoxidable.

Desventajas:

- No presenta información del precio.
- Por tamaño es una máquina estacionaria.
- El costo de importación directa actual es caro y variará el precio final de la máquina aun importando desde Estados Unidos de Norte América (Filadelfia).
- La estructura de la máquina no incluye el motor.

## 2 METODOLOGÍA

Un trabajo de investigación tiene su valor intrínseco cuando sigue los lineamientos ya prescritos en la metodología de la investigación científica divulgada por varios tratadistas. Según Artigas, existen cuatro clases de trabajos científicos: “la investigación, en la que se busca obtener nuevos conocimientos; la sistematización o síntesis de conocimientos ya adquiridos; la transmisión de los conocimientos, o sea, los modos de expresar los métodos y resultados científicos, y la aplicación o utilización de los conocimientos en vistas a resolver los problemas científicos” [22]. El presente trabajo se inscribe en la aplicación o utilización de los conocimientos científicos y tecnológicos existentes en el contexto internacional sobre el tema de la construcción de molinos de pines y utilizar los conocimientos investigados para desarrollar la ingeniería nacional para el diseño y fabricación de molinos de pines hecho en Ecuador.

Ubicado el presente trabajo en el contexto de la investigación científica, es necesario explicitar brevemente la epistemología de los métodos de la investigación. En efecto, para Azuero, el marco metodológico “es el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio, esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema,…” [23].

El enfoque metodológico para describir el tema del presente trabajo, diseño de un molino de pines, se selecciona el método hipotético-deductivo. El paradigma del método deductivo encamina el análisis desde lo general a lo particular, pudiendo utilizar como insumos los datos y fuentes documentales y lleva a obtener conocimientos objetivos aplicables a la solución de los problemas específicos. El método hipotético-deductivo tiene correlación directa con el paradigma de la investigación científica cuantitativa y determina sus lineamientos operativos desde la lógica empírica-deductiva. Es decir, fundamentar los conocimientos a partir de las observaciones de la realidad, la sistematización de los datos e informaciones generadas por otros autores. De la organización y sistematización de la información documental depende la construcción del marco teórico.

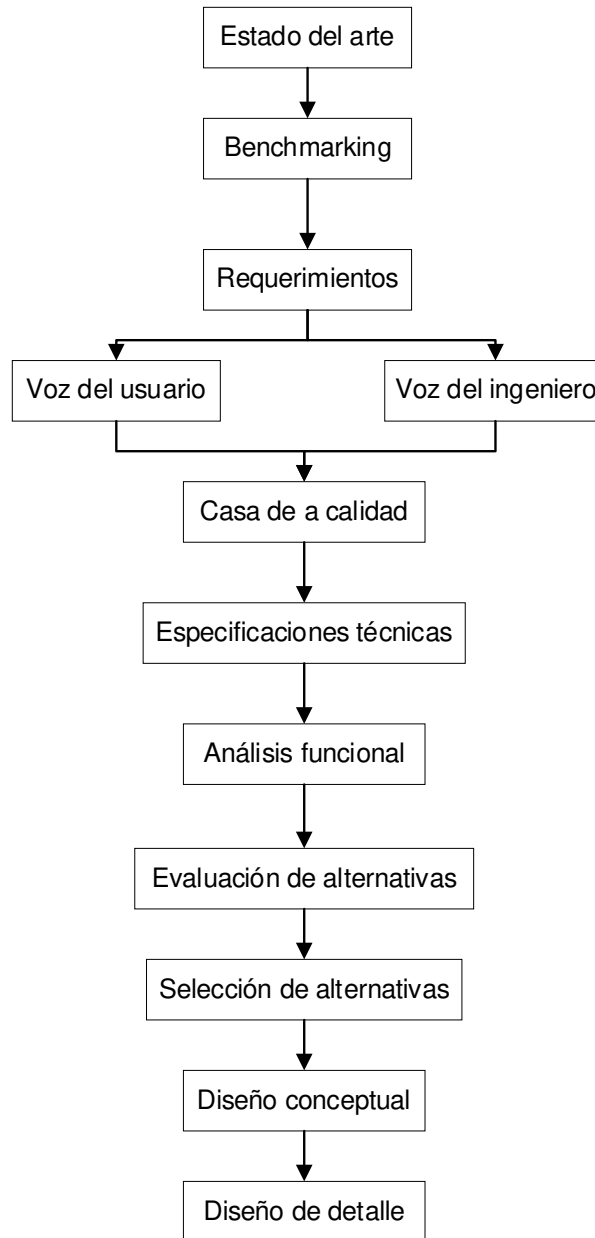
El trabajo, objeto de este estudio, en el contexto general se inscribe en el campo de la investigación científica cuantitativa. No obstante, de ello, el trabajo tiene orientaciones metodológicas propias marcadas por el objetivo general y los objetivos específicos que responden a los lineamientos académicos en el marco del trabajo de integración curricular de la carrera de ingeniería mecánica; lo descrito implica diseñar una metodología

específica. Además, la adaptación del proceso metodológico para la formulación del trabajo está dada por la disponibilidad de fuentes documentales relacionadas con el diseño y construcción de molino de pines y por la especificación de los componentes a estudiar en el presente trabajo. En estas líneas es oportuno citar a Artigas, “los métodos persi no dan resultados: siempre es necesario utilizar la creatividad y recurrir a las interpretaciones” [22].

La información bibliográfica relativa al molino de pines se buscó directamente en la red mundial de datos, aprovechando los conocimientos de búsqueda de información en Web adquiridos en la modalidad de estudios académicos vía telemática. Para la búsqueda se categorizó en los siguientes tipos de documentos: tesis, papers, promocionales de marketing de los molinos de pines y entrevista directa a un emprendedor que opera un molino pulverizador de fabricación nacional. Cabe destacar que, en el ámbito nacional, en cuanto a documento académico relacionado, únicamente se encontró una tesis de construcción de molino de pines para pulverizar fertilizantes en el repositorio de la Escuela Politécnica del Litoral ESPOL de la ciudad de Guayaquil. (ESPOL). En el ámbito internacional no fue posible localizar documentos académicos y técnicos relativos a los molinos de pines. En el grupo de documentos promocionales de marketing, la Web mundial mostró mayor cantidad de publicidad originada en la República Popular de China y en Estados Unidos de Norte América.

Se ha podido realizar la observación directa del funcionamiento del molino pulverizador de turbina para granos secos y en las informaciones de la entrevista al propietario del “Comercial Bodegranos”, señor Juan Casco Casco, ubicado en la parroquia de San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Los documentos de marketing sustentan el desarrollo del marco teórico. Las informaciones técnicas de los promocionales se utilizan para realizar los análisis de alternativas y la selección de un modelo que presenta la información mundial y que sirve para definir el prototipo final del presente trabajo. Las descripciones en detalle, las informaciones técnicas junto a cada imagen contienen el marco teórico del presente trabajo.

Además, para el presente trabajo se desarrollan el análisis del diseño concurrente, comenzando desde la casa de la calidad, especificaciones técnicas, análisis funcional, selección de alternativas de cada módulo que se obtiene a partir del análisis de energías y señales que ingresan a cada módulo, diseño conceptual sin dimensionamiento definido y finalmente un diseño a detalle con las características de medida y material, especificaciones de los componentes que definan el producto final, que es un molino de pines, En la figura 11 se muestra un diagrama de flujo de la metodología a usar para el diseño del molino de pines.



**Figura 11.** Diagrama de flujo de la metodología a usar para el diseño del molino de pines.

### **Matriz de calidad QFD**

Todos los estudios de ingeniería orientados al diseño de máquinas requieren analizar las posibilidades técnicas y las expectativas de los potenciales usuarios del molino de pines para pulverizar el maíz. El equipo, por ser parte de la maquinaria de procesamiento de alimentos humanos, deberá superar las regulaciones de ARCSA (Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria), eficiencia en la pulverización del maíz, precio competitivo en el mercado, la durabilidad, un funcionamiento simple, seguro y de fácil mantenimiento. En la configuración de la matriz de calidad, intervienen la voz del usuario y la voz del ingeniero que deben ser al menos una por cada requerimiento del usuario.

### *La voz del usuario*

La voz del usuario se describe en base a la entrevista directa al señor Juan Casco. El entrevistado es propietario de un molino pulverizador de turbina hecho en la ciudad de Ambato, fabricado por la empresa INTECMAQ, ubicados en la ciudad de Ambato. Su expectativa es entregar al cliente de la molienda, polvos de alta calidad y de diferentes tamaños granulométricos. Con el nuevo pulverizador, el emprendimiento comercial proyecta implementar la mejora continua en la atención a los clientes, aumentar el volumen y diversificar los productos pulverizados, entregar los pedidos en menor tiempo y aprovechar al máximo la capacidad de trabajo de la máquina. Manifiesta que su proyecto inmediato con el nuevo equipo pulverizador es crear suplementos nutricionales a base de polvos de cereales con maíz como materia prima principal. Manifiesta que el molino pulverizador no podrá superar la certificación de ARCSA, por cuanto los componentes en contacto con el procesamiento de pulverización no están fabricados en acero inoxidable, tal como exige la entidad reguladora sanitaria.

### *La voz del ingeniero*

El ingeniero está en capacidad técnica para valorar las expectativas del usuario del molino que desea entregar al cliente final, granos pulverizados de alta calidad, en menor tiempo; aumentar el volumen de pulverización; la voz técnica propone la incorporación del molino de pines a la empresa comercial con el fin de alcanzar las expectativas del usuario.

**Tabla 9.** Expectativas del usuario y la respuesta técnica del ingeniero.

<b>Voz del usuario (sus expectativas)</b>	<b>Voz del ingeniero (respuestas técnicas)</b>
Tamaño pequeño	Dimensiones
Fácil mantenimiento	Componente accesible
Baja vibración	Diseño robusto
Que sea seguro	Seguridad al operador
Muela lo requerido	Velocidad
Precio asequible	Material
Bajo consumo	Potencia
Que no genere mucho polvo	Hermético
Que sea ergonómico	Ergonómico
Capacidad de procesamiento adecuado	Capacidad
Moler materiales suaves	Dureza del cereal

La casa de la calidad transforma las expectativas del usuario del molino de turbina que tiene en su posesión, en respuestas técnicas a través de la incorporación del molino de pines para cumplir las expectativas de la atención al cliente y diversificar el portafolio de comercialización de los productos del Comercial Bodegranos.

### *Análisis de competencia*

Para el análisis de competencia se toma en cuenta las diferentes máquinas que se realizó el estudio del benchmarking, debido a la complejidad del dimensionamiento y disposición de los pines, se centra en el análisis de los cuatro molinos de similares características de funcionamiento. Todos los molinos que servirán como puntos de análisis son de procedencia extranjera, si bien los comercializan en algunas localidades del país, son máquinas que han sido importadas, en la mayoría de casos desde China, por ello no cumplen con la normativa de funcionamiento en el país.

**Tabla 10.** Máquinas en el mercado seleccionadas como competencia para la casa de la calidad.

<b>COMPETENCIA 1</b>	<b>COMPETENCIA 2</b>	<b>COMPETENCIA 3</b>	<b>COMPETENCIA 4</b>
MODELO: XH-15	MODELO: GM-100	MODELO: Power Classic	MODELO: PM-1

### *Correlaciones*

Se otorga una valoración aproximada de los requerimientos técnicos necesarios para responder al listado de las demandas de los usuarios finales. Para integrar la matriz de la casa valor, se utiliza la simbología geométrica y su correspondiente valor cuantitativo [24].

**Tabla 11.** Correlaciones de la casa de la calidad.

<b>Grado de relación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor numérico</b>
FUERTE	●	9
MEDIANO	○	3
DÉBIL	▽	1
NULO		0

### *Compromisos técnicos*

Explican las relaciones de las características de calidad que conforman el techo de la matriz, organizados en cuatro niveles representados por cada símbolo. La relación positiva indica que, cuando mejora una característica mejora la otra; la relación negativa demuestra que, al mejorar una empeora la otra. La relación es nula cuando no existe la influencia entre las mismas [24].

**Tabla 12.** Simbología de los compromisos técnicos.

<b>Compromiso</b>	<b>Simbología</b>
Positivo	+
Negativo	-
Nula	

# Diagrama de la casa de calidad

**Correlations**

- Positive +
- Negative -
- No Correlation

**Relationships**

- Strong ●
- Moderate ○
- Weak ▽

**Direction of Improvement**

- Maximize ▲
- Target ◊
- Minimize ▼

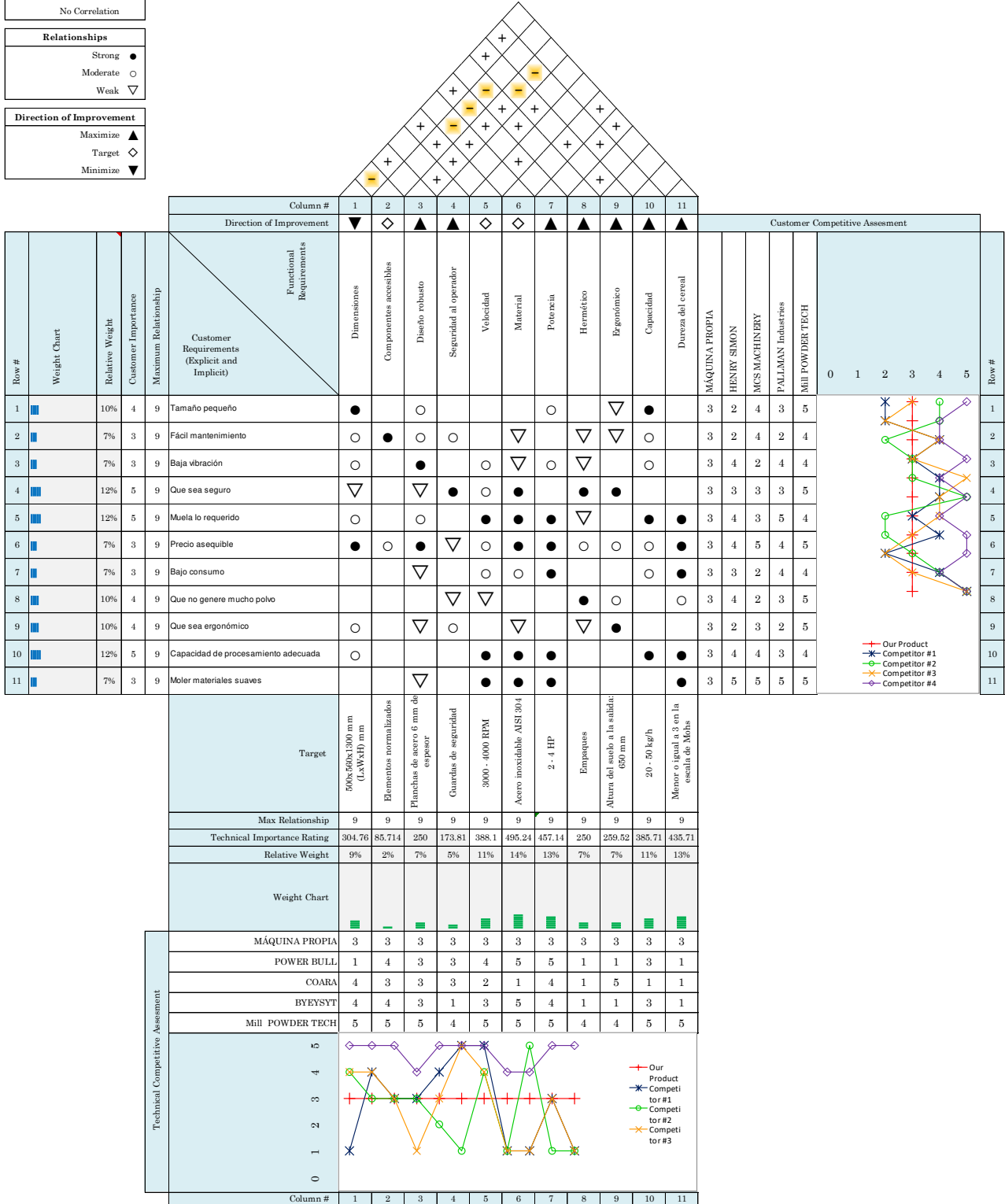


Figura 12. Matriz de la casa de calidad.

### *Resultados de la casa de la calidad*

Posterior al análisis de las expectativas y las necesidades expresadas por el usuario y que han sido respondidas por la voz técnica del ingeniero, cuyos datos constan en el diagrama QFD, permiten identificar los requerimientos más relevantes a tomarse en cuenta en el diseño del molino de pines. A continuación, los resultados:

- El diseño del molino de pines está orientado para el uso en la industria alimenticia humana. Esta es la razón por el cual, el diseño y el uso de los materiales constructivos del equipo debe observar las normas NTE INEN-EN 1672-2, a fin de que pueda superar las regulaciones sanitarias del ARCSA.
- Los productos nutricionales requieren granulometrías de hasta dos micras, lo cual necesita que el motor del equipo tenga entre 3000 a 4000 RPM.
- La cámara de la molienda será construida en acero inoxidable AISI 304 y la estructura externa en acero negro mayor a 6 mm de grosor.
- Reducción de riesgos de contaminación al aislar el contacto de las manos del operario con el flujo del proceso de pulverización desde la entrada de los materiales hasta la salida del polvo.
- Los materiales son calculados para diseñar un equipo robusto, seguro, durable y liviano.
- Reducción de riesgos laborales al diseñar molinos de fácil operación y limpieza, funcionamiento semiautomático y con componentes de seguridad.

### *Especificaciones Técnicas*

Los detalles técnicos del producto del trabajo es el resultado subsiguiente de la culminación de los estudios de la casa de calidad. Las especificaciones técnicas constituyen la matriz que guía el diseño de las dimensiones tentativas, componentes, materiales, potencia requerida entre otros del molino de pines.

Se muestra en la tabla 13 como alternativa de la casa de calidad, los requerimientos del cliente y aplicando los criterios ingenieriles, de la casa de la calidad, se pueden obtener las especificaciones técnicas del molino de pines, mismas que se presentan en la tabla con los parámetros o concepto (lo que debe tener la máquina), quien propone (generalmente el cliente C o ingeniero I), requerimiento o deseo y la descripción del concepto en análisis.



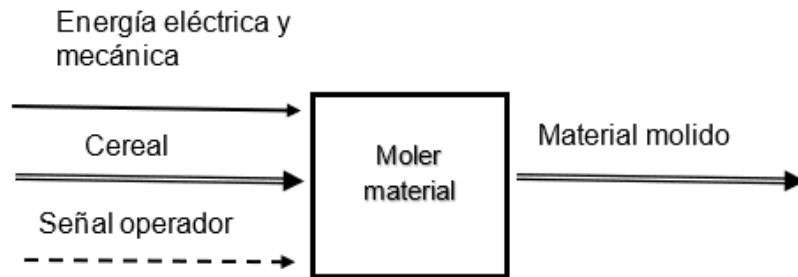
**Tabla 13.** Especificaciones técnicas.

<b>Empresa/ cliente:</b>		<b>Producto:</b> Diseño de un molino de pines	Fecha inicial: 08-11-2021	
EPN			Última revisión: 07-01-2022	
<b>Diseñadores:</b>			Página: 1/1	
Inti Casco Edwin Amaguaña				
<b>Especificaciones</b>				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
<b>Dimensiones</b>	12-07-2021	I	R	Las dimensiones standard para esta capacidad de maquina son de: 500x560x1300 [mm]  Altura de la salida del producto como mínimo 450 [mm]
<b>Potencia</b>	12-07-2021	I	R	Potencia mínima requerida: 2 [HP]
<b>Material</b>	12-07-2021	I + C	R	Acero de inoxidable de grado alimenticio tipo 304
<b>Regulación de velocidad</b>	12-07-2021	I	R	Velocidad de molienda en un rango de 3000 a 4000 [rpm]
<b>Capacidad de molienda</b>	12-07-2021	I + C	R	Molienda de 50 a 100 [Kg/h]
<b>Dureza del cereal</b>	12-07-2021	I	D	Una dureza menor o igual 4 en la escala de Mohs
<p><b>Propone:</b> I=Ingeniería, C=Cliente</p> <p><b>R/D:</b> R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimiento</p>				

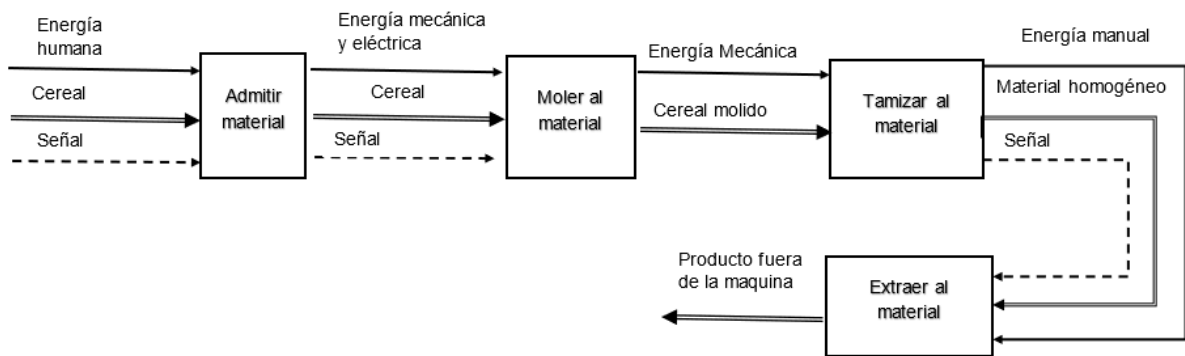
### **Análisis funcional**

El producto final del trabajo es el diseño de modelos 3D, ensamblajes, planos de conjunto y despiece de un molino de pines centrado en los módulos de alimentación del material (tolva), procesamiento del material (cámara de molienda) y salida del material (sistema de descarga). El producto final que se pretende con el molino es la pulverización del maíz, lo

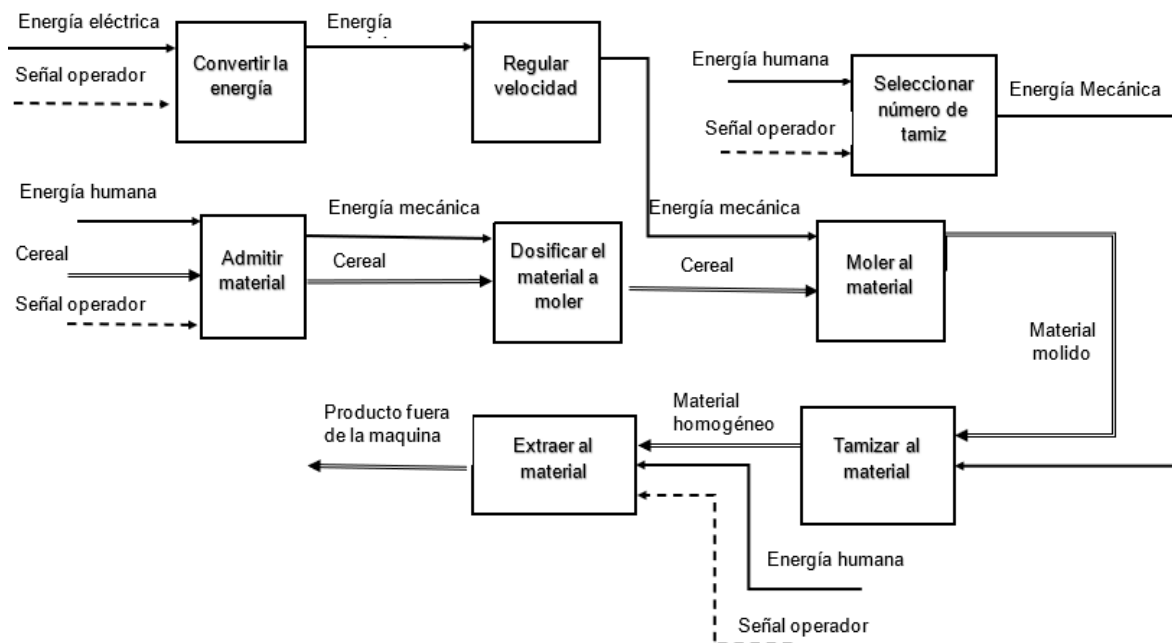
cual se consigue con el correcto funcionamiento de cada uno de los módulos del molino. La secuencia funcional de los módulos se presenta en los siguientes diagramas de flujo.



**Figura 13.** Diagrama funcional del Nivel 0 de la máquina.



**Figura 14.** Diagrama funcional del Nivel 1 de la máquina.



**Figura 15.** Diagrama funcional del Nivel 2 de la máquina.

El diagrama funcional de la máquina ha llegado hasta el nivel 2, volviéndose muy complicado el llegar a un nivel superior dada la relativa facilidad de las funciones a desarrollar, además de no contar con elementos de control automático. El nivel 0 corresponde a la función global de la máquina, la cual consiste en que un operario (energía manual) encienda la máquina movida por un motor eléctrico, regula la velocidad y coloca el tamiz. A continuación, el operario carga el material a moler en la tolva, dosifica la caída por gravedad del material antes del ingreso a la cámara de molienda donde ocurre el proceso de pulverización por golpes contra los pines.

En la fase final del proceso, el material tamizado homogéneo es expulsado fuera de la cámara por la presión del aire y sale a través del ducto para ser recogido por el operario utilizando fundas o mangas de tela. Cabe destacar que, al no presentar mecanismos de control automático, la única señal en el sistema será la puesta en marcha y apagado por parte del operario.

### Modularidad

Para el molino de pines, se han establecido tres módulos con las funciones fundamentales para lograr el objetivo, El módulo 1 funciona de manera independiente y sólo necesita la intervención del operario. El módulo 2 depende de los resultados del módulo 1 y su trabajo es completamente semiautomático. El módulo 3 también depende de los resultados de su módulo anterior y una importante interacción del componente humano.

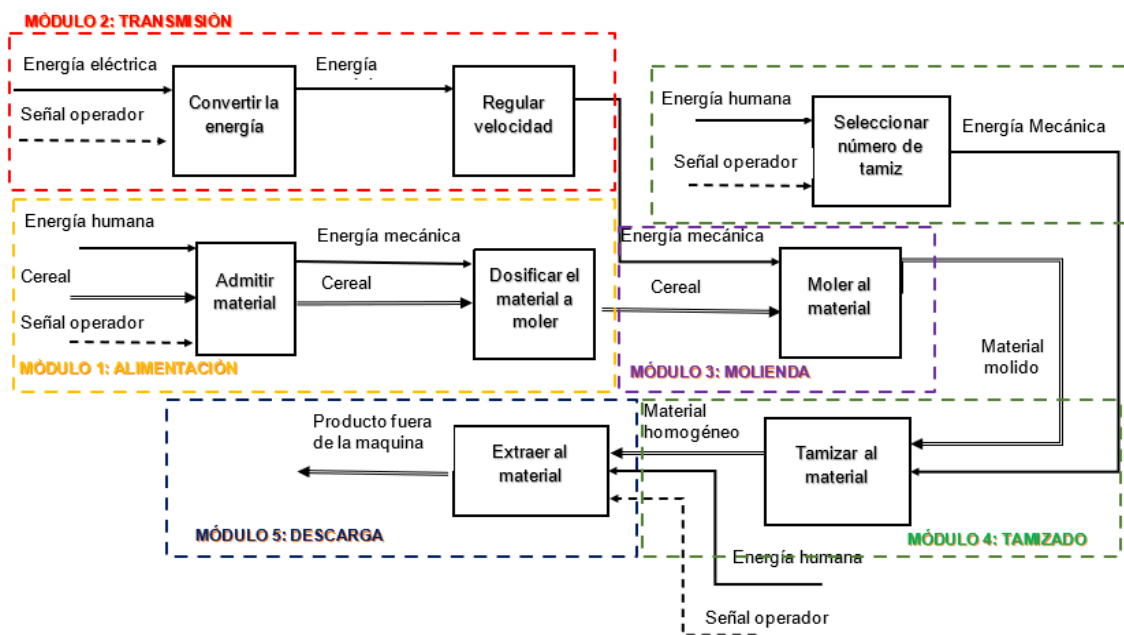


Figura 16. División del diagrama funcional en módulos.

## Evaluación y selección de alternativas

La evaluación de alternativas se llevará a cabo tomándo en cuenta las ventajas y desventajas que ofrece las diferentes alternativas para cada módulo, además se aplicará el método de criterios ponderados para su correcta elección; lo módulos resultantes a partir de los diagramas funcionales se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 14.** Modularidad.

Módulo	Detalle
1	Alimentación del cereal
2	Transmisión de potencia
3	Molienda
4	Tamizado
5	Descarga del material molido

### *Módulo 1: Alimentación.*

El módulo 1 correspondiente a la tabla 15, se refiere al sistema de alimentación del molino de pines, donde se tiene tres diferentes maneras y tecnologías de suministrar el cereal a ser molido, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 16.** Alternativas del módulo 1.

Alternativa	Ventajas	Desventajas	Esquema gráfico
Alternativa 1. Alimentación por banda transportadora	Mejor adaptación	Mayor costo de fabricación	 <b>Figura 17.</b> Banda transportadora.
	Agiliza la alimentación	Menor disponibilidad de espacio físico	
	Mejor almacenamiento	Mayor consumo de energía eléctrica	
	Calidad superficial del cereal	Costo de accesorios adicionales	
Alternativa 2. Alimentación por tornillo sin fin	Transporta cereales de menor tamaño	No apto para cereales húmedos	 <b>Figura 18.</b> Tornillo sin fin.
	Alimentación controlada	Presenta un bajo rendimiento	
	Silencioso	Requiere una alta calibración	
	Mantenimiento económico	Desgaste en los filetes	
Alternativa 3. Alimentación por tolva	Fácil fabricación	Puede existir atrapamiento	 <b>Figura 19.</b> Tolva.
	Buen almacenamiento del cereal	Inexactitud de entrada del cereal	
	Menor costo de fabricación	Presenta vibraciones	
	Adecuado volumen de trabajo	Requiere una calibración	

*Evaluación de alternativas del módulo 1.*

La selección más adecuada de la alternativa 1 se toman en consideración los siguientes criterios de mayor relevancia:

- Ergonómico: el operario no debe presentar dificultad al momento de ingresar el cereal.
- Capacidad: el volumen de trabajo debe ser el requerido por la capacidad de molienda de kilogramos por unidad de tiempo.
- Económico: un factor de relevancia es al ámbito económico, donde la construcción del molino de pines debe ser viable.
- Mantenimiento: el operador debe realizar mantenimientos periódicos y no debe presentar partes inaccesibles.

A continuación, se presenta el método de criterios ponderados, el cual es un análisis de cada criterio que confronta con los criterios restantes, se valora 1, cuando el criterio de las filas es superior que el de las columnas, mientras que se valora 0,5 cuando el criterio es equivalente entre las filas y columnas y 0 cuando el criterio de las filas es inferior que el de las columnas [24]. Se muestra las tablas del método aplicado para la elección de la alternativa más adecuada:

**Tabla 17.** Evaluación del peso de los criterios.

<b>Criterios módulo 1</b>						
	<b>Ergonómico</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Económico</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>∑ +1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Ergonómico</b>		1	1	1	4	0.4
<b>Capacidad</b>	0		1	1	3	0.3
<b>Económico</b>	0	0		1	2	0.2
<b>Mantenimiento</b>	0	0	0		1	0.1
Suma					10	1
Ergonómico > Capacidad > Costo > Mantenimiento						

**Tabla 18.** Evaluación de las alternativas respecto a la ergonomía.

<b>Ergonómico</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>∑ +1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	1	3	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0		0.5	1.5	0.3
<b>Alternativa 3</b>	0	0.5		1.5	0.3
Suma				6	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3					

**Tabla 19.** Evaluación de las alternativas respecto a la capacidad.

Capacidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	0	1.5	0.3
Alternativa 2	0.5		0	1.5	0.3
Alternativa 3	1	1		3	0.5
Suma				6	1
Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					

**Tabla 20.** Evaluación de las alternativas respecto al económico.

Económico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0.2
Alternativa 2	1		0	2	0.3
Alternativa 3	1	1		3	0.5
Suma				6	1.00
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					

**Tabla 21.** Evaluación de las alternativas respecto al mantenimiento.

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0.2
Alternativa 2	1		0	2	0.3
Alternativa 3	1	1		3	0.5
Suma				6	1.00
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					

**Tabla 22.** Conclusiones del módulo 1: Alimentación.

Conclusiones	Ergonómico	Capacidad	Costo	Mantenimiento	$\sum$	Prioridad
Alternativa 1	0.20	0.075	0.033	0.016	0.32	2
Alternativa 2	0.10	0.075	0.066	0.033	0.27	3
<b>Alternativa 3</b>	<b>0.10</b>	<b>0.15</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.40</b>	<b>1</b>

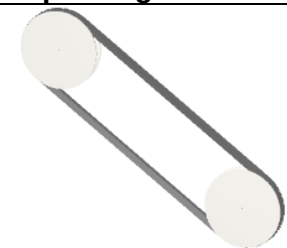
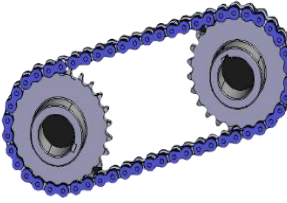
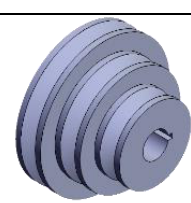
Se concluye que la alternativa 3 presenta la mejor solución para el módulo 1.

*Módulo 2: Trasmisión de potencia.*

El módulo 2 corresponde a sistema de transmisión de potencia desde el motor eléctrica que suministra la energía hacia la cámara de molienda, en donde se analiza tres diferentes maneras de transmitir la potencia.

Se muestra las ventajas y desventajas de cada alternativa en una tabla resumida que se muestra a continuación:

**Tabla 23.** Alternativas del módulo 2.

<b>Alternativa</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Esquema gráfico</b>
Alternativa 1. Transmisión por poleas - banda	Presenta ventaja mecánica	Grandes dimensiones exteriores	 <p><b>Figura 20.</b> Poleas - banda.</p>
	Fácil montaje y desmontaje	Deslizamiento elástico	
	Diseño sencillo	Vida útil relativamente baja	
	No genera mucho ruido	Pérdidas por fricción	
Alternativa 2. Transmisión por cadena	No presenta deslizamiento	Necesidad de alineación	 <p><b>Figura 21.</b> Cadena.</p>
	Sin requerimiento de tensión inicial	Lubricación y mantenimiento requerido	
	Vida útil relativamente alta	Generan ruidos	
	Fácil arreglo del desgaste en los eslabones	Requiere un montaje preciso	
Alternativa 3. Cono de poleas	Velocidad de rotación regulable	Ocupa un mayor espacio de trabajo	 <p><b>Figura 22.</b> Cono de polea.</p>
	Mejor estabilidad	Reduce el torque al aumentar la velocidad	
	Adaptabilidad a diferentes diámetros de ejes	Mayor peso a la estructura	

*Evaluación de alternativas del módulo 2.*

Los criterios de evaluación para el módulo 2 que es el de transmisión de potencia son los siguientes:

- Económico: los componentes seleccionados no deben presentar un mayor costo.
- Vida útil: en el periodo de servicio no debe presentar anomalías de transmisión de potencia.
- Silencioso: la ergonomía del operario no debe verse afectada por el factor del ruido.
- Mantenimiento: con respecto al sistema que facilite el mantenimiento respectivo.

Como se realizó el método de criterio ponderados para la selección de la mejor alternativa en el módulo 1, se vuelve a realizar el mismo procedimiento, por el cual se muestra a continuación las tablas de ponderación:

**Tabla 24.** Evaluación del peso de los criterios.

<b>Criterios módulo 1</b>						
	<b>Económico</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Silencioso</b>	<b>Mantenimiento</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Económico</b>		1	1	1	4	0.4
<b>Vida útil</b>	0		1	1	3	0.3
<b>Silencioso</b>	0	0		1	2	0.2
<b>Mantenimiento</b>	0	0	0		1	0.1
Suma					10	1
Económico > Vida Útil > Silencioso > Mantenimiento						

**Tabla 25.** Evaluación de las alternativas respecto al económico.

<b>Económico</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	1	3	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0		0	1	0.2
<b>Alternativa 3</b>	0	1		2	0.3
Suma				6	1
Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2					

**Tabla 26.** Evaluación de las alternativas respecto a la vida útil.

<b>Vida útil</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0.5	0	1.5	0.3
<b>Alternativa 2</b>	0.5		0	1.5	0.3
<b>Alternativa 3</b>	1	1		3	0.5
Suma				6	1
Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					

**Tabla 27.** Evaluación de las alternativas respecto a silencioso.

<b>Silencioso</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	1	3	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0		0	1	0.2
<b>Alternativa 3</b>	0	1		2	0.3
Suma				6	1.00
Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2					

**Tabla 28.** Evaluación de las alternativas respecto al mantenimiento.

<b>Mantenimiento</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	1	3	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0		0	1	0.2
<b>Alternativa 3</b>	0	1		2	0.3
Suma				6	1.00
Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2					




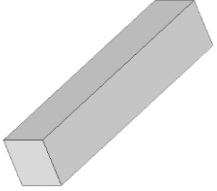
**Tabla 29.** Conclusiones del módulo 2: Transmisión de potencia.

Conclusiones	Económico	Vida útil	Silencioso	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
<b>Alternativa 1</b>	<b>0.20</b>	<b>0.07</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.42</b>	<b>1</b>
Alternativa 2	0.06	0.07	0.03	0.01	0.19	3
Alternativa 3	0.13	0.15	0.06	0.03	0.38	2

*Módulo 3: Molienda.*

El sistema de trituración debe moler los cereales ingresados a la cámara, asegurando la desintegración parcial y total del material ingresado. Donde la configuración de la distribución de los pines y las formas geométricas de las mismas inciden directamente en el producto final de la molienda. Para ello se analizan dos alternativas para este módulo.

**Tabla 30.** Alternativas del módulo 3.

Alternativa	Ventajas	Desventajas	Esquema gráfico
Alternativa 1. Pines de sección circular	Fácil distribución	A veces requiere maquinado	 <b>Figura 23.</b> Pin sección circular.
	Mayor área de impacto		
	Fácil soldar		
	Fácil fabricación		
Alternativa 2. Pines de sección cuadrada	Fácil soldar	Requiere maquinado	 <b>Figura 24.</b> Pin sección cuadrada.
		Abrasión en los vértices	
		Definir orientación de cada pin	

*Evaluación de alternativas del módulo 3.*

Como en los casos de evaluación de los anteriores módulos se realiza el método de criterios ponderados con los siguientes criterios:

- Efectividad: el aseguramiento de una correcta molienda de los granos ingresados en su determinado tiempo.
- Fabricación: se debe asegurar que el pin sea pueda manufacturar con en la localidad.

- Vida útil: se debe alargar la vida útil de la maquina sin presentar fallos mayores.

A continuación, se muestra las tablas correspondientes a la evaluación de los criterios establecidos.

**Tabla 31.** Evaluación del peso de los criterios.

<b>Criterios módulo 3</b>					
	<b>Efectividad</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Vida útil</b>	$\Sigma +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Efectividad</b>		1	1	3	0.5
<b>Fabricación</b>	0		1	2	0.3
<b>Vida útil</b>	0	0		1	0.2
Suma				6	1
Efectividad > Fabricación > Vida útil					

**Tabla 32.** Evaluación de las alternativas respecto a la efectividad

<b>Efectividad</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	$\Sigma +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	2	0.7
<b>Alternativa 2</b>	0		1	0.3
Suma			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

**Tabla 33.** Evaluación de las alternativas respecto a la fabricación.

<b>Fabricación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	$\Sigma +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	2	0.7
<b>Alternativa 2</b>	0		1	0.3
Suma			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

**Tabla 34.** Evaluación de las alternativas respecto a la vida útil.

<b>Vida útil</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	$\Sigma +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	2	0.7
<b>Alternativa 2</b>	0		1	0.3
Suma			3	1.00
Alternativa 1 > Alternativa 2				


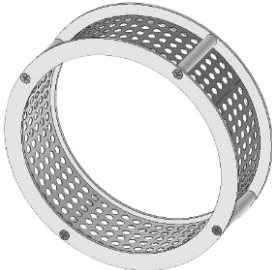
**Tabla 35.** Conclusiones del módulo 3: Molienda.

<b>Conclusiones</b>	<b>Efectividad</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Vida útil</b>	$\Sigma$	<b>Prioridad</b>
<b>Alternativa 1</b>	0.33	0.22	0.11	0.67	1
<b>Alternativa 2</b>	0.17	0.11	0.06	0.33	2

*Módulo 4: Tamizado.*

La separación del material molido depende de la granulometría deseada, para ello se selecciona el número de criba adecuada para realizar el tamizado se presentan dos soluciones para este módulo.

**Tabla 36.** Alternativas del módulo 4.

<b>Alternativa</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Esquema gráfico</b>
Alternativa 1. Tamiz parcial	Menor costo de fabricación	Menor área de tamizado	 <p><b>Figura 25.</b> Criba parcial.</p>
	Diámetro de abertura regulable	Necesidad de calibración	
Alternativa 2. Tamiz total	Mayor área de tamizado	Requiere de una estructura de soporte para que la criba no se deforme	 <p><b>Figura 26.</b> Criba total.</p>
	Mayor caudal de salida	Mayor costo de fabricación	
	Mayor flujo mixto entre el material molido y aire		

*Evaluación de alternativas del módulo 4.*

Los criterios a evaluarse en el método de criterios ponderados son los siguientes:

- Capacidad: debe asegurar el flujo de caudal requerido por el operador.
- Económico: no debe presentar un costo excesivo, la implementación del tamizado.
- Mantenimiento: se pueda desmontar con facilidad para su mantenimiento correspondiente.

Se muestra a continuación las tablas correspondientes al método de criterios ponderados utilizado para una correcta selección de este módulo, tomando en cuenta los criterios de capacidad, económico, y mantenimiento que inciden de manera directa en el diseño de la criba, el cual regula la granulometría deseada.

**Tabla 37.** Evaluación del peso de los criterios.

<b>Criterios módulo 4</b>					
	<b>Capacidad</b>	<b>Económico</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>∑ +1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Capacidad</b>		1	1	3	0.5
<b>Económico</b>	0		1	2	0.3
<b>Mantenimiento</b>	0	0		1	0.2
Suma				6	1
Capacidad > Económico > Mantenimiento					

**Tabla 38.** Evaluación de las alternativas respecto a la capacidad.

<b>Capacidad</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>∑ +1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0	1	0.3
<b>Alternativa 2</b>	1		2	0.7
Suma			3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

**Tabla 39.** Evaluación de las alternativas respecto a económico.

<b>Económico</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>∑ +1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	2	0.7
<b>Alternativa 2</b>	0		1	0.3
Suma			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

**Tabla 40.** Evaluación de las alternativas respecto al mantenimiento.

<b>Mantenimiento</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>∑ +1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0.5	1.5	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0.5		1.5	0.5
Suma			3	1.00
Alternativa 2 = Alternativa 1				

**Tabla 41.** Conclusiones del módulo 2: Tamizado.

<b>Conclusiones</b>	<b>Efectividad</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Vida útil</b>	<b>∑</b>	<b>Prioridad</b>
Alternativa 1	0.17	0.22	0.08	0.47	2
<b>Alternativa 2</b>	<b>0.33</b>	<b>0.11</b>	<b>0.08</b>	<b>0.53</b>	<b>1</b>

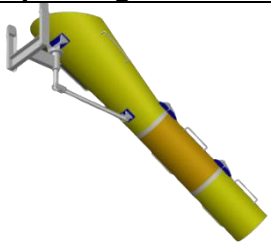

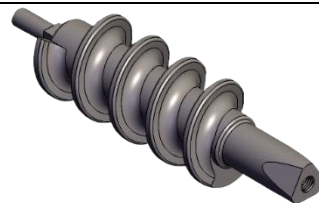
Se concluye que la alternativa 2 presenta la mejor solución para el módulo 4.

*Módulo 5: Descarga.*

En este módulo se hace la alusión de las maneras de conducir el material molido desde la cámara de molienda hacia los sacos o costales donde se vaya a recoger, para ello se ha tomado en consideración dos soluciones que dan prioridad a la ergonomía del operador y

la facilidad de poder recolectar los granos pulverizados. Además, en este módulo se debe asegurar que el material molido no debe contaminarse de alguna manera con un agente patógeno, por ello se prioriza también la hermeticidad de descarga.

**Tabla 42.** Alternativas del módulo 5.

Alternativa	Ventajas	Desventajas	Esquema gráfico
Alternativa 1. Conducto de descarga	Mayor adaptabilidad	Salidas sin control del material molido	 <p><b>Figura 27.</b> Ducto de descarga</p>
	Fácil mantenimiento	Presencia de polvo	
Alternativa 2. Descarga con válvula de mariposa	Deja pasar menos partículas	Costo de implementación	 <p><b>Figura 28.</b> Descarga con válvula de mariposa.</p>
	Mayor adaptabilidad Regulación del material molido		
Alternativa 3. Descarga por tornillo sin fin	Altura de salida regulable	Necesidad de una alta regulación	 <p><b>Figura 29.</b> Tornillo sin fin.</p>
	Caudal del material molido regulable	Desgaste de los filetes	
	Estético	Mayor costo de implementación	
		Mayor costo de mantenimiento	
	Mayor consumo eléctrico		

#### *Evaluación de alternativas del módulo 5*

Como en los casos anteriores se toman criterios de mayor relevancia para estos módulos, de los cuales se muestra a continuación y sus respectivas tablas acorde al método:

- Económico: la implementación no debe presentar mayor obstáculo.
- Fácil operación: se debe considerar que el funcionamiento de los componentes no perjudique la operación al usuario.
- Seguridad: no debe permitir el exceso de polvo en el ambiente de trabajo.

- Mantenimiento: un desmontaje rápido para su revisión.

**Tabla 43.** Evaluación del peso de los criterios.

<b>Criterios módulo 5</b>						
	<b>Económico</b>	<b>Fácil operación</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Mantenimiento</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Económico</b>		1	1	1	4	0.4
<b>Fácil operación</b>	0		1	1	3	0.3
<b>Seguridad</b>	0	0		1	2	0.2
<b>Mantenimiento</b>	0	0	0		1	0.1
Suma					10	1
Económico > Fácil operación > Seguridad > Mantenimiento						

**Tabla 44.** Evaluación de las alternativas respecto a económico.

<b>Económico</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	1	3	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0		1	2	0.3
<b>Alternativa 3</b>	0	0		1	0.2
Suma				6	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					

**Tabla 45.** Evaluación de las alternativas respecto a la fácil operación.

<b>Fácil operación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0	0.5	1.5	0.3
<b>Alternativa 2</b>	1		1	3	0.5
<b>Alternativa 3</b>	0.5	0		1.5	0.3
Suma				6	1
Alternativa 2 > Alternativa 1 = Alternativa 3					

**Tabla 46.** Evaluación de las alternativas respecto a la seguridad.

<b>Seguridad</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		0	0	1	0.2
<b>Alternativa 2</b>	1		1	3	0.5
<b>Alternativa 3</b>	1	0		2	0.3
Suma				6	1.00
Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1					

**Tabla 47.** Evaluación de las alternativas respecto al mantenimiento.

<b>Mantenimiento</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
<b>Alternativa 1</b>		1	1	3	0.5
<b>Alternativa 2</b>	0		1	2	0.3
<b>Alternativa 3</b>	0	0		1	0.2
Suma				6	1.00
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					

**Tabla 48.** Conclusiones del módulo 5: Descarga.

Conclusiones	Ergonómico	Capacidad	Costo	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1	0.20	0.08	0.03	0.05	0.36	2
<b>Alternativa 2</b>	<b>0.13</b>	<b>0.15</b>	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>	<b>0.42</b>	<b>1</b>
Alternativa 3	0.07	0.08	0.07	0.02	0.23	3

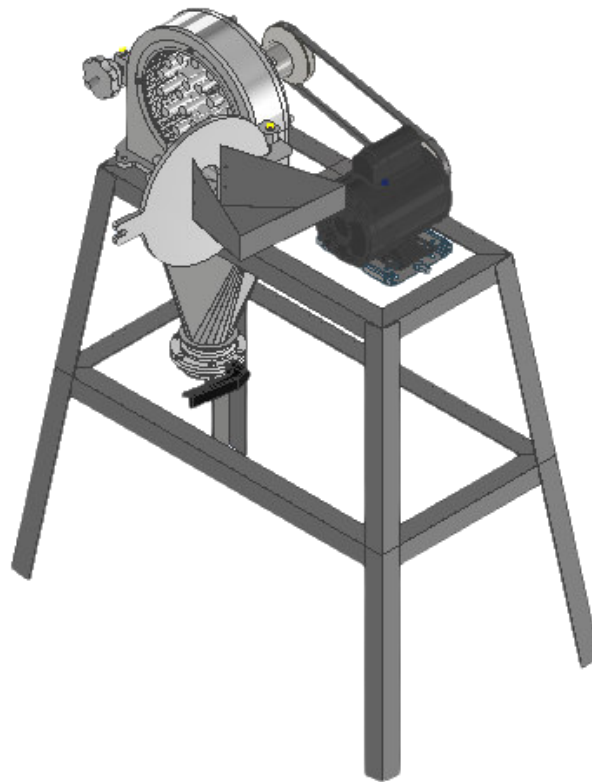
Se concluye que la alternativa 2 representa la mejor solución para el módulo 5.

### Matriz morfológica

Esta matriz presenta la selección de las alternativas de solución para cada módulo. Las alternativas seleccionadas siguen una secuencia lógica marcada por la flecha direccional y el conjunto de las alternativas conduce al diseño conceptual del molino de pines.

**Tabla 49.** Matriz morfológica.

Módulo	Alternativas de diseño
Alimentación	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Alimentación por banda</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Alimentación por tornillo sin fin</div> <div style="border: 2px solid yellow; padding: 5px; width: 30%;"><b>Alimentación por tolva</b></div> </div>
Transmisión de potencia	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; width: 30%;"><b>Transmisión por poleas - banda</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Transmisión por cadena</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Transmisión por cono de poleas</div> </div>
Molienda	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid purple; padding: 5px; width: 45%;"><b>Pin de sección circular</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">Pin de sección cuadrada</div> </div>
Tamizado	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">Tamiz parcial</div> <div style="border: 2px solid green; padding: 5px; width: 45%;"><b>Tamiz total</b></div> </div>
Descarga	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Conducto de descarga</div> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; width: 30%;"><b>Descarga con válvula de mariposa</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Descarga por tonillo sin fin</div> </div>



**Figura 30.** Diseño conceptual del molino de pines.

### **Cálculos y selección de componentes**

En base a los análisis del funcionamiento del molino de pines, se identificaron las alternativas de diseño para cada módulo y los análisis por el método de criterios ponderados permitieron identificar las respectivas soluciones hasta configurar el diseño conceptual de la máquina.

Los datos técnicos relevantes identificados en el capítulo del benchmarking constituyen la base para los cálculos y el dimensionamiento del molino de pines. Y la estructura del documento se configura en los lineamientos del trabajo de integración curricular.

A continuación, los estudios de ingeniería de los componentes de los tres módulos que son: módulo de alimentación, módulo de molienda y módulo de descarga.

### **Dimensionamiento de la tolva de alimentación.**

La característica principal en el dimensionamiento de la tolva de alimentación y de descarga es el ángulo de inclinación que posee la tolva. El ángulo depende del coeficiente de fricción (entre la superficie del metal y el grano). Por falta de información bibliográfica sobre el coeficiente de fricción entre el acero inoxidable con un acabado satinado y el grano

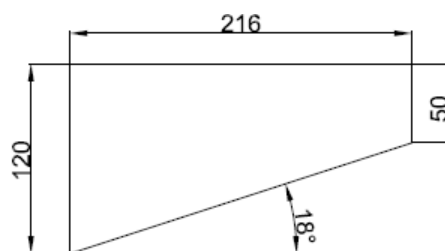


de maíz desgranado, se recurre a la investigación experimental con el siguiente procedimiento:

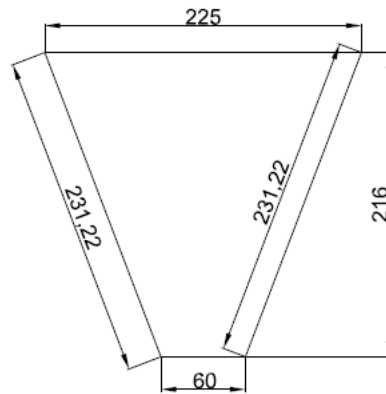
- En una tabla de 29 cm. de alto por 20 cm. de ancho, base en ele de 2.5 cm; se adhiere una hoja de papel bon A4 marcando una línea perpendicular en el centro.
- Se adhiere el graduador a la hoja de papel coincidiendo la escala de 90° con el eje vertical. Se coloca un tope en la base ele en línea con el eje vertical.
- Se elige una lámina de acero inoxidable 304 de forma rectangular de 20 cm. de largo por 2 cm. de ancho. En el extremo distal de la lámina se envuelve una cinta de masquin que cumple la función de área antideslizante y de punto de anclaje de la cuerda que pasa por una polea colgada a 100 cm. de altura y en línea vertical al extremo distal de la lámina.
- El extremo final de la cuerda tiene un nudo que sirve para elevar la lámina halando manualmente desde posición cero grados, variar pausadamente la inclinación en sentido antihorario y medir los grados de inclinación hasta verificar el deslizamiento del grano de maíz colocado a una distancia de 18 cm respecto del extremo proximal de la lámina de inclinación que coincide con el eje vertical de 90 °.
- El momento de deslizamiento del maíz determina el ángulo de inclinación necesario que debe poseer la tolva de alimentación para garantizar la dosificación de la carga del maíz a la cámara de la molienda.

El experimento del control de los ángulos de inclinación se realiza en repetidas ocasiones hasta determinar un valor promedio, cuyo valor final se asume en 18° de inclinación.

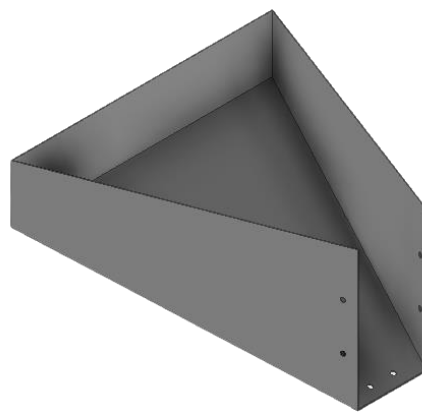
Además, para las dimensiones de la tolva se toman como referencia las analizadas en el estudio de competencia, las cuales se presenta a continuación:



**Figura 31.** Vista lateral de la tolva de alimentación y dimensiones en mm.



**Figura 32.** Vista superior de la tolva de alimentación y sus dimensiones en mm.



**Figura 33.** Modelo 3D de la tolva de alimentación.

Con el modelado 3D en el software Inventor y la ayuda del mismo, se obtuvo el volumen interior de la tolva de 0.0028 m<sup>3</sup>, y como dato se tiene la densidad aparente de 820 kg/m<sup>3</sup> [11], y con la siguiente formula se obtiene la masa.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Ecuación 16.** Densidad absoluta.

Donde:

$\rho$  = densidad absoluta, kg/m<sup>3</sup>.

$m$  = masa del maíz, kg.

$V$  = volumen en el interior de la tolva de alimentación, m<sup>3</sup>.

Con los datos recopilados y obtenidos se procede a despejar la masa de la ecuación 16, y se obtiene la siguiente expresión:

$$m = \rho * V = 820 \frac{kg}{m^3} * 0,0028 m^3 = 2,29 kg \text{ de maíz}$$

Una vez obtenido la masa del maíz que va a contener la tolva, se procede a encontrar la carga que esta produce debido a la gravedad:

$$P = m * g$$

**Ecuación 17.** Segunda ley de Newton.

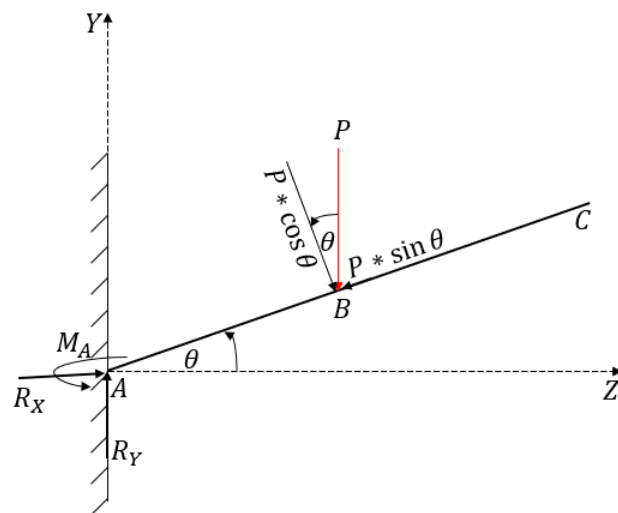
Donde:

$P$  = es la carga aplicada en el centro de gravedad de la tolva, [N].

$g$  = es la gravedad local, 9,81 m/s.

$$P = 2,29 kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 22,46 [N]$$

Sin embargo, es de mayor importancia el determinar el espesor que debe poseer la tolva, para garantizar su funcionalidad. Para ello se considera la tolva de alimentación de la siguiente manera: como una viga tipo C empotrada en cantiléver. Se considera que la carga encontrada se encuentra aplicada en el centroide de la tolva para determinar el momento máximo generado en el empotramiento, el mismo que servirá para determinar el anclaje.



**Figura 34.** Diagrama de cuerpo libre de la tolva.

Para el cálculo del momento flector generado en A, se conoce por el modelamiento en Inventor, la distancia  $\overline{AB}$  de aplicación de la carga desde el empotramiento que es 123,6 mm, y como dato se tiene la distancia  $\overline{AC} = 227,06 mm$ .

Se emplea la siguiente ecuación:

$$M_A = P * \cos \theta * \overline{AB}$$

**Ecuación 18.** Momento generado por una carga puntual en viga en voladizo.

Donde:

$M_A$  = momento flector generado en A, Nm.

$P$  = carga generada por la masa del maíz, [N].

$\theta$  = ángulo de inclinación, °.

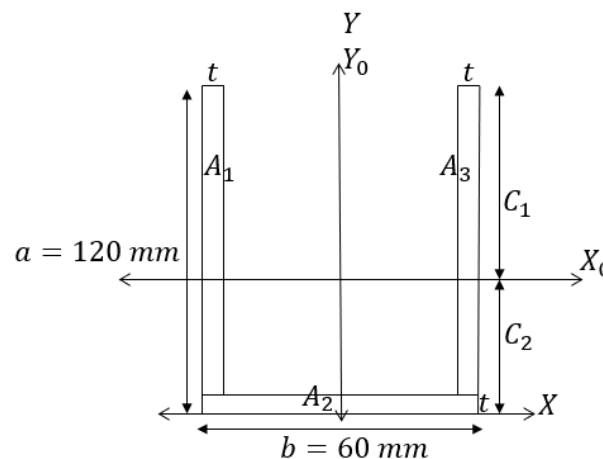
Reemplazando los valores se llega a obtener el momento flector en A, además del valor de la reacción generada en el eje Y:

$$M_A = 22,46 [N] * \cos 18^\circ * 123,6 \text{ mm} = 2640,7 \text{ Nmm}$$

$$R_Y = 22,46 [N]$$

El momento flector determinado se puede emplear en la ecuación de esfuerzo normal debido a la flexión, sin embargo, no se tiene como dato la distancia al eje neutro  $X_0$ .

Para ello se emplea el cálculo del momento de inercia por el teorema de ejes paralelos y poder determinar  $X_0$ .



**Figura 35.** Vista frontal de la tolva ubicada en el punto A de empotramiento.

En la figura anterior se observa el esquema de la tolva de vista frontal en el empotramiento, conociendo las dimensiones de A y B, se procede a encontrar el centroide de la figura y se descompone la figura en 3 figuras de áreas rectangulares.

**Tabla 50.** Cálculo del centroide.

Figura	Área [mm <sup>2</sup> ]	Y <sub>i</sub> [mm]	A $\bar{Y}_i$ [mm <sup>3</sup> ]
1	$t * (a - t) = 120t - t^2$	$\frac{a + t}{2} = 60 + \frac{t}{2}$	$7200t - 0,5t^3$
2	$b * t = 60t$	$\frac{t}{2}$	$30t^2$
3	$t * (a - t) = 120t - t^2$	$\frac{a + t}{2} = 60 + \frac{t}{2}$	$7200t - 0,5t^3$
$\sum \text{Áreas}$	$300t - 2t^2$	$\sum A\bar{Y}_i$	$-t^3 + 30t^2 + 14400t$
$\bar{Y} = \frac{\sum A\bar{Y}_i}{\sum \text{Áreas}} = \frac{-t^3 + 30t^2 + 14400t}{300t - 2t^2} = \frac{1800}{t - 150} + 0,5t + 60$			

El centroide viene dado por la expresión de  $\bar{Y}$  en función del espesor de la tolva, con esto se procede a encontrar el momento de inercia respecto al eje X, el cual viene dada por la siguiente ecuación.

$$I_x = I_1 + I_2 + I_3$$

**Ecuación 19.** Momento de inercia respecto al eje X. [25]

Donde:

$I_x$  = momento de inercia respecto al eje X.

$I_1, I_2, I_3$  = momentos de inercia de cada figura del cuerpo en análisis.

Para encontrar los momentos de inercia se debe encontrar de manera individual con el teorema de ejes paralelos como se muestra en la ecuación siguiente:

$$I_1 = I_{\text{rectángulo}} + A * d^2$$

**Ecuación 20.** Teorema de ejes paralelos. [25]

Donde:

$I_{\text{rectángulo}}$  = momento de inercia de la figura 1.

$A$  = área de la figura 1.

$d$  = distancia desde el centroide de la figura 1 hasta el eje de referencia X.

$$I_1 = \frac{1}{12} t * (120 - t)^3 + (120t - t^2) * \left(60 + \frac{t}{2}\right)^2 = 576000t - \frac{t^4}{3}$$

De la misma manera se encuentran los demás momentos de inercia de las figuras 2 y 3.

$$I_2 = \frac{1}{12} * 60 * t^3 + (60t) * \left(\frac{t}{2}\right)^2 = 20t^3$$

$$I_3 = \frac{1}{12} t * (120 - t)^3 + (120t - t^2) * \left(60 + \frac{t}{2}\right)^2 = 576000t - \frac{t^4}{3}$$

Con la ecuación 19, se obtiene el momento de inercia respecto al eje X, dando como resultado la siguiente expresión:

$$I_X = \frac{-2t^4}{3} + 20t^3 + 1152000t$$

Una vez más, se va a utilizar el teorema de ejes paralelos, ya que en su fórmula abarca el momento de inercia del eje neutro, que se observa a continuación:

$$I_X = I_{Xo} + A * d^2$$

**Ecuación 21.** Teorema de ejes paralelos con centroide. [25]

Donde:

$I_{Xo}$  = momento de inercia respecto a  $Xo$ .

Despejando de la ecuación 21 el momento de inercia del eje neutro  $Xo$ , se obtiene:

$$I_{Xo} = I_X - A * d^2 = \left(\frac{-2t^4}{3} + 20t^3 + 1152000t\right) - \left((300t - 2t^2) * \left(\frac{1800}{t - 150} + 0,5t + 60\right)^2\right)$$

$$I_{Xo} = \frac{972000000}{t - 150} - \frac{t^4}{6} + 65t^3 - 7200t^2 + 504000t + 6480000$$

Como se había mencionado, el esfuerzo normal debido a la flexión viene dada por la ecuación 22, que a su vez se le iguala al esfuerzo permisible para determinar la incógnita del espesor de la tolva:

$$\sigma = \frac{M_A * c}{I_{Xo}} = \text{Esfuerzo permisible} = \frac{S_y}{n}$$

**Ecuación 22.** Formula del esfuerzo normal igualado al esfuerzo permisible. [26]

Donde:

$\sigma$  = esfuerzo normal, MPa.

$c$  = distancia al eje neutro  $X_0$ , m.

$S_y$  = resistencia a la fluencia de plancha de acero inoxidable 304, 175,81 N/mm<sup>2</sup> [27].

$n$  = factor de seguridad considerando  $n=2$ .

De la ecuación 22, se iguala el esfuerzo normal con la relación de la resistencia a la fluencia y el factor de seguridad, lo que da como resultado:

$$\frac{M_A * c}{I_{X_0}} = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{2640,76 * \frac{1800}{t - 150} + 0,5t + 60}{\frac{972000000}{t - 150} - \frac{t^4}{6} + 65t^3 - 7200t^2 + 504000t + 6480000} = \frac{175,81}{2}$$

$$t = 0,03119 \text{ mm } \acute{o}$$

$$t = 128,26 \text{ mm } \acute{o}$$

$$t = 277,57 \text{ mm}$$

Como referencia se toma el primer valor para el espesor de la tolva de 0,03 mm, debido a que los dos valores adicionales no presentan coherencia de la dimensión indicada, esto a su vez se debe a la poca carga que se emplea en la tolva. En el mercado local no se dispone el espesor determinado en los cálculos matemáticos, por ello se seleccionará un espesor acorde a la disponibilidad en el mercado, los cuales varían entre 0,4 mm a 15 mm [27]. Los datos asumidos servirán de base para el método general de simulación de elementos finitos en el software Inventor para observar los desplazamientos y el factor de seguridad de los parámetros como la carga, el ángulo de inclinación y las dimensiones de la tolva. Las características constitutivas descritas justifican considerar un espesor de 0,6 mm de grosor de la lámina para el diseño, con lo que se determina nuevamente el factor de seguridad:

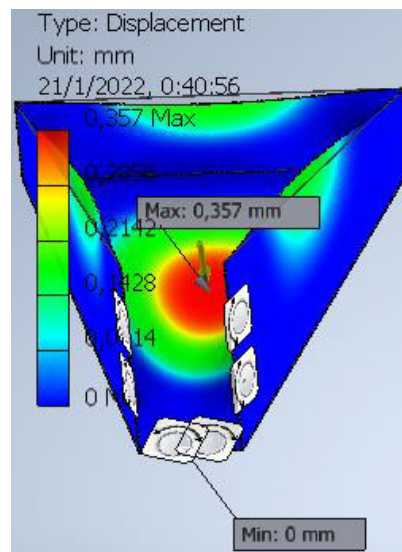
$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

**Ecuación 23.** Ecuación de diseño de la fluencia. [26]

Se reemplaza el valor del espesor indicado en la ecuación 22 para encontrar el esfuerzo normal debido a la flexión de la tolva, dando como resultado  $9,13 \text{ N/mm}^2$  y se obtiene lo siguiente:

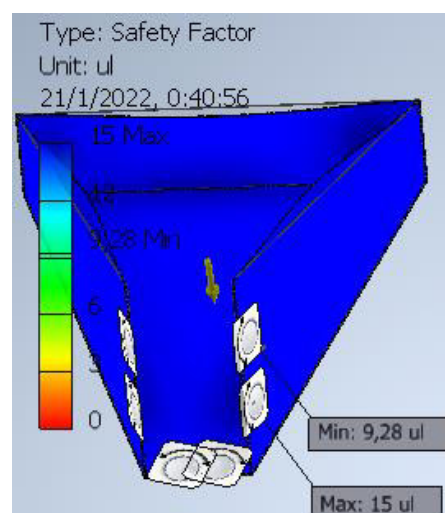
$$n = \frac{175,81 \text{ N/mm}^2}{9,13 \text{ N/mm}^2} = 19,25$$

Para confirmar que el procedimiento asumido es válido, se muestra los resultados obtenidos del analisis de elementos finitos para el espesor seleccionado para la verificacion adicional de desplazamientos y factores de seguridad:



**Figura 36.** Desplazamiento en el punto de carga.

En la figura anterior se observa que el desplazamiento en el punto de carga se obtiene un valor máximo de  $0,357 \text{ mm}$ , el cual es un valor aceptable.



**Figura 37.** Factor de seguridad de la tolva.



Mientras que en la figura 37 se observa el factor de seguridad de la tolva de alimentación con un valor mínimo de 9,28 y un valor máximo de 15, valores que indican que el espesor seleccionado de 0,4 mm es el ideal.

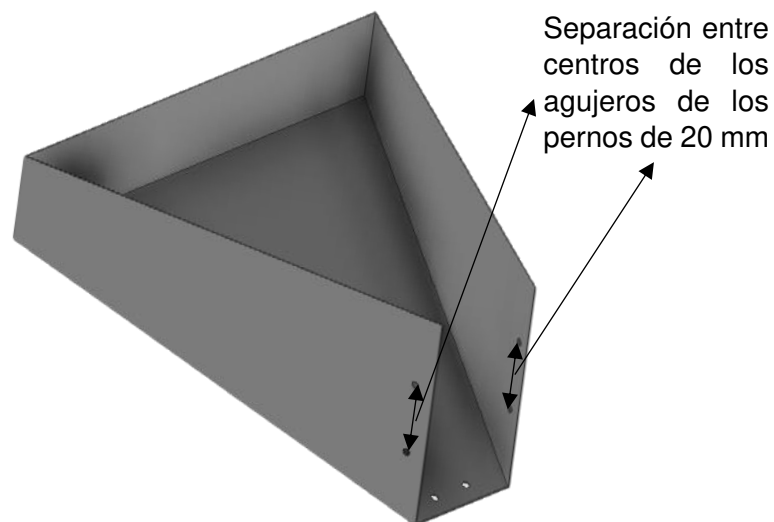
#### *Pernos de sujeción de la tolva de alimentación*

El diseño del molino de pines debe garantizar el despiece para su mantenimiento y ensamble, por lo que se van a utilizar pernos de sujeción entre la tolva y la puerta del molino de pines.

En esta unión emperrada, como en los demás elementos mecánicos que requieran una sujeción emperrada se considera la precarga es suficiente para compensar efectos de cizallamiento, además, se considera la situación más crítica, donde por alguna razón (vibración, mal ajuste, etc.) los pernos se aflojan (condición real) y se calcula el valor del área del perno.

Los pernos que servirán de sujeción para la tolva de alimentación están sometido a cargas excéntricas, por lo que se emplea el  $c$ , donde se traslada la carga al centro geométrico del arreglo de los pernos que a su vez se genera un momento restante producto de la distancia trasladada por la carga.

Para ello se requiere determinar la carga que actúa en cada perno. Las cargas directas generan fuerzas cortantes primarias de igual magnitud sobre cada perno, si se considera un arreglo de dos pernos separados 20 mm en cada lateral de la tolva como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 38.** Tolva de alimentación.

Se tiene un total de 4 pernos (sin mencionar los dos pernos colocados en la parte inferior que solo sirven para sujeción), las fuerzas primarias de corte se designan de la siguiente manera  $F'_1, F'_2, F'_3, F'_4$ . Mientras que el momento que se traslada genera fuerzas de tracción  $F''_1, F''_2, F''_3, F''_4$  cuya magnitud y orientación dependen de la ubicación del perno respecto al centro geométrico y a la orientación del momento que los genera, es decir, la orientación de la fuerza cortante secundaria debe ser perpendicular al radio vector que separa al centro del agujero del perno respecto al centro geométrico del arreglo de pernos.

Se tiene las siguientes ecuaciones para determinar cada una de ellas:

$$F'_n = \frac{P}{N}$$

**Ecuación 24.** Fuerzas primarias de corte. [28]

Donde:

$F'_n$  = fuerzas primarias de corte, [N].

$P$  = carga, [N].

$N$  = número de pernos.

Como se considera que cada tornillo soporta la misma carga se tiene:

$$F' = \frac{22,46 [N]}{4} = 5,6 [N]$$

Mientras que las fuerzas secundarias de tracción vienen dadas por la siguiente expresión:

$$F''_n = \frac{P * d * r_n}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2}$$

**Ecuación 25.** Fuerzas secundarias de tracción. [28]

Donde:

$F''_n$  = fuerza secundaria de corte, [N].

$d$  = distancia perpendicular desde el punto de aplicación de la carga hasta el centro geométrico del arreglo de pernos, mm.

$r_n$  = radio vector que separa al centro del agujero del perno respecto al centro geométrico del arreglo de pernos, mm.

Se considera de igual manera que los pernos soportarán la misma fuerza de tracción, por lo que se tiene lo siguiente:

$$F'' = \frac{2640,7 \text{ Nmm} * 20 \text{ mm}}{(20\text{mm})^2 + (20\text{mm})^2} = 66,01 \text{ [N]}$$

Se tiene dos arreglos de pernos ubicados lateralmente en la tolva de alimentación, por lo que el valor obtenido de fuerza secundaria se divide para dos  $66,01/2=33 \text{ [N]}$ , dando como la fuerza resultante a tracción, mientras que el valor de  $5,6 \text{ [N]}$  es la fuerza resultante a corte.

A partir de los resultados obtenidos de fuerzas, se determina los esfuerzos de tensión  $\sigma$  y esfuerzos cortantes  $\tau$ .

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

**Ecuación 26.** Esfuerzo plano de Von Mises. [26]

Donde:

$\sigma'$  = esfuerzo plano de Von Mises, MPa.

$\sigma_x$  = esfuerzo en el plano X, MPa.

$\sigma_y$  = esfuerzo en el plano Y, MPa.

$\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante en el plano XY, MPa.

En el caso de la tolva, se tiene solo es esfuerzo de tensión en el plano X, y los esfuerzos nominales de los pernos se determina a partir de la relación entre fuerza respectiva y el área del perno, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = \left( \left( \frac{F''}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F'}{A} \right)^2 \right)^{1/2}$$

A su vez, el esfuerzo de Von Mises se iguala a la ecuación de diseño de la fluencia de la ecuación 23, por lo que se obtiene la siguiente expresión:

$$\left( \left( \frac{F''}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F'}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

Considerando un factor de seguridad de 2, y resistencia a la fluencia de eje de acero inoxidable 304, 220 N/mm<sup>2</sup> [27]. se obtiene:

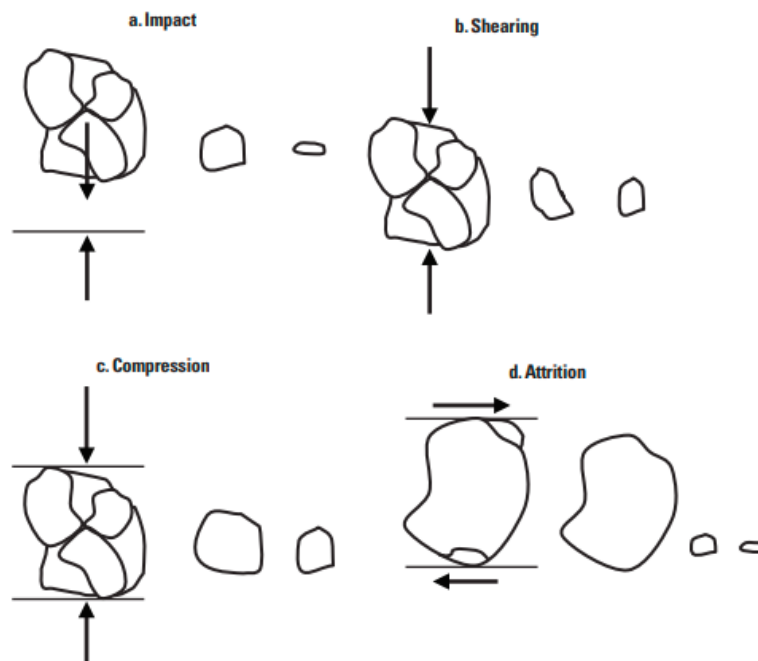
$$\left( \left( \frac{33 [N]}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{5,6 [N]}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{220 N/mm^2}{2}$$

$$A_1 = 1,56 mm^2, A_2 = -1,56 mm^2$$

El área obtenida corresponde a un solo anclaje y se establece el valor positivo del área obtenido en el anterior expresión, dando un diámetro de 1,4 mm, por ello cualquier perno de diámetro mayor al determinado cumplirá la funcionalidad de dar una sujeción a la tolva por lo que se seleccionan perno hexagonal milimétrico inoxidable M4x20 que llevaran sus respectivas tuercas, arandelas planas y arandelas de presión en ese orden, todos los elementos adicionales necesariamente deben ser del mismo material, es decir, de acero inoxidable.

### Cálculo de la potencia del motor por medio de la teoría de Bond

Existen diferentes mecanismos (impacto, cortante, compresión, fricción) que se generan durante la reducción de tamaño de un material sometido a molienda y el tratar de definir la energía necesaria para realizar la molienda, resulta extremadamente complicado [29].



**Figura 39.** Mecanismos de reducción de tamaño. [29]

A continuación, se muestra una tabla con las diferentes propiedades de las partículas molidas empleando diferentes tipos de molinos [29].

**Tabla 51.** Propiedades de molienda finas. [29]

**Properties of fine grinding mills**

<b>Mill type</b>	<b>d97 particle size (microns)</b>	<b>Maximum tip speed (fpm)</b>	<b>Material hardness (Mohs)</b>
Hammermill	≥ 50	22,000	≤ 5.0
Pin mill	45 to 500	30,000	≤ 3.0
Air classifier mill	15 to 200	28,000	≤ 3.5
Jet mill	5 to 50	100,000	≤ 10.0
Agitated media mill	2 to 20	600	≤ 7.5
Roller mill	10 to 100	1,500	≤ 7.0

En el caso del trabajo de integración, y en base a la tabla anterior, se observa que el molino de pines (Pin Mill) se emplea para rangos de molienda de tamaños comprendidos entre 45 a 500 µm.

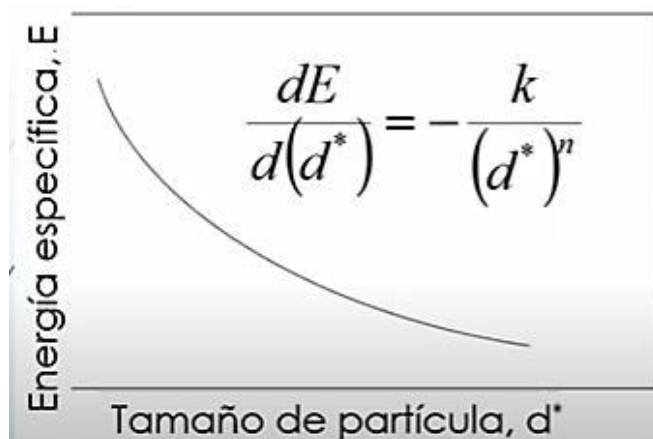
Existe una relación entre el tamaño de malla y el tamaño de las partículas, que se indica a continuación [30]:

**Tabla 52.** Tablas de conversión de tamaño de partículas. [30]

<b>Designación del Tamiz</b>		<b>Apertura de Tamiz Nominal</b>		
<i>Estándar</i>	<i>Malla</i>	<i>Pulgadas</i>	<i>mm</i>	<i>Micrones</i>
0.500 mm	No. 35	0.0197	0.500	500
0.420 mm	No. 40	0.0165	0.420	420
0.354 mm	No. 45	0.0139	0.354	354
0.297 mm	No. 50	0.0117	0.297	297
0.250 mm	No. 60	0.0098	0.250	250
0.210 mm	No. 70	0.0083	0.210	210
0.177 mm	No. 80	0.0070	0.177	177
0.149 mm	No. 100	0.0059	0.149	149
0.125 mm	No. 120	0.0049	0.125	125
0.105 mm	No. 140	0.0041	0.105	105
0.088 mm	No. 170	0.0035	0.088	88
0.074 mm	No. 200	0.0029	0.074	74
0.063 mm	No. 230	0.0025	0.063	63
0.053 mm	No. 270	0.0021	0.053	53

Dentro del rango del tamaño de finura de los molinos de pines definido anteriormente, se selecciona para efectos de cálculos, el tamaño de  $149 \mu\text{m} = 0.149 \text{ mm}$ , que le corresponde a un tamaño de malla de No. 100

Los estudiosos de la molienda han establecido claramente que existe una relación exponencial entre la energía específica requerida para obtener el cambio de tamaño de un material molido y el tamaño de las partículas molidas [31].



**Figura 40.** E vs.  $d^*$ . [31]

La teoría de Bond ha sido utilizada desde hace mucho tiempo con bastante aproximación para calcular la potencia requerida en molienda en materiales minerales en molinos de bolas. En base al estudio bibliográfico realizado, no existe hasta la fecha una teoría realizada para determinar la potencia en un molino de pines, sin embargo, dado que las aplicaciones de los molinos de pines son amplias y sirven tanto para productos alimenticios, como para productos farmacéuticos y minerales, se va a considerar como referencia de orden de magnitud el cálculo de esta teoría, como una estimación referencial de la potencia requerida para la molienda.

Bond planteó, que la potencia requerida para la molienda está relacionada con los tamaños inicial y de reducción del material molido, la capacidad de la molienda y el índice de trabajo, definido por:

$$P = 10Wi \left[ \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right] m$$

**Ecuación 27.** Ecuación de molienda de Bond. [7]

Donde:

$P$  = potencia requerida para la molienda, [kw]

$W_i$  = índice de trabajo, mientras más alto sea el valor, se puede moler materiales más duros, lo que permite una mayor flexibilidad de uso del molino, [kw\*h/t]

$P_{80}$  = tamaño del producto molido, considerando que al menos el 80% de los tamaños de los granos están dentro del valor deseado (149  $\mu\text{m}$ ), [ $\mu\text{m}$ ]

$F_{80}$  = tamaño promedio del producto alimentado antes de la molienda (17 mm), [ $\mu\text{m}$ ]

$m$  = capacidad de procesamiento del molino, definido entre los requerimientos del cliente (50 kg/h), [t/h]

El índice de trabajo, se va a seleccionar considerando la molienda de un material duro, de la tabla indicada a continuación [32], con un valor de 20 kWh/t.

**Tabla 53.** Descripción del mineral según su  $W_i$ .

<b>Descripción</b>	<b>Límite <math>W_{IT}</math> (kWh/ton) métricas</b>
Muy blando	8
Blando	8-12
Medio	12-16
Duro	16-20
Muy duro	20-24
Extremadamente duro	+24

Al reemplazar los valores en la ecuación de Bond se obtiene:

$$P = 0.7425 \text{ kW} = 0.995 \text{ hp}$$

La potencia eléctrica el motor debe considerar la potencia de molienda  $P_c$  = potencia de carga y la potencia de no carga  $P_{nc}$  [31].

$$P_m = P_c + P_{nc}$$

La potencia de no carga en base a la experiencia se considera entre un 10% a un 12% de la potencia de carga [31]. Se considera el valor del 12%

$$P_m = 1.12 \text{ hp}, \text{ por lo que la potencia comercial del motor será de } 2 \text{ Hp}$$

### **Dimensionamiento del pin para la molienda**

El diseño de los pines es el factor fundamental de un molino de pines, esto debido a que son los elementos que fracturan al grano ingresado en la cámara de molienda hasta su granulometría final requerida.

Las consideraciones tomadas para estos cálculos son las siguientes:

- Al menos un pin deberá impactar contra un grano de maíz para su fractura.
- La forma de la disposición de los pines deberá ser tales que minimicen los espacios entre pines a fin del que el maíz no tenga una trayectoria libre desde el ingreso a la cámara de molienda hasta la carcasa del mismo.
- El diámetro del pin deberá ser mayor o igual a la longitud crítica del grano de maíz (las dimensiones del grano son 1,6 cm de largo, 1,3 cm de ancho y 6,3 mm de grosor [33]).
- La longitud del pin viene determinada por el benchmarking, analizando el molino de pines de la compañía Mill Powder Tech.

#### *Velocidades tangenciales del pin*

La energía necesaria para fracturar un grano de maíz por impacto es de 0,141 J [34], y es necesario conocer las velocidades tangenciales tomadas por cada pin, por ello se va realizar un balance de energías, tomando en cuenta que la energía para la ruptura del grano se obtiene a partir de la energía potencial, mientras que, al impactar el pin contra el grano de maíz se genera una energía cinética, por consiguiente se obtiene la siguiente expresión:

$$m * g * h = \frac{1}{2} m_g * V^2$$

**Ecuación 28.** Balance de energías entre un grano de maíz y un pin. [35]

Tomando en cuenta que la energía potencial es la energía necesaria para lograr la ruptura de grano de maíz se traduce en la siguiente ecuación:

$$E_{ruptura} = m * g * h$$

**Ecuación 29.** Energía de ruptura. [35]

Por ello con la ecuación 29 se puede obtener la velocidad tangencial tomando en cuenta la velocidad de la energía cinética como la velocidad tangencial del grano de maíz al impactar con un pin, por lo que igualando con la ecuación 30 se tiene una expresión que involucra la energía de ruptura del maíz que se tiene con la revisión bibliográfica, por lo tanto, se obtiene la siguiente expresión:



$$V_t = \sqrt{\frac{2 * E_{ruptura}}{m_g}}$$

**Ecuación 30.** Velocidad tangencial de un pin. [35]

Donde:

$V_t$  = velocidad tangencial, [m/s].

$E_{ruptura}$  = energía de ruptura del grano de maíz, [N.m].

$m_g$  = masa de grano de maíz, [kg].

De acuerdo con la FAO, 19 a 30 gramos por cada 100 maíz [11], es el peso referencial para determinar el peso unitario del grano de maíz, el cual da como resultado el 0,245 g = 0.000245 kg. Este dato permite obtener la velocidad tangencial que es  $V_t = 33,93$  m/s. La velocidad tangencial encontrada se interpretará también como la velocidad sin carga o en vacío  $V_v$ .

Al momento de operar el molino, ingresa una cierta cantidad de granos, esta carga inicial actúa como una resistencia a los pines, causando la reducción de la velocidad tangencial o en vacío, razón por el cual hace necesario determinar la velocidad con carga  $V_c$ ; es decir, ya en operación normal. Para este fin se utiliza el coeficiente de fluctuación que relacionan las dos velocidades tanto con carga y en vacío y se define de la siguiente manera:

$$C_s = \frac{V_v - V_c}{V}$$

**Ecuación 31.** Coeficiente de fluctuación. [35]

Donde:

$C_s$  = coeficiente de fluctuación.

$V_v$  = velocidad en vacío, [m/s].

$V_c$  = velocidad con carga, [m/s].

$V$  = velocidad tangencial media, [m/s].

La velocidad tangencial media se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{V_V + V_c}{2}$$

**Ecuación 32.** Velocidad tangencial media. [35]

El valor del coeficiente de fluctuación se toma en referencia para máquinas de molienda de granos (ver ANEXO III), el cual es un valor de 0,020.

Remplazando la ecuación 28 en la ecuación 29, se obtiene la expresión para obtener la velocidad tangencial final (con carga):

$$V_c = -V_V * \frac{C_s - 2}{C_s + 2}$$

**Ecuación 33.** Velocidad tangencial final. [35]

$$V_c = -33,93 \text{ m/s} * \frac{0,020 - 2}{0,020 + 2} = 33,35 \text{ m/s}$$

Con la ecuación 31 se obtiene la velocidad tangencial final con un valor de 33,35 m/s. La variación de la velocidad tangencial es muy poca, sin embargo, se demuestra la reducción de la velocidad.

*Radio de giro*

Una vez obtenido la velocidad tangencial final se puede encontrar la velocidad angular final con la siguiente ecuación:

$$\omega_c = \frac{V_c}{r_g}$$

**Ecuación 34.** Velocidad angular final. [35]

Donde:

$\omega_c$  = velocidad angular final, [rad/s]

$r_g$  = radio de giro, [m]

Se descompone la ecuación 32 para su mejor comprensión y se obtiene la siguiente expresión para la determinación del radio de giro. Tomando en cuenta la velocidad angular  $\omega$  del motor seleccionado es de 1750 RPM, sin embargo, la transmisión por poleas se da la relación de 2 a 1 donde se tiene una velocidad angular de 3500 RPM en el eje del sistema de trituración.

$$r_g = \frac{V_c * 60}{2 * \pi * \omega}$$

**Ecuación 35.** Radio de giro. [35]

Remplazando los datos se tiene:

$$r_g = \frac{33,35 \frac{m}{s} * 60}{2\pi * 3500} = 0,09 \text{ m}$$

Con el radio de giro obtenido se tiene una idea del dimensionamiento de la carcasa, del diámetro de los discos porta pines, de la criba y demás componentes del molino de pines.

### *Fuerza centrífuga*

La fuerza centrífuga que se genera al considerar como un disco de inercia al disco porta pines rotor con un pin en el extremo del mismo, que mencionada fuerza inercial es la que tratará de desprender el pin del disco, por lo que se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_c = \omega^2 * m_{pin} * r_g$$

**Ecuación 36.** Fuerza centrífuga. [35]

Donde:

$F_c$  = fuerza centrífuga el pin, [N]

$\omega$  = velocidad angular del motor (366,51 rad/s), [rad/s]

Además, se requiere valores de la masa y volumen de un pin, que se obtiene a partir de las ecuaciones siguientes:

$$m_{pin} = \rho_{pin} * V_{pin}$$

**Ecuación 37.** Masa de un pin. [35]

Donde:

$m_{pin}$  = masa del pin, [kg]

$\rho_{pin}$  = densidad del acero inoxidable 304 (7980 kg/m<sup>3</sup>), [kg/m<sup>3</sup>]

$V_{pin}$  = volumen de un pin, [m<sup>3</sup>]

Mientras que el volumen del pin dimensionado se calcula como un cilindro recto con el diámetro obtenido a partir del benchmarking y las consideraciones.

$$V_{pin} = \frac{\pi * d_{pin}^2 * h}{4}$$

**Ecuación 38.** Volumen de un pin. [35]

Donde:

$d_{pin}$  = diámetro del pin (17 mm), m<sup>3</sup>.

$h$  = altura del pin (5,5 mm), m.

Con la ecuación 36, se obtiene un valor de volumen de  $1,14 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>, y la masa se calcula a partir de la ecuación 35, obteniendo un valor de 0,091 kg.

Por lo tanto, la fuerza centrífuga se expresa de la siguiente manera:

$$F_c = 0,091 \text{ kg} * \left(366,41 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 * 0,09 \text{ m}$$

$$F_c = 1099,56 \text{ [N]}$$

*Análisis de cizallamiento de los pines.*

El trabajo principal de la molienda lo realiza los pines ubicados tanto en el disco rotor como en el disco estator. Se recalca que la energía necesaria para fracturar un grano de maíz lo realiza por la alta velocidad, no por la fuerza de impacto, por ello se analiza el cizallamiento generado por la fuerza centrífuga que actúa en los pines y para tal fin se considera calcular el esfuerzo cortante con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{P}{A}$$

**Ecuación 39.** Esfuerzo cortante. [26]

Donde:

$\tau$  = esfuerzo cortante, MPa.

$P$  = carga de corte paralela a la sección del área, [N].

$A$  = área o sección, mm<sup>2</sup>.

Se considera como la carga de corte que esta paralela a la superficie del pin es la  $F_c$ .

$$\tau = \frac{1099,56 \text{ [N]}}{\pi * (8,5\text{mm})^2} = 4,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



**Figura 41.** Pin sometido a una fuerza de corte.

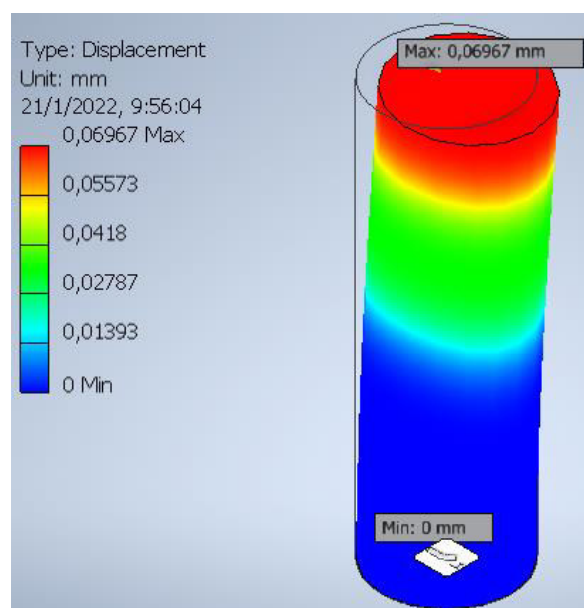
El esfuerzo cortante determinado se considera como el esfuerzo cortante máximo, para determinar el factor de seguridad del pin, con la siguiente ecuación:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2n}$$

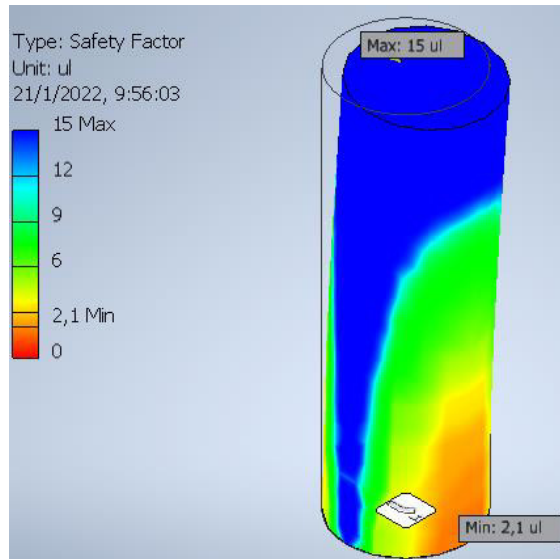
**Ecuación 40.** Teoría del cortante máximo. [26]

$$n = \frac{0,5 * S_y}{\tau} = \frac{0,5 * 220 \text{ N/mm}^2}{4,83 \text{ N/mm}^2} = 22,77$$

Se obtiene un factor de seguridad alto, por lo que también se emplea el método de elementos finitos para verificar el desplazamiento y el factor de seguridad del pin bajo las condiciones determinadas.



**Figura 42.** Desplazamiento del pin bajo la carga aplicada.



**Figura 43.** Factor de seguridad del pin.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el método de elementos finitos, se observa en la figura 42, que los desplazamientos que van a experimentar cada pin no superan los 0,06 mm como el desplazamiento máximo obtenido, representando que los pines tienen dimensiones acordes a la funcionalidad.

En base al factor de seguridad simulado en elementos finitos que ubican dentro del mismo rango que del valor determinado mediante el factor de seguridad por resistencia a la fluencia cortante, se selecciona el pin de 17 mm de diámetro tanto para el disco estator como para el disco rotor de la cámara de molienda.

#### *Diseño de los discos porta pines*

En los criterios y cálculos que preceden, se determinó ciertos parámetros de los discos porta pines, tales como el número de pines y el radio de giro de 0,09 m; aquí, por razones de cálculo se toma el radio de giro de 0,1 m.

Se establece que el disco rotor almacena un total de 23 pines y el disco estator 12 pines, dándonos un total de 35 pines.

Los discos deben soportar firmemente los pines y el esfuerzo a los cuales se encuentran sometidos. Los discos serán sometidos a cargas de tracción que son originados por la fuerza centrífuga aplicada en los pines, por lo que se aplica el criterio de falla por la fluencia a cortante por Energía de Distorsión  $S_{sy} = 0,577S_y$  [26], de la ecuación 39:

$$\tau = \frac{F_c}{A_d} = \frac{0,577S_y}{n}$$

Donde:

$A_d$  = área del disco porta pines.

Y desarrollando el área del disco con relación al espesor, se obtiene lo siguiente:

$$\tau = \frac{F_c}{e * d_d}$$

**Ecuación 41.** Esfuerzo cortante en relación con área descompuesta. [35]

Donde:

$e$  = espesor del disco porta pines, mm.

$d_d$  = diámetro del disco porta pines, mm.

La ecuación 41 se reemplaza en la ecuación 39, y despejando el espesor de la placa requerida, además, se establece el factor de seguridad de 16, debido a las altas revoluciones que experimenta el disco [35]. Se expresa:

$$e = \frac{F_c * n}{0,577S_y * d} = \frac{946,76N/mm^2 * 16}{0,577 * 175,81N/mm^2 * 20mm} = 7,46 \text{ mm}$$

Se determina que el espesor mínimo del disco es de 7,46 mm, por lo que se establece un espesor de 10 mm para el diseño de los discos, tanto el rotor como el disco estator. Además, se establece que los demás componentes que conforman la carcasa del molino (tapa posterior, pareles laterales, tapa frontal, etc. tiene el mismo espesor del determinado.

Con esto se vuelve a calcular el factor de seguridad con el espesor que se va a emplear en el diseño, utilizando el criterio de falla por la resistencia a la fluencia cortante:

$$\tau = \frac{1099,56 [N]}{10mm * 20mm} = 5,49 \text{ N/mm}^2$$

$$n = \frac{0,577S_y}{\tau} = \frac{0,577 * 175,81N/mm^2}{5,49 \text{ N/mm}^2} = 18,4$$

*Pernos de sujeción del disco porta pines estator*

Se establece este tipo de unión para garantizar la modularidad y el mantenimiento del molino de pines, debido a que se podría cambiar al presentarse desgaste en los pines, por lo que se considera que los pernos están sujetos a esfuerzo cortante debido a la carga que

ejerce el peso del disco estator. Con el software Inventor se obtiene de manera directa la masa del disco incluido los 12 pines distribuidos radialmente, resultando un total de 2,45 kg, y el peso se determina multiplicando la gravedad, lo cual se obtiene 24,03 [N].

Se emplea la ecuación del 26, considerando que se tiene 4 pernos que soportan la misma carga se emplean las ecuaciones de método elástico vectorial de la AISC [28], donde se debe trasladar la carga al plano de carga de los pernos, la distancia desde el centro de gravedad del disco con los pines hasta el plano de carga es de 20,9 mm, mientras que el radio del centro geométrico del arreglo de pernos es de 75 mm, como se tiene un arreglo de pernos equidistantemente, el radio se mantiene para los 4 pernos, para lo cual se utiliza las ecuaciones 24 y 25 respectivamente presentados a continuación:

$$F' = \frac{P}{N} = \frac{24,03 [N]}{4} = 6 [N]$$

$$F'' = \frac{P * d * r}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2} = \frac{24,03 [N] * 20,9 mm * 75mm}{(75mm)^2 + (75mm)^2 + (75mm)^2 + (75mm)^2} = 1,7 [N]$$

De la misma manera se utiliza la ecuación reducida 26, para obtener el área de un perno. Se tiene solo es esfuerzo de tensión en el plano X, y los esfuerzos nominales de los pernos se determina a partir de la relación entre fuerza respectiva y el área del perno, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = \left( \left( \frac{F''}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F'}{A} \right)^2 \right)^{1/2}$$

A su vez, el esfuerzo de Von Mises se iguala a la ecuación de diseño de la fluencia de la ecuación 23, por lo que se obtiene la siguiente expresión:

$$\left( \left( \frac{F''}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F'}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

Considerando un factor de seguridad de 2, y resistencia a la fluencia de eje de acero inoxidable 304, 220 N/mm<sup>2</sup> [27]. se obtiene:

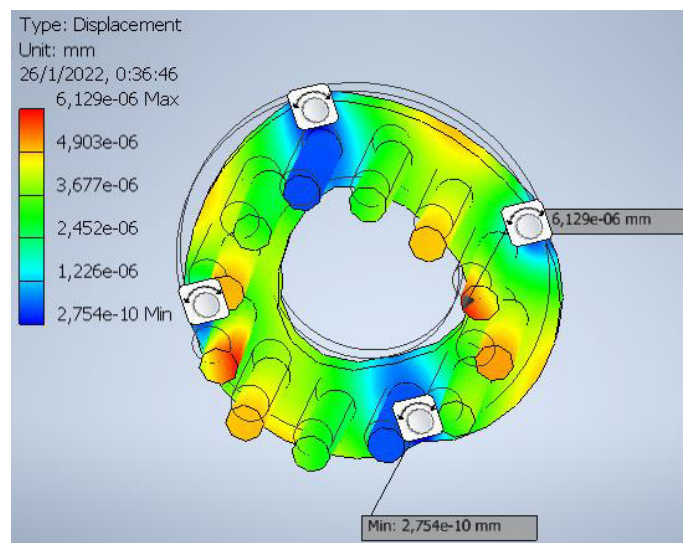
$$\left( \left( \frac{1,7 [N]}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{6 [N]}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{175,81 N/mm^2}{2}$$

$$A_1 = 0,12 mm^2, A_2 = -0,12 mm^2$$

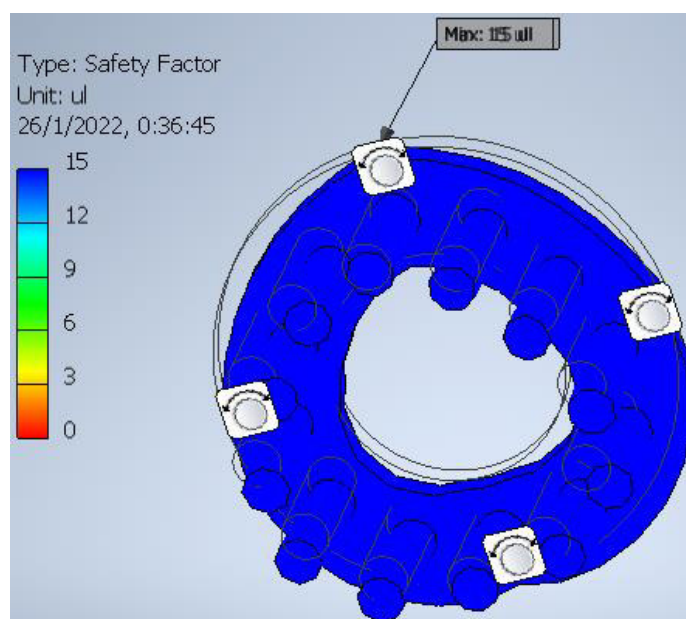


Por lo tanto, el área se establece el valor positivo determinado y da como resultado un perno de diámetro 0,39 mm, por lo que, por lo que cualquier perno disponible comercialmente cumple la funcionalidad de sujeciones al perno, por lo cual se seleccionan perno Allen milimétrico cabeza avellanada inoxidable de M5x20, con sus respectivas arandelas planas y de presión, estos a su vez deberán ser de material acero inoxidable debido a que van a estar en contacto con el material que va a ser molido.

Las condiciones anteriores se someten al método de elementos finitos para constatar los desplazamientos y el factor de seguridad que se obtiene con los pernos seleccionados, los cuales se muestra a continuación:



**Figura 44.** Desplazamientos bajo cargas del peso en el disco estator porta pines.



**Figura 45.** Factor de seguridad del disco porta pines bajo cargas del peso.

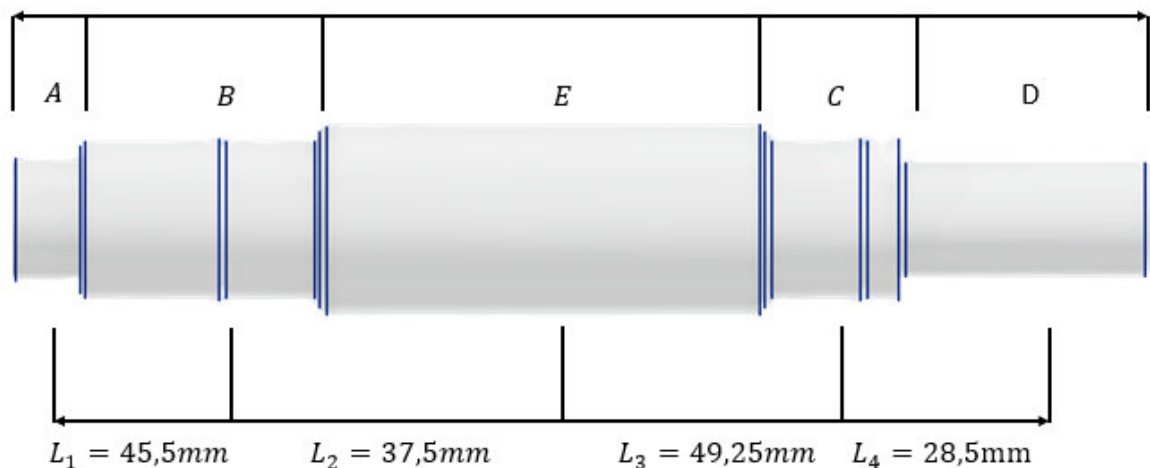
Como resultado de la simulación se observa en la figura 44 que no va a sufrir deformaciones visibles al ojo humano, por lo que se establece el diseño con las dimensiones determinadas; mientras, que el factor de seguridad de la figura 45 se encuentra en el mismo rango de valor que el determinado por el criterio de falla por la resistencia a fluencia cortante.

#### *Diseño del eje*

El eje principal del molino de pines será maquinado usando un material de acero de inoxidable debido a que un área mínima se encuentra en contacto con el material molido, y de acuerdo a la normativa utilizada, todo material que se encuentre en contacto con el alimento debe ser un acero de grado alimenticio, por lo tanto, se usa acero inoxidable AISI 304, inicialmente se dimensiona el diámetro mínimo con la condición estático y con una longitud de 199 mm. Se elige este material por las siguientes características:

- Acero inoxidable austenítico al cromo – níquel con bajo contenido de carbono [36].
- Resistente para efectos corrosivos del medio ambiente, humedad, vapor, etc. [36].

El diseño del eje para este molino, se inició con la determinación de la geometría del mismo, para luego pasar al análisis estático y dinámico de este elemento, poniendo así determinar factores de seguridad y diámetro mínimo que permitan cumplir con la funcionalidad de esta máquina. En esta etapa se inicia con la determinación de la distancia de los cuales están los cambios de sección en todo el eje, tal como se observa en la siguiente figura:

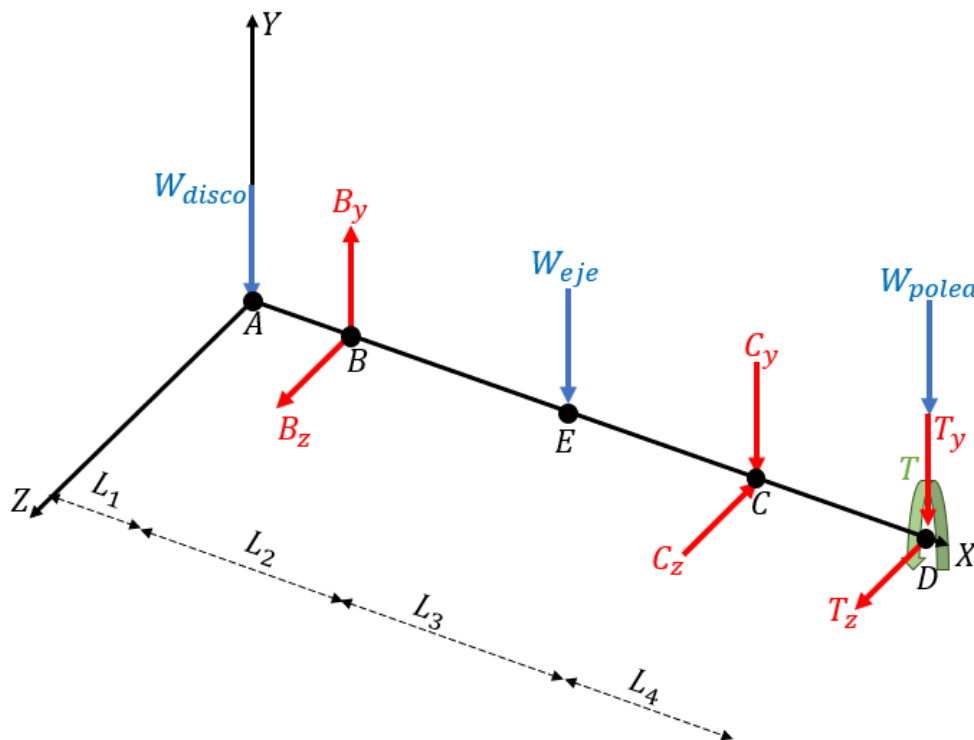


**Figura 46.** Eje del molino de pines.

Con las dimensiones definidas desde el centro de masa de cada sección, se procede a construir el diagrama de cuerpo libre.

### Diagrama de cuerpo libre

Para el desarrollo de esta sección se ubican las cargas que actúan sobre todo el eje junto con las reacciones que se generan, junto con el valor de las tensiones que actúan en la polea el cual fue estimado por mi otro compañero, nutriendo así obtener el siguiente DCL de la siguiente figura:



**Figura 47.** Diagrama de cuerpo libre del eje.

### Reacciones del eje

En esta sección se utiliza sumatorias de fuerzas y momentos los cuales permitirán determinar las reacciones que se generan en el eje, obteniéndose así el Valor de las reacciones que se genera en el punto C y B.

$$\sum M = 0$$

**Ecuación 42.** Sumatoria de momentos.

$$\sum MB_z = 0$$

$$(W_{pin} * L_1) - W_{eje} * (L_2) - C_y * (L_2 + L_3) - W_{polea} * (L_2 + L_3 + L_4) - T_{totaly} * (L_2 + L_3 + L_4) = 0$$

$$C_y = 42.707 [N]$$

$$\Sigma M_{Cz} = 0$$

$$W_{pin} * (L_1 + L_2 + L_3) - B_y * (L_2 + L_3) + W_{eje} * (L_3) - W_{polea} * (L_4) - T_{totaly} * (L_4) = 0$$

$$B_y = 57.283 \text{ [N]}$$

$$\Sigma M_{By} = 0$$

$$C_z * (L_2 + L_3) - F_{Bz} * (L_2 + L_3 * L_4) = 0$$

$$C_z = 236.66 \text{ [N]}$$

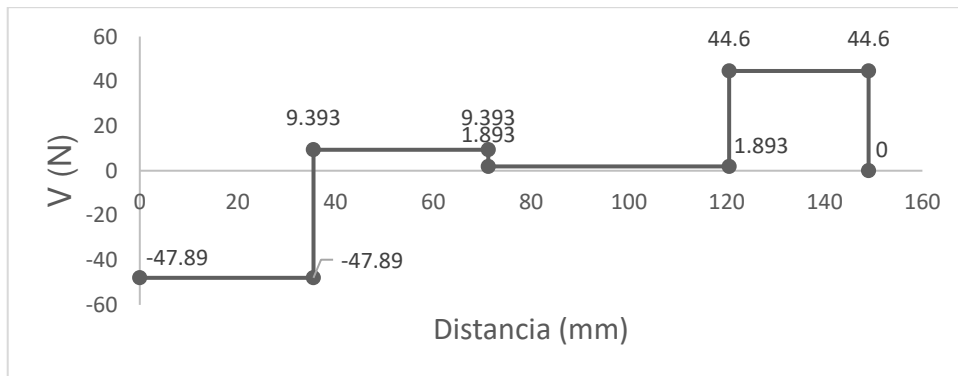
$$\Sigma F_z = 0$$

$$B_z - C_z + T_{Totalz} = 0$$

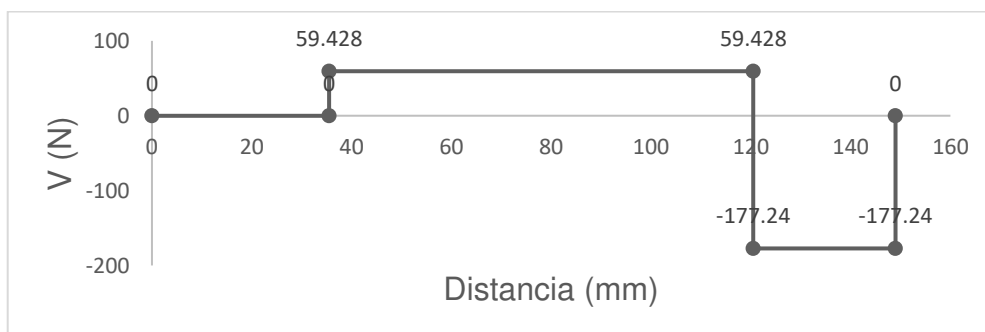
$$B_z = 59.428 \text{ N}$$

*Diagrama de reacciones, cortante y momentos*

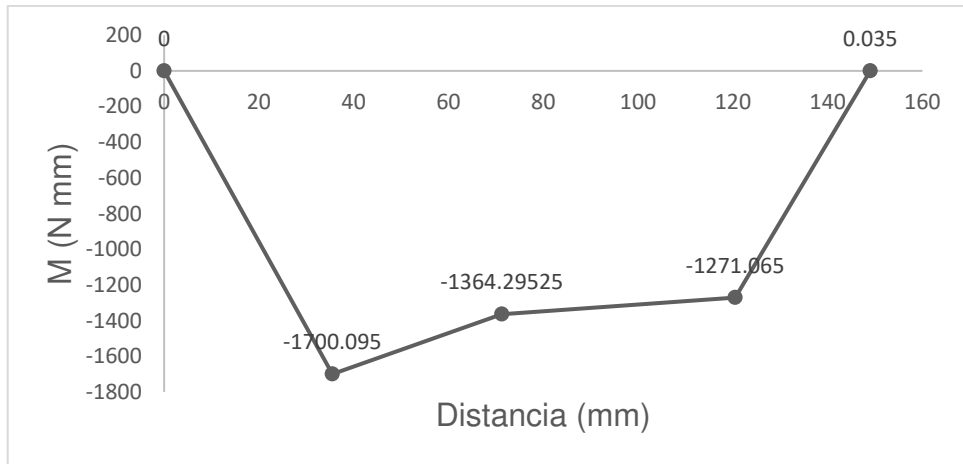
Una vez establecido las reacciones que se generan en el eje, se procede a realizar los gráficos de reacciones, cortante y momento que actúan en el eje, obteniéndose los siguientes resultados:



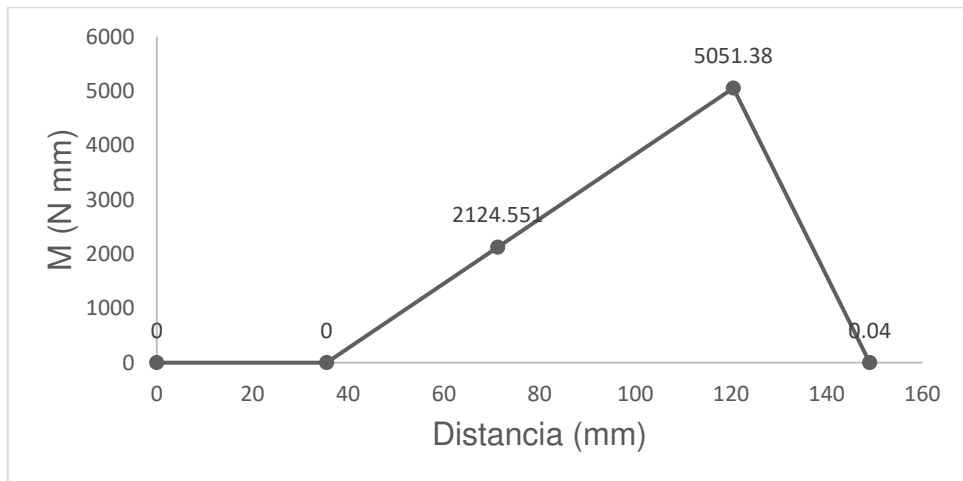
**Figura 48.** Cortante X-Y del eje.



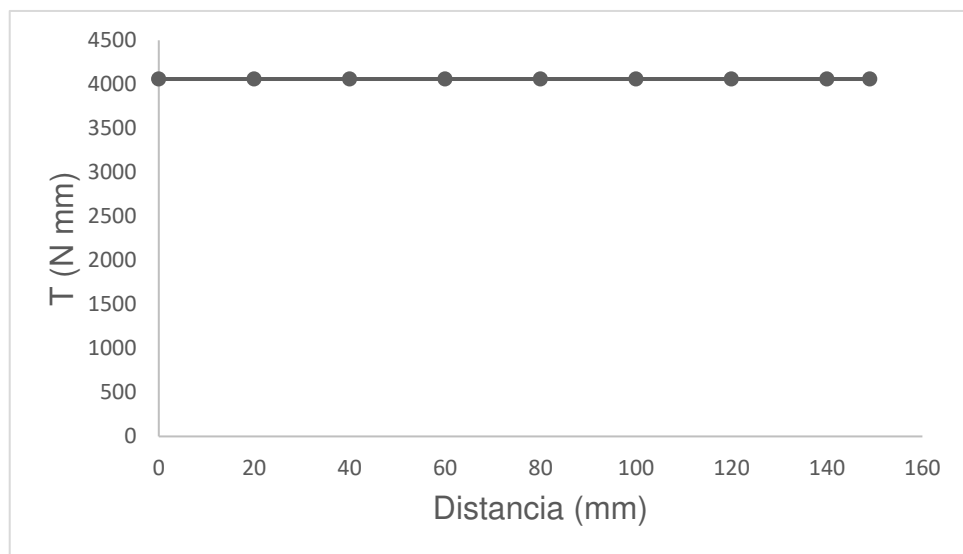
**Figura 49.** Cortante X-Z del eje.



**Figura 50.** Momento X-Z del eje.



**Figura 51.** Momento X-Z del eje.



**Figura 52.** Torque X-Y del eje.

### Sección crítica del eje

Una vez obtenida la gráfica del momento que actúa en el eje, se procede a identificar la sección crítica, mediante la ecuación 43, obteniéndose así la tabla 54.

$$M_{total} = \sqrt{MB_{XY}^2 + MB_{YZ}^2}$$

**Ecuación 43.** Momento total del eje.

**Tabla 54.** Tabla de momentos totales.

Unidades	MB total	ME total	MC total	Torque
N mm	1700,10	2524,88	5208,84	4060,06
N m	1,7	2,52	5,20	4,06
lb In	15,05	22,36	46,2	35,93

### Diseño estático del eje

En esta etapa se consideran los esfuerzos por flexión junto con torsión bajo los cuales está sometida la sección crítica del eje, luego se aplicará un factor de seguridad de 2, con la ecuación 26 de la teoría de la máxima energía de distorsión y la ecuación 23 el esfuerzo permisible de 220 MPA correspondientes al AISI 304, el cual corresponde al material del eje representados respectivamente a continuación; obteniéndose así una fórmula que permitirá determinar el diámetro mínimo para el eje bajo cargas estáticas.

$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma_X^2 + 3 * \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \frac{S_Y}{n}$$

Cálculo de esfuerzo por flexión:

$$\sigma_X = \frac{32 * M_{max}}{\pi d^3}$$

**Ecuación 44.** Esfuerzo por flexión. [26]

$$\sigma_X = \frac{32 * (5604,83)}{\pi d^3}$$

Cálculo de esfuerzo por torsión:

$$\tau_{XY} = \frac{16 * T}{\pi d^3}$$

**Ecuación 45.** Esfuerzo por torsión. [26]

$$\tau_{XY} = \frac{16 * (7127,39)}{\pi d^3}$$

Aplicando Von-Mises

$$S_Y = 310 \text{ Mpa} \quad n = 3$$

$$\frac{S_Y}{n} = \sqrt{\sigma_X^2 + 3 * \tau_{xy}^2}$$

$$\frac{S_Y}{n} = \sqrt{\left(\frac{32 * M_{max}}{\pi d^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$d^6 = \frac{\left(\frac{1024 * M_{max}}{\pi^2}\right)^2 + 3 * \left(\frac{256 * T^2}{\pi^2}\right)}{\left(\frac{S_Y}{n}\right)^2}$$

$$d^6 = \frac{\left(\frac{1024 * (5179.09 \text{ Nmm})}{\pi^2}\right)^2 + 3 * \left(\frac{256 * (4060 \text{ Nmm})^2}{\pi^2}\right)}{\left(\frac{220 \text{ Mpa}}{2}\right)^2}$$

$$d = 8,33 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido es el diámetro mínimo que soporta el eje a las cargas sometidas, sin embargo, el eje se encuentra a altas revoluciones por lo que es necesario determinar los diámetros mínimos en las diferentes secciones por fatiga.

#### *Diseño a fatiga del eje*

Para el diseño a fatiga se debe considerar varios criterios, como bajo qué tipo de esfuerzos cíclicos va trabajar, secciones donde existe concentración de esfuerzos, tipo de criterio a fatiga, factores de Marín, factores de seguridad, resistencia última y de fluencia del material a utilizarse en el eje, buscando así garantizar que el eje funcione bien bajo cargas dinámicas.

Una consideración importante a tomar en cuenta es la caracterización de los esfuerzos fluctuantes, en este caso el esfuerzo por flexión se considera como esfuerzo sinusoidal

complemente invertido y el esfuerzo de corte producido por torsión es constante en todo el eje.

Para la estimación del diámetro en el punto C, se usará el procedimiento determinado por Shigley, por lo que primero se utilizará la tabla 55, para realizar una primera estimación del diámetro en ese punto.

**Tabla 55.** Estimaciones de la primera iteración de los factores de concentración del  $K_t$  y  $K_{ts}$ . [26]

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Se usará un  $K_f = K_t = 1.7$  para flexión y un  $K_{fs} = K_{ts} = 1.5$  para la torsión y un  $r/d = 0.1$ , y para calcular el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica como se muestra en la ecuación 46, se considerará que  $K_b = 0.9$  y  $K_b = K_c = K_d = K_e = k_f = 1$

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

**Ecuación 46.** Límite de resistencia a la fatiga de Marin. [26]

Donde:

$k_a$  = factor de modificación por la condición superficial.

$k_b$  = factor de modificación por el tamaño.

$k_c$  = factor de modificación por la carga.

$k_d$  = factor de modificación por la temperatura.

$k_e$  = factor de confiabilidad.

$k_f$  = factor de modificación por efectos varios.

$S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

$S_e$  = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.



Una vez calculado el  $S_e$ , junto con los valores obtenidos en la sección crítica como  $M_a$  es de 45.83 lb-in, un  $T_m$  es de 35.93 lb-in y un factor de seguridad de 2, los cuales son datos del momento máximo y torsión actuante en esta sección crítica, se obtendrá el diámetro mínimo a fatiga con la ecuación 47:

$$d = \sqrt[3]{\left\{ \frac{16 n}{\pi} \left( \frac{2 K_f M_a}{S_e} \right) + \frac{\sqrt{3 (K_{fs} T_m)^2}}{S_{ut}} \right\}}$$

**Ecuación 47.** Estimación del diámetro por ED – Goodman. [26]

Obteniéndose así que el diámetro debe ser de 0,398 in es decir 10,10 mm, para lo cual se usara un diámetro standard de 3/8. Una suposición recomendada para la relación D/d es de 1,2 [26], obteniéndose así un D=0.45 in, con lo que se puede tomar un valor aproximado de 7/16 para D, con lo que se puede calcular el valor real D/d el cual es de 1,17; para el valor de r/d recomienda un valor de 0,1; con lo que se puede calcular el valor real de un  $k_t$  de 1,66; un  $k_{ts}$  de 1,27;  $q$  de 0,68 y un  $q_s$  de 0,72 obtenidos del ANEXO IV, además se obtiene un  $K_b$  de 0,97 con el diámetro estándar de 7/16 calculado, obteniéndose así el valor real de  $S_e$  de 31,74 Kpsi, luego usando el valor obtenido de  $K_f$  de 1,44, un  $k_{fs}$  de 1,2, un  $S_y$  de 32Kpsi (220 MPA) y un  $S_{ut}$  de 75 Kpsi (520Mpa), con estos datos se obtendrá el valor de los esfuerzos fluctuantes alternos, medios, se les aplicara el criterio de falla por la energía de a distorsión (Von Mises), con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma'_a = \sqrt{\left[ \left( \frac{32 K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]}$$

**Ecuación 48.** Esfuerzo de Von Mises debido a la flexión. [26]

$$\sigma'_m = \sqrt{\left[ \left( \frac{32 K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]}$$

**Ecuación 49.** Esfuerzo de Von - Mises debido a la torsión. [26]

Luego usando un factor de seguridad a fatiga usando el criterio de Goodman modificado con la ecuación 50, se tiene que el  $n_f$  es de 2.13, cabe recalcar que el este criterio no cubre la fluencia, por lo que se debe comprobar el factor a la fluencia, mediante la ecuación 51.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n_f}$$

**Ecuación 50.** Criterio de Goodman modificado. [26]

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$$

**Ecuación 51.** Factor de seguridad a fatiga en el criterio de Goodman. [26]

Obteniéndose así un  $n_y$  de 1.67, con lo que se asegura que el eje en la sección crítica no falle estáticamente, a fatiga y por fluencia. Obteniéndose así un diámetro de 3/8 para la sección C y un diámetro de 7/16 para la sección E, datos los cuales luego se utilizarán para el cálculo de la sección B y C.

Para el cálculo en la sección B se utilizará como datos de entrada el diámetro de 7/16,  $M_a$  de 15.05,83 lb-in,  $T_m$  de 35,93 lb-in, junto con el ancho de 0,039 in, profundidad de 0,017 in y radio de 0,005 correspondientes al anillo de seguridad en B, datos necesarios para el cálculo de  $k_t$ ,  $k_{ts}$ ,  $q$  y  $q_s$ , mediante el uso del ANEXO IV.

Obteniendo así el  $k_f$  y  $k_{fs}$  para estimar los esfuerzos fluctuantes en B con las ecuaciones 48 y 49.

Además, para el cálculo de  $k_b$  se utilizará el diámetro de 7/16 obtenido para la sección C, con lo que se puede estimar el valor aproximado de  $S_e$  de 32.25, el valor el cual permitirá utilizar la ecuación de Goodman para el cálculo del factor de seguridad a fatiga, obteniéndose el valor de 1.6 y el  $n_y$  es de 128. Para la sección C con la ranura para el anillo de seguridad se ocupa este mismo procedimiento.

Para el cálculo de los diámetros en la sección D, se utiliza como un diámetro standard menor al diámetro obtenido en la sección C junto con el  $S_{ut}$  y  $S_e$  de la sección C, con lo que el diámetro a utilizarse será de 3/8, además se utilizaran los datos de la tabla 55 para una estimación rápida de esta sección a flexión y torsión ( $k_t$ ,  $k_{ts}$ ,  $r/d$ ), con lo que primero se pasa a calcular primero el  $r$ , valor el cual junto con el  $S_{ut}$  del material del eje se puede pasar a calcular el  $q$  y  $q_s$ . Luego utilizando la ecuación 50 junto con los valores de momentos y torsión en esta sección se puede estimar el esfuerzo fluctuante medio y alterno.

Luego para la estimación del factor de seguridad a fatiga y fluencia, se utilizan las ecuaciones 50 y 51. Obteniendo un  $n_f$  de 3,05 y un  $n_y$  de 2,28. Este mismo procedimiento se utiliza para la sección A, obteniéndose los siguientes resultados en la siguiente tabla, considerando el factor de seguridad de 2.

**Tabla 56.** Resultados obtenidos cuando n=2.

Sección	Cambio de sección	Factor de concentración de esfuerzos		Momento flector lb-in	Factor de seguridad a fatiga	Factor de seguridad a la fluencia	Diámetro Ø	
		k <sub>f</sub>	k <sub>fs</sub>				Min	Seleccionado
A	Hombro	1.76	1.55	2.12	0.94	0.94	1/4"	0,74"
B	Ranura	2.4	1.5	11.87	1.99	1.27	5/16"	0,90"
	Hombro	1.42	1.23	15.05	2.56	1.60	3/8"	0,98"
E	Ninguna	N/A	N/A	42.32	2.13	1.68	7/16"	1,18"
C	Hombro	1.44	1.2	42.32	2.13	1.68	3/8"	0,98"
	Ranura	2.4	1.5	33.97	1.62	1.29	3/8"	0,90"
D	Hombro	1.79	1.58	33.96	0.86	0.86	5/16"	0,74"

Debido a que los factores de seguridad a fatiga y fluencia son bajos, se decide nuevamente realizar los cálculos para para un factor de seguridad de 6, obteniéndose los siguientes resultados en la tabla 57.

**Tabla 57.** Resultados obtenidos cuando n=6.

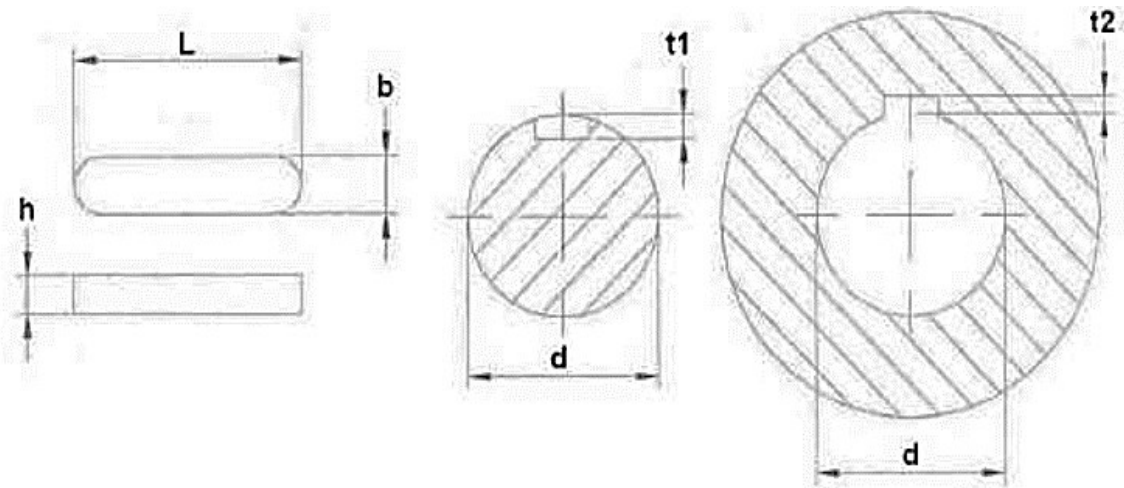
Sección	Cambio de sección	Factor de concentración de esfuerzos		Momento flector lb-in	Factor de seguridad a fatiga	Factor de seguridad a la fluencia	Diámetro Ø [in]	
		k <sub>f</sub>	k <sub>fs</sub>				Min	Seleccionado
A	Hombro	1.76	1.55	2.12	3.96	1.83	5/16"	0,74"
B	Ranura	2.25	1.5	11.87	5.68	3.57	7/16"	0,90"
	Hombro	1.42	1.15	15.05	7.1	4.6	7/16"	0,98"
E	Ninguna	N/A	N/A	42.32	7.05	5.79	5/8"	1,18"
C	Hombro	1.43	1.15	42.32	7.05	5.79	9/16"	0,98"
	Ranura	2.4	1.5	33.97	5.48	4.34	9/16"	0,90"
D	Hombro	1.88	1.63	33.96	3.05	2.82	7/16"	0,74"

#### *Selección de chaveta*

Las chavetas son elementos normalizados que se fabrican de manera estándar. El uso de chavetas permite la transmisión de pares de torsión y el movimiento del eje hacia el disco

porta pines rotor. Para determinar las dimensiones de la chaveta se hace el uso de la norma DIN 6885-A chavetas paralelas de sección rectangular [37]. El material de fabricación de la chaveta se recomienda el acero AISI 1010, ya que la chaveta no se va a encontrar en contacto con el maíz molido, debido a que se encuentra protegido por una tuerca que sujetan al disco rotor. La resistencia a la fluencia del acero AISI 1010 es de 324 MPa [26].

A continuación, un esquema de la chaveta a seleccionar:



**Figura 53.** Dimensiones de la chaveta. [35]

De acuerdo a la norma DIN 6885-A chavetas paralelas, para un eje de 18 mm las dimensiones b, t, L son las siguientes:

**Tabla 58.** Dimensiones de la chaveta. [37]

Ancho b	6 mm
Altura h	6 mm
Longitud L	13 mm
Radio	0,25 mm – 0,40 mm

**Tabla 59.** Dimensiones del chavetero. [37]

Diámetro del eje d	18 mm
Con juego en el lomo o aprieto t <sub>1</sub>	3,5 mm
Radio	0,16 mm – 0,25 mm

**Tabla 60.** Dimensiones del cubo. [37]

Diámetro del eje d	18 mm
Con juego en el lomo t <sub>2</sub>	2,8 mm

Para la correcta selección de la chaveta se debe considerar además de los esfuerzos cortantes y la fuerza de aplastamiento. Como se tiene la potencia mecánica del motor seleccionado se ha determinado con anterioridad el torque en la sección de diseño del eje, por lo que se tiene un valor de 4060.66 Nmm y teniendo el radio del eje se determina la fuerza cortante con la siguiente ecuación:

$$T = F * r$$

**Ecuación 52.** Formula de torque.

Donde:

$T$  = torque, Nmm.

$F$  = fuerza, [N].

$r$  = distancia, mm.

Despejando la fuerza se obtiene la siguiente expresión:

$$F = \frac{T}{r} = \frac{4060,66 \text{ Nmm}}{9 \text{ mm}} = 451,18 \text{ [N]}$$

Esta fuerza se considera como una fuerza cortante para determinar el esfuerzo a corte de la chaveta, se utiliza la ecuación 39, con las dimensiones de la chaveta para su área:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F}{b * L} = \frac{451,18 \text{ [N]}}{(10 * 60) \text{ mm}} = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

Para comprobar si el valor de las dimensiones seleccionadas sea correcto se debe cumplir que:

$$\tau_c \leq \frac{S_y}{2}$$

**Ecuación 53.** Validación del esfuerzo cortante. [35]

Donde:

$\tau$  = esfuerzo cortante, N/mm<sup>2</sup>.

$S_y$  = resistencia la fluencia, N/mm<sup>2</sup>.

Se utiliza la resistencia a la fluencia del acero AISI 1010 de 324 MPa, entonces:

$$0,70 \text{ N/mm}^2 \leq \frac{324 \text{ N/mm}^2}{2}$$

Se verifica que:

$$0,70 \frac{N}{mm^2} \leq 162 \frac{N}{mm^2}$$

Por lo que el valor seleccionado es aceptado.

Ahora se debe validar por la verificación del esfuerzo por aplastamiento. El área del aplastamiento viene dada por la siguiente ecuación:

$$A_{\text{aplastamiento}} = t * L$$

**Ecuación 54.** Área de aplastamiento.

Se establece un ajuste a apriete, por lo tanto, el t resulta 5,9 mm, entonces:

$$A_{\text{aplastamiento}} = 5,9 \text{ mm} * 10 \text{ mm} = 59 \text{ mm}^2$$

Con el área de aplastamiento, se determina el esfuerzo de aplastamiento como un esfuerzo normal con la fuerza de aplicación en la chaveta

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

**Ecuación 55.** Esfuerzo normal

$$\sigma = \frac{451,18 \text{ [N]}}{59 \text{ mm}^2} = 7,64 \text{ N/mm}^2$$

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} \leq S_{y\text{eje}}$$

**Ecuación 56.** Validación del esfuerzo de aplastamiento. [35]

Se verifica con la resistencia a la fluencia del eje de acero inoxidable 304:

$$7,64 \text{ N/mm}^2 \leq 220 \text{ N/mm}^2$$

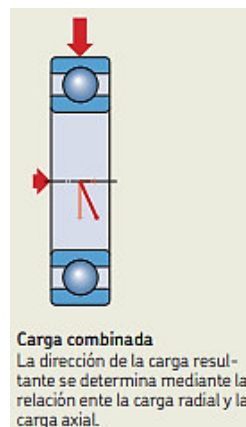
Por lo que se valida la selección de la chaveta, y se establece los valores de las dimensiones en el modelado 3D.

*Selección de rodamientos*

El molino de pines al ser una máquina rotativa depende de gran medida de los rodamientos para su correcto funcionamiento del eje. La selección de los rodamientos se determina por

el tipo de rodamiento a utilizarse, el diámetro del eje, las revoluciones máximas y las horas de funcionamiento, estos factores dependerá de la aplicación [38].

Se procede a seguir la guía de selección de rodamientos de CATALOGO GENERAL DE SKF, por lo que en primera instancia se considera el tipo de rodamiento, siendo el rodamiento rígido de bolas el más habitual y versátil para este tipo de aplicaciones, además presentan baja fricción, bajo ruido y baja vibración. Un criterio adicional a esta elección del tipo se basa en las cargas combinadas que se tiene en las secciones B y C del eje, ya que este tipo de rodamientos soportan cargas combinadas [38].



**Figura 54.** Cargas que soporta un rodamiento rígido de bolas. [38]

Para asegurar la correcta selección del rodamiento se calcula el valor de la carga dinámica que soportará el rodamiento rígido de bolas. De acuerdo a los cálculos en la sección del eje, se tiene solo valores de carga radial. El valor de la carga será referente a la carga de mayor criticidad determinado en las secciones de apoyo de los rodamientos, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 61.** Cargas en las secciones de B y C del eje.

	Eje Y	Eje Z	Resultante
Sección B	90,14 [N]	59,42 [N]	107,96 [N]
Sección C	71,25 [N]	236,66 [N]	247,15 [N]

La carga de mayor criticidad se encuentra en la sección C del eje con un valor de carga radial de 247,15 [N], por lo que el análisis del rodamiento se va a enfocar en donde se soporte una mayor carga.

La carga dinámica del rodamiento a seleccionar viene dada por la siguiente ecuación:

$$C = \left( \frac{L_h * 60 * n}{1 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{k}} * p$$

**Ecuación 57.** Carga dinámica de rodamiento rígido de bolas. [39]

Donde:

$C$  = Carga básica dinámica, [N].

$L_h$  = Funcionamiento del molino de pines en horas, 43800 h [35].

$n$  = Velocidad de rotación, 3500 RPM.

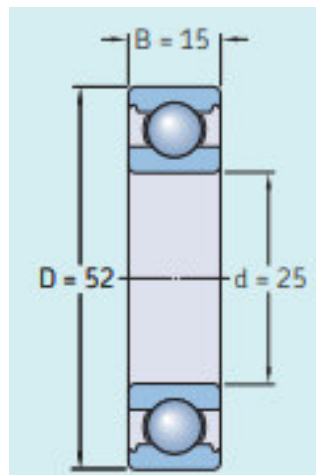
$k$  = Constante de durabilidad de un rodamiento de bolas, 3.

$p$  = Carga de mayor criticidad, 247,15 [N].

Sustituyendo los valores se obtiene la siguiente expresión:

$$C = \left( \frac{43800h * 60 * 3500RPM}{1 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} * 247,15 [N] = 5178,35 [N]$$

Se tiene un valor de  $C=5,178$  KN, y el diámetro del eje la sección de apoyo de los rodamientos es de 25 mm, se selecciona un rodamiento 6205/HCSC3 con las siguientes dimensiones:



**Figura 55.** Rodamiento rígido de bolas 6205. [38]

El rodamiento seleccionado es el más común comercialmente, además, los parámetros calculados están dentro del rango de capacidad del rodamiento seleccionado, por lo que en las secciones B y C se colocará el mismo rodamiento con sus respectivos anillos de seguridad.



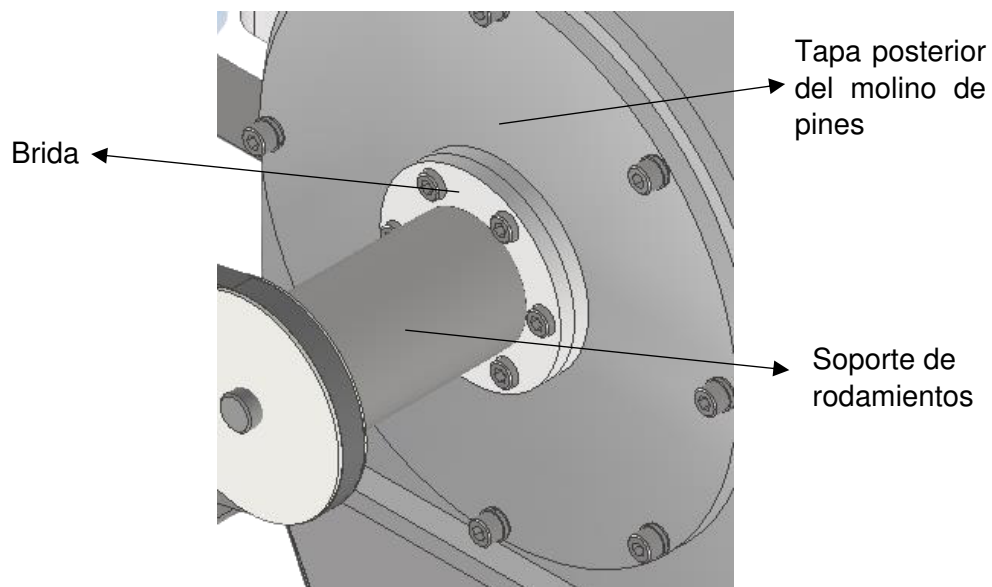
### *Pernos de sujeción del soporte de rodamientos*

Por motivos de diseño, se realiza un soporte que albergara dos rodamientos seguidos de bolas con sus respectivos anillos de seguridad como se muestra en la figura a continuación:



**Figura 56.** Soporte de rodamientos.

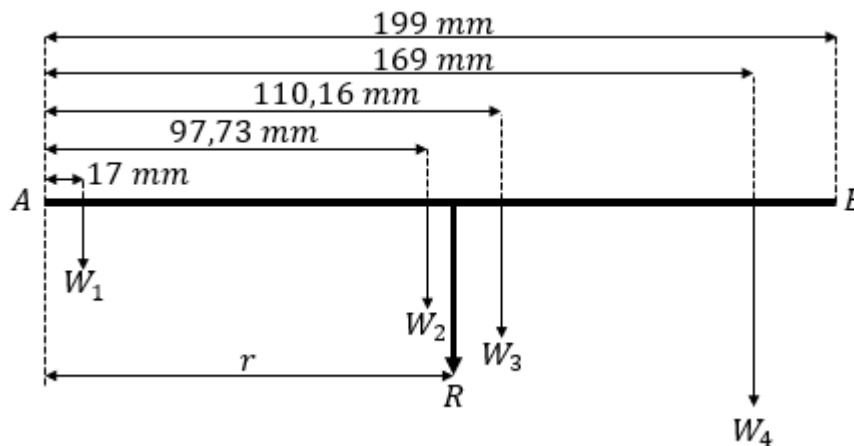
La brida se fijará mediante soldadura al soporte de rodamientos, el cual servirá para la unión con la tapa posterior del molino por medio de una placa emperrada como se muestra en la figura a continuación:



**Figura 57.** Fijación del soporte de rodamientos.

Por lo que se necesita determinar el área de los pernos para su respectiva sujeción con la tapa posterior del molino. En primera instancia se debe determinar las cargas ejercidas por el peso en el ensamble del eje, en esto intervienen las masas de la polea, del eje con los

rodamientos, del soporte con la brida soldada y el disco porta pines rotor. Se realiza un diagrama de cuerpo libre para los elementos mencionados:



**Figura 58.** Diagrama de cuerpo libre de los elementos involucrados en el diseño del perno de las bridas.

Donde:

$AB$  = distancia del eje del molino de pines, mm.

$W_1$  = peso debido a la polea, 3,04 [N].

$W_2$  = peso debido al eje y rodamientos, 9,9 [N].

$W_3$  = peso debido a la brida y el soporte de rodamientos, 18,34 [N].

$W_4$  = peso debido al disco porta pines rotor, 46,89 [N].

$r$  = distancia de aplicación de la fuerza resultante, mm.

$R$  = resultante de la fuerza, 78,17 [N].

Los pesos fueron determinados a partir del modelado 3D de los elementos involucrados, con ello se debe determinar las fuerzas primarias cortantes y las fuerzas secundarias de tracción debido al peso total y debido a la carga de las tensiones en las poleas, por lo que en primera instancia se determina la distancia de aplicación de la carga debido a los pesos.

Se considera de manera estática para determinar la distancia de aplicación de la fuerza resultante de los pesos involucrados, se expresa de la siguiente manera:

$$\sum M_A = 0$$

Donde:

$M_A$  = fuerzas en el eje Y, Nmm.

$$R \cdot r = W_1 * 17mm + W_2 * 97,73mm + W_3 * 110,16mm + W_4 * 169mm$$

$$r = \frac{3,04[N] * 17mm + 9,9[N] * 97,73mm + 18,34[N] * 110,16mm + 46,89[N] * 169mm}{78,17 [N]}$$

$$r = 140,25 \text{ mm}$$

El valor determinado es la distancia del eje a partir de donde se coloca la polea, sin embargo, se necesita conocer la distancia de aplicación de la fuerza resultante hacia el plano de carga de los pernos, por lo que se tiene una distancia de 11,75 mm.

Ahora se determina las fuerzas primarias de corte, tanto por el peso resultante y por la fuerza de tensión  $P_2$  obtenida en la sección de selección de polea resultante de 181,78 [N] con la ecuación 24 y además se tiene un arreglo de 6 pernos que soportan a misma carga con un radio equidistante de 42 mm.

$$F'_1 = \frac{P_1}{N} = \frac{78,17 [N]}{6} = 13,03 [N]$$

$$F'_2 = \frac{P_1}{N} = \frac{181,78 [N]}{6} = 30,29 [N]$$

$$F'_T = 43,32 [N]$$

Mientras que las fuerzas secundarias de tracción generadas al traslado de las cargas tanto de la resultante del peso y la fuerza de tensión hacia el plano de carga, se tiene mediante la ecuación 25:

$$F''_1 = \frac{P_1 * d_1 * r}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2} = \frac{13,03 * 11,75 * 42}{6(42^2)} = 0,6 [N]$$

$$F''_2 = \frac{P_2 * d_2 * r}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 + r_5^2 + r_6^2} = \frac{181,78 * 135 * 42}{6(42^2)} = 97,38 [N]$$

$$F''_T = 97,98 [N]$$

De la misma manera se utiliza la ecuación reducida 26 igualado a la ecuación 23, para obtener el área de un perno:

$$\left( \left( \frac{F''_1}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F''_2}{A} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{S_y}{n}$$

Considerando un factor de seguridad de 2, y resistencia a la fluencia de eje de acero inoxidable 304, 220 N/mm<sup>2</sup> [27]. se obtiene:

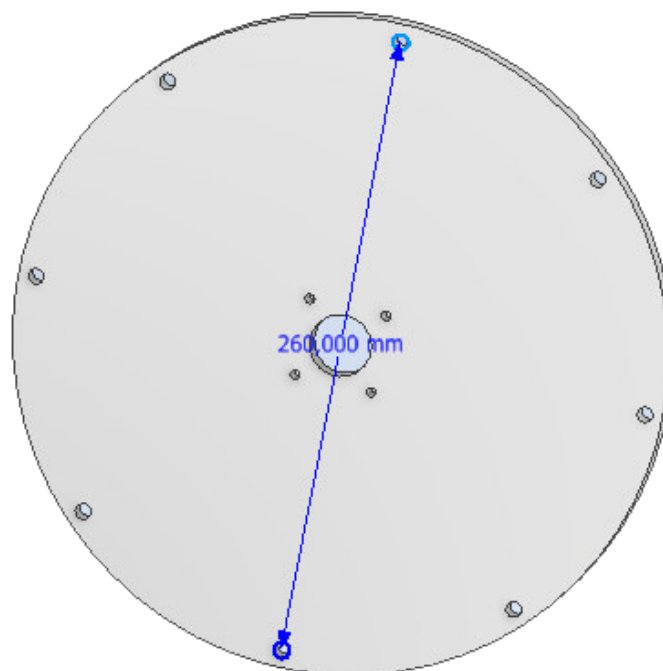
$$\left( \left( \frac{97,98 \text{ [N]}}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{43,32 \text{ [N]}}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{220 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$A_1 = 1,12 \text{ mm}^2, A_2 = -1,12 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, el área se establece el valor positivo determinado y da como resultado un perno de diámetro 1,19 mm, por lo que, por lo que cualquier perno disponible comercialmente cumple la funcionalidad de sujeciones al perno, por lo cual se seleccionan perno Allen milimétrico inoxidable de M6x30, con sus respectiva tuerca y arandela plana, además por un tema estético.

#### *Pernos de sujeción de la tapa posterior*

Por el mismo criterio anterior se debe seleccionar los pernos que sirven de sujeción entre la tapa posterior del molino con la carcasa del mismo, sin embargo, se debe considerar adicional los pesos generados por la segunda brida y el peso de la misma tapa, por lo que ahora se tiene una resultante de 127,41 [N] y se tiene una nueva distancia del resultante hacia el plano de carga de los pernos de 0,79 mm, por lo que se tiene los siguientes valores, considerando además un arreglo de 8 pernos separados equidistantemente 130 mm del centro geométrico, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 59.** Tapa posterior del molino de pines.

Por lo que se tiene los siguientes valores de fuerzas primarias de corte y secundarias de tracción, tomando en cuenta que los pernos resisten la misma carga:

$$F'_1 = \frac{127,41 [N]}{8} = 15,92 [N]$$

$$F'_2 = \frac{P_1}{N} = \frac{181,78 [N]}{8} = 22,72 [N]$$

$$F'_T = 38,64 [N]$$

Y las fuerzas secundarias de tracción:

$$F''_1 = \frac{P_1 * d_1 * r}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_8^2} = \frac{127,41 * 0,79 * 130}{8(130^2)} = 0,096 [N]$$

$$F''_2 = \frac{P_2 * d_2 * r}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_8^2} = \frac{181,78 * 135 * 42}{8(130^2)} = 23,59 [N]$$

$$F''_T = 23,69 [N]$$

Se sigue el mismo procedimiento de cálculo del área de un perno por lo que se tiene:

$$\left( \left( \frac{F''}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F'}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

Considerando un factor de seguridad de 2, y resistencia a la fluencia de eje de acero inoxidable 304, 220 N/mm<sup>2</sup> [27]. se obtiene:

$$\left( \left( \frac{23,69 [N]}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{38,64 [N]}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{220 N/mm^2}{2}$$

$$A_1 = 0,64 mm^2,$$

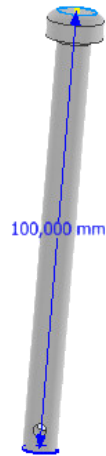
$$A_2 = -0,64 mm^2$$

EL valor obtenido resulta a un perno de diámetro de 0,9 mm, sin embargo, no existe mencionado perno, por lo que se establecen pernos Allen milimétrico inoxidable de M6x20, que cumple la funcionalidad de sujetar la tapa y soportar las cargas que influyen en ella, dichos pernos deben llevar sus respectivas tuercas, arandelas planas y arandelas de presión en acero inoxidable.

Además, la selección de los pernos se realiza por la funcionalidad y estética de la máquina.

### *Cálculo del pasador de la puerta del molino de pines*

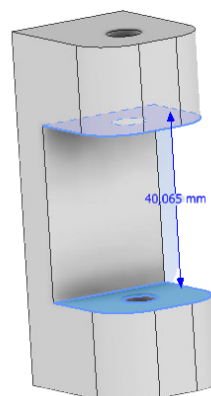
La puerta debe pivotar en una especie de bisagra, por lo que se diseña una bisagra con un pasador desmontable, sin embargo, es necesario determinar el diámetro del pasador que se muestra a continuación:



**Figura 60.** Pasador de la bisagra de la puerta del molino de pines.

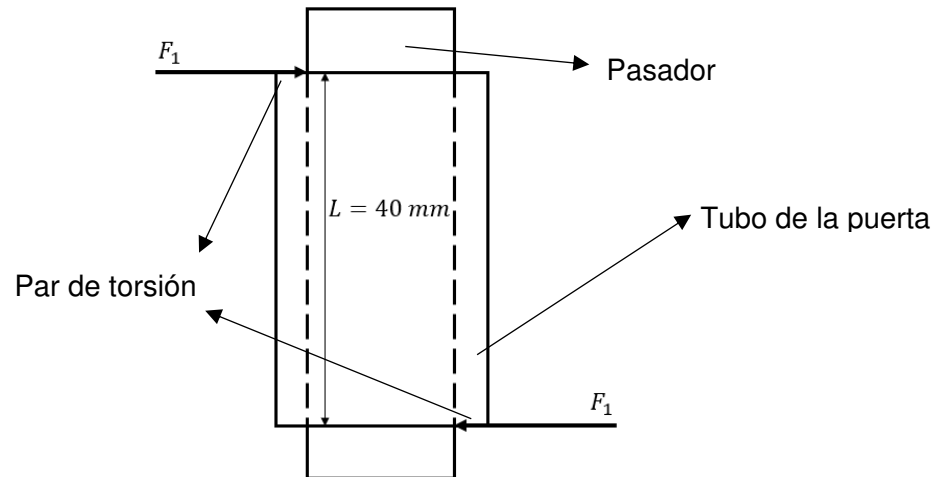
Se determina la carga debido al peso acumulativo de elementos que intervienen sobre el pasador, los cuales vienen siendo el peso de la tolva con el volumen de maíz dentro, el peso de la puerta del molino de pines, el peso de disco porta pines estator más los pines. Esto se obtiene a partir del modelado y dimensionamiento de los elementos mencionados, dando como un total de  $W_T=103,34$  [N] y la distancia desde el punto de aplicación de la carga total hasta el centro del diámetro del pasador es de 157 mm, estos valores se obtuvieron a partir de la herramienta del software Inventor.

El pasador se coloca en una bisagra soldada en la puerta del molino, como se aprecia en la siguiente figura:



**Figura 61.** Bisagra de la puerta del molino.

El traslado de peso resultante  $W_T$  se produce un momento por la distancia de 157 mm, sin embargo, se debe determinar las fuerzas de cizallamiento que se generan en las superficies de apoyo de la bisagra debido a que son cuerpos rígidos, es decir, se generan un par de torsión alrededor de la sección perpendicular del pasador, se muestra en la siguiente figura las fuerzas actuantes debido al momento generado.



**Figura 62.** Par de torsión sobre el pasador.

Se tiene que el momento generado es igual a la carga total multiplicado por la distancia de aplicación, y a su vez el momento generado por el par de torsión es igual a la fuerza  $F_1$  multiplicado por la distancia  $L$ . Por lo tanto, se obtiene la siguiente expresión:

$$M = W_T * d = F_1 * L$$

**Ecuación 58.** Momentos igualados debido al equilibrio estático.

Como se desconoce la fuerza  $F_1$  que actúa como la fuerza de cizallamiento, para determinar el diámetro del pasador.

$$F_1 = \frac{W_T * d}{L} = \frac{103,34 \text{ [N]} * 157 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 405,61 \text{ [N]}$$

Con esta fuerza se determina el esfuerzo cortante con la ecuación 39:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{405,61 \text{ [N]}}{A}$$

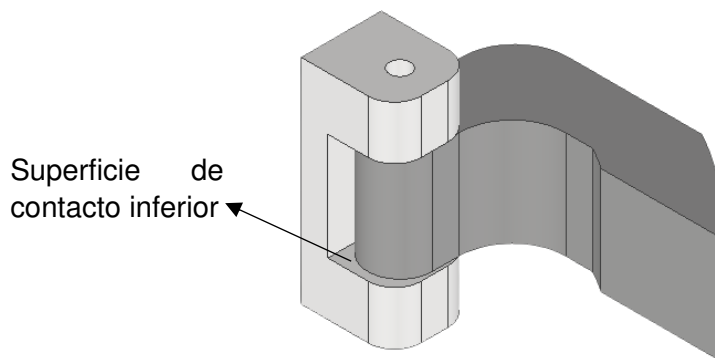
Esta a su vez se iguala a la ecuación de teoría del cortante máximo de la ecuación 40, considerando un factor de seguridad de 2:

$$\frac{405,61 \text{ [N]}}{A} = \frac{220 \text{ N/mm}^2}{2 * 2}$$

$$A = 7,37 \text{ mm}^2$$

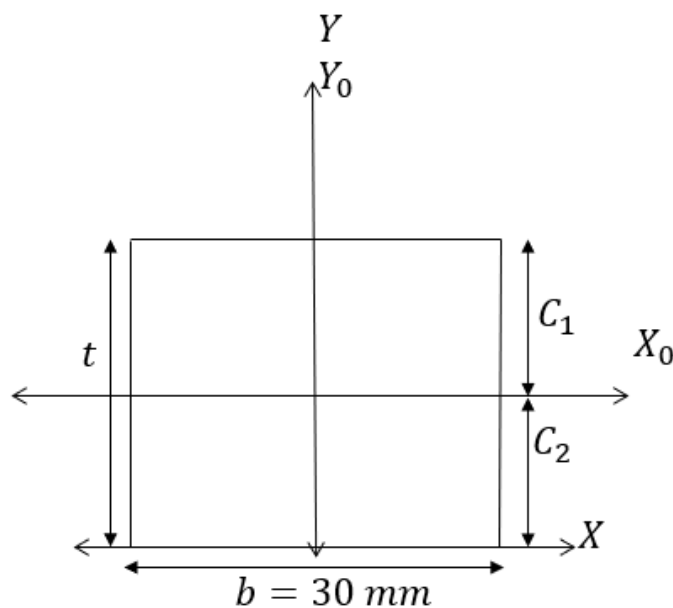
De acuerdo al valor del área calculado se tiene un diámetro de 3,06 mm, sin embargo, se establece un pasador de 7,8 mm para mayor seguridad.

Una vez establecido el diámetro de pasador, el espesor de la bisagra es necesario determinar, debido a que un criterio de diseño es si el no contase con el pasador y se encontraría solo la bisagra en contacto con el tubo de la puerta como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 63.** Bisagra y tubo de la puerta sin el pasador.

La superficie de contacto interior es el elemento que va a soportar toda la carga  $W_T$ , por lo que se considera como una viga en voladizo, es decir, se sigue el mismo procedimiento de determinación del espesor como en el caso de la tolva de alimentación. Por lo que solo se debe determinar el momento de inercia.



**Figura 64.** Vista frontal de la sección inferior de apoyo.



Se debe determinar el centroide de la figura desconociendo el espesor  $t$ , por lo que se tiene una sola área.

**Tabla 62.** Cálculo del centroide.

Figura	Área [mm <sup>2</sup> ]	$Y_i$ [mm]	$A\bar{Y}_i$ [mm <sup>3</sup> ]
1	$t * b = 30t$	$\frac{t}{2}$	$15t^2$
$\sum \text{Áreas}$	$30t$	$\sum A\bar{Y}_i$	$15t^2$
$\bar{Y} = \frac{\sum A\bar{Y}_i}{\sum \text{Áreas}} = \frac{15t^2}{30t} = 0,5t$			

El centroide viene dado por la expresión de  $\bar{Y}$  en función del espesor de la bisagra, con esto se procede a encontrar el momento de inercia respecto al eje X. En este caso solo se tiene un área de análisis, por lo que la ecuación 19 queda expresado de la siguiente manera:

$$I_x = I_1$$

Para encontrar los momentos de inercia se debe encontrar de manera individual con el teorema de ejes paralelos como se muestra en la ecuación 20:

$$I_1 = I_x = I_{\text{rectángulo}} + A * d^2 = \frac{1}{12} * 30 * (t)^3 + (30t) * \left(\frac{t}{2}\right)^2 = 10t^3$$

Una vez más, se va a utilizar el teorema de ejes paralelos, ya que en su fórmula abarca el momento de inercia del eje neutro, que se observa a continuación:

$$I_{x_0} = I_x - A * d^2 = 10t^3 - \left( (30t) * \left(\frac{t}{2}\right)^2 \right) = 2,5t^3$$

Como se había mencionado, el esfuerzo normal debido a la flexión viene dada por la ecuación 22, que a su vez se le iguala al esfuerzo permisible para determinar la incógnita del espesor de la bisagra y considerando un factor de seguridad de 2:

$$\frac{M_A * c}{I_{x_0}} = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{16224,4 \text{ Nmm} * 0,5t}{2,5t^3} = \frac{175,81}{2}$$

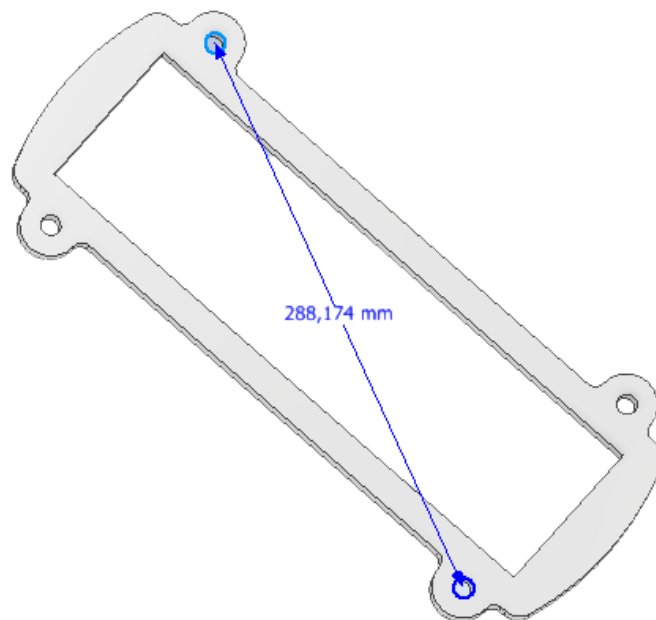
$$t = 6,07 \text{ mm } \acute{o}$$

$$t = -7,07 \text{ mm}$$

Tomando en consideraci3n el valor positivo del espesor de 6,07 mm en la bisagra, sin embargo, por motivos de dise1o y soldabilidad, se establece un espesor para la bisagra de 20 mm.

#### *Pernos de sujeci3n de la carcasa con la placa inferior*

Se tiene una placa de espesor considerado de 10 mm como en los dem1s elementos de la carcasa, donde se realiza un arreglo de 4 pernos como se muestra en la figura siguiente:



**Figura 65.** Placa inferior de la c1mara de molienda.

El centro geom3trico de los 4 pernos tiene un radio de 144,08 mm, para ello la tensi3n resultante se debe descomponer y utilizar la componente paralela a la superficie del plano de carga de los pernos. Se tiene un 1ngulo de inclinaci3n respecto al eje X la fuerza resultante de 8,62°, por lo que el componente paralelo es  $181,78 \cdot \cos(8,62^\circ) = 179,27$  [N].

Como se traslada la fuerza de tensi3n desde el plano de la polea hacia el plano de carga de los pernos, se generan fuerzas primarias de corte y fuerzas secundarias de tracci3n debido al momento. La distancia de traslado es de 227 mm, obtenido a partir del modelado dimensionado 3D. Por lo tanto, se ocupa la ecuaci3n 24 y 25 considerando que los pernos soporten las mismas cargas:

$$F' = \frac{P}{N} = \frac{179,27 [N]}{4} = 44,81 [N]$$

$$F'' = \frac{P * d * r}{r_1^2 + r_2^2 + \dots r_4^2} = \frac{179,27[N] * 227mm * 144,08mm}{4(144,08mm)^2} = 70,61 [N]$$

Se sigue el mismo procedimiento de cálculo del área de un perno por lo que se tiene:

$$\left( \left( \frac{F''}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{F'}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

Considerando un factor de seguridad de 2, y resistencia a la fluencia de eje de acero inoxidable 304, 220 N/mm<sup>2</sup> [27]. se obtiene:

$$\left( \left( \frac{70,61 [N]}{A} \right)^2 + 3 \left( \frac{44,81 [N]}{A} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{220 N/mm^2}{2}$$

$$A_1 = 0,95 mm^2,$$

$$A_2 = -0,95 mm^2$$

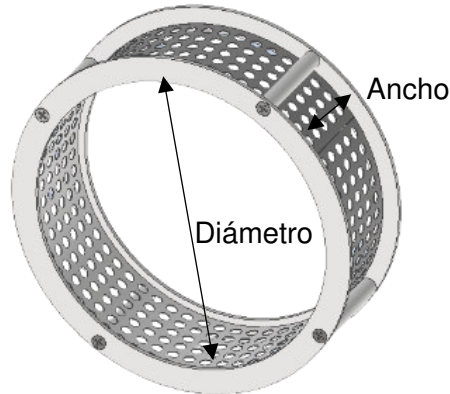
EL valor obtenido resulta a un perno de diámetro de 1,09 mm, sin embargo, no existe mencionado perno, por lo que se establecen pernos milimétrico inoxidable de M10x20 con sus respectivas tuercas, arandelas planas y arandelas de presión en acero inoxidable. Se establece el perno seleccionado por motivos estéticos, ya que se encuentra a la vista del usuario y debe garantizar una seguridad visual a primera instancia.

#### *Selección de tamiz*

También conocido como criba. Es el componente que separa el material molido de acuerdo a la granulometría requerida. En el caso de harinas de maíz se rigen de acuerdo a la norma NTE INEN 2051:2013 CEREALES Y LEGUMINOSAS. MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ. REQUISITOS, que especifica que la harina de maíz debe pasar por la criba un 98% del material molino en una criba de malla INEN 300 μm, o como un mínimo del 50% en una criba de malla INEN 212 μm [40].

Concordante a lo mencionado se realiza la selección de la criba de acuerdo a la norma y a la especificación establecida por el análisis de competencia del molino Mill Powder Tech, donde se establece un rango de 20 a 150 en el número de tamiz, por lo que se selecciona tamiz #20 y tamiz #140, con agujero de malla 0,84 mm y 0,10 mm respectivamente, (ver ANEXO V).

Se establece que el espesor del tamiz seleccionado es de 0,7 mm, el cual necesariamente debe ser de acero inoxidable 304. Este tamiz debe ser completo como la alternativa seleccionada.



**Figura 66.** Tamiz o criba.

Las dimensiones del tamiz se rigen de acuerdo a la cámara de molienda, con un diámetro de 224,4 mm y un ancho de 76 mm. Para evitar deformaciones del tamiz, se diseña una estructura que da rigidez y estabilidad dentro de la cámara de molienda. Cabe recalcar que, por motivos de capacidad de renderizado del computador personal, no se logra presentar de forma ideal, la figura 3D con el agujero de malla seleccionado.

### **Dimensionamiento de ducto de descarga**

El ducto de descarga a diseñar comprende de un ducto de transición y de una válvula mariposa. Este sistema debe acoplarse en la base inferior del molino de pines, por lo que se debe determinar el peso total que comprende los materiales involucrados.

El material molido, inicialmente se deposita en el ducto de transición y la válvula mariposa regula la dosificación del mismo. Se establece que el ducto de transición almacenará el material molido en un 80% de su capacidad, cuyo volumen total es 0,00427 m<sup>3</sup>. Se considera una masa de 1 kg del ducto de transición, mientras que la válvula de mariposa tiene una masa de 2 kg, con lo cual se tiene la siguiente expresión:

$$V_{molido} = V_{ducto} * 0,8$$

**Ecuación 59.** Volumen del material molido dentro del ducto de descarga.

Donde:

$V_{molido}$  = volumen de la harina de maíz dentro del ducto de descarga.

$$V_{molido} = 0,00427 \text{ m}^3 * 0,8 = 0,00341 \text{ m}^3$$

Se debe determinar la masa de harina comprendida dentro del ducto, teniendo en cuenta la densidad aparente de harina sin compactar de  $160 \text{ kg/m}^3$  con una granulometría que no supera el 60 mesh [41].

Ahora, se determina la masa de harina sin compactar:

$$m_{harina} = \rho_{harina} * V_{molido}$$

**Ecuación 60.** Masa de harina al 80% del volumen interior del ducto. [42]

Donde:

$m_{harina}$  = masa de harina dentro del ducto,  $\text{m}^3$ .

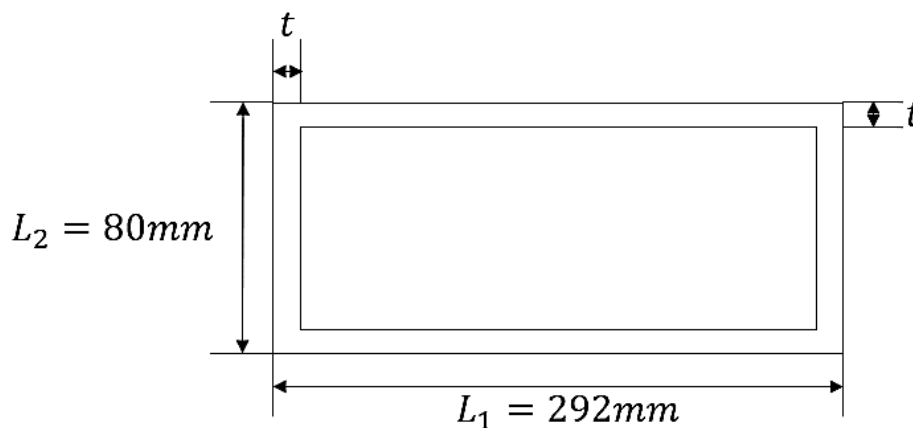
$\rho_{harina}$  = densidad aparente de la harina de maíz,  $\text{kg/m}^3$ .

$V_{molido}$  = volumen del material molido al 80% del volumen total,  $\text{m}^3$ .

$$m_{harina} = 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00341 \text{ m}^3 = 0,55 \text{ kg}$$

La carga que ejercerá la masa de harina se multiplica por el valor de la gravedad, con lo cual se obtiene un valor de carga de  $5,35 \text{ [N]}$ . Esta carga genera un esfuerzo normal.

A continuación, se determina el área de la sección transversal del ducto de transición, -en sentido figurado-, observando desde la vista superior de la estructura del ducto. Las dimensiones  $L_1$  y  $L_2$  tienen correlación con las dimensiones de la cámara de molienda. Como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 67.** Sección transversal de ducto de transición.

El área a determinarse está sujeto al esfuerzo normal por la tensión. Se expresa de la siguiente manera:

$$A = (L_1 * L_2) - (L_1 - 2t)(L_2 - 2t)$$

**Ecuación 61.** Área de la sección transversal del ducto de descarga.

Donde:

$L_1$  = largo de la sección, mm.

$L_2$  = ancho de la sección, mm.

$t$  = espesor del ducto, mm.

La carga que actúa en mencionada área es la resultante de los pesos de la tolva, de la válvula de mariposa y del material molido, dando como resultado un valor de 34,7 [N]. Este valor y la expresión obtenida en ecuación 45 se remplazan en la ecuación 22 del esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{34,7 [N]}{(L_1 * L_2) - (L_1 - 2t)(L_2 - 2t)} = \frac{34,7 [N]}{744t - 4t^2}$$

La expresión resultante se iguala al esfuerzo permisible, debido a que es una carga estática y de baja magnitud, como se lo ha venido realizando en la ecuación 23:

$$\frac{34,7 [N]}{744t - 4t^2} = \frac{S_y}{n}$$

Estableciendo un factor de seguridad de 2, para el ducto de descarga, se obtiene el espesor del ducto.

$$\frac{34,7 [N]}{744t - 4t^2} = \frac{175,81 N/mm^2}{2}$$

$$t = 0,000531 \text{ mm } \acute{o}$$

$$t = 186 \text{ mm}$$

Se obtiene dos valores de espesores. Se elige el primer valor como referencia debido a que el segundo valor no presenta coherencia, esto se traduce a que la carga es mínima y es factible utilizar cualquier espesor, por lo que se establece que se va a emplear el mismo espesor de la tolva de alimentación de 0,6 mm.

Con el espesor seleccionado se determina el valor real de la masa de la tolva, dando como resultado 0,64 kg. Con esto se determina la carga total real, dando como resultado 31,3 [N].

Como el criterio de diseño en este caso es la funcionalidad, no requiere el cálculo del factor de seguridad, debido a que presenta cargas muy bajas, se valida solo con la selección de un espesor mayor al determinado.

#### *Pernos de sujeción para el ducto de descarga*

Se elige la unión no permanente para que el usuario pueda realizar los mantenimientos correspondientes al sistema de descarga, en esto se considera un dobléz de 10 mm al borde del ducto, se proponer colocar 6 pernos que soporten la misma carga determinada en la sección anterior, con la ecuación 39 servirá para determinar el área correspondiente de los pernos, obteniendo la siguiente expresión:

$$\frac{F}{6A} = \frac{S_y}{n}$$

Se considera el factor de seguridad de 2, como nominal en estas aplicaciones de sujeción de pernos para elementos a tensión.

$$\frac{31,3 [N]}{6A} = \frac{175,81 N/mm^2}{2}$$

$$A = 0,06 mm^2$$

Con lo que se demuestra que el perno que se seleccione, cumplirá la funcionalidad de unir la tolva con la base del molino de pines, por lo que se establece los mismos pernos de la tolva de alimentación de perno hexagonal milimétrico inoxidable M4x20 que llevaran sus respectivas tuercas, arandelas planas y arandelas de presión, todos los elementos deben ser de acero inoxidable.

Como se explica en los cálculos realizados, un área demasiado pequeña cumple la funcionalidad requerida, por lo cual no es necesario determinar el factor de seguridad, debido a que presentara valores elevados.

### **3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El presente capítulo contiene la síntesis de los procedimientos investigativos, sistematización y análisis de la información técnica relevante, la selección de los elementos mecánicos que conforman cada componente de los sistemas de alimentación, molienda y de descarga fueron desarrollados en línea con los objetivos específicos para lograr que el diseño de todos los componentes sea factible de llevar a construir cada uno de los elementos constitutivos de los componentes y de acoplamiento con las piezas que existen en el mercado (el alcance del presente trabajo no abarca la construcción), garantizando al usuario final el factor de seguridad, la funcionalidad y un equipo compacto.

#### **3.1 Pruebas**

Dada las restricciones de movilidad por la pandemia mundial por COVID-19, el principal medio de investigación para ubicar las fuentes bibliográficas y de consultas técnicas fue a través de internet y las orientaciones virtuales del profesor tutor.

El estudio de los tipos de molinos condujo a especificar los tres sistemas de un molino de cereales: alimentación, cámara de molienda y de descarga. Mereció atención especial el enfoque de los principios de las leyes de la molienda expresada en la sección del marco teórico.

El modelo de la función de la ley general de la ruptura de los materiales condujo a estudiar las teorías particulares expuestas por los autores: Von Rittinger, Kick y Fred Bond. La aplicabilidad de las teorías para molino de pines para maíz suave fue solventada con el estudio del estado de arte de la construcción de los equipos de molino y los datos físico-químicas y de cualidades organolépticas de los cereales que contienen diferentes propiedades nutricionales en función de las partes de cada tipo de grano. La literatura sobre los tipos de molinos, combinando con las descripciones técnicas de las leyes de molienda abrió la ruta para identificar un modelo de molino de pines pulverizador para cereales secos.

El análisis de la competencia a través del método de benchmarking permitió caracterizar el mercado nacional de la venta de molinos de granos. La información relevante indica que los molinos en oferta, todos tienen origen externo, con predominancia de los fabricantes chinos y de origen norteamericano. Los datos de la investigación indican que no existen molinos de pines para procesamiento alimenticio humano construido en Ecuador. La investigación de campo corrobora esta afirmación con la entrevista realizada a un



emprendedor que cuenta con servicios de molienda, cuyo equipo nuevo (molino de martillos) de fabricación nacional tendría dificultades para superar las certificaciones de ARCSA por el uso de materiales constructivos no estandarizados y también el molino no logra pulverizar hasta granulometrías finas que solicitan los clientes.

Identificado un modelo de molino de pines referencial (Mill POWDER TECH) y ubicando el presente trabajo en el contexto de la investigación científica como un trabajo investigativo aplicado que utiliza los conocimientos científicos y tecnológicos existentes en el contexto internacional referente a la construcción de molinos de pines; aplica los conocimientos hallados para desarrollar la ingeniería nacional para el diseño y fabricación de molinos de pines hecho en Ecuador. Las especificaciones se presentan a continuación:

**Tabla 63.** Especificaciones.

<b>Voz del usuario (sus expectativas)</b>	<b>Voz del ingeniero (respuestas técnicas)</b>	<b>Especificaciones técnicas</b>
Tamaño pequeño	Dimensiones	500x560x1300
Fácil mantenimiento	Componente accesible	Elementos normalizados
Baja vibración	Diseño robusto	Planchas de espesor mínimo de 6 mm
Que sea seguro	Seguridad al operador	Guardas de seguridad
Precio asequible	Material	Acero inoxidable AISI 304
Bajo consumo	Potencia	2 – 4 HP
Que no genere mucho polvo	Hermético	Empaques
Que sea ergonómico	Ergonómico	Altura de salida de 650 mm
Capacidad de procesamiento adecuado	Capacidad	20 – 50 kg/h
Moler materiales suaves	Dureza del cereal	Menor o igual a 3 en Mohs

Como prueba de los resultados concretos de la parte de ingeniería en sí del presente trabajo se presenta el desarrollo del análisis del diseño concurrente, comenzando desde la casa de la calidad, especificaciones técnicas, análisis funcional, selección de alternativas

de cada módulo que se obtiene a partir del análisis de energías y señales que ingresan a cada módulo, diseño conceptual sin dimensionamiento definido y finalmente un diseño a detalle con las características de medida y material, especificaciones de los componentes que definen el producto final, los cálculos de cada elemento mecánico por el método de criterio y simulación, generación del modelo 3D en el software Inventor del molino en su conjunto, tanto de los componentes principales, planos de conjunto y despiece para su construcción, ensamblaje y modelo de funcionamiento del molino de pines.

En la metodología usada para el diseño y modelación de los componentes se emplea las teorías de falla de diseño, donde la finalidad es satisfacer las necesidades específicas y los componentes diseñados deben ser funcional, seguro, que pueda fabricarse y comercializarse.

El criterio de aplicación del factor de seguridad en el diseño es otro resultado relevante por cuanto en los ejercicios académicos aplicado a la resistencia de los materiales, se asume un índice numérico a manera de una constante. El problema salta a la vista cuando debe construir elementos mecánicos específicos. Por ejemplo, una lámina de acero tiene especificaciones de las propiedades mecánicas entendidas como una pieza unitaria. Si de aquella chapa metálica de cualquier espesor, el diseño requiere calcular el factor de seguridad para un perno de dimensiones milimétricas, surge la duda de confiabilidad, incluso de validez del factor de seguridad cuyo valor es 2, con el cual se ha realizado las prácticas de los trabajos académicos. La duda fue solventada con la consulta de los documentos especiales relacionados al tema.

El presente diseño es para aplicar en materiales dúctiles que tienen su propio valor de resistencia y ocurrirán las fallas cuando presente deformaciones en el cuerpo del elemento mecánico. Cabe mencionar que el diseño sobre el estamos tratando, no tiene alcance constructivo que permitiría evaluar los resultados funcionales centrados en las fallas y en los materiales utilizados. Se asume que la resistencia de los materiales es el valor máximo de carga o esfuerzo capaz de soportar antes de presentar la falla.

Se asume que la máquina de molino no tiene vínculo funcional, cuya afectación sea directo con el usuario, razón por el cual, se asume el valor 2 como factor de seguridad para los cálculos que se realizó en los elementos mecánicos específicos como los pernos para el ensamble de la tolva. Los factores de seguridad determinados en el capítulo 2 son altos, esto debido a que las cargas que están sometidos cada uno de los elementos son bajos, y la misma resistencia del material es alto, ya que se trata de componentes realizado con acero inoxidable 304. A continuación, se muestra los factores de seguridad determinados

y simulados, además de los espesores determinados y seleccionados de los elementos de mayor criticidad:

**Tabla 64.** Factores de seguridad y espesores calculados.

Elemento	Factor de seguridad calculado	Factor de seguridad simulado	Espesor	Espesor seleccionado calculado	Nota
Tolva de alimentación	19,25	15	0,03 mm	0,6 mm	Selección por disponibilidad en el mercado nacional
Pin	22,27	15	N/A	N/A	Se selecciona un diámetro de 17 mm
Disco pines estático	18,4	15	6,07 mm	10 mm	Selección por método constructivo
Ducto de descarga	N/A	N/A	0,0005 mm	0,6 mm	Selección por funcionalidad

Mientras que el eje es sometido cargas externas y a altas revoluciones se determina los diámetros mínimos en cada sección y sus respectivos factores de seguridad, sin embargo, se seleccionan considerando el diámetro mínimo y el método constructivo del molino de pines. A continuación, se muestra la tabla correspondiente:

**Tabla 65.** Factores de seguridad y diámetros calculas y seleccionados.

Sección	Cambio de sección	Factor de seguridad a fatiga	Factor de seguridad a la fluencia	Diámetro Ø [mm]	
				Min	Seleccionado
A	Hombro	3.96	1.83	7,9	19
B	Ranura	5.68	3.57	11,1	23
	Hombro	7.1	4.6	11,1	25
E	Ninguna	7.05	5.79	15,9	30
C	Hombro	7.05	5.79	14,3	25
	Ranura	5.48	4.34	14,3	23
D	Hombro	3.05	2.82	11,1	18

La selección de los diámetros de cada sección de eje se basa en cumplir la funcionalidad del eje, y su diseño robusto que garantiza la seguridad funcional y visual al cliente.

La validez del factor de seguridad radica en la calidad de los criterios cuantitativos que conforman los valores que reemplazan a los términos de las ecuaciones y a su vez, la determinación de un valor numérico del factor de seguridad requiere una fase analítica amplia.

### 3.2 Resultados

El presente trabajo de integración curricular obtuvo los siguientes resultados relevantes.

El primero constata la falta de fuentes nacionales de información académica y técnica referente al molino de pines. Se encontró tesis de grados enfocados a molinos de martillos y de rodillos. No obstante de ello, al analizar las informaciones halladas sobre los molinos en general, se pudo verificar que las estructuras funcionales de los diferentes tipos de molinos, existen similitudes entre los componentes esenciales como la cámara de molienda; además, la ruptura de los materiales es explicado por los principios generales de las leyes de la molienda; y, las teorías particulares de la ley general de la ruptura de los materiales conduce a diseñar componentes mecánicos específicos que dan soluciones a los diferentes requerimientos para moler distintos materiales, contexto en el cual, el ingeniero soluciona creando diferentes tipos de molinos.

En esta perspectiva, el sistema de trituración del molino de pines que se proyecta para moler el maíz suave, se basa en la Tercera Ley de Bond. Los análisis de las diferentes teorías particulares permitieron seleccionar la ecuación de Bond porque es la que mejor cohesiona los cálculos iniciales y permite medir la eficiencia mecánica del molino de pines y permite aproximar a indicador razonable para materiales gruesos y finos que se quiera obtener y tiene relación con los criterios técnicos del diseño del molino que es el objeto del estudio del presente trabajo.

La potencia obtenida se muestra a continuación:

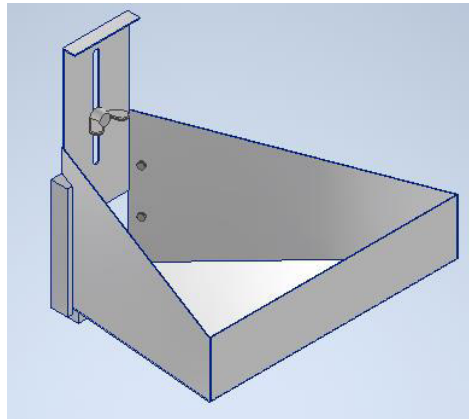
**Tabla 66.** Potencia del molino de pines.

Potencia calculada	Potencia seleccionada
1,12 HP	2 HP

El uso del software Inventor para generar modelos 3D de los componentes de los sistemas que conforman el molino de pines, tuvo un rol decisivo para establecer las especificaciones del funcionamiento mecánico de cada parte del molino, así como para tomar decisiones sobre el diseño y dimensionamiento de elementos críticos como los pines y de las estimaciones de las ubicaciones en las áreas de los discos estator y del rotor. La simulación

ayudó a seleccionar los modelos más adecuados y funcionales que conforman el diseño final del molino de pines. Se muestra a continuación el modelado de cada sistema en su conjunto, con las dimensiones ya definidas por los criterios tomados y los factores de seguridad de cada uno de los elementos involucrados:

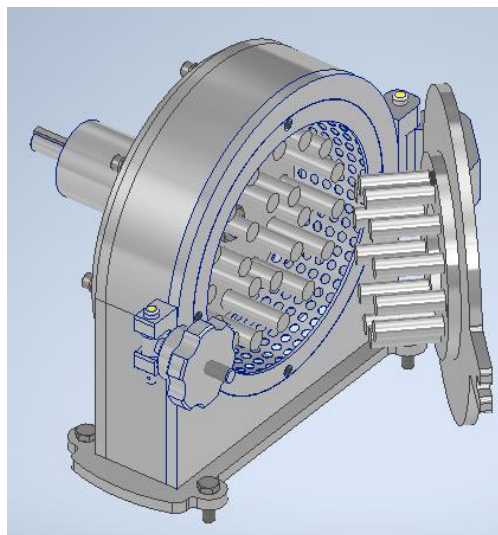
#### *Sistema de alimentación*



**Figura 68.** Sistema de alimentación.

El sistema de alimentación consta de la tolva tipo rampa, la compuerta con sus respectivos pernos de sujeción.

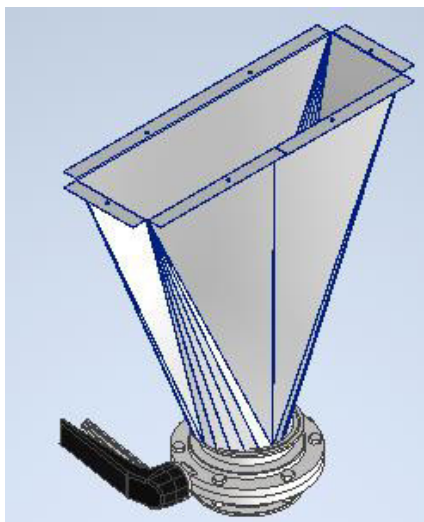
#### *Sistema de trituración*



**Figura 69.** Sistema de trituración.

El sistema de trituración consta de los dos discos porta pines, la criba, el eje y el soporte de rodamientos.

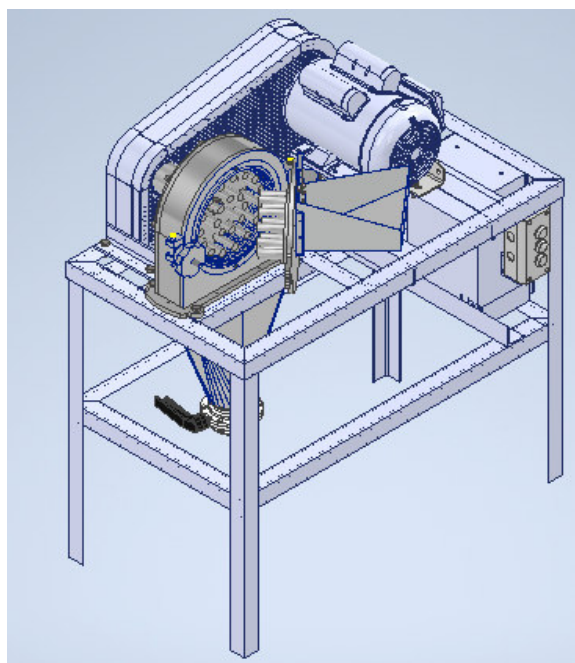
## Sistema de descarga



**Figura 70.** Sistema de descarga.

Mientras que el sistema de descarga cuenta con un ducto de transición y una válvula mariposa, que a su vez la válvula cuenta con su propio ferrul.

Además, se muestra el ensamble final con los componentes diseñados por el Sr. Edwin Amaguaña y mi persona.



**Figura 71.** Molino de pines.

Un valor agregado del uso del software Inventor en el diseño es la posibilidad de generar e imprimir directamente los planos en su conjunto y de los componentes que se requiera en la fase de construcción del equipo. El contenido de la aplicación se los presentará junto al presente trabajo. (Ver ANEXO VIII)

### **3.3 Conclusiones**

- Se seleccionó acero inoxidable AISI 304 para el diseño de todos los componentes del molino, en base a que este acero es el más recomendable para uso alimenticio, por su alta resistencia a la corrosión y su acabado sanitario, adicional cabe destacar las excelentes prestaciones mecánicas de este acero frente a los diferentes esfuerzos mecánicos.
- Para determinar la potencia del motor, se realizó mediante el uso de la ecuación de Bond, en el cual las variables a considerar fueron el índice de trabajo  $W_i$ , tamaño de producto molido y tamaño promedio del producto el índice de trabajo se tomó el valor de 20, es decir de un material muy duro, debido a que mientras más alto del este valor, se puede moler materiales más duros, lo que permite gran versatilidad en el uso del molino para diferentes materiales; para el tamaño del producto molido se consideró que al menos el 80% de los tamaños de los granos están dentro del valor deseado; en cuanto al tamaño promedio del producto alimentado antes de la molienda es de 17 mm, valor medido de forma experimental. Y por último la capacidad de molienda es definida por el usuario, con todas las variables antes descritas que se determinó que la capacidad del molino es de 50 kg/h.
- El cuerpo principal del molino es el arreglo de pines, para lo cual se tomaron las siguientes consideraciones, al menos un pin deberá impactar contra un grano de maíz para su fractura, también, la forma de la disposición de los pines deberá ser tales que minimicen los espacios entre pines a fin del que el maíz no tenga una trayectoria libre desde el ingreso a la cámara de molienda hasta la carcasa del mismo, en cuanto al diámetro del pin, está deberá ser mayor o igual a la longitud crítica del grano de maíz (las dimensiones del grano son 1,6 cm de largo, 1,3 cm de ancho y 6,3 mm de grosor y por último la longitud del pin viene determinada por el benchmarking, analizando el molino de pines de la compañía Mill Powder Tech.
- De acuerdo al cálculo realizado para el cuerpo y cámara del molino se terminó que un espesor de 6,07 mm es el necesario para soportar las cargas, considerando que las planchas comerciales en el país, las cuales se pueden ajustar al requerimiento

vienen de espesores 6,8,10 mm, a pesar que el de 6 y 8 ya podría satisfacer la necesidad, se seleccionó el de 10 mm, bajo la premisa de garantizar robustez y estabilidad frente a las vibraciones, otro factor a considerar para tal selección fue que facilite el proceso de soldadura, debido a que, al ser el acero inoxidable mejor conductor se calor q el acero al carbono tiende a deformarse con mayor facilidad en espesores delgados durante los procesos de suelda, y el último parámetro fue el método constructivo, las tapas, bridas y demás componentes son machueladas para lo cual se debe tener una longitud o profundidad adecuada para que se tenga la cantidad de hilos suficientes en contacto de las roscas.

- Se optó por un diseño con casi la totalidad de partes y componentes machuelados y empernados, con el objetivo de lograr un fácil mantenimiento y reemplazo de partes en caso de desgaste o daño sin afectar a todo el cuerpo del molino, garantizando de esta forma su modularidad.
- Se optó por el diseño de un soporte para rodamientos en lugar de chumaceras para garantizar mayo estabilidad ante altas revolución y trabajo a plena carga, adicional este diseño permite una mayor modularidad y facilidad de mantenimiento y reemplazo de componentes.

### **3.4 Recomendaciones**

- La inocuidad del equipo diseñado dependerá del acabado final que se le dé al equipo construido, por lo cual todas las aristas y cavidades deben tener radios de acuerdo, mediante suelda y pulido adecuado.
- Todas las juntas soldadas deben ser ejecutadas mediante proceso GTAW (TIG) con gas de protección argón y los acabados deben ser pulidos y perdidos, garantizando un acabado sanitario que impida incrustaciones y dificulte la limpieza.
- Se recomienda el uso de lubricantes aptos para uso alimenticio para la lubricación de rodamientos y partes móviles.
- Para garantizar la estanquidad en la puerta y juntas se puede optar por el uso de empaques de Viton o poliamida; a pesar que las tolerancias especificadas de paralelismo y planicidad deben garantizar un buen sellado, se puede usar esta opción.



## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Atarama Valdiviezo, "SISTEMATIZACIÓN DE DISEÑO DE MOLINOS DE MARTILLOS FIJOS PARA GRANO", UNIVERSIDAD DE PIURA, 2018.
- [2] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, "molino", 2022. <https://dle.rae.es/molino>.
- [3] I. Cuadrado y J. Rueda, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS", UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, 2009.
- [4] NEUE HERBOLD, "Molino para material plástico - SX series - NEUE HERBOLD Maschinen-u. Anlagenbau GmbH - de gran potencia / centralizado / para reciclaje", 2019. <https://www.directindustry.es/prod/neue-herbold-maschinen-u-anlagenbau-gmbh/product-50063-449360.html> (consultado ene. 01, 2022).
- [5] QuimiNET, "Características de los molinos de bola | QuimiNet.com", 2017. <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-de-los-molinos-de-bola-56234.htm> (consultado ene. 01, 2022).
- [6] MAQORITO, "MAQORITO - Molino de granos tipo pines acero inox 100 a 300 Kg/H", 2019. <https://maqorito.com/inicio/300-maqorito-molino-de-granos-tipo-pines-acero-inox-100-a-300-kgh.html> (consultado ene. 01, 2022).
- [7] CONICET, *Cinética de sólidos*. Argentina, 2011.
- [8] Palamatic Process, "Molino Industrial para Café", 2016. <https://www.palamaticprocess.es/maquinas-industriales/molinos-industriales> (consultado ene. 01, 2022).
- [9] RAE, "granulometría | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE". <https://dle.rae.es/granulometría> (consultado ene. 06, 2022).
- [10] Bioesoactual, "Bromatología, la ciencia de los alimentos - Bio Eco Actual", *BIOECO*, 2019. <https://www.bioecoactual.com/2019/09/04/bromatologia-la-ciencia-los-alimentos/> (consultado ene. 01, 2022).
- [11] FAO, "El maíz en la nutrición humana - Composición química y valor nutritivo del maíz", *Fao*. 1987, Consultado: ene. 01, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/t0395s03.htm>.
- [12] B. Pule, "FLUCTUACIÓN DE PRECIOS DEL MAÍZ SUAVE (Zeamays) EN LAS PROVINCIAS DE IMBABURA Y CARCHI COMERCIALIZADO EN EL MERCADO MAYORISTA 'COMERCIBARRA', PERIODO 2014 – 2017", UNIVERSIDAD

TÉCNICA DEL NORTE, 2020.

- [13] INIAP, “Maíz suave”, *INIAP Tecnología*, 2014. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizs> (consultado ene. 01, 2022).
- [14] ALL ABOUT FEED, “ISO/TC 293: normas internacionales para el equipo de alimentación - All About Feed ES - Puerta a la Industria Global de Alimentación”. <https://es.allaboutfeed.net/iso-tc-293-normas-internacionales-para-el-equipo-de-alimentacion/> (consultado ene. 18, 2022).
- [15] FAO, “Capítulo 26: Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos”. <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm> (consultado ene. 18, 2022).
- [16] LA COBACHA, “Molino pulverizador eléctrico de granos”, 2017. <https://www.lacobacha.com.ec/producto/molino-pulverizador-electrico-granos-especias/>.
- [17] COARA, “Molino de pines”, 2018. <https://www.coara.com.ec/productos/construccion-en-acero/molino-de-pines.html> (consultado ene. 01, 2022).
- [18] Alibaba, “Máquina Trituradora De Azúcar, Molino De Granos De Café En Polvo, Fruta, Pin - Buy Sugar Crushing Machine, Coffee Bean Powder Pin Mill, Fruit Pin Mill Product on Alibaba.com”. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/sugar-crushing-machine-coffee-bean-powder-fruit-pin-mill-1600387491264.html> (consultado ene. 01, 2022).
- [19] Cristian Barraza, “Catalogo Cristian Barraza blogspot.cl: Molino de pines 2HP harinero /eléctrico 220 Volt”. [http://www.cristianbarraza.cl/2019/10/molino-de-pines-2hp-harinero-electrico.html?fbclid=IwAR37gZHQdfbh2xcmUvtTW8D2zPI3-CJQRDfWHXgK\\_5uzk2lpF-XLQysHEZ8](http://www.cristianbarraza.cl/2019/10/molino-de-pines-2hp-harinero-electrico.html?fbclid=IwAR37gZHQdfbh2xcmUvtTW8D2zPI3-CJQRDfWHXgK_5uzk2lpF-XLQysHEZ8) (consultado ene. 01, 2022).
- [20] Portal del Campo, “Molino eléctrico de Pines 20cm harina 2hp - Tienda portaldelcampo.cl”. <https://portaldelcampo.cl/industria-agroalimentaria/5273-molino-electrico-de-pines-20cm-harina-2hp--2832.html> (consultado ene. 01, 2022).
- [21] Mill POWDER TECH, “Pin Mill - High quality Pin Mill and turnkey system manufacturer from Taiwan | Mill Powder Tech Solutions”. <https://www.mill.com.tw/en/product/Pin-Mill/19.html> (consultado ene. 01, 2022).

- [22] M. Artigas, *FILOSOFÍA DE LA CIENCIA*, Segunda ed. Pamplona: EDICIONES UNIVERSIDAD DE NAVARRA, S.A, 2009.
- [23] Á. Azuero, “Importance of the methodological framework in the development of research projects”, *Rev. Arbitr. Interdisciplinaria Koin.*, pp. 112–118, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://fundacionkoinonia.com.ve/ojs/index.php/revistakoinonia/article/viewFile/274/pdf>.
- [24] C. Riba, *Diseño Concurrente*. Barcelona: Ediciones UPC, 2002.
- [25] J. . Meriam y L. . Kraige, *Mécanica para Ingenieros Dinámica*, Tercera Ed. Barcelona: John Wiley & Soons, Inc, 2014.
- [26] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Décima edi. México: Mc Graw Hill, 2018.
- [27] DIPAC, “Planchas Inoxidable”. <https://www.dipacmanta.com/planchas-inoxidables> (consultado ene. 07, 2022).
- [28] Arquitectura en Acero, “Conexiones típicas en estructuras de acero | Arquitectura en acero”. <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/conexiones-tipicas-en-estructuras-de-acero> (consultado feb. 09, 2022).
- [29] D. . Wilmington, “Energy consumption in common fine grinding mills”, *PBE’s*, 2014, [En línea]. Disponible en: [https://www.powderbulk.com/wp-content/uploads/pdf/pbe\\_20150601\\_0025.pdf](https://www.powderbulk.com/wp-content/uploads/pdf/pbe_20150601_0025.pdf).
- [30] INTOMAK, “Tabla de Conversión. Tamaño de Partículas – ITOMAK LATINOAMÉRICA”. <http://itomakla.com/descubra-mas/tabla-de-conversion-de-tamano-de-particulas/> (consultado ene. 07, 2022).
- [31] Matemáticas Gurú, “Curso de Procesamiento de Minerales – Todo sobre matemáticas, física y química”. <http://matematicas.guru/curso-de-procesamiento-de-minerales/> (consultado ene. 07, 2022).
- [32] A. Ocampo, “Design of a ball mill for recycling brake pads tractor-trucks using the method of bond”, *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. Vol. 24, núm. No. 3, pp. 2–3, 2015, [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542015000300007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000300007).

- [33] E. F. GUACHO ABARCA, “CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLOGICA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) DE LA LOCALIDAD SAN JOSÉ DE CHAZO.”, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2014.
- [34] E. G. E. y C. A. V. P. G. García de los Santos, H. A. Zavaleta Mancera, A. Carballo Carballo, J. A. Carrillo Salazar, “Fracture resistance and physiological quality of corn seeds under axial compression”, *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. Vol.7, núm. Núm.1, p. 55, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n1/2007-0934-remexca-7-01-00045-en.pdf>.
- [35] H. Borbor y A. Crespo, “Diseño de una línea de producción de fertilizantes pulverizados usando molino de pines.”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2012.
- [36] DIPAC, “EJES ACERO INOXIDABLE”. [En línea]. Disponible en: <https://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>.
- [37] DIN, “Norma DIN 6885-A Chavetas Paralelas”. Deutsches Institut für Normung, Berlín, p. 2, 1968, [En línea]. Disponible en: [https://www.opac.net/pdf/DIN\\_6885\\_A.pdf](https://www.opac.net/pdf/DIN_6885_A.pdf).
- [38] SKF, “Catálogos de rodamientos”. Grupo SKF, Gotenburgo, pp. 19–29, 2019, [En línea]. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings--17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings--17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).
- [39] SKF, “Carga dinámica equivalente del rodamiento, P | SKF | SKF”. <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/equivalent-dynamic-bearing-load-p> (consultado feb. 05, 2022).
- [40] INEN, “CEREALES Y LEGUMINOSAS. MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ. REQUISITOS”, Quito - Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2051-1R.pdf>.
- [41] L. R. Ricardo Bressani, Juan C. Turcios y R. Mérida, “Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central”, *Arch. Latinoam. Nutr.*, vol. Vol. 3, pp. 1–3, 2017, [En línea]. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222001000300015](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000300015).

- [42] Wikipedia, "Densidad - Wikipedia, la enciclopedia libre". <https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad> (consultado ene. 19, 2022).
- [43] Pharmaceutical Guidelines, "Different Mesh Sizes and Mesh to Micron Conversion : Pharmaceutical Guidelines". <https://www.pharmaguideline.com/2015/09/mesh-sizes-used-in-pharmaceuticals-and-its-conversion.html> (consultado ene. 27, 2022).

## 5 ANEXOS

### ANEXO I. Entrevista para la voz del usuario.

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

#### PROYECTO: DISEÑO DE UN MOLINO DE PINES

#### ***GUÍA DE ENTREVISTA***

Objetivo. Obtener información de primera mano relacionada a la operación de molinos para granos secos.

Pautas de la entrevista.

FECHA. 27 de diciembre de 2021. LUGAR. San Pablo del Lago.

ENTREVISTADOR. Buenos días. Me llamo Inti Rolando Casco Yánez. Soy estudiante de la Escuela Politécnica Nacional. Estoy desarrollando un proyecto de Diseño de un molino de pines, como parte de finalización de mis estudios.

Acudo para solicitar su valiosa colaboración, contando su experiencia sobre el manejo de sus molinos. Las informaciones me van a ser útiles para mi proyecto universitario.

ENTREVISTADO. Para servirles, mi nombre es Juan Casco Casco. Me dedico a las actividades comerciales. Quizás sirva mi pequeña experiencia, pregúnteme no más.

PREGUNTA 1. Cuénteme su experiencia de trabajo con sus molinos.

RESPUESTA. En cuanto a molinos, primero hice construir un molino de rodillos y no funcionó bien. Algunos granos solo pasaban aplastados. Tuve que aumentar más rodillos y ahí se mejoró. Ese molino no sirve para otro tipo de molinajes que piden los clientes. No saca granillos. Solo da harinas y sale mucho afrechillo.

Viendo ese problema me arriesgué a comprar nuevo molino pulverizador de turbina. Compré en la ciudad de Ambato en la empresa INTECMAQ en este año 2021. Este molino si saca diferentes harinas. Solo toca cambiar cedazos en la caja de molienda. Muele todito. No sale afrechillo. Ya puedo atender lo que pide el cliente. Puede moler hasta 60 quintales de maíz en una hora. Es bestial. La harina sale como chorro de agua. Toca trabajar entre tres personas a full. Es máquina muy potente.

PREGUNTA 2. ¿Con nuevo molino, piensa en otros proyectos?

RESPUESTA. Algunos proveedores y amigos me aconsejan que entre en el negocio de alimentos nutritivos a base de combinación de granos secos. Con esa idea me consulté con los señores de ARCOSA para sacar patente de permiso. Ahí me hacen caer en cuenta que el pulverizador no va a pasar la inspección porque las partes de molienda no está hecha con acero inoxidable. Eso ha sido requisito. Así es que la idea de nueva línea de negocio que pensaba crear con maíz, habas, chochos, trigo y más, está en veremos. Creo que fallé en la compra del molino, pero no hay fabricantes en nuestro país. El señor de Ambato me dijo que estos molinos no se venden seguido y resultan muy caros. Les aconsejo que como ingeniero que, a ser, arriesgarse a fabricar estas máquinas. Dicen que hay máquinas chinas, pero yo no confío en cosas chinas, porque son de mala calidad, no hay repuestos, duran muy poco. Para acompañar el negocio, las máquinas deben ser bien hechas y de larga vida. Eso ayuda a pagar los préstamos. Les felicito que usted piense en estos proyectos.

PREGUNTA 3. Usted conoce molino de pines.

RESPUESTA. No sé cómo será. Apenas estoy aprendiendo con mi nuevo molino. Si alguien me avisaba, tal vez si preguntaba. Uno no se conoce de esas máquinas. Por la necesidad de los clientes se empieza a buscar. Contará de sus estudios. Quién sabe con el tiempo me anime a poner en juego mi idea de nueva línea de productos de alta nutrición para la gente con patente salido de ARCOSA.

ENTREVISTADOR. Gracias por su gentileza.

## ANEXO II. Propiedades de plancha y eje de acero inoxidable 304.

Plancha de eje de acero inoxidable 304.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

Eje de eje de acero inoxidable 304.

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

Fuente: [27]

## ANEXO III. Coeficiente de fluctuación.

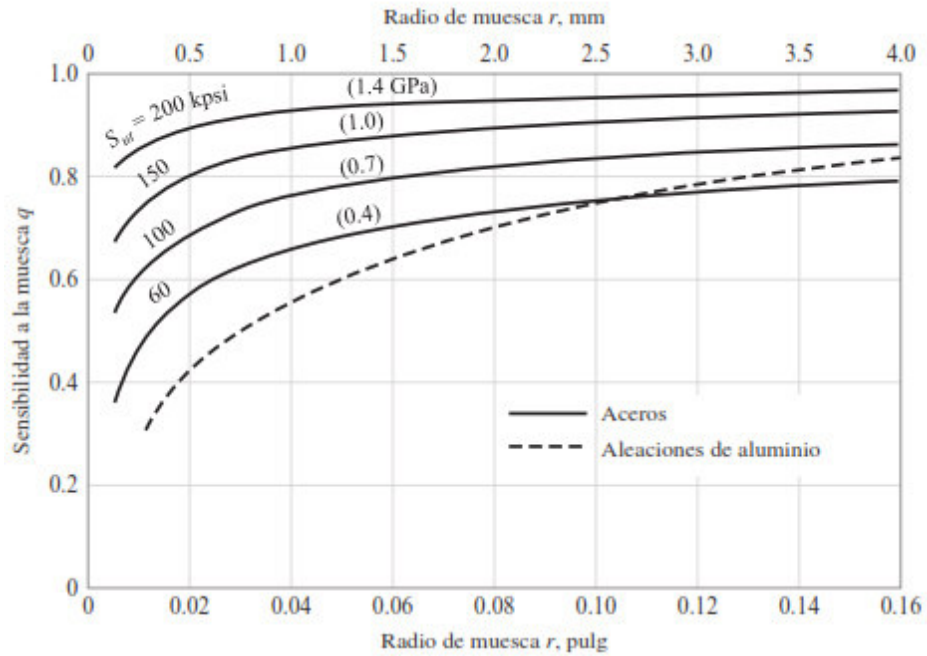
COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN	
Tipo de maquina	Cs
Maquinaria de machaqueo	0,200
Maquinaria eléctrica	0,003
Maquinaria eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,020
Transmisión rueda dentada	0,020
Martillos	0,200
Maquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030-0,050
Maquinaria de corte	0,030-0,050
Maquinaria de hilanderas	0,01-0,02
Maquinaria textil	0,025

Fuente: [35]



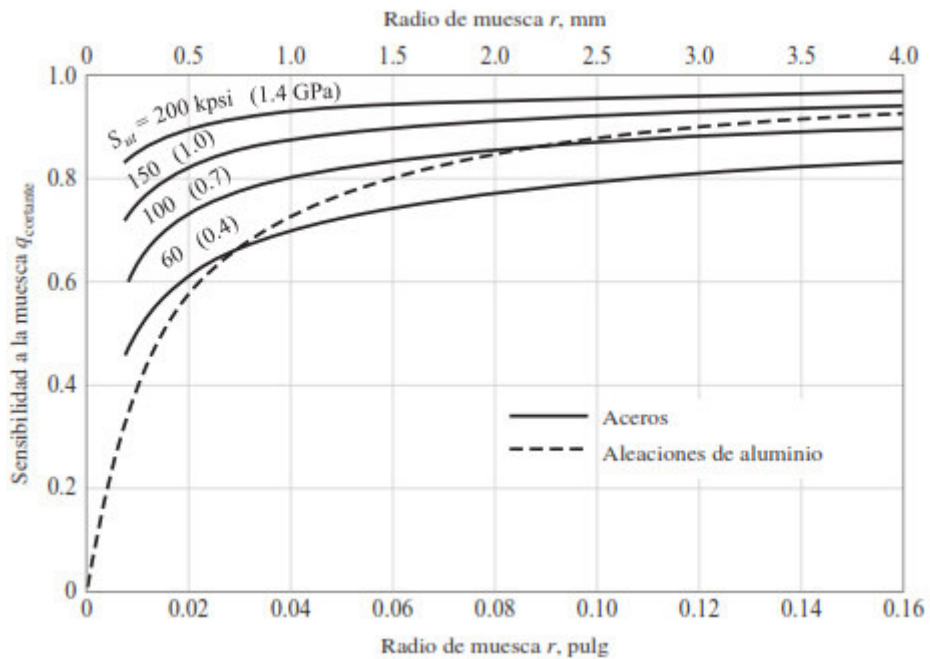
## ANEXO IV. Parámetros de diseño del eje.

Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio.



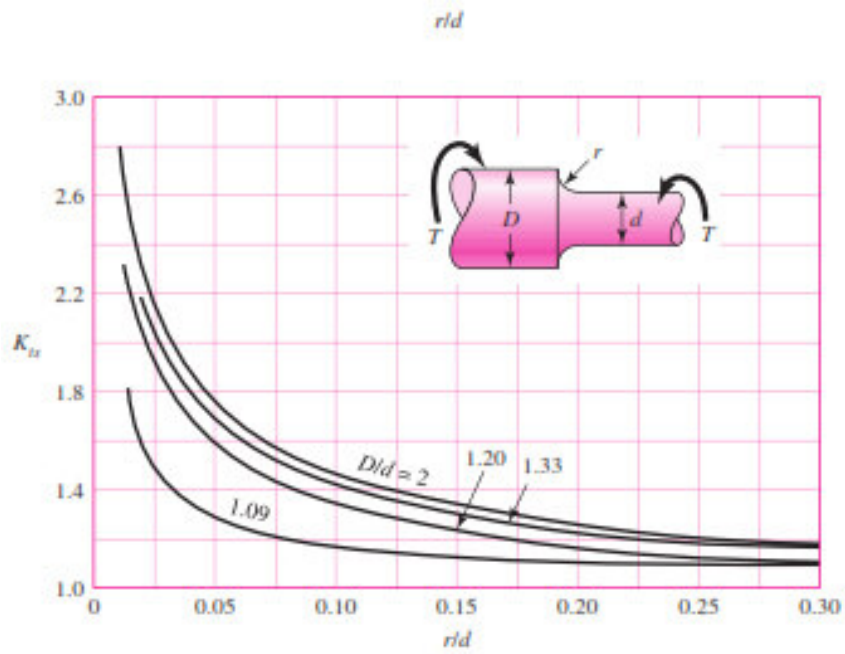
Fuente: [26]

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa.



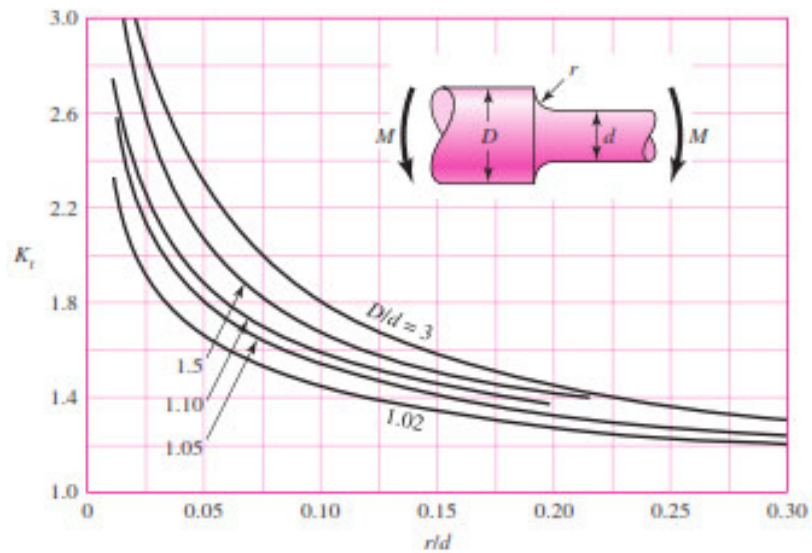
Fuente: [26]

Eje redondo con filete en el hombro en torsión.



Fuente: [26]

Eje redondo con filete en el hombro en flexión.



Fuente: [26]

Relación entre la resistencia a la fatiga y la resistencia última del material para aceros.

$$S_e' = 0,50\sigma_u \quad \text{si } \sigma_u \leq 1400 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 700 \text{ MPa} \quad \text{si } \sigma_u > 1400 \text{ MPa}$$

Fuente: [26]

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: [26]

Los factores de flexión y torsión pueden expresarse como:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Fuente: [26]

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual:

$$k_b = 1$$

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

Fuente: [26]

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Fuente: [26]

**ANEXO V. Diferentes tamaños de malla y conversión de malla a micras.**

<b>U.S. MESH</b>	<b>MICRONS</b>	<b>INCHES</b>	<b>MILLIMETERS</b>
3	6730	0.2650	6.730
4	4760	0.1870	4.760
5	4000	0.1570	4.000
6	3360	0.1320	3.360
7	2830	0.1110	2.830
8	2380	0.0937	2.380
10	2000	0.0787	2.000
12	1680	0.0661	1.680
14	1410	0.0555	1.410
16	1190	0.0469	1.190
18	1000	0.0394	1.000
20	841	0.0331	0.841
25	707	0.0280	0.707
30	595	0.0232	0.595
35	500	0.0197	0.500
40	400	0.0165	0.400
45	354	0.0138	0.354
50	297	0.0117	0.297
60	250	0.0098	0.250
70	210	0.0083	0.210
80	177	0.0070	0.177
100	149	0.0059	0.149
120	125	0.0049	0.125
140	105	0.0041	0.105
170	88	0.0035	0.088
200	74	0.0029	0.074
230	63	0.0024	0.063
270	53	0.0021	0.053
325	44	0.0017	0.044
400	37	0.0015	0.037

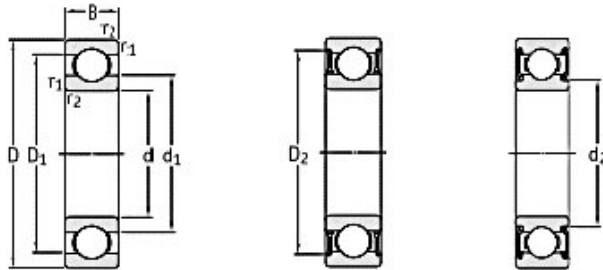
Fuente: [43].





## ANEXO VII. Rodamientos SKF.

d 5 – 25 mm



Sellados (2RZ)

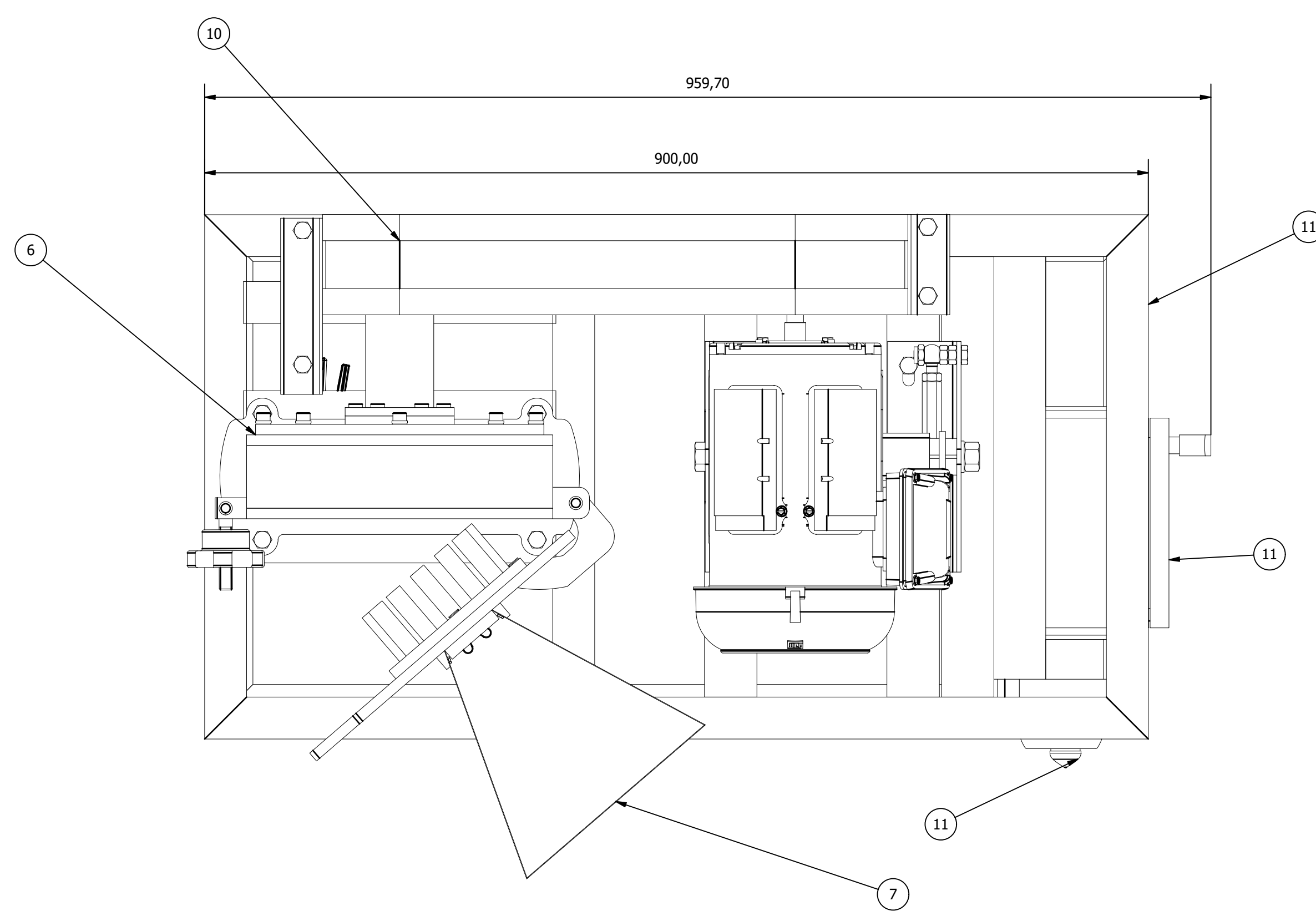
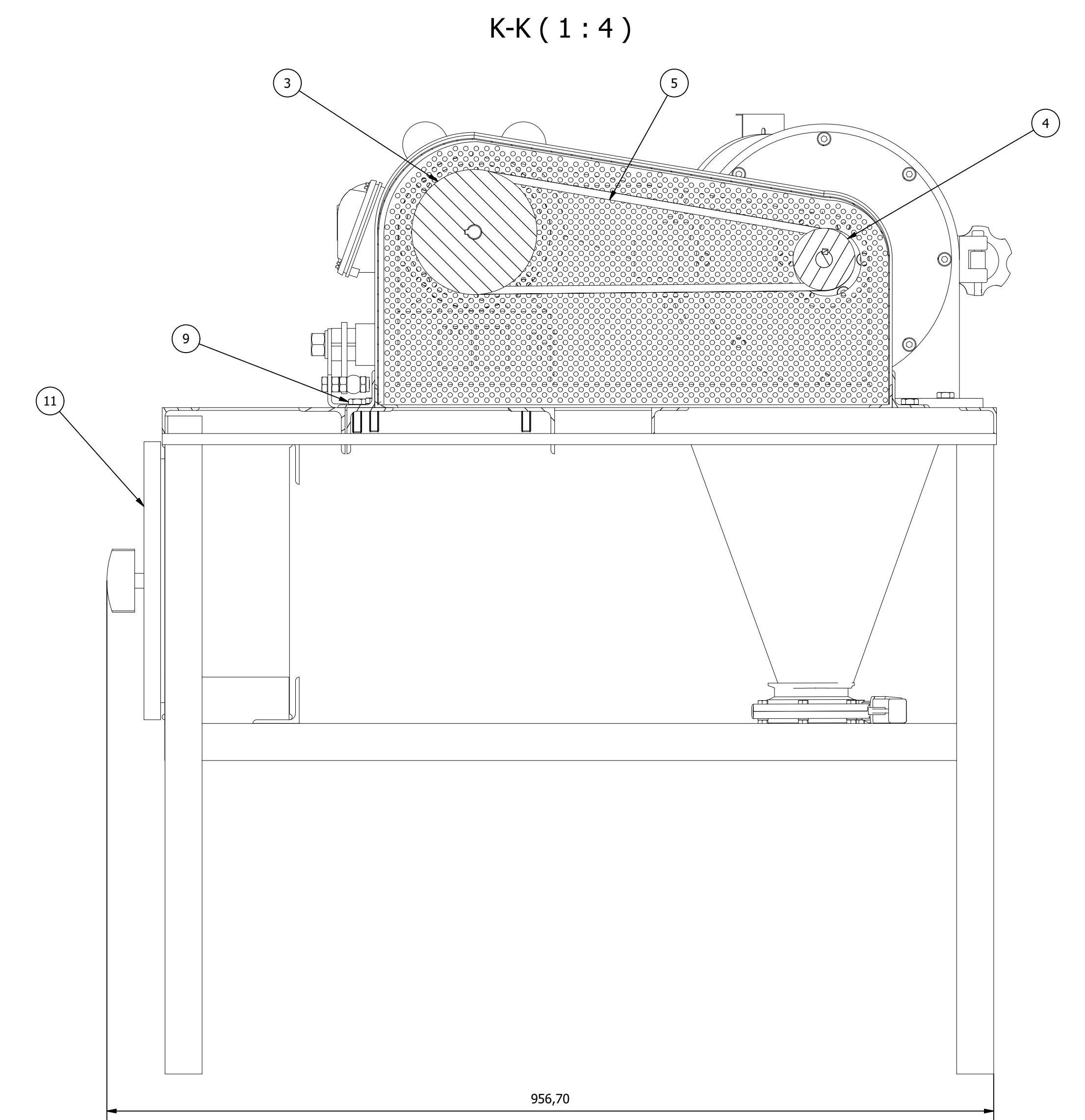
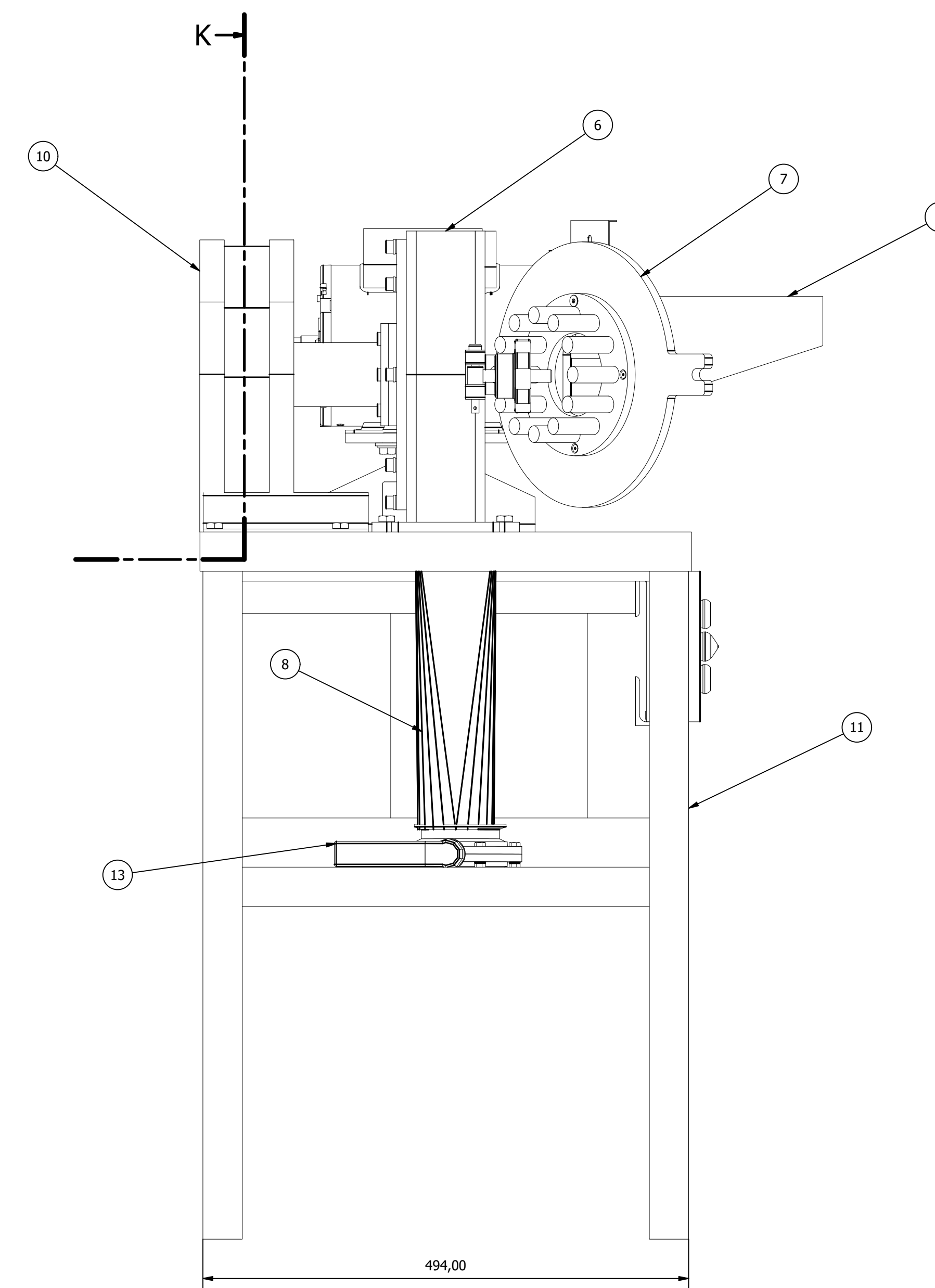
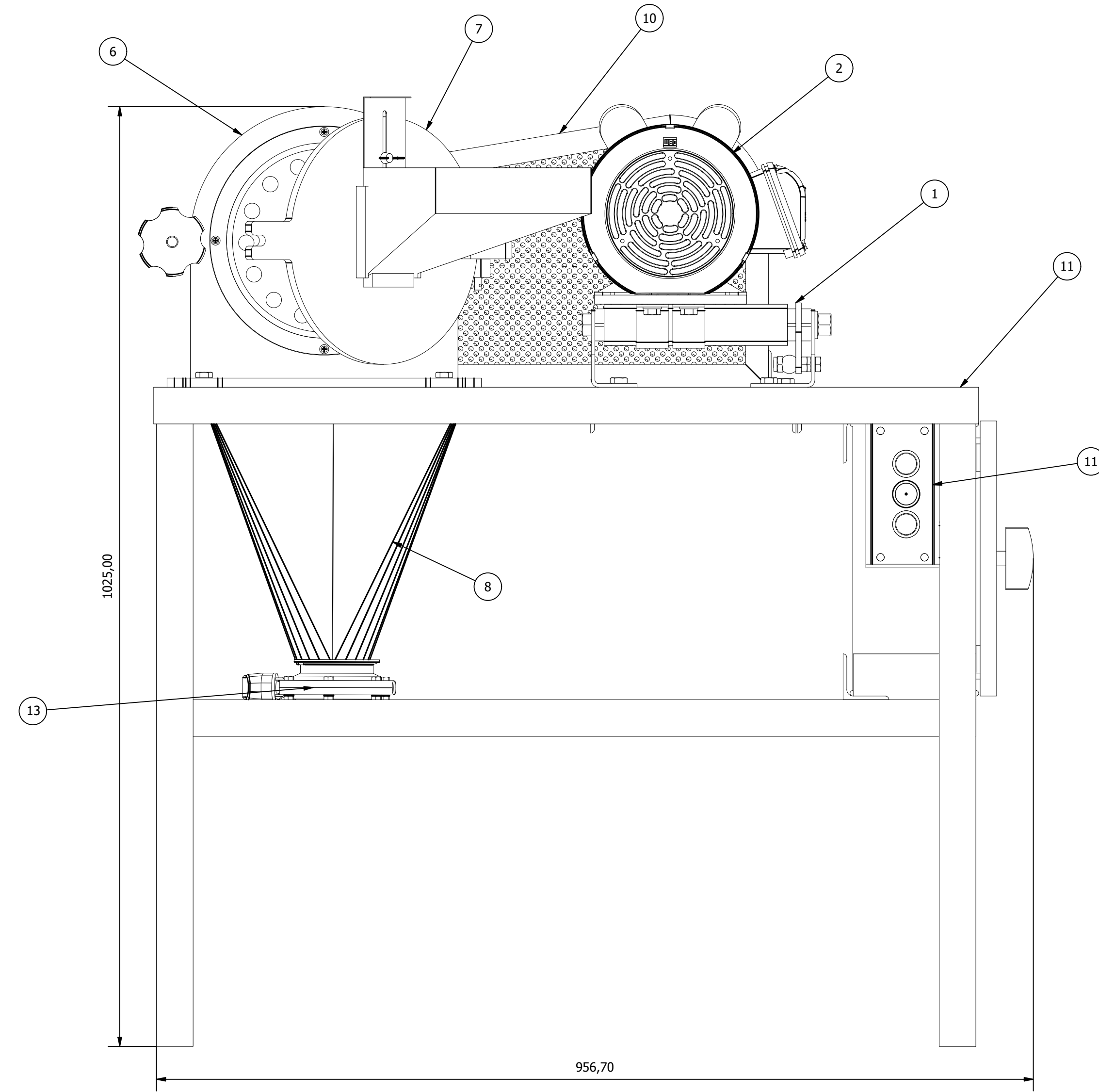
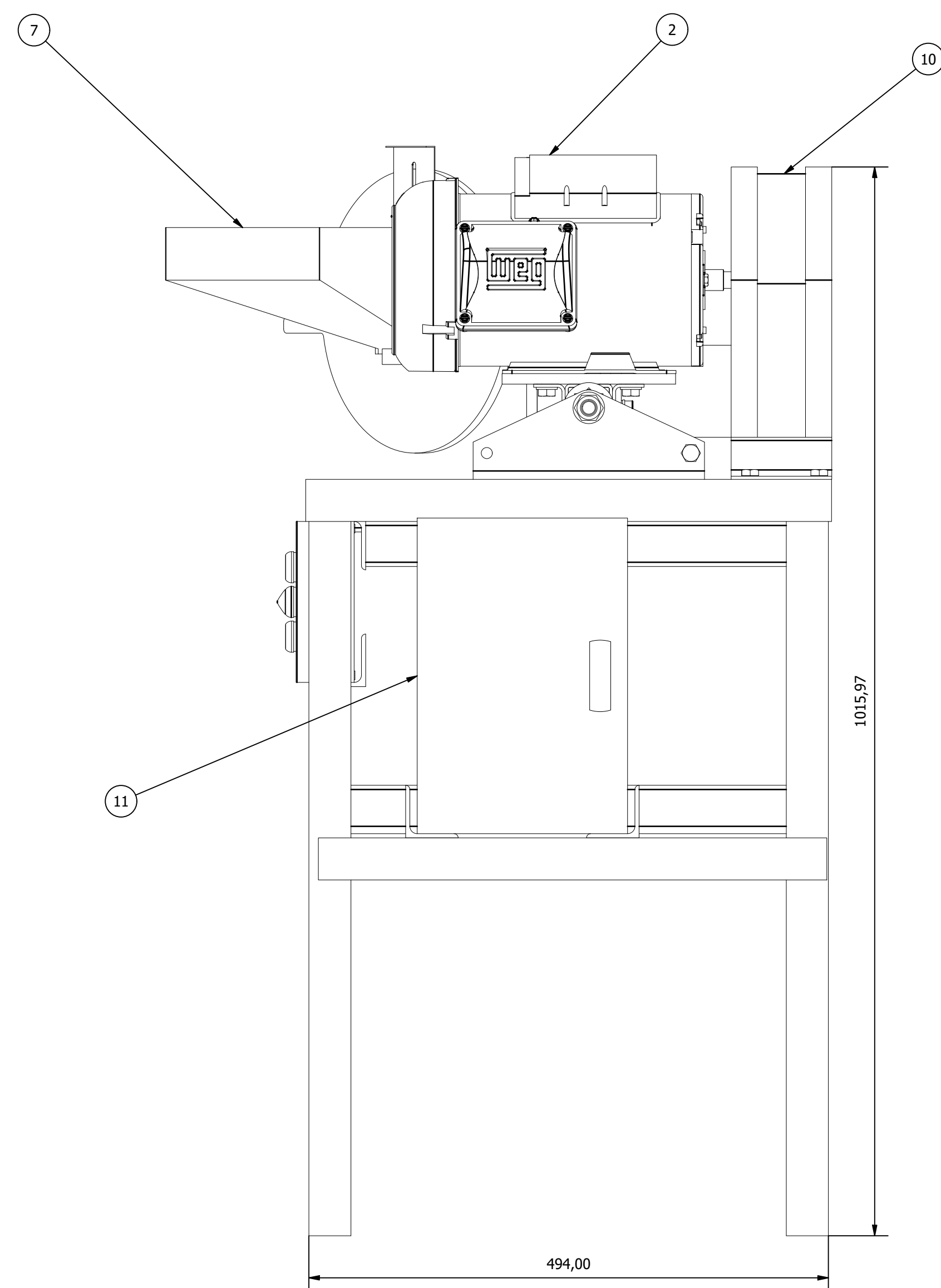
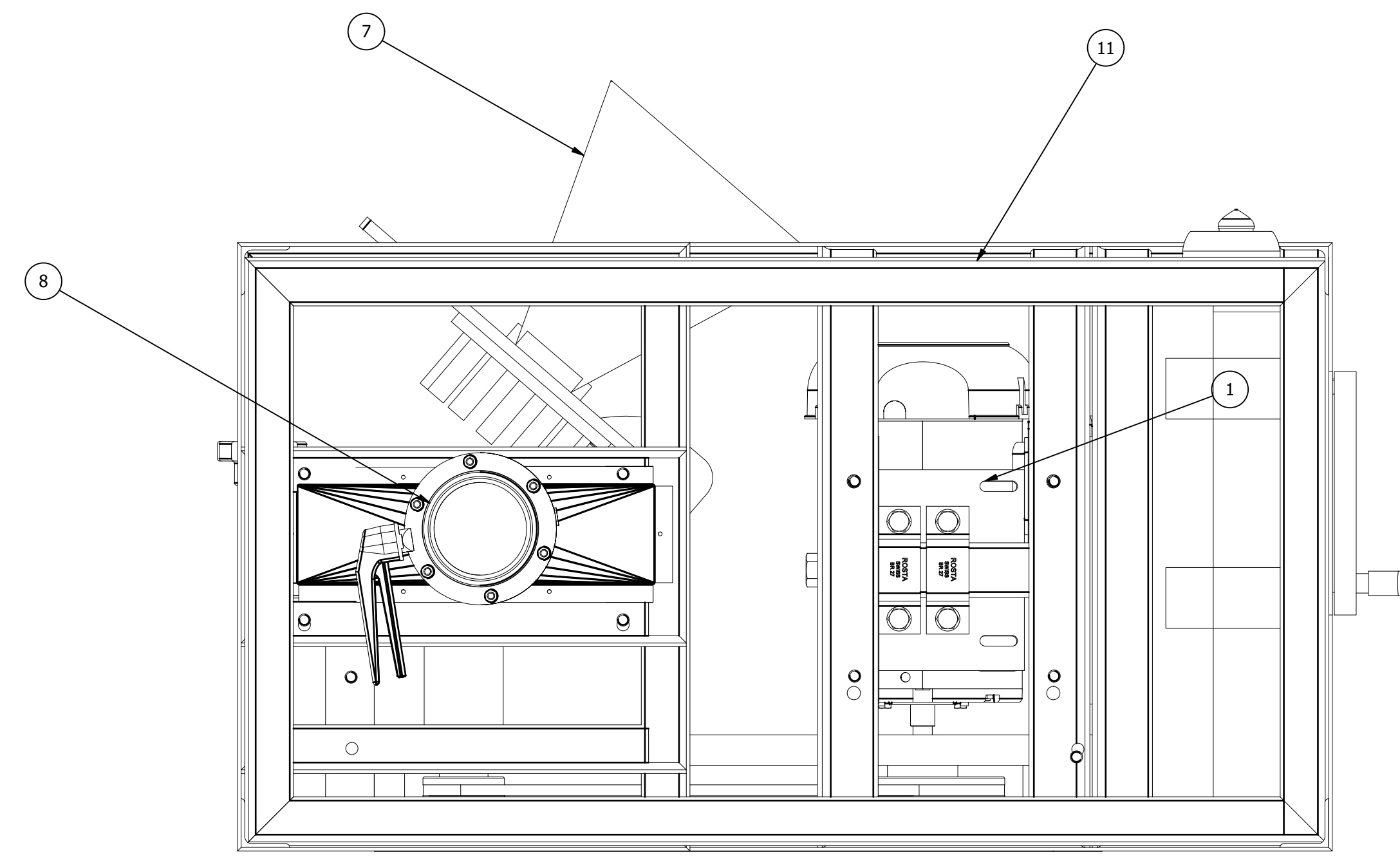
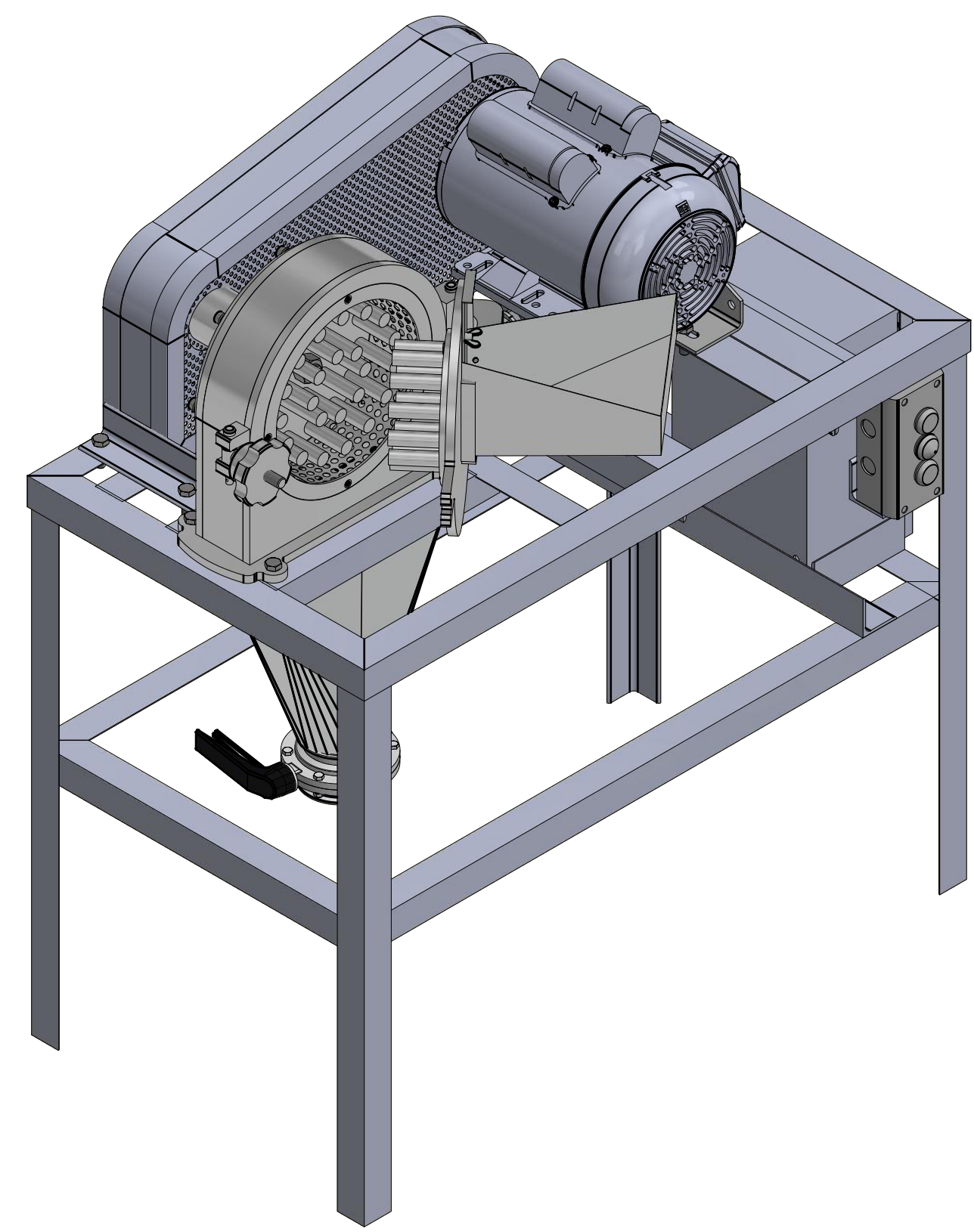
Sellados (2RSL)

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
5	16	5	1,14	0,38	0,016	125 000	57 000	0,005	▶ 625-2RZTN9/HC5C3WTF1
6	19	6	2,34	0,95	0,04	100 000	45 000	0,008	626-2RSLTN9/HC5C3WTF1
7	19	6	2,34	0,95	0,04	100 000	45 000	0,007	▶ 607-2RSLTN9/HC5C3WTF1
	22	7	3,45	1,37	0,057	85 000	40 000	0,012	▶ 627-2RSLTN9/HC5C3WTF1
8	22	7	3,45	1,37	0,057	85 000	40 000	0,01	▶ 608-2RSLTN9/HC5C3WTF1
10	26	8	4,75	1,96	0,083	70 000	32 000	0,018	▶ 6000-2RSLTN9/HC5C3WT
	26	8	4,75	1,96	0,083	70 000	45 000	0,019	6000/HC5C3
	30	9	5,4	2,36	0,1	65 000	30 000	0,032	▶ 6200-2RSLTN9/HC5C3WT
	30	9	5,4	2,36	0,1	65 000	40 000	0,032	6200/HC5C3
12	28	8	5,4	2,36	0,1	65 000	30 000	0,022	▶ 6001-2RSLTN9/HC5C3WT
	28	8	5,4	2,36	0,1	65 000	40 000	0,021	6001/HC5C3
	32	10	7,28	3,1	0,132	60 000	25 000	0,037	▶ 6201-2RSLTN9/HC5C3WT
	32	10	7,28	3,1	0,132	60 000	35 000	0,037	6201/HC5C3
15	32	9	5,85	2,85	0,12	56 000	24 000	0,03	▶ 6002-2RSLTN9/HC5C3WT
	32	9	5,85	2,85	0,12	56 000	34 000	0,03	6002/HC5C3
	35	11	8,06	3,75	0,16	50 000	22 000	0,044	▶ 6202-2RSLTN9/HC5C3WT
	35	11	8,06	3,75	0,16	50 000	32 000	0,045	6202/HC5C3
17	35	10	6,37	3,25	0,137	50 000	22 000	0,038	▶ 6003-2RSLTN9/HC5C3WT
	35	10	6,37	3,25	0,137	50 000	30 000	0,038	6003/HC5C3
	40	12	9,95	4,75	0,2	45 000	20 000	0,059	▶ 6203-2RSLTN9/HC5C3WT
	40	12	9,95	4,75	0,2	45 000	28 000	0,065	6203/HC5C3
20	42	12	9,95	5	0,212	40 000	19 000	0,062	▶ 6004-2RSLTN9/HC5C3WT
	42	12	9,95	5	0,212	40 000	25 000	0,067	6004/HC5C3
	47	14	13,5	6,55	0,28	38 000	17 000	0,097	▶ 6204-2RSLTN9/HC5C3WT
	47	14	13,5	6,55	0,28	38 000	24 000	0,11	6204/HC5C3
25	47	12	11,9	6,55	0,275	36 000	15 000	0,073	▶ 6005-2RSLTN9/HC5C3WT
	47	12	11,9	6,55	0,275	36 000	22 000	0,078	6005/HC5C3
	52	15	14,8	7,8	0,335	32 000	15 000	0,13	▶ 6205-2RSLTN9/HC5C3WT
52	15	14,8	7,8	0,335	32 000	20 000	0,13	6205/HC5C3	

Fuente: [38].

## **ANEXO VIII. Planos**





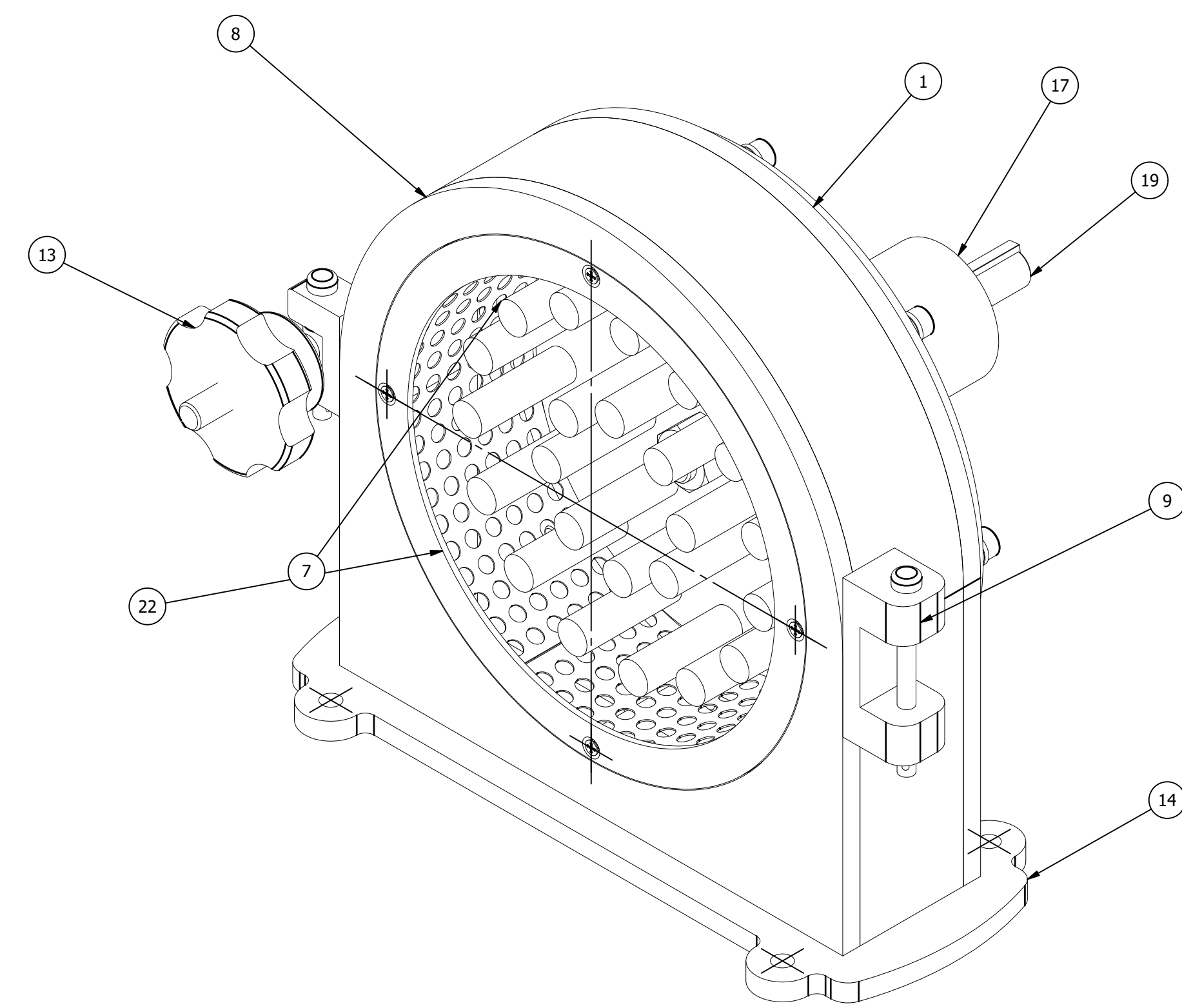
NOTA: CÓDIGO DE PLANOS  
 IC: INTI ROLANDO CASCO YÁNEZ  
 EA: EDWIN ORLANDO AMAGUAÑA TABANGO

Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
13	6G	VÁLVULA DE MARIPOSA		1	Acero inoxidable AISI 304	
12	7F	BOTONERA		1		
11	5B	BASTIDOR	EA-TES.003	1	ASTM A36	
10	F11	GUARDA DE SEGURIDAD	EA-TES.002	1	ASTM A36	
9	C5	PERNO HEX G2 GALV M10 x 30	ASTM A307 / SAE J429	12	ASTM A307	Pernos y tornillos de precisión hexagonales métricos ISO
8	F5	DUCTO DE DESCARGA	IC-TES.701	1		
7	F5	TAPA FRONTAL	IC-TES.003	1		
6	F5	CUERPO MOLINO	IC-TES.002	1	Acero inoxidable AISI 304	
5	F11	BANDA 3V		1		
4	F11	POLEA CONDUCCIDA	EA-TES.101	1	Aluminio 6061	
3	F11	POLEA MOTRIZ	EA-TES.102	1	Aluminio 6061	
2	D5	MOTOR MONOFÁSICO G56H		1		WEG, 2 HP
1	F3	BASE TENSORA		1		

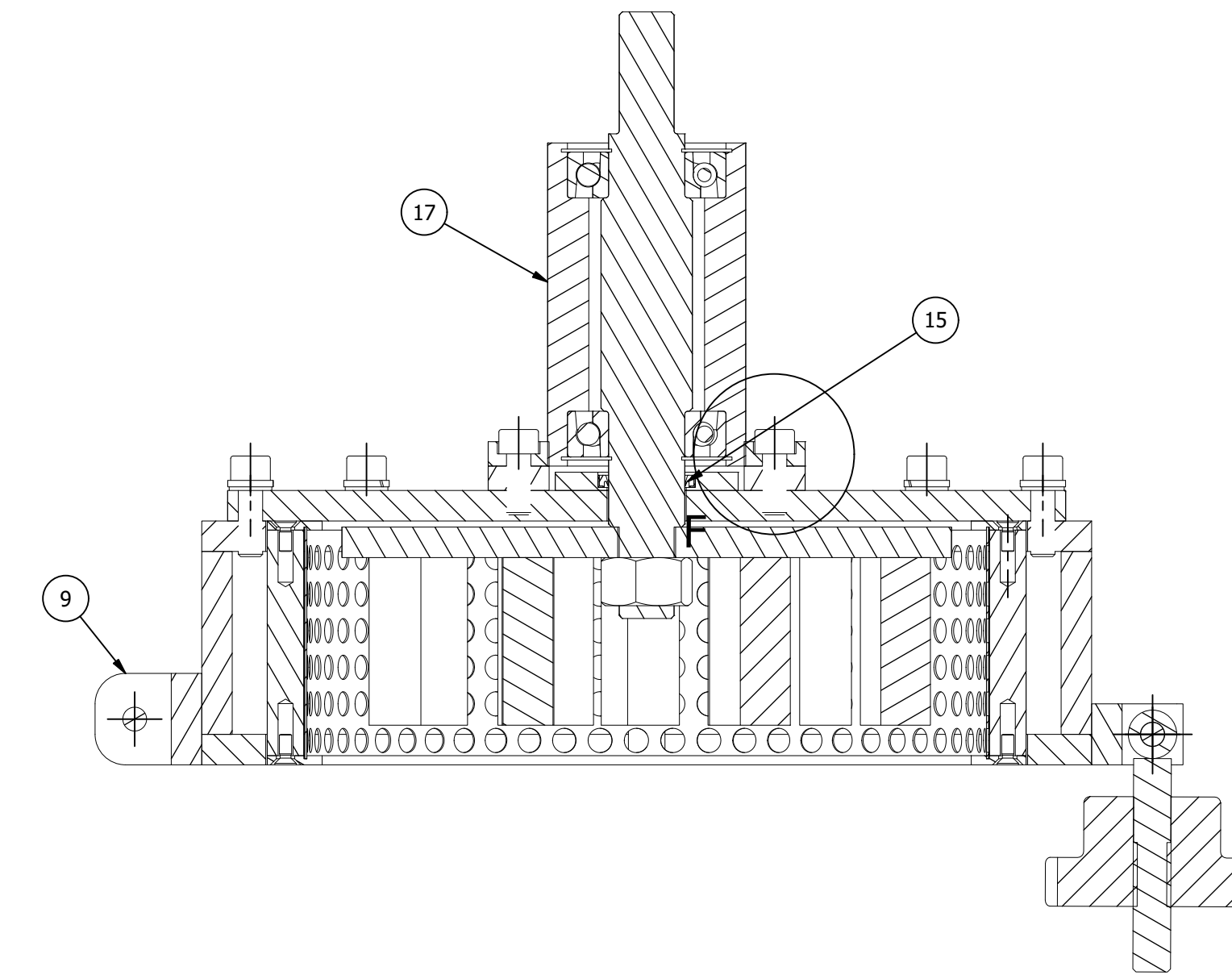
EPN FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA  
 Dib: Inti Casco  
 Escala: 1 : 6  
 Dis: Inti Casco  
 Rev: Ing. Mario Cepón  
 Fecha: 12/2/2022

MOLINO DE PINES IC-TES.001

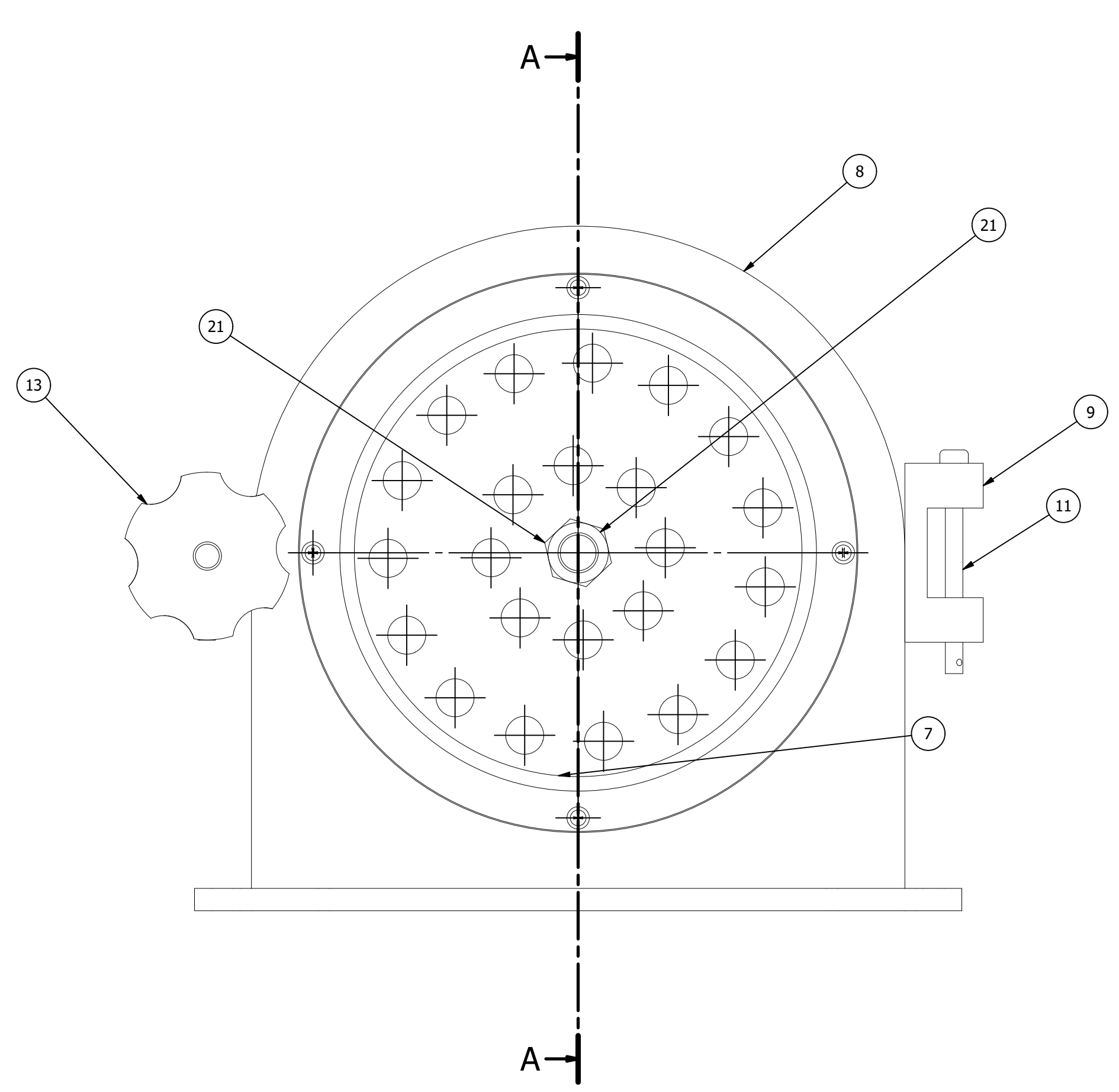
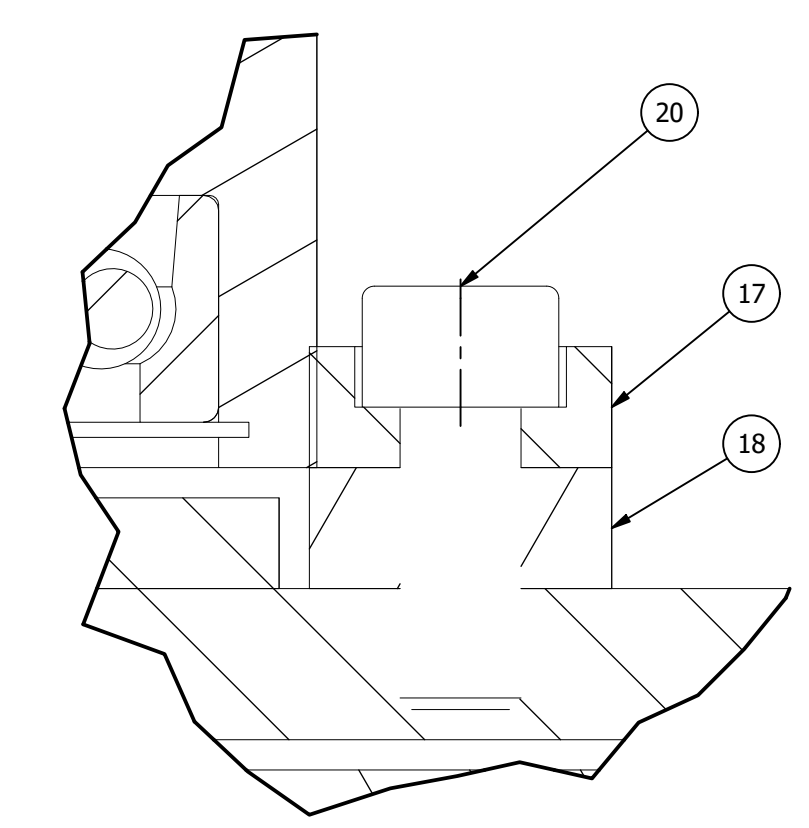




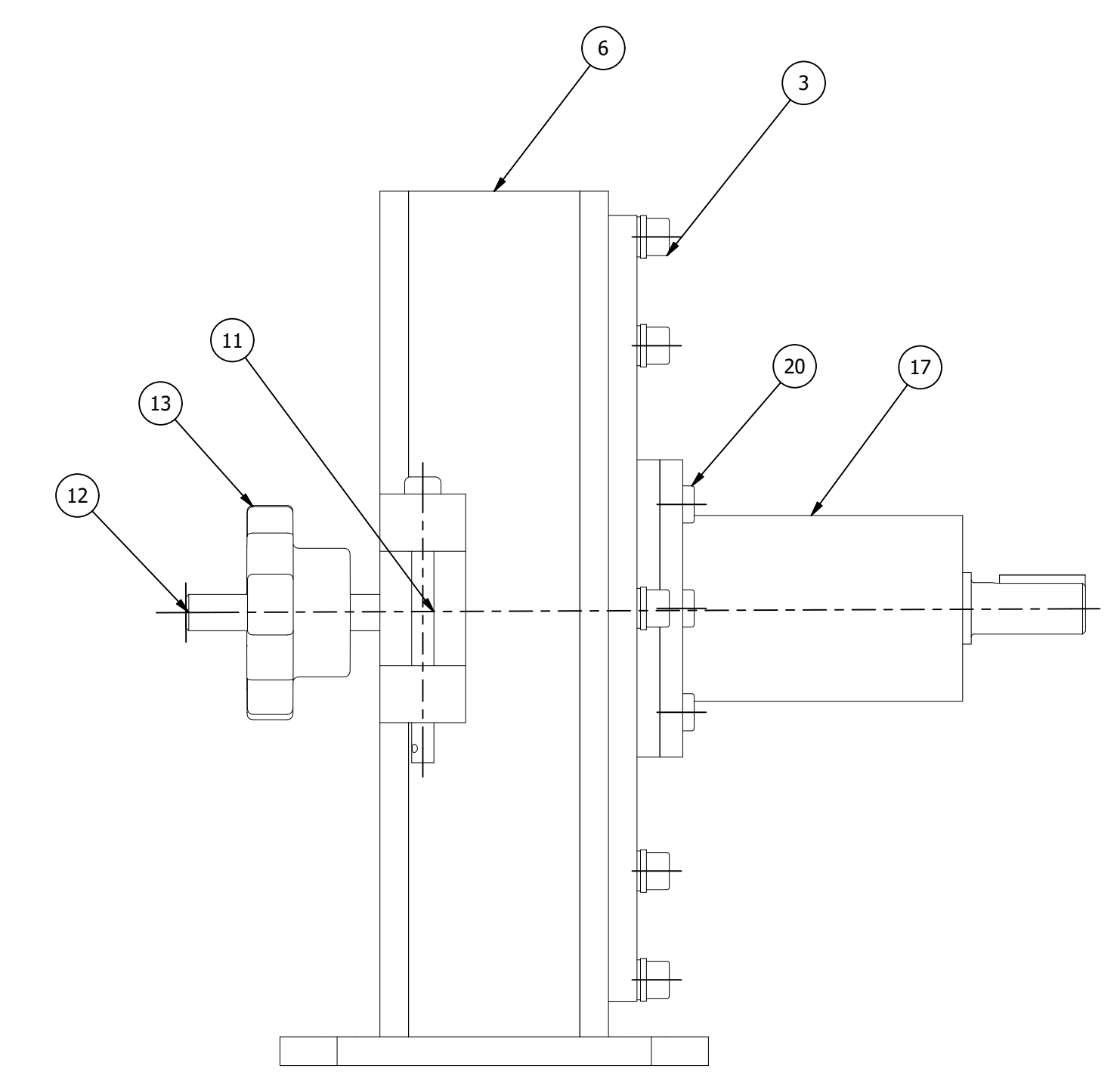
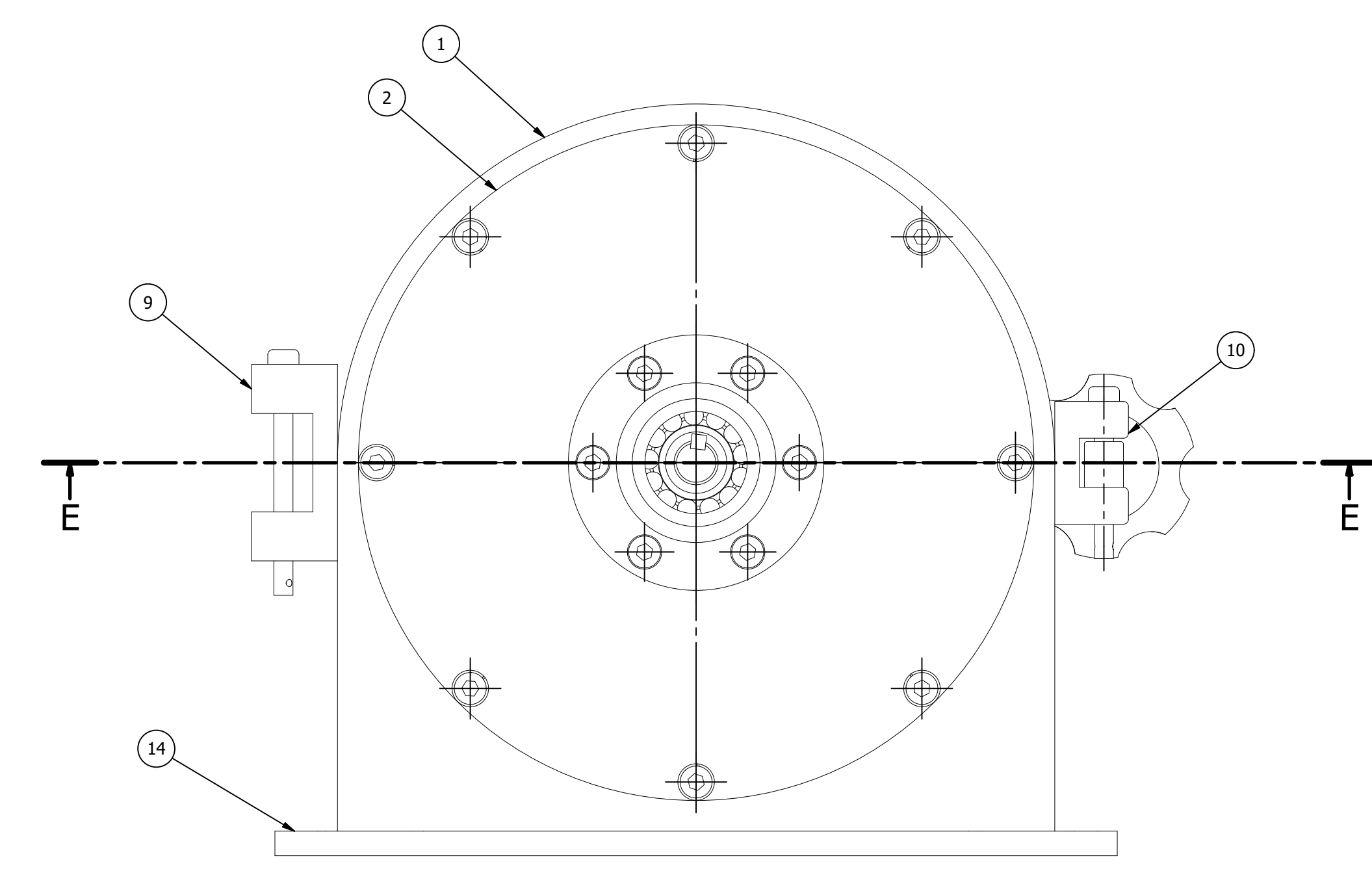
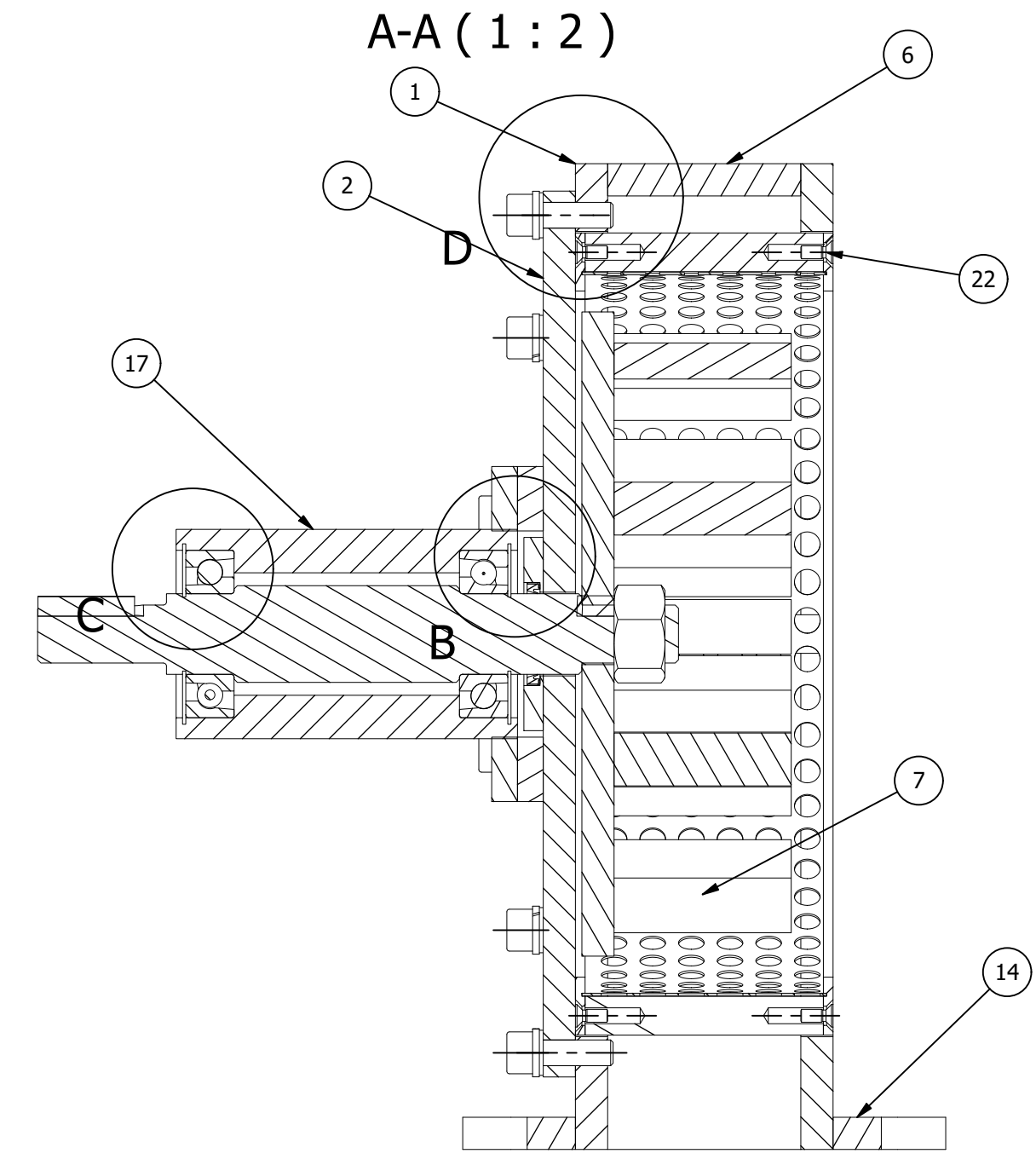
E-E (1:2)



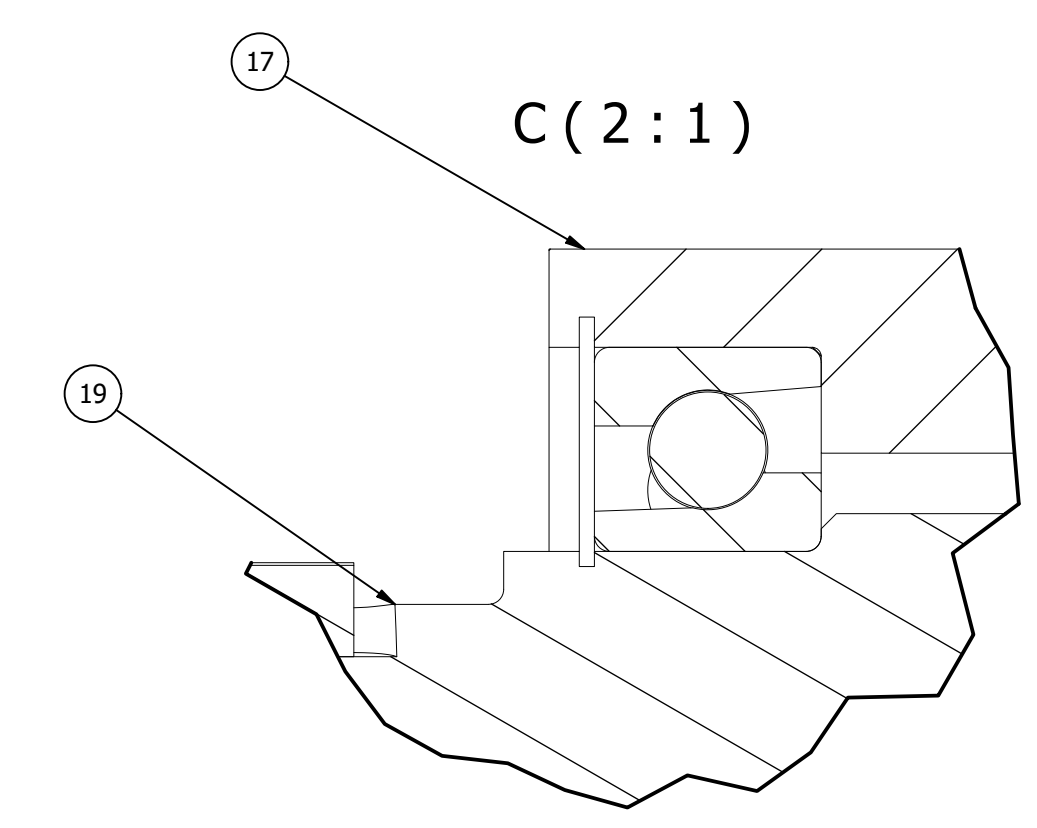
F (2:1)



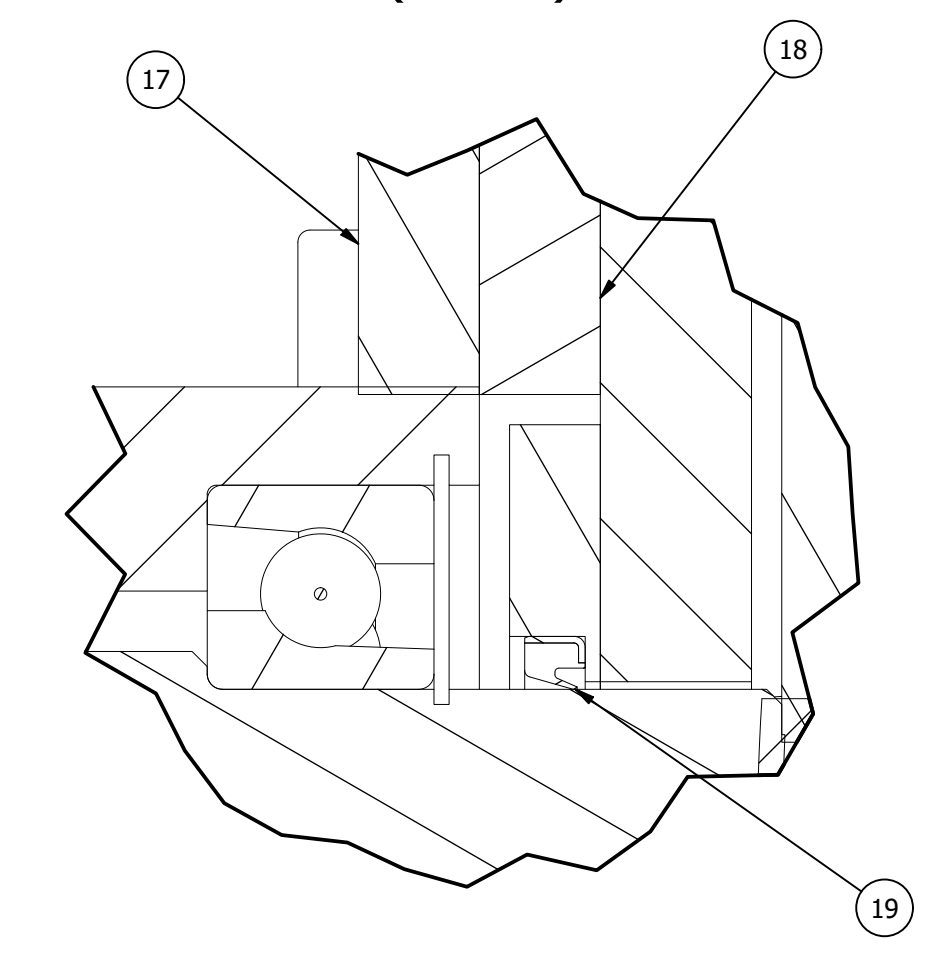
A-A (1:2)



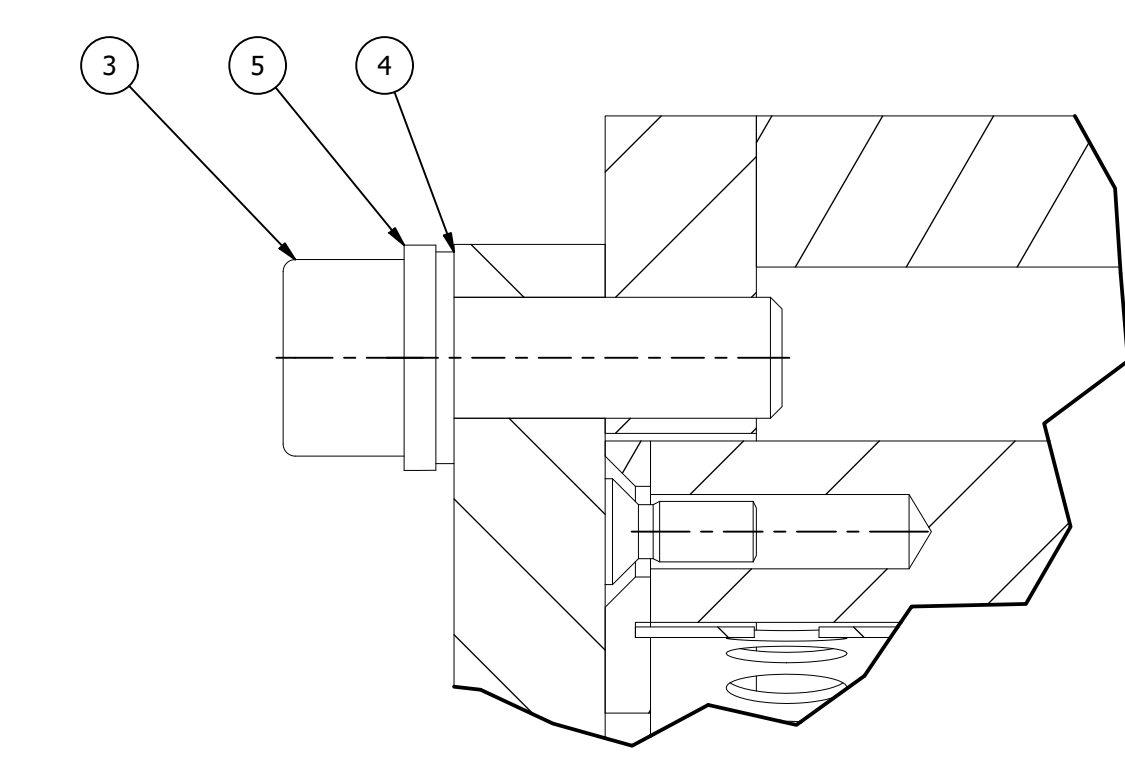
C (2:1)



B (2:1)

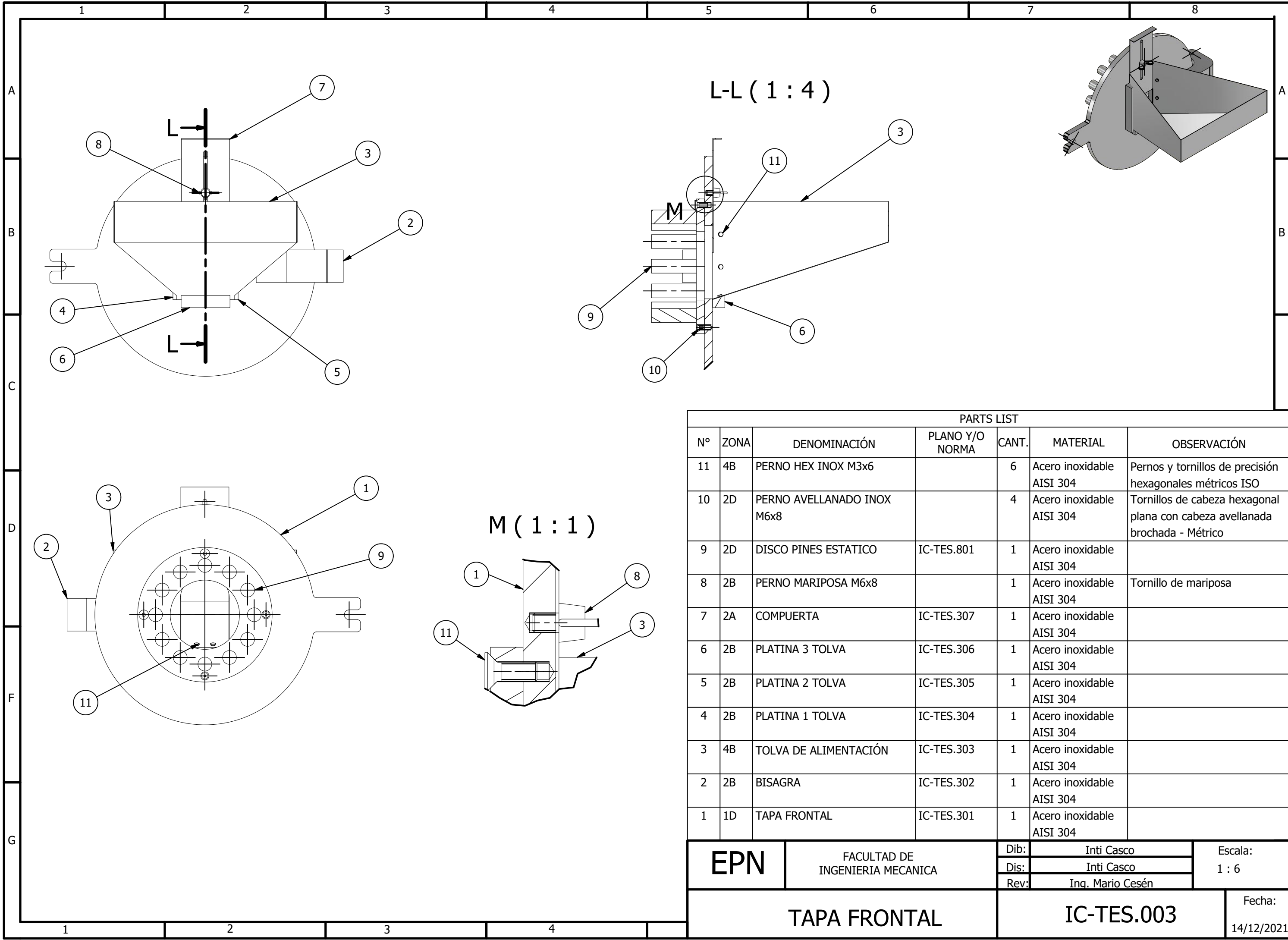


D (2:1)



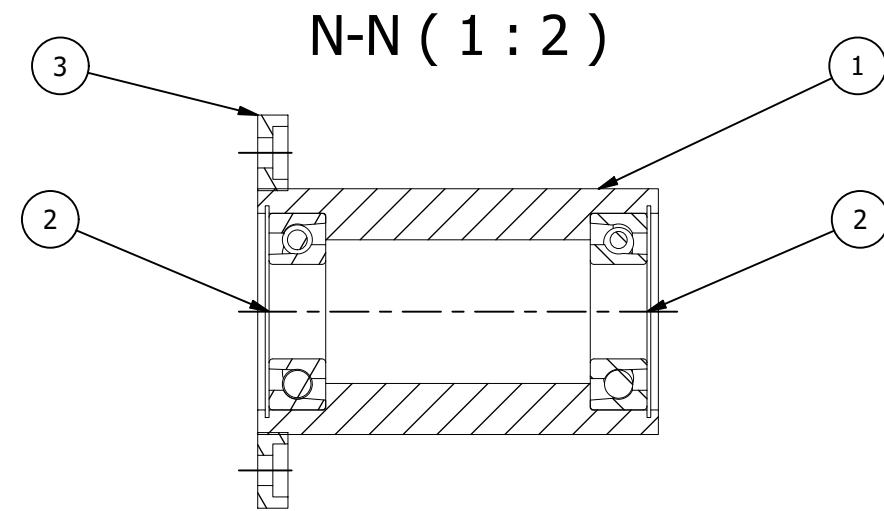
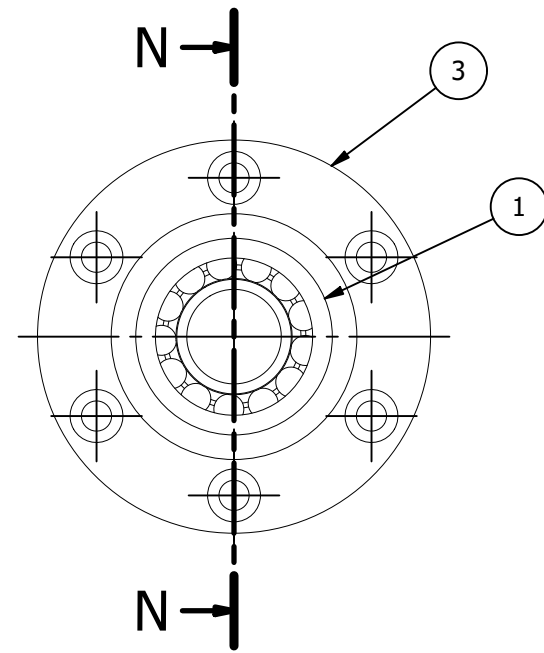
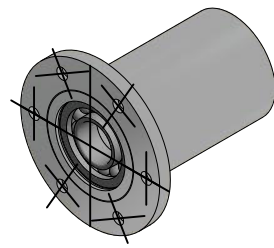
NOTAS:  
- Eliminar aristas vivas

Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
24	11B	CHAVETA EJE DISCO	IC-TES.213	1	Acero inoxidable AISI 304	
23	16E	CHAVETA EJE POLEA	EA-TES.103	1	Acero inoxidable AISI 304	
22	4B	CRIBA	IC-TES.602	1	Acero inoxidable AISI 304	
21	4G	TUERCA INOX M18		1	Acero inoxidable AISI 304	
20	11E	PERNO ALLEN INOX M8x20		6	Acero inoxidable AISI 304	
19	11A	EJE	IC-TES.208	1	Acero inoxidable AISI 304	
18	11E	BRIDA 1	IC-TES.401	1	Acero inoxidable AISI 304	
17	7G	SOPORTE RODAMIENTO 1	IC-TES.004	1	Acero inoxidable AISI 304	
16	7G	ARANDELA DE PRESIÓN M8		4	Acero inoxidable AISI 304	
15	12B	SOPORTE RETENEDOR	IC-TES.207	1	Acero inoxidable AISI 304	
14	11B	PLACA INFERIOR	IC-TES.205	1	Acero inoxidable AISI 304	
13	4D	MANILIA	IC-TES.212	1	Bronce	
12	3B	MANILIA SEGURIDAD	IC-TES.211	1	Acero inoxidable AISI 304	
11	14D	PASADOR SEGURO 1	IC-TES.204	2	Acero inoxidable AISI 304	
10	5D	BASE SEGURO	IC-TES.210	1	Acero inoxidable AISI 304	
9	4G	PIVOTE PUERTA	IC-TES.209	1	Acero inoxidable AISI 304	
8	3F	BASE FRONTAL	IC-TES.202	1	Acero inoxidable AISI 304	
7	3F	DISCO PINES	IC-TES.005	1	Acero inoxidable AISI 304	
6	4B	CARCASA	IC-TES.203	1	Acero inoxidable AISI 304	
5	10D	ARANDELA DE PRESIÓN M8	NTE INEN 1287	8	Acero inoxidable AISI 304	
4	10D	ARANDELA PLANA M8	NTE INEN 1287	8	Acero inoxidable AISI 304	
3	10D	PERNO ALLEN INOX M8 x 25	ISO 4762 (DIN 912)	8	Acero inoxidable AISI 304	
2	10D	TAPA POSTERIOR	IC-TES.204	1	Acero inoxidable AISI 304	
1	15D	BASE POSTERIOR	IC-TES.201	1	Acero inoxidable AISI 304	



PARTS LIST						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
11	4B	PERNO HEX INOX M3x6		6	Acero inoxidable AISI 304	Pernos y tornillos de precisión hexagonales métricos ISO
10	2D	PERNO AVELLANADO INOX M6x8		4	Acero inoxidable AISI 304	Tornillos de cabeza hexagonal plana con cabeza avellanada brochada - Métrico
9	2D	DISCO PINES ESTATICO	IC-TES.801	1	Acero inoxidable AISI 304	
8	2B	PERNO MARIPOSA M6x8		1	Acero inoxidable AISI 304	Tornillo de mariposa
7	2A	COMPUERTA	IC-TES.307	1	Acero inoxidable AISI 304	
6	2B	PLATINA 3 TOLVA	IC-TES.306	1	Acero inoxidable AISI 304	
5	2B	PLATINA 2 TOLVA	IC-TES.305	1	Acero inoxidable AISI 304	
4	2B	PLATINA 1 TOLVA	IC-TES.304	1	Acero inoxidable AISI 304	
3	4B	TOLVA DE ALIMENTACIÓN	IC-TES.303	1	Acero inoxidable AISI 304	
2	2B	BISAGRA	IC-TES.302	1	Acero inoxidable AISI 304	
1	1D	TAPA FRONTAL	IC-TES.301	1	Acero inoxidable AISI 304	

<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	Dib:	Inti Casco	Escala: 1 : 6
		Dis:	Inti Casco	
		Rev:	Ing. Mario Cesén	
<b>TAPA FRONTAL</b>		<b>IC-TES.003</b>		Fecha: 14/12/2021



N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
3	4C	BRIDA 1	IC-TES.401	1	Acero inoxidable AISI 304	
2	4C	RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS 6205		2	Acero inoxidable AISI 304	
1	4C	SOPORTE RODAMIENTOS	IC-TES.402	1	Acero inoxidable AISI 304	

<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	Dib:	Inti Casco	Escala: 1 : 2
		Dis:	Inti Casco	
		Rev:	Ing. Mario Cesén	
<b>SOPORTE RODAMIENTO</b>		<b>IC-TES.004</b>		Fecha: 26/12/2021

1 2 3 4 5 6 7 8

A

A

B

B

C

C

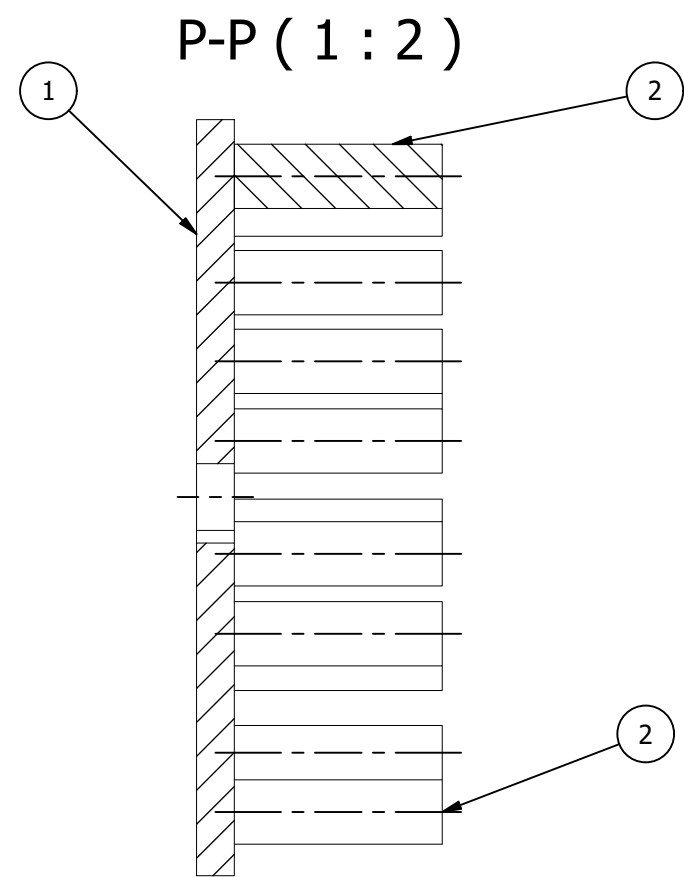
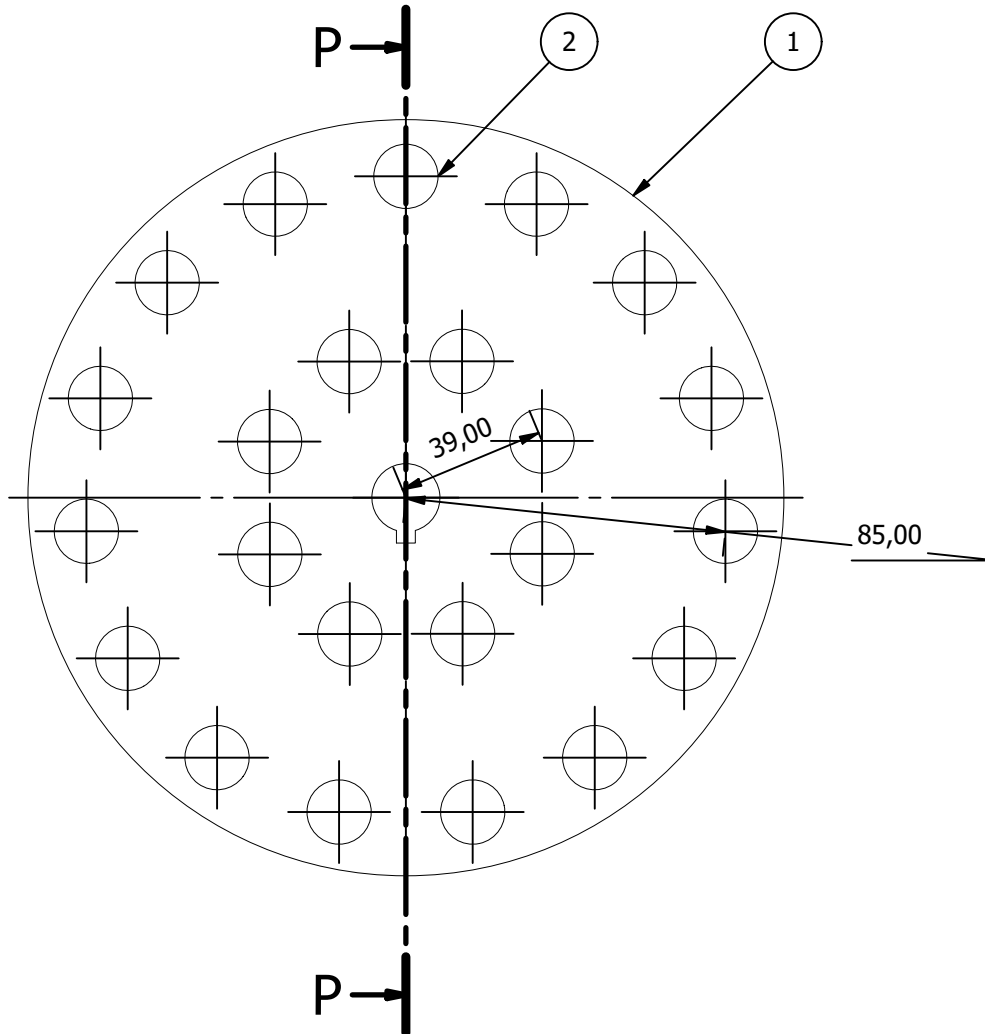
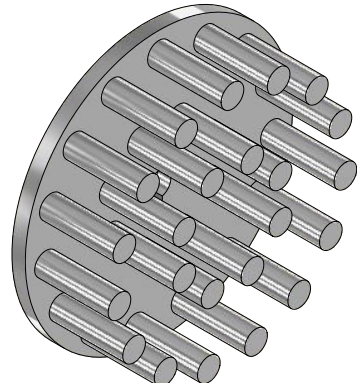
D

D

F

G

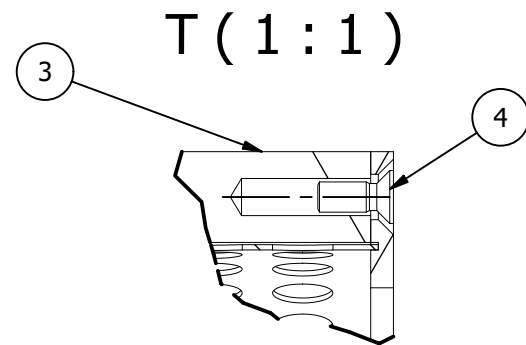
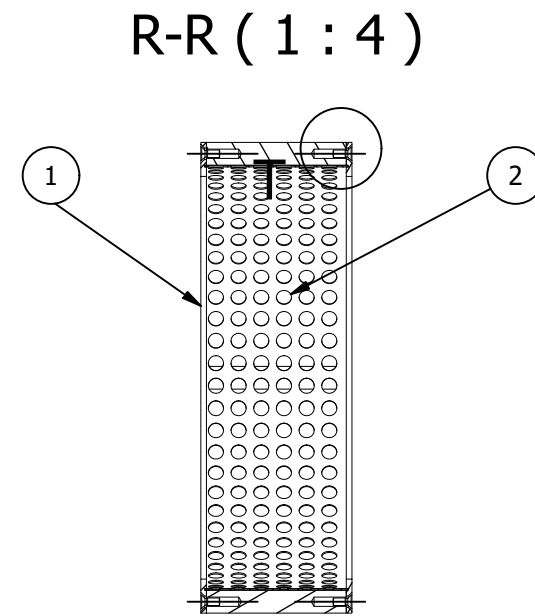
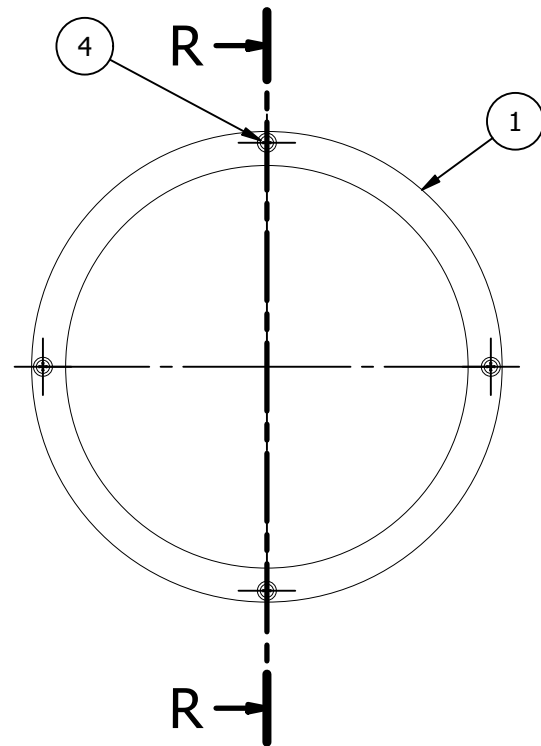
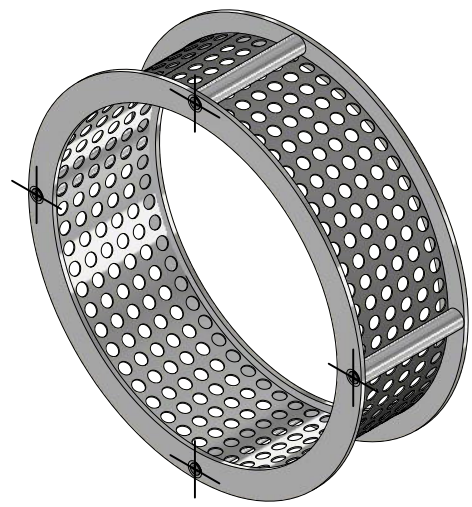
1 2 3 4



N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	2B	PIN D17	IC-TES.501	23	Acero inoxidable AISI 304	
1	5B	DISCO MOVIL	IC-TES.502	1	Acero inoxidable AISI 304	

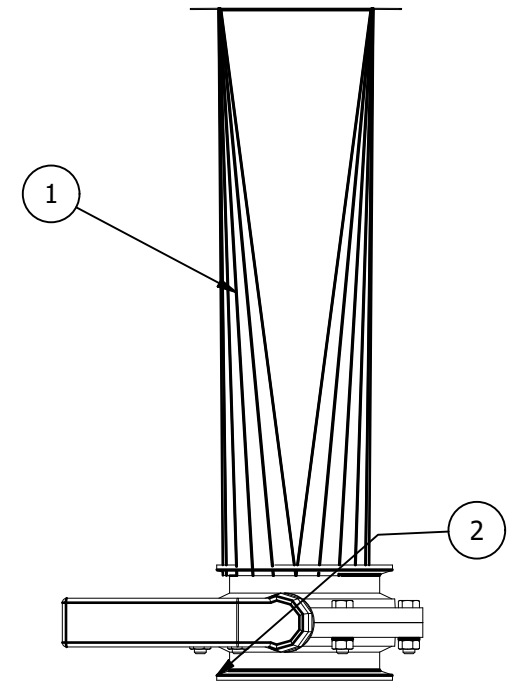
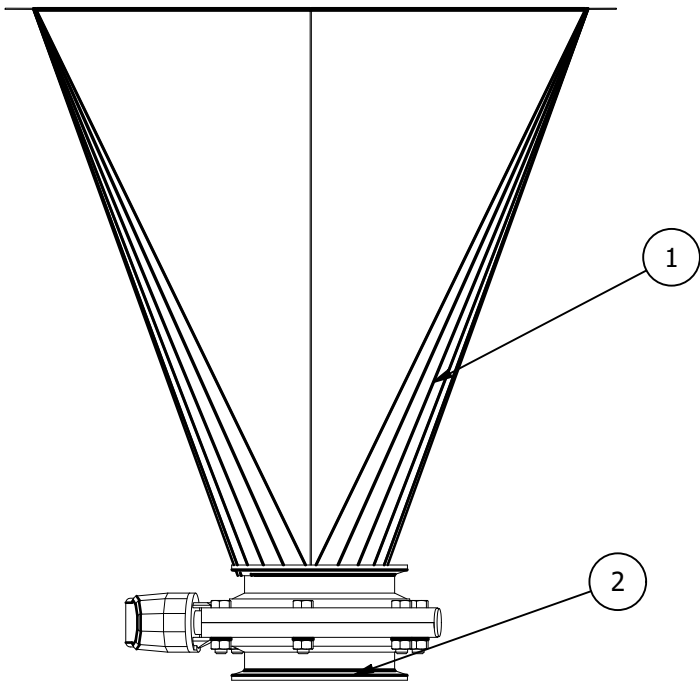
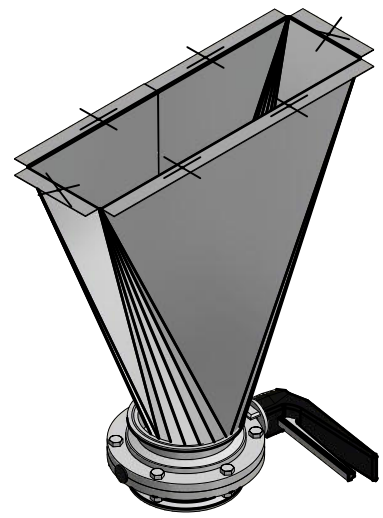
<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	Dib:	Inti Casco	Escala: 1 : 2
		Dis:	Inti Casco	
		Rev:	Inq. Mario Cesén	
<b>DISCO PINES</b>			<b>IC-TES.005</b>	Fecha: 14/12/2021



PARTS LIST						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
1	2C	ANILLO CRIBA	IC-TES.601	2	Acero inoxidable AISI 304	
2	5C	CRIBA	IC-TES.602	1	Acero inoxidable AISI 304	
3	5B	PIN SEPARADOR CRIBA	IC-TES.603	4	Acero inoxidable AISI 304	
4	3F	PERNO AVELLANADO M4x10		8	Acero inoxidable AISI 304	Tornillos de máquina métricos Pozidriv ISO

<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	Dib:	Inti Casco	Escala: 1 : 4
		Dis:	Inti Casco	
		Rev:	Ing. Mario Cesén	
<b>CRIBA</b>			<b>IC-TES.006</b>	
				Fecha: 2/1/2022



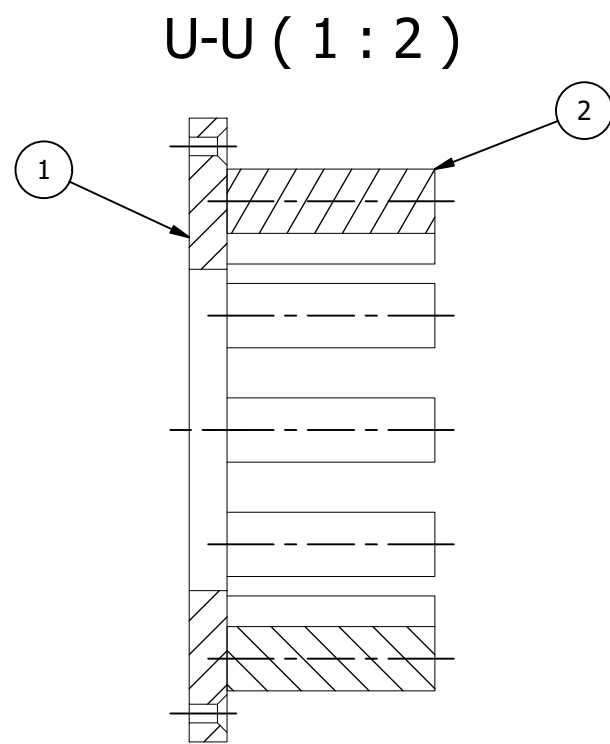
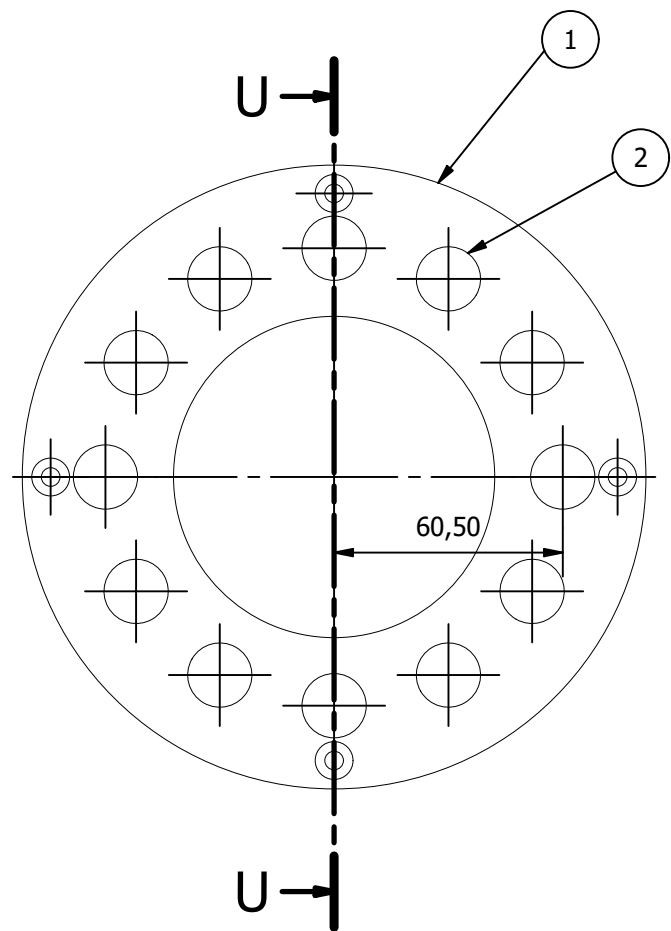
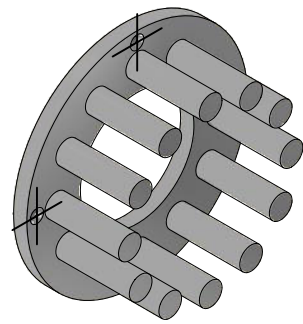
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	2D	VÁLVULA MARIPOSA		1	Acero inoxidable AISI 304	
1	2C	TOLVA DE DESCARGA	IC-TES.701	1	Acero inoxidable AISI 304	

<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	Dib:	Inti Casco	Escala: 1 : 6
		Dis:	Inti Casco	
		Rev:	Ing. Mario Cesén	

<b>DUCTO DE DESCARGA</b>	<b>IC-TES.007</b>	Fecha: 13/1/2022
--------------------------	-------------------	---------------------



N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	1C	PIN D17	IC-TES.501	12	Acero inoxidable AISI 304	
1	4C	DISCO ESTATICO	IC-TES.801	1	Acero inoxidable AISI 304	

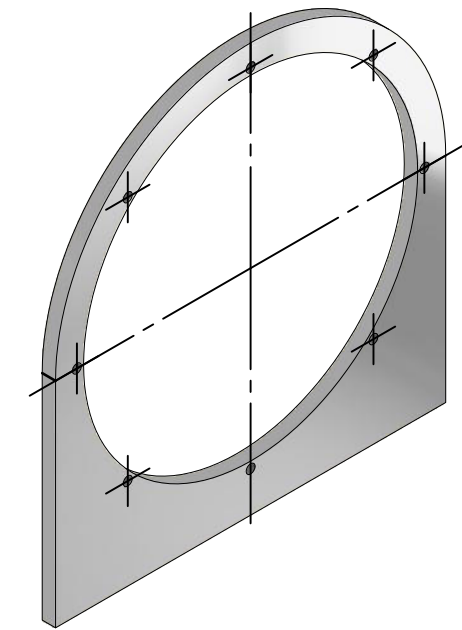
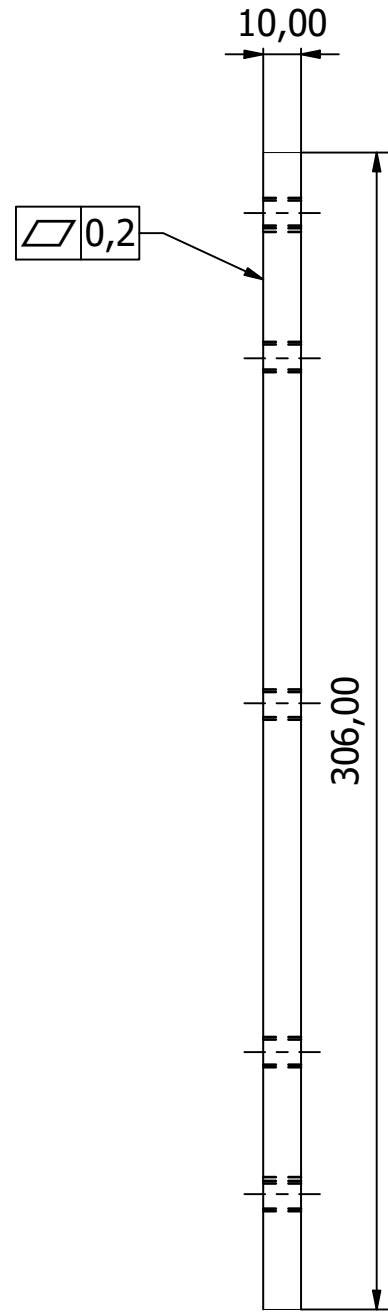
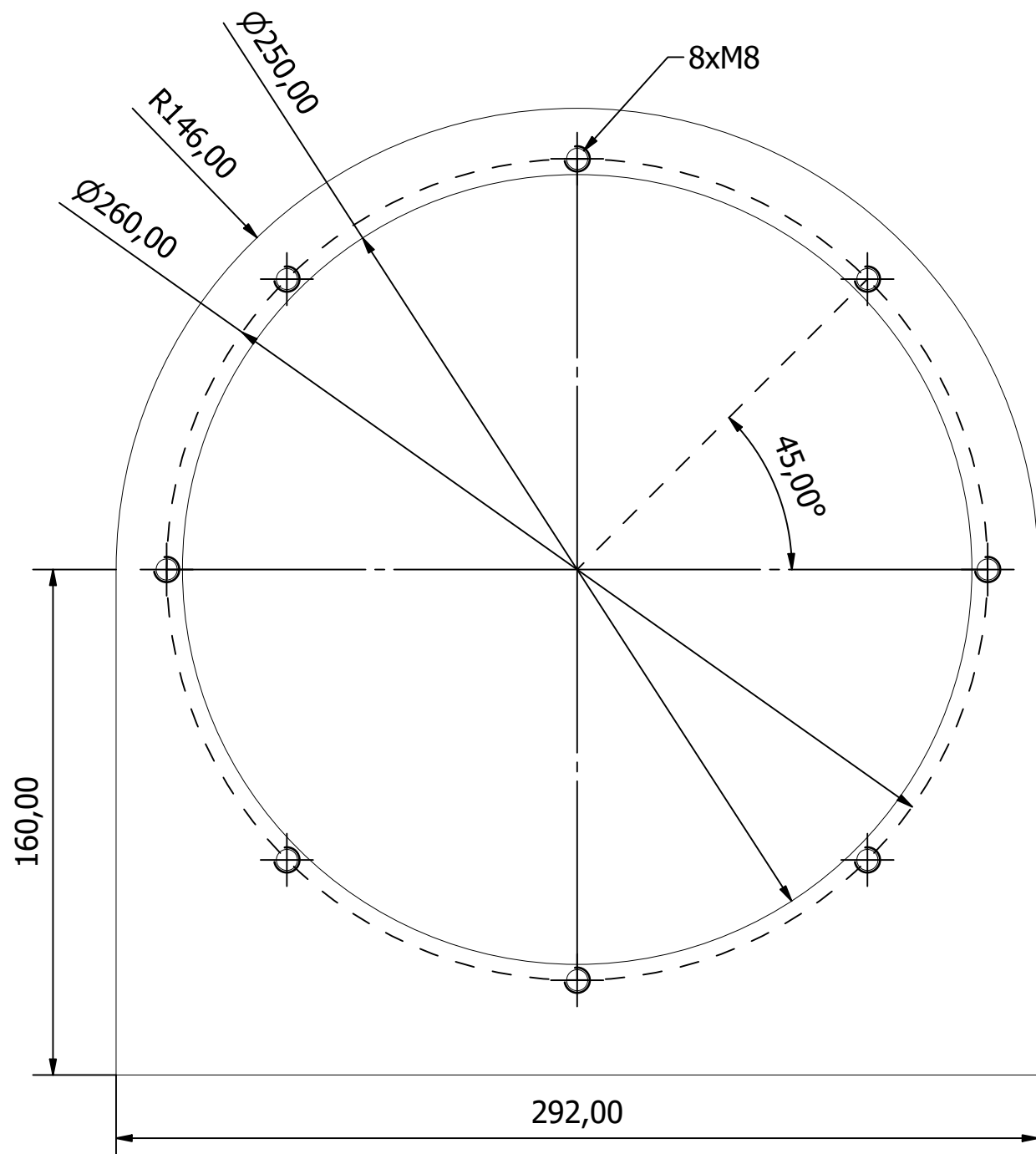
  

<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	Dib:	Inti Casco	Escala: 1 : 2
		Dis:	Inti Casco	
		Rev:	Ing. Mario Cesén	
<b>DISCO PINES ESTATICO</b>			<b>IC-TES.008</b>	Fecha: 14/12/2021



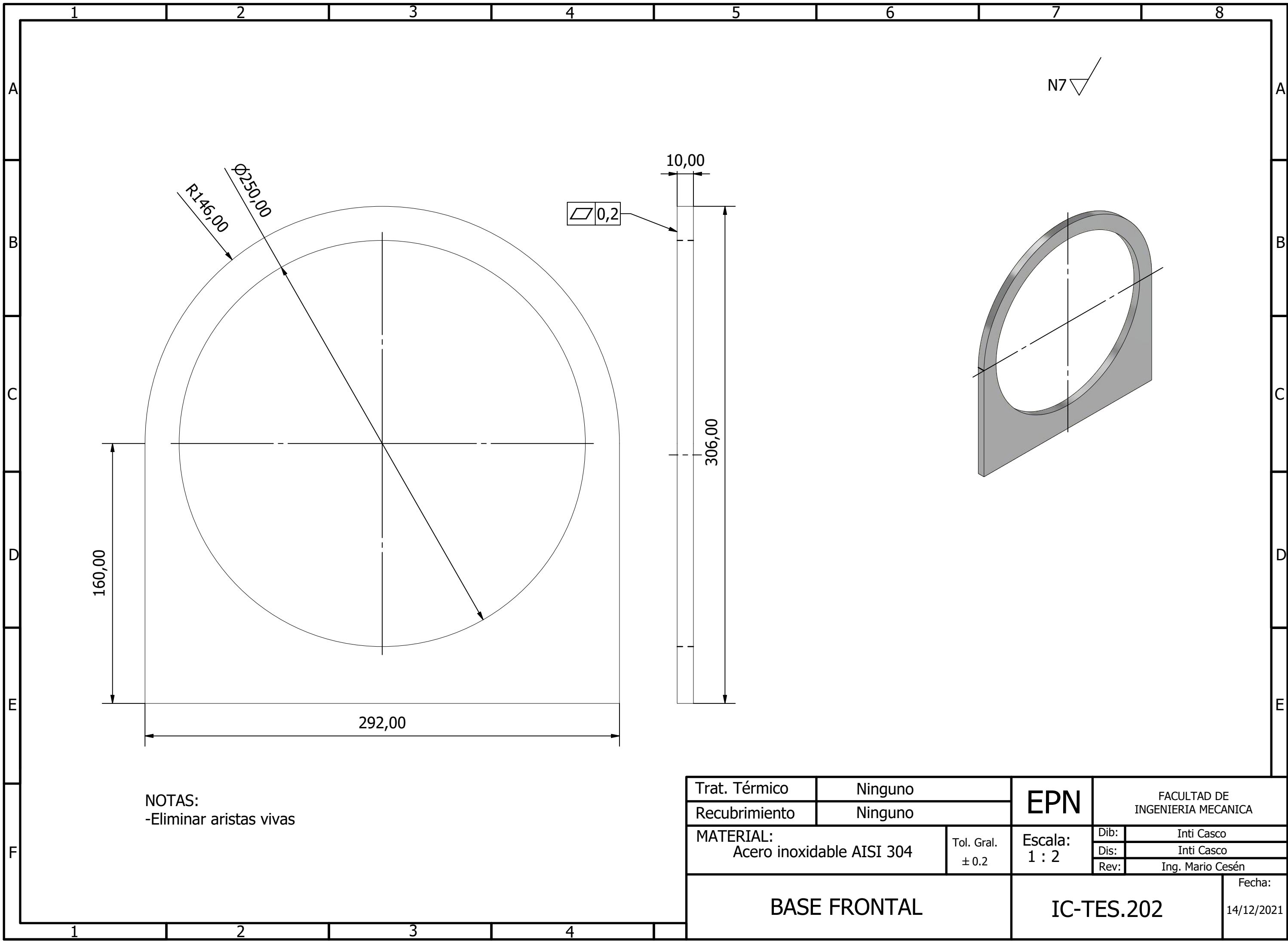
VISTA FRONTAL  
ESCALA 1:2

N7



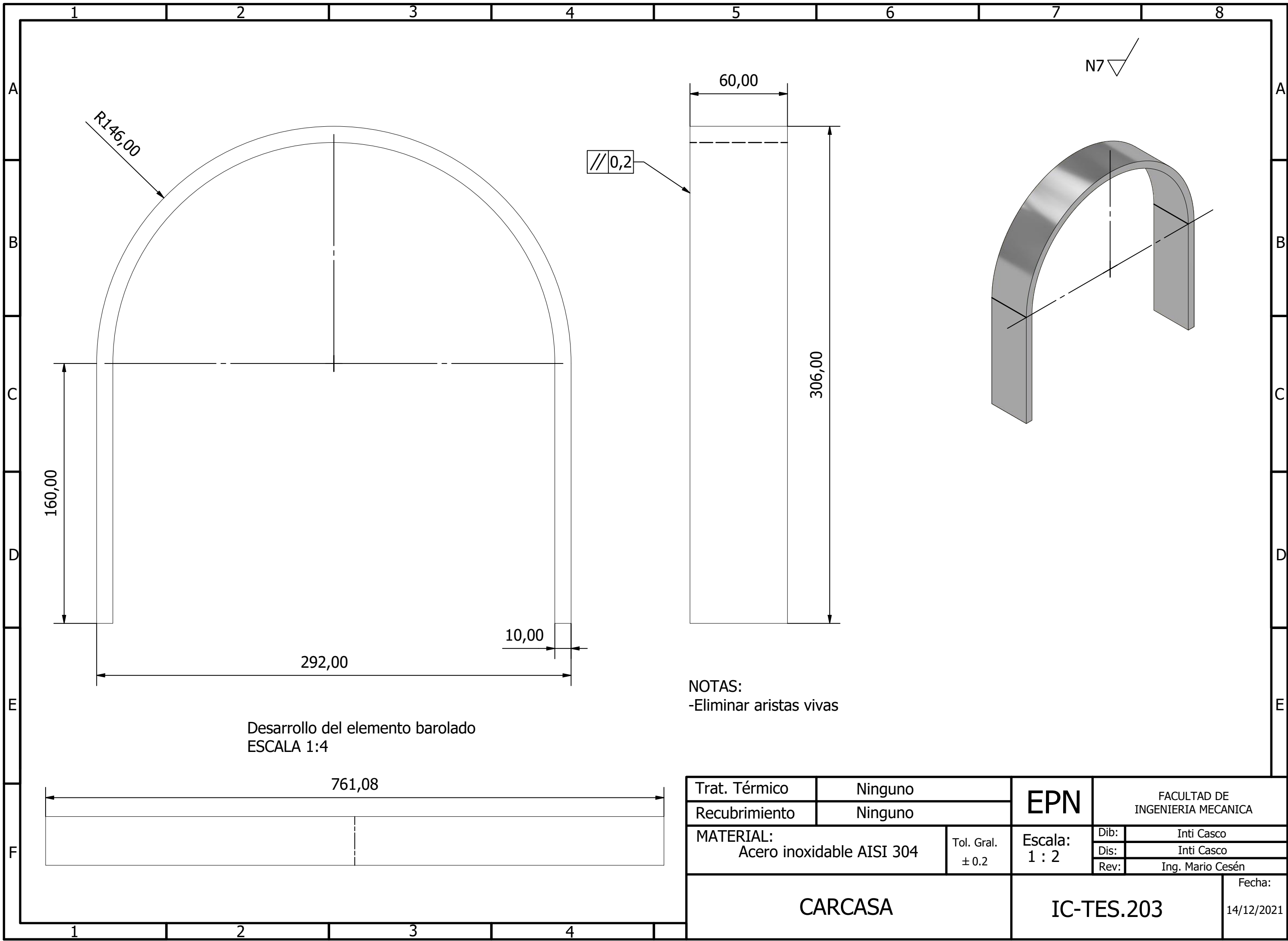
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 4	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
<b>BASE POSTERIOR</b>			<b>IC-TES.201</b>	Fecha:	14/12/2021



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

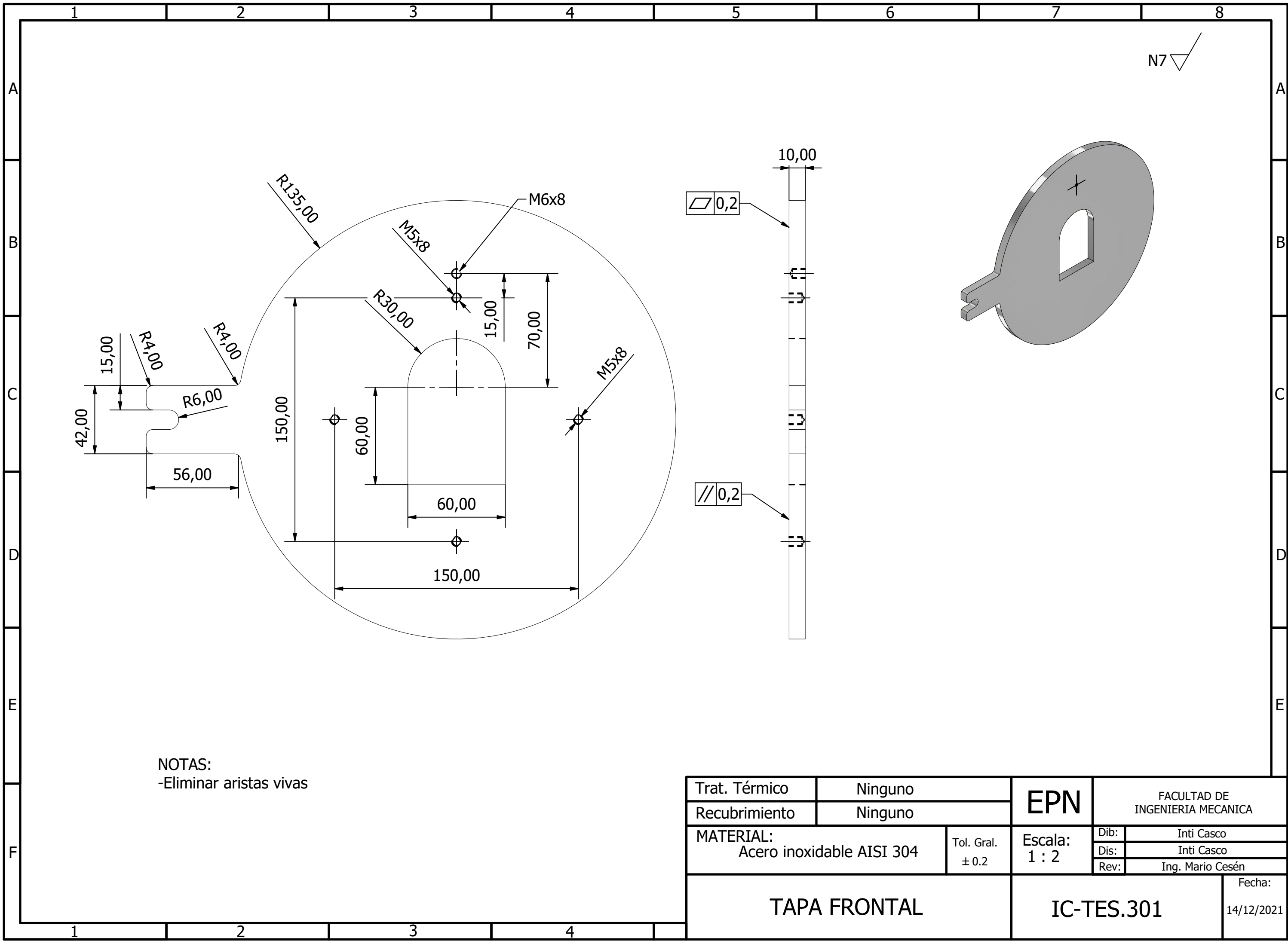
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>BASE FRONTAL</b>		<b>IC-TES.202</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	



Desarrollo del elemento barolado  
ESCALA 1:4

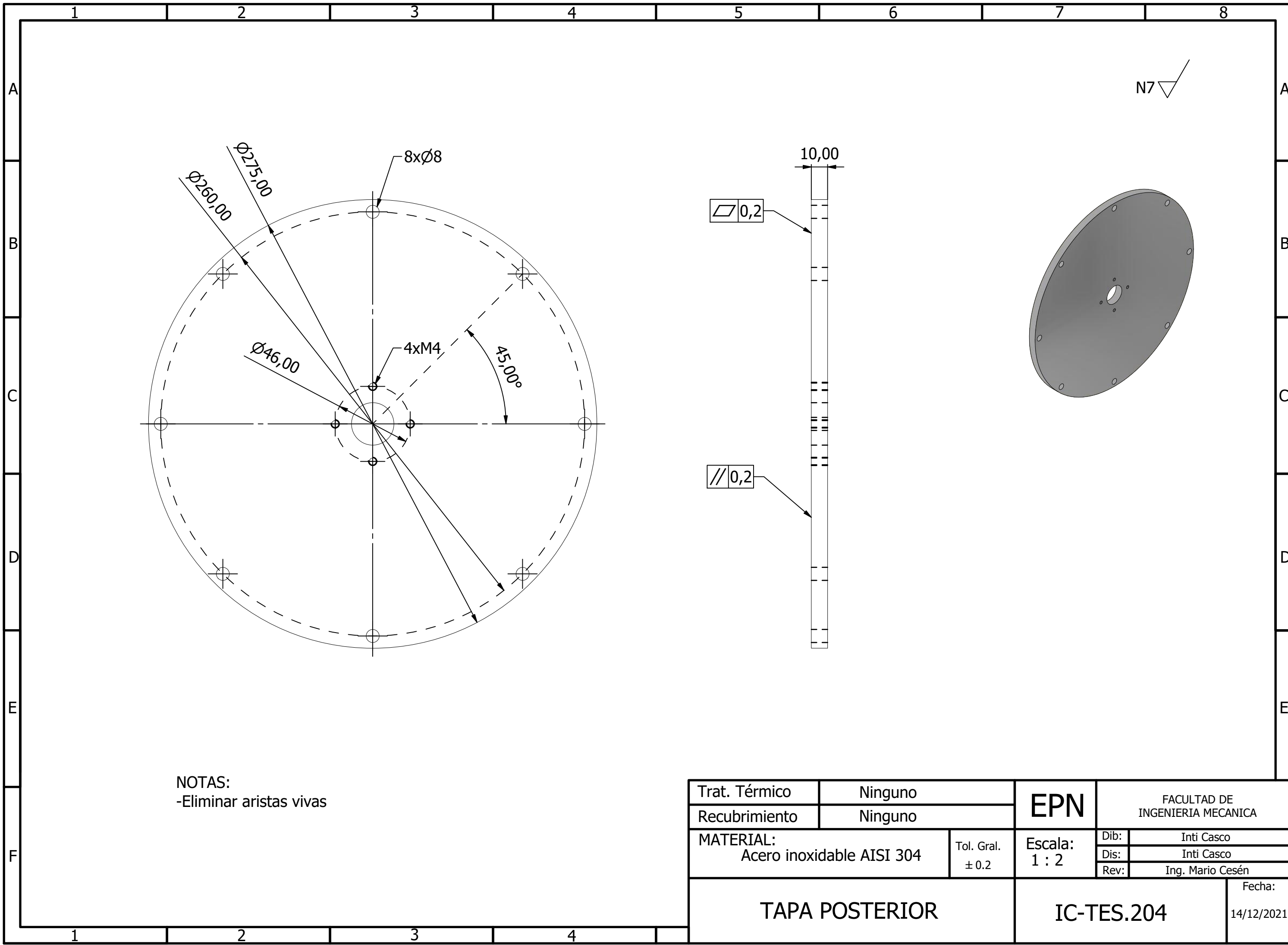
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>CARCASA</b>		<b>IC-TES.203</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

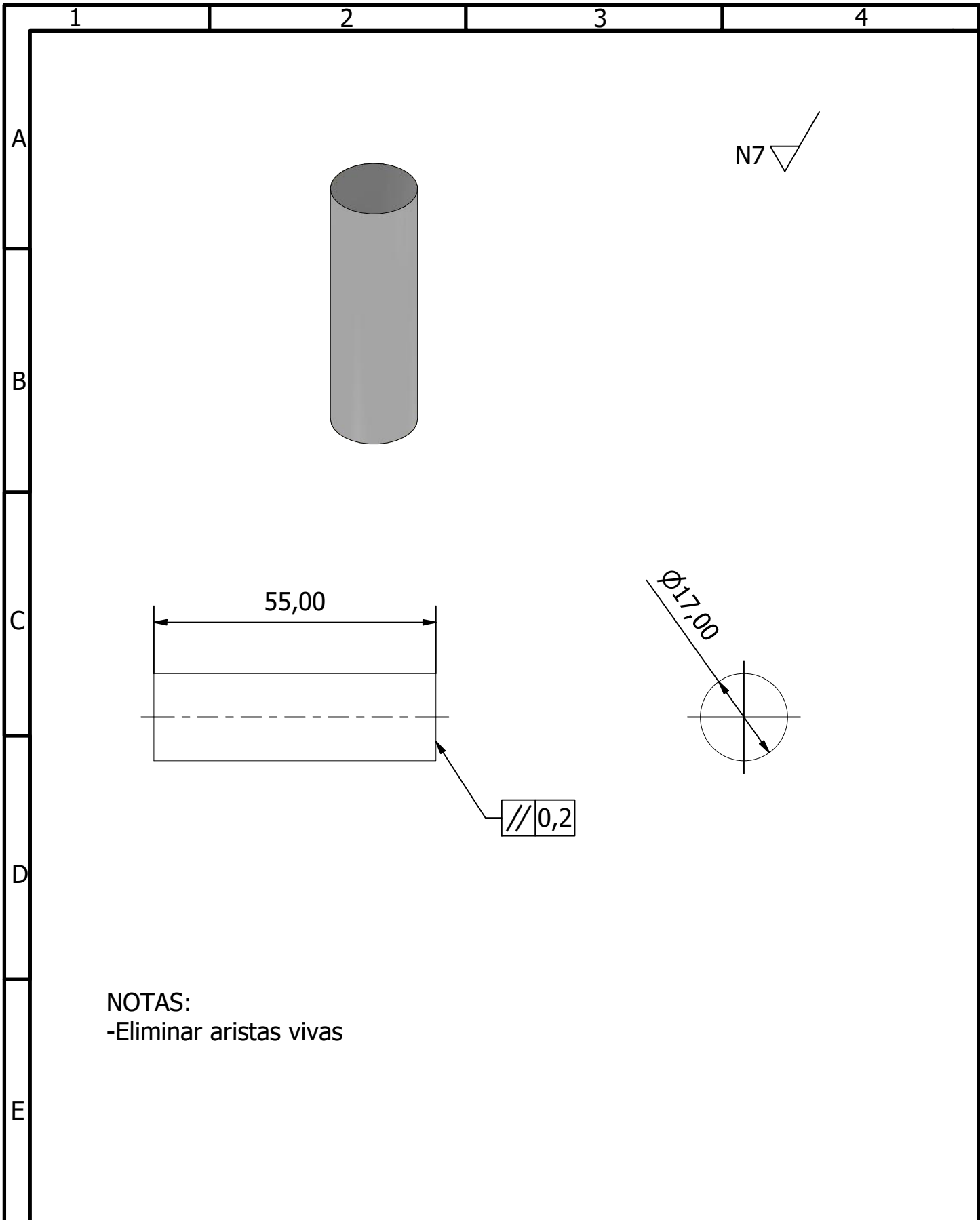
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>TAPA FRONTAL</b>			Rev:	Ing. Mario Cesén	Fecha:
			<b>IC-TES.301</b>		14/12/2021



N7

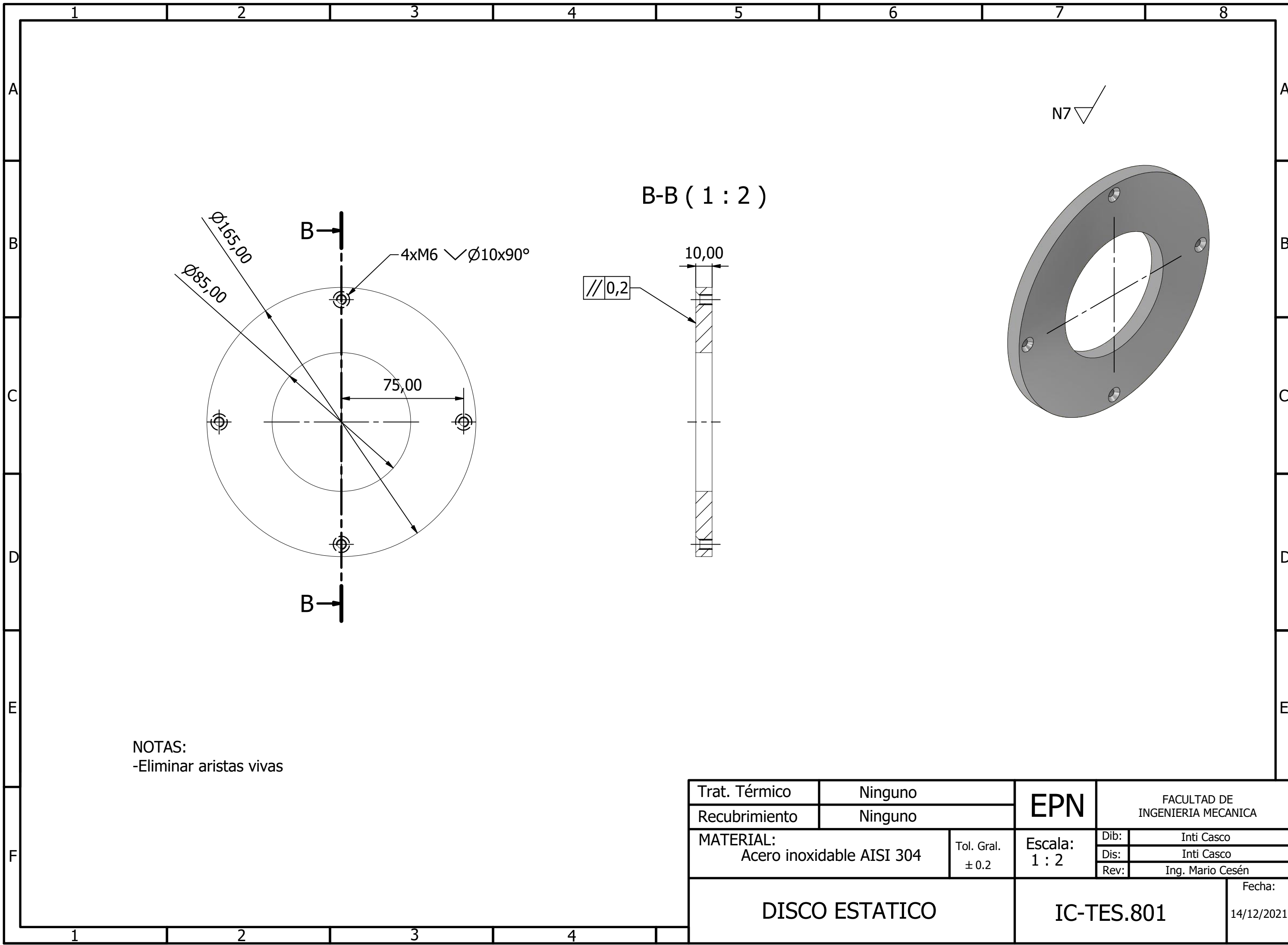
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. $\pm 0.2$	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>TAPA POSTERIOR</b>		<b>IC-TES.204</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
PIN D10		IC-TES.501		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha:	14/12/2021

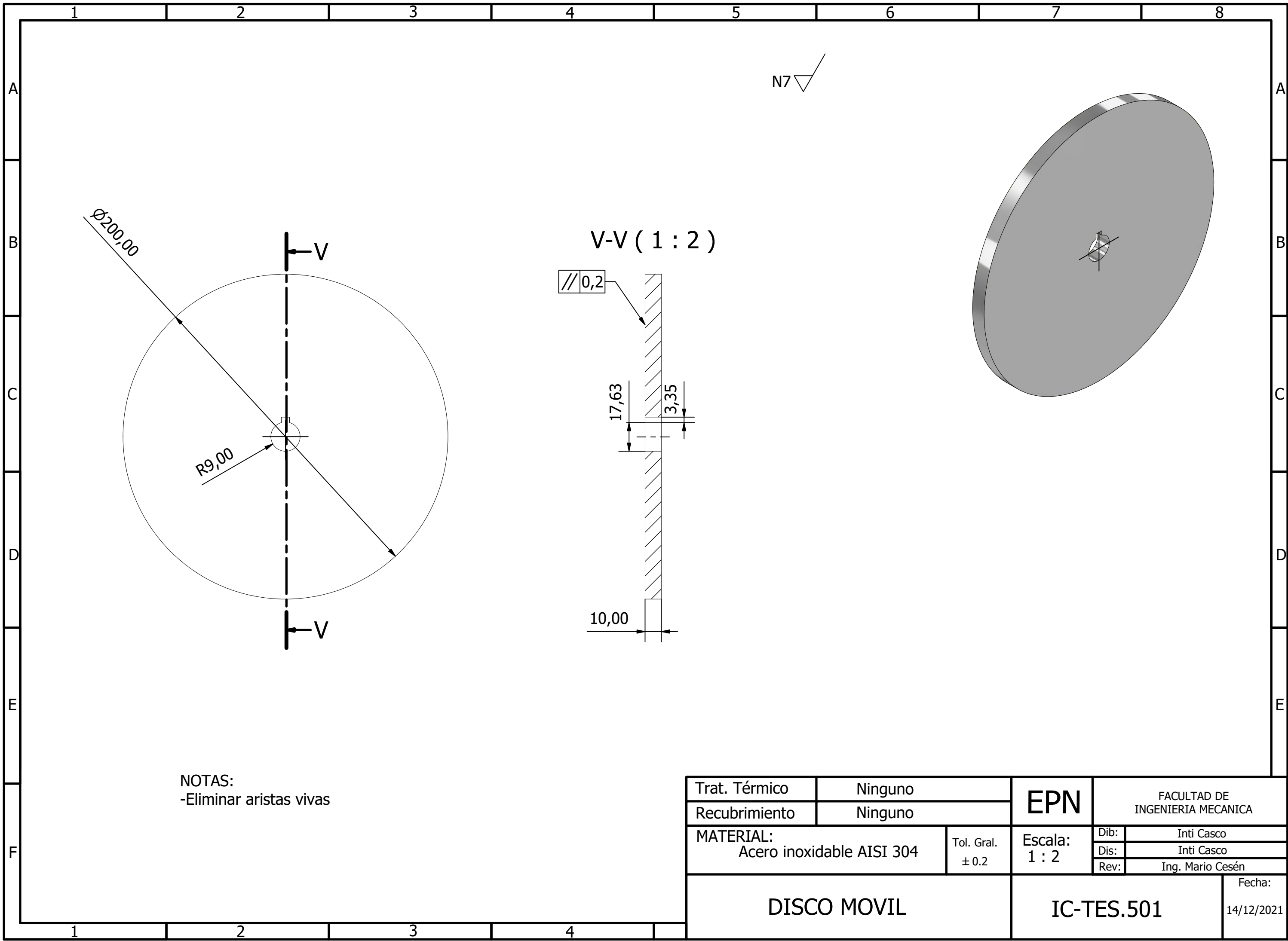


N7

B-B ( 1 : 2 )

NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

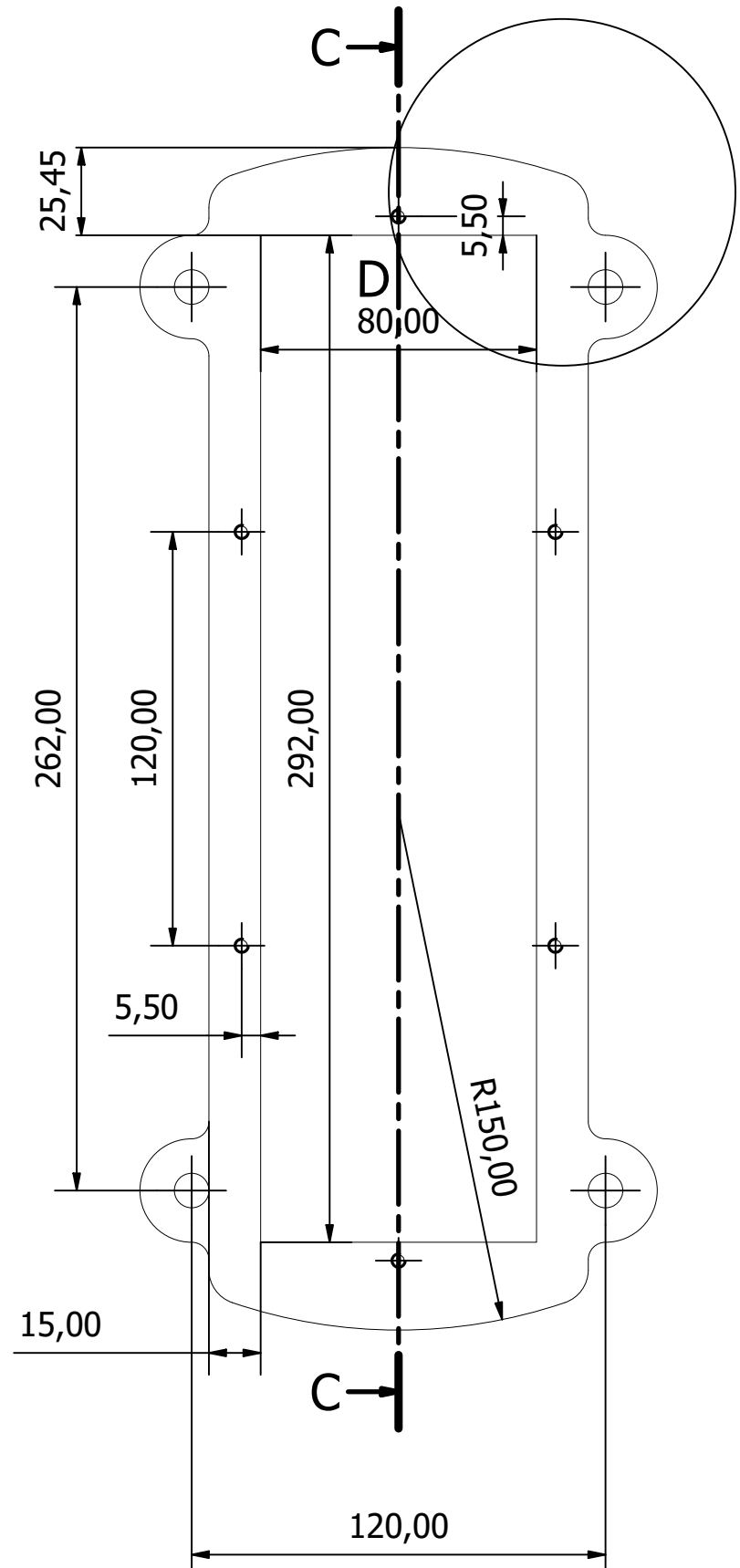
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>DISCO ESTATICO</b>		<b>IC-TES.801</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	



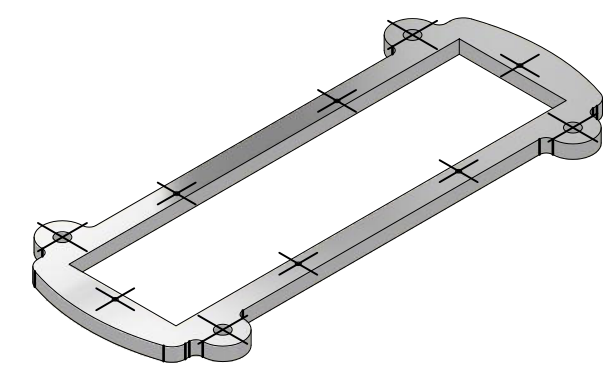
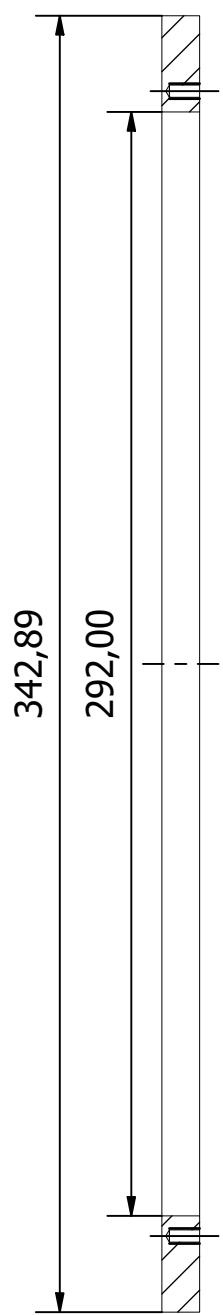
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>DISCO MOVIL</b>		<b>IC-TES.501</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	

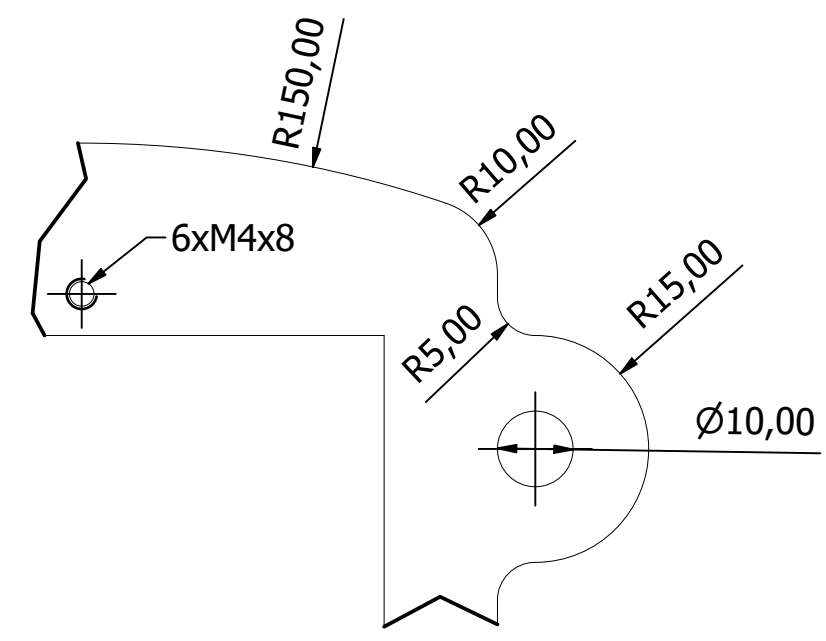




C-C ( 1 : 2 )

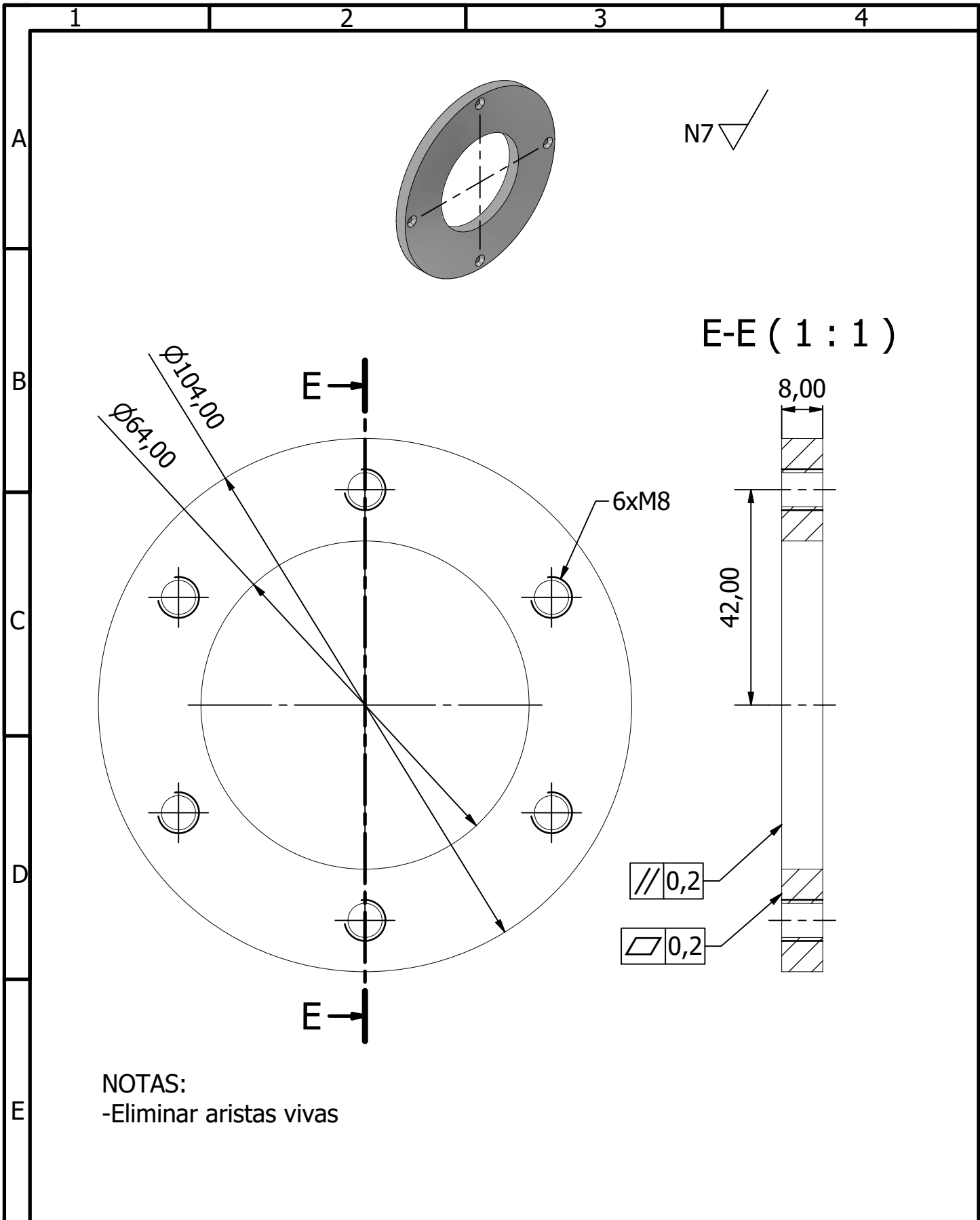


D ( 1 : 1 )



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
<b>PLACA INFERIOR</b>			<b>IC-TES.205</b>		Fecha: 26/12/2021



Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304	Tol. Gral. $\pm 0.2$	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
			Rev:	Ing. Mario Cesén
			Fecha: 26/12/2021	
<b>BRIDA 1</b>		<b>IC-TES.401</b>		

1

2

3

4

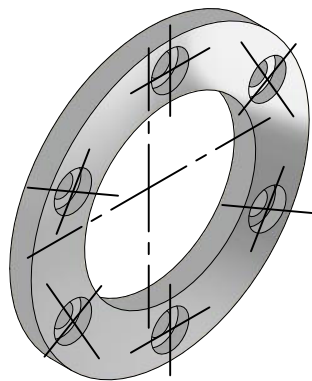
A

B

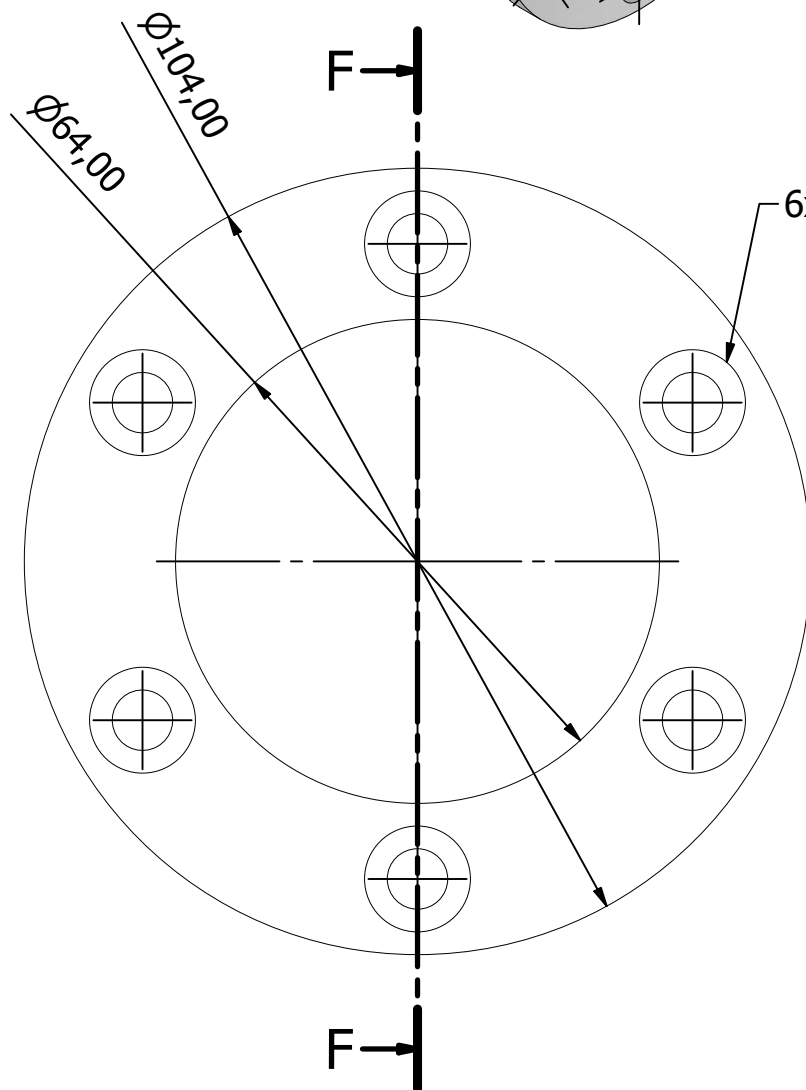
C

D

E



N7



F-F ( 1 : 1 )

6xØ8L|Ø14T5

0,2

42,00

0,2

8,00

NOTAS:

-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico

Ninguno

Recubrimiento

Ninguno

EPN

FACULTAD DE  
INGENIERIA MECANICA

MATERIAL:

Acero inoxidable AISI 304

Tol. Gral.  
± 0.2Escala:  
1 : 1

Dib: Inti Casco

Dis: Inti Casco

Rev: Ing. Mario Cesén

BRIDA 2

IC-TES.206

Fecha:

26/12/2021

1

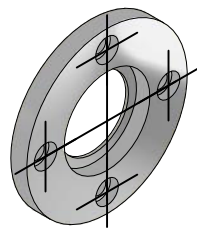
2

3

4

N7

A

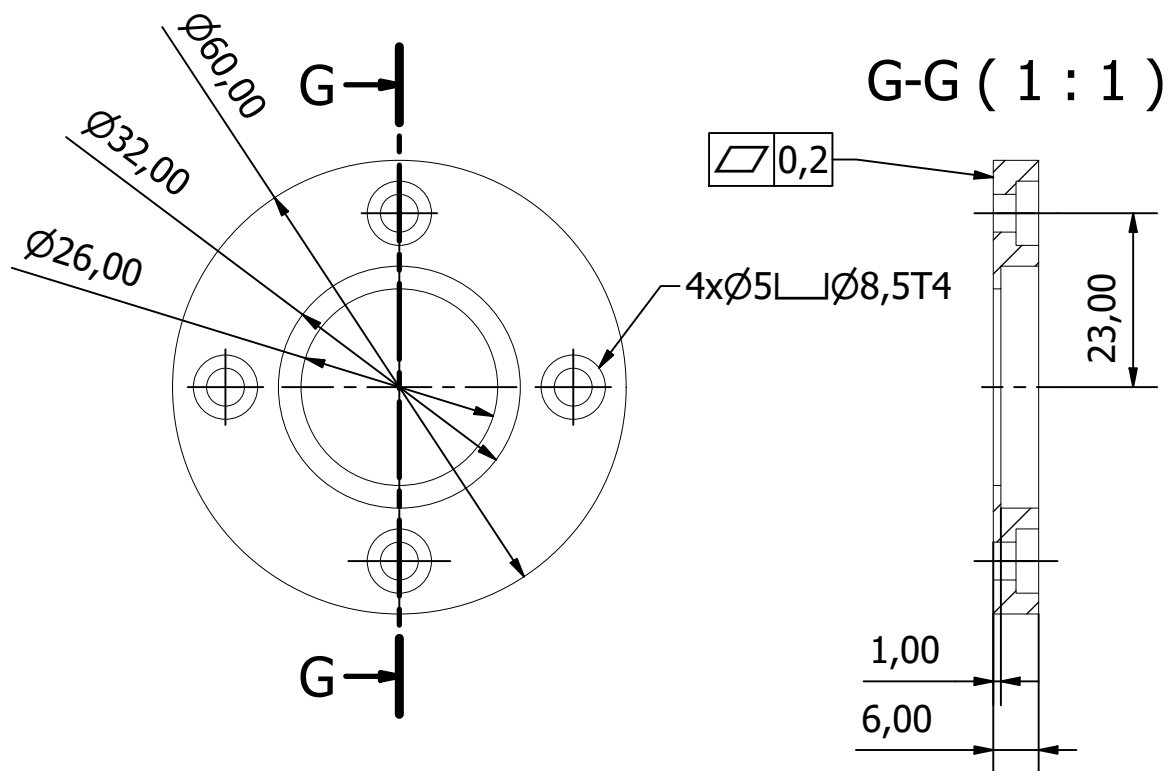


B

C

D

E



NOTAS:

-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico

Ninguno

Recubrimiento

Ninguno

EPN

FACULTAD DE  
INGENIERIA MECANICA

MATERIAL:

Acero inoxidable AISI 304

Tol. Gral.  
 $\pm 0.2$ Escala:  
1 : 1

Dib:

Inti Casco

Dis:

Inti Casco

Rev:

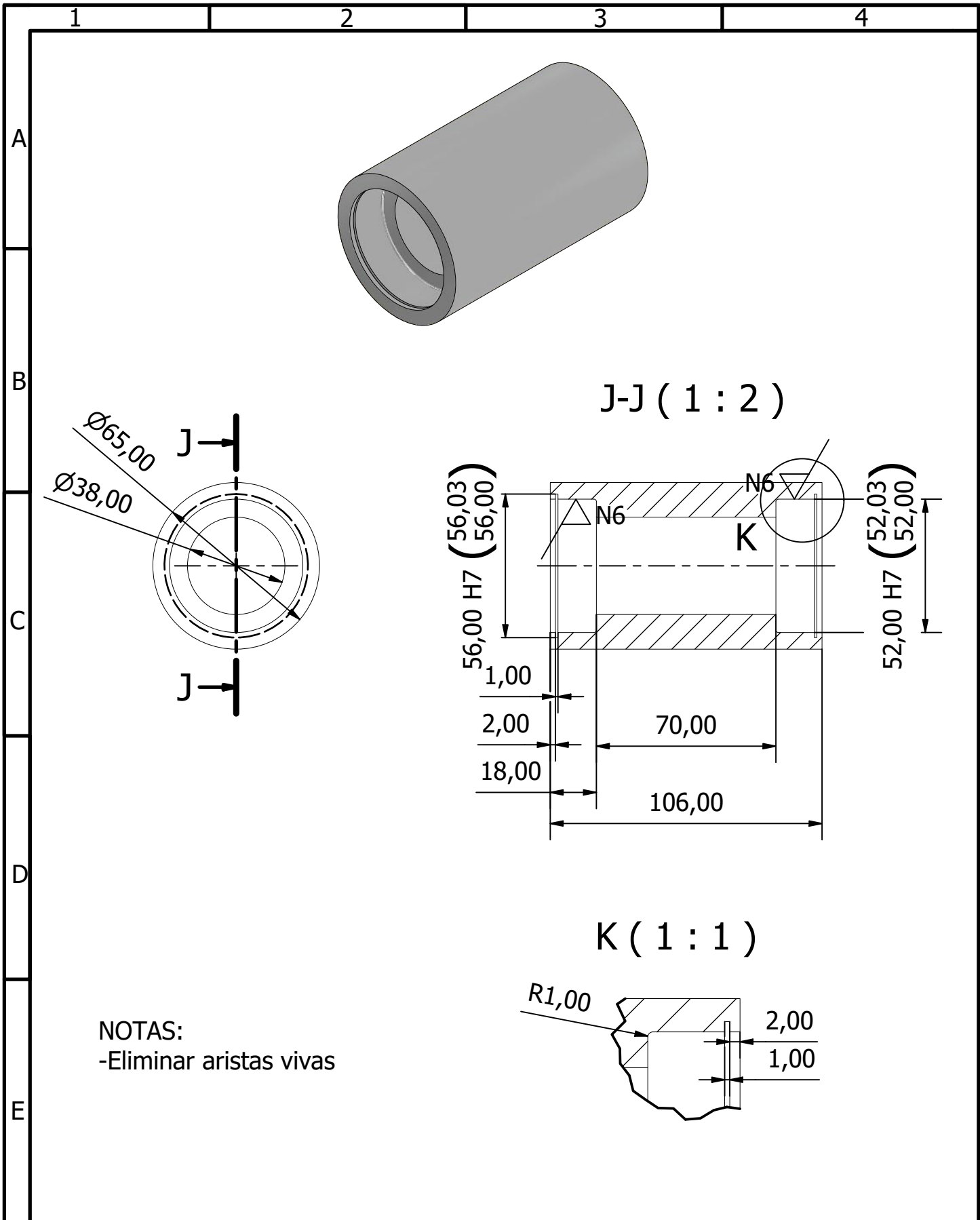
Ing. Mario Cesén

SOPORTE RETENEDOR

IC-TES.207

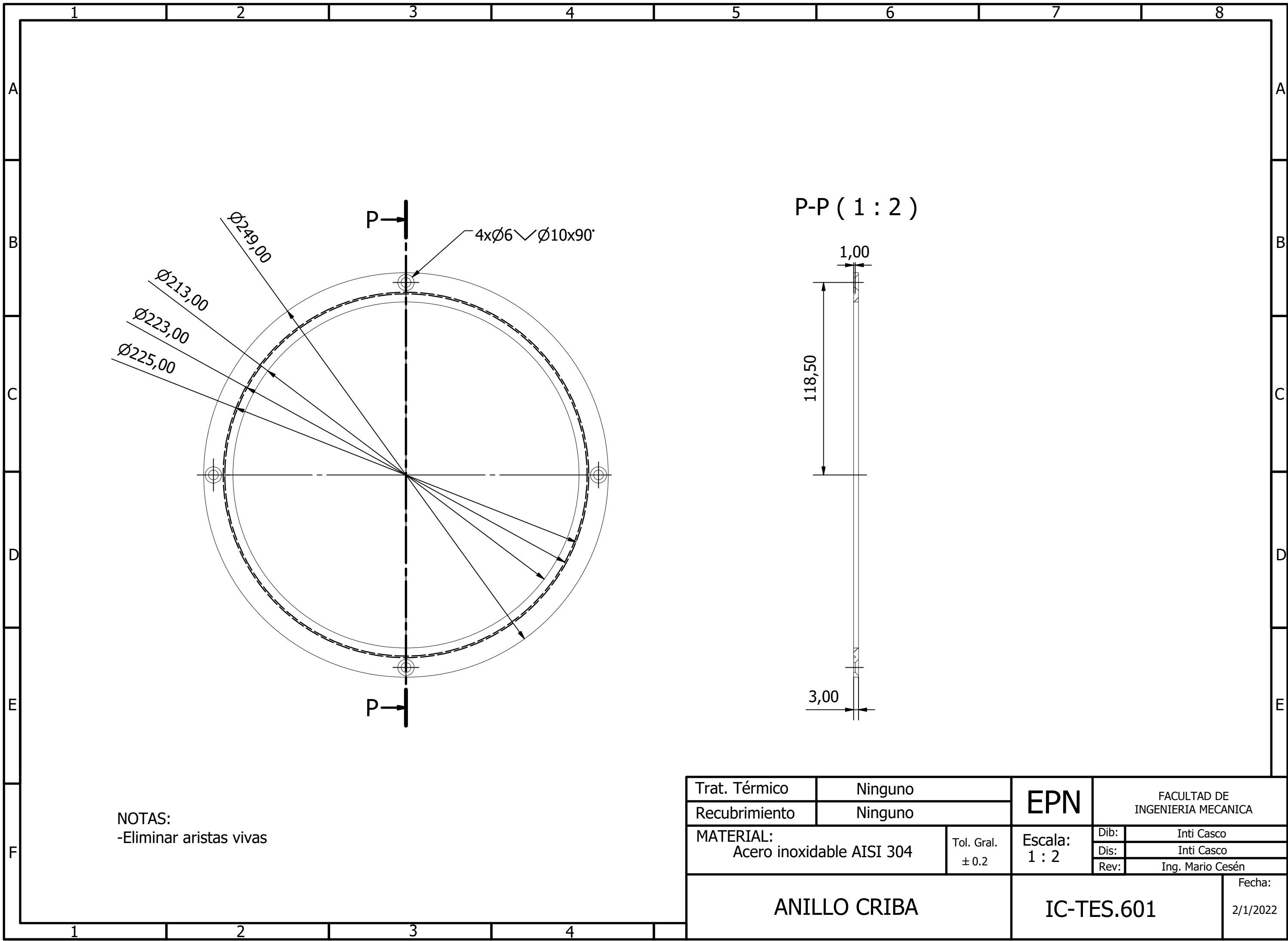
Fecha:

26/12/2021



Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>SOPORTE RODAMIENTOS</b>			<b>IC-TES.402</b>		Rev:
		Fecha: 26/12/2021			

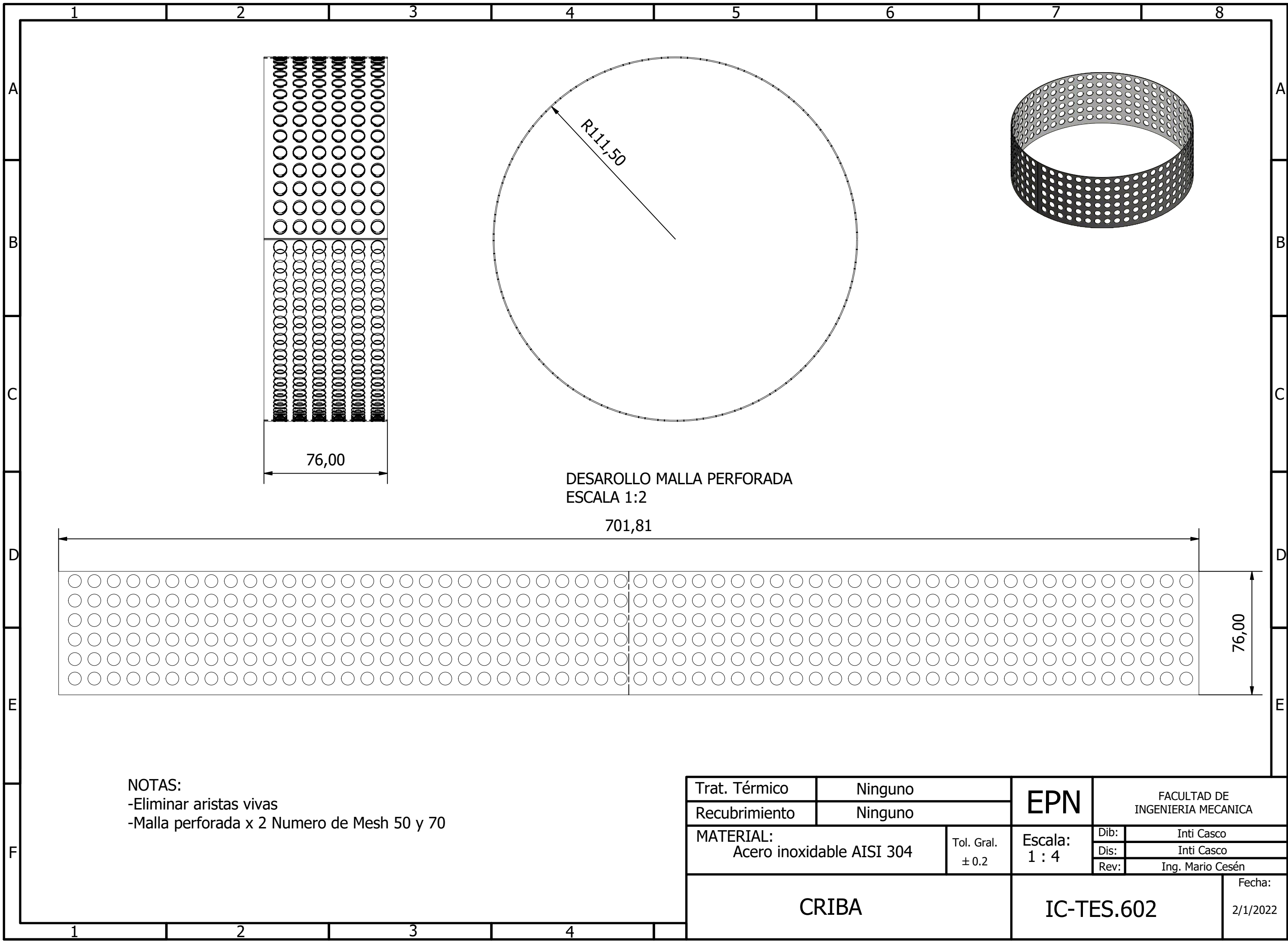




NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

P-P ( 1 : 2 )

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
<b>ANILLO CRIBA</b>		<b>IC-TES.601</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 2/1/2022	



DESAROLLO MALLA PERFORADA  
ESCALA 1:2

701,81

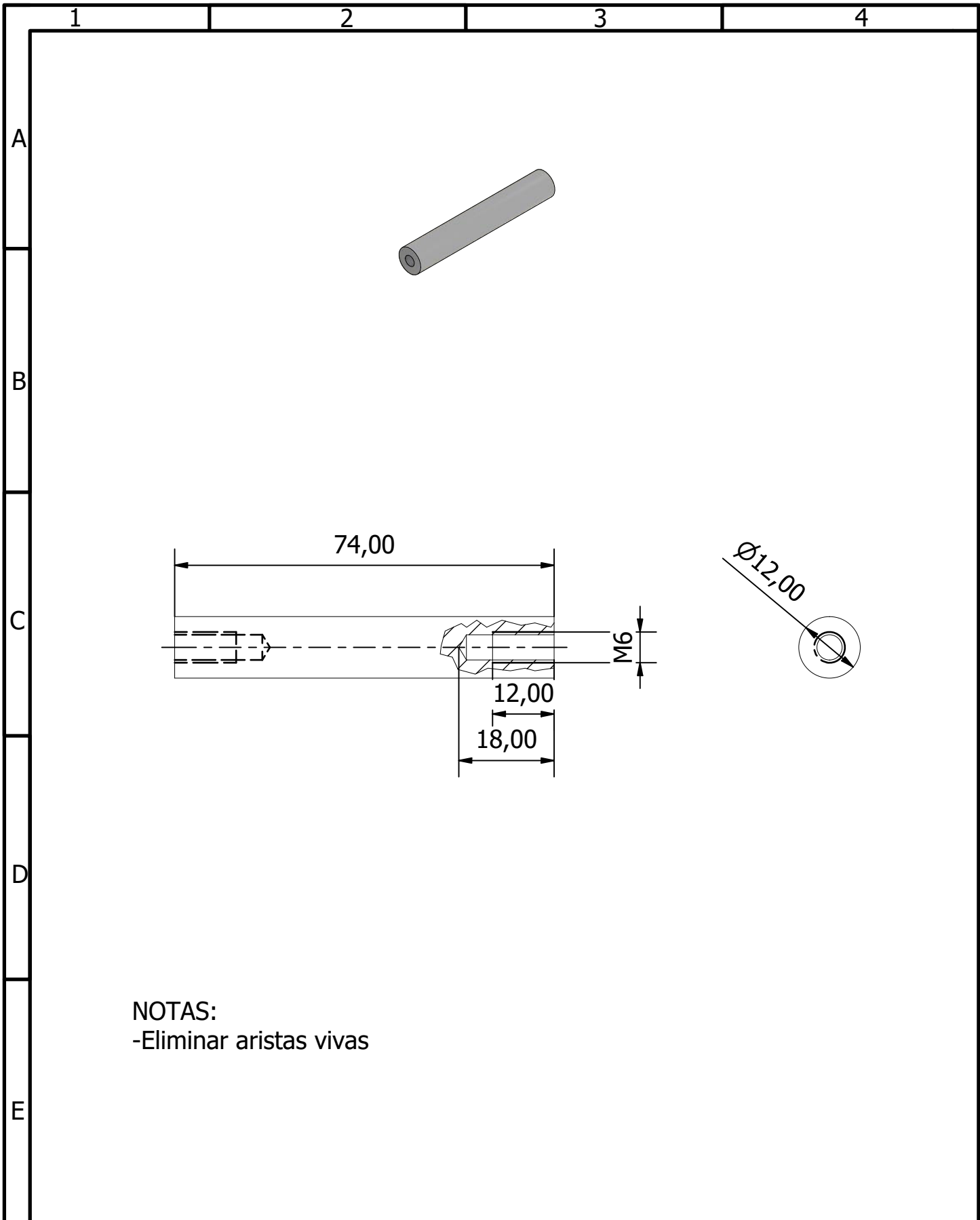
76,00

76,00

NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas  
-Malla perforada x 2 Numero de Mesh 50 y 70

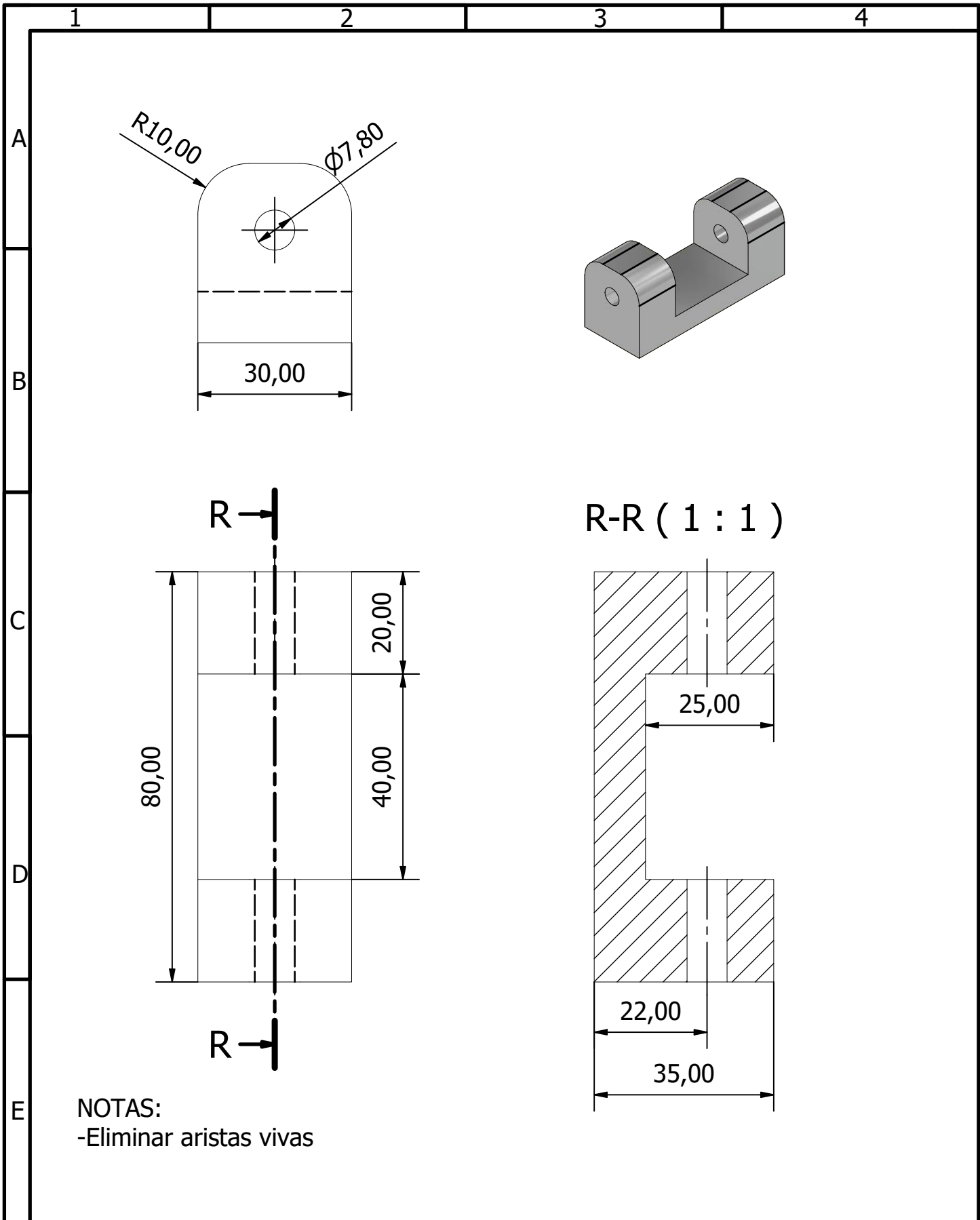
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 4	Dis:	Inti Casco
<b>CRIBA</b>		<b>IC-TES.602</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 2/1/2022	





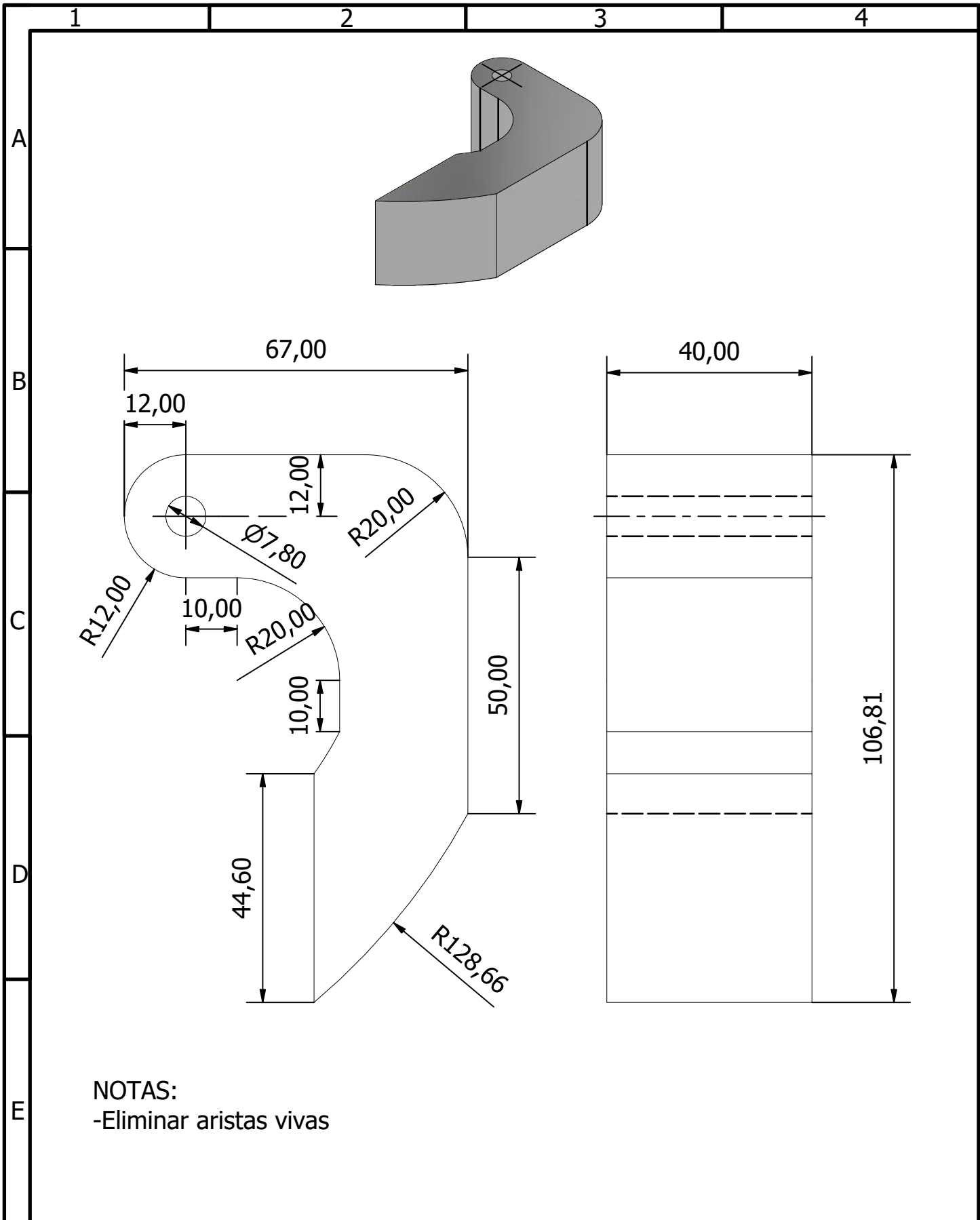
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
PIN SEPARADOR CRIBA			IC-TES.603		Fecha: 2/1/2022



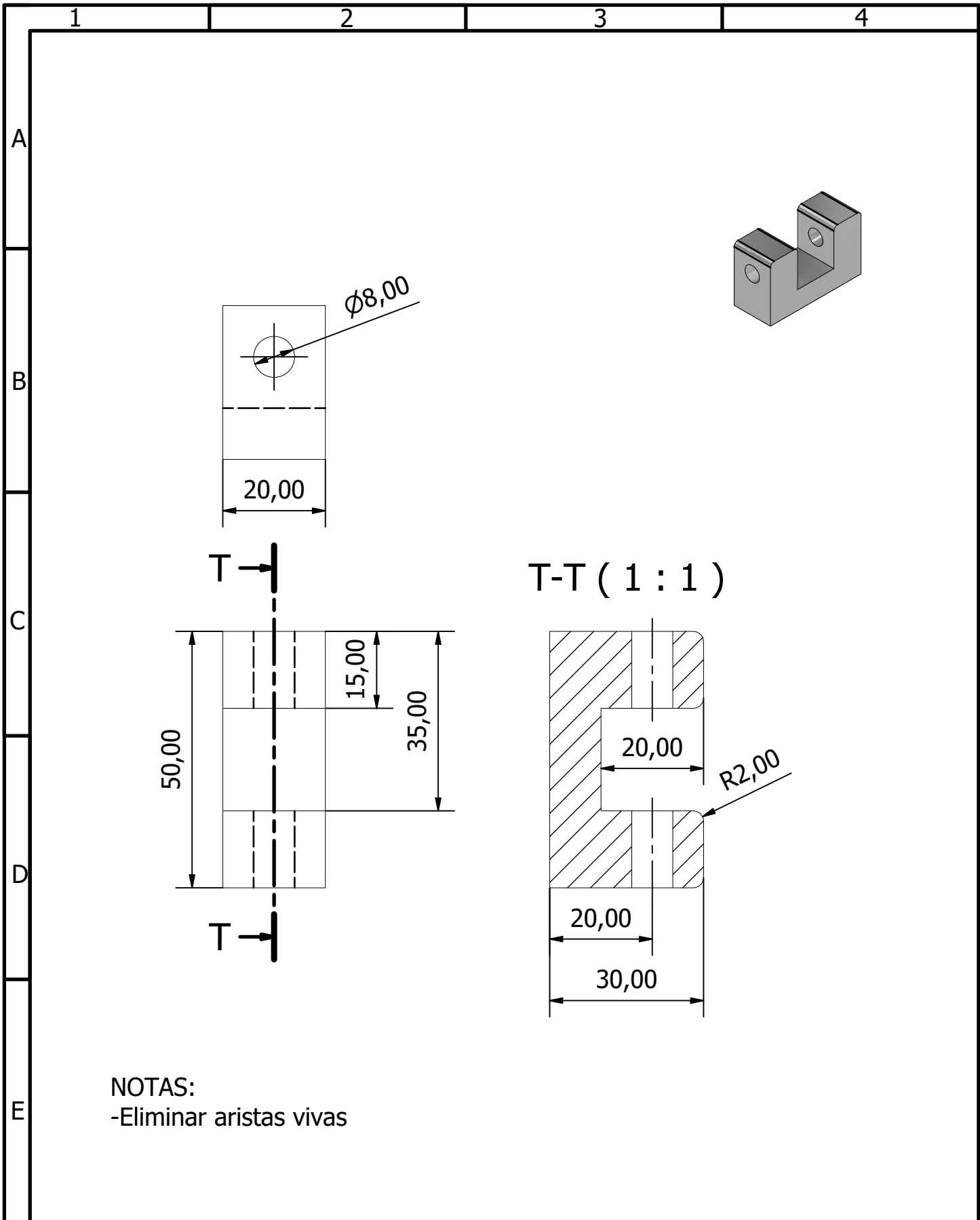
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
<b>PIVOTE PUERTA</b>		<b>IC-TES.209</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	



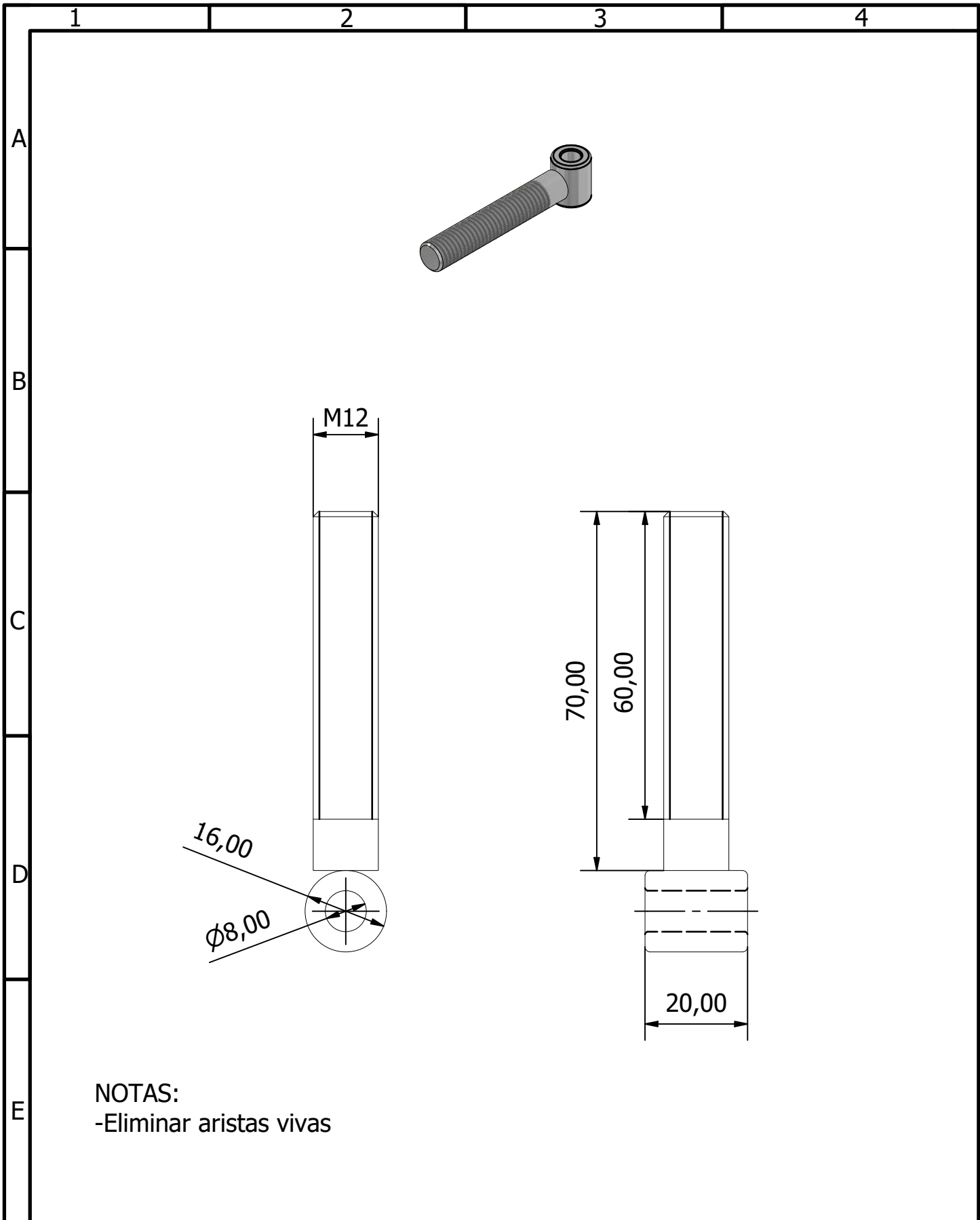
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
<b>BISAGRA</b>		<b>IC-TES.302</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 14/12/2021	



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
<b>BASE SEGURO</b>		<b>IC-TES.210</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 16/12/2021	



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
MANIJA SEGURIDAD		IC-TES.211		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha:	16/12/2021

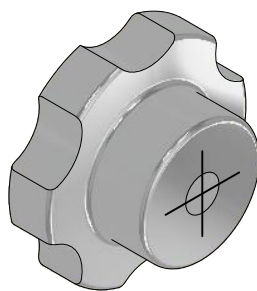
1

2

3

4

A

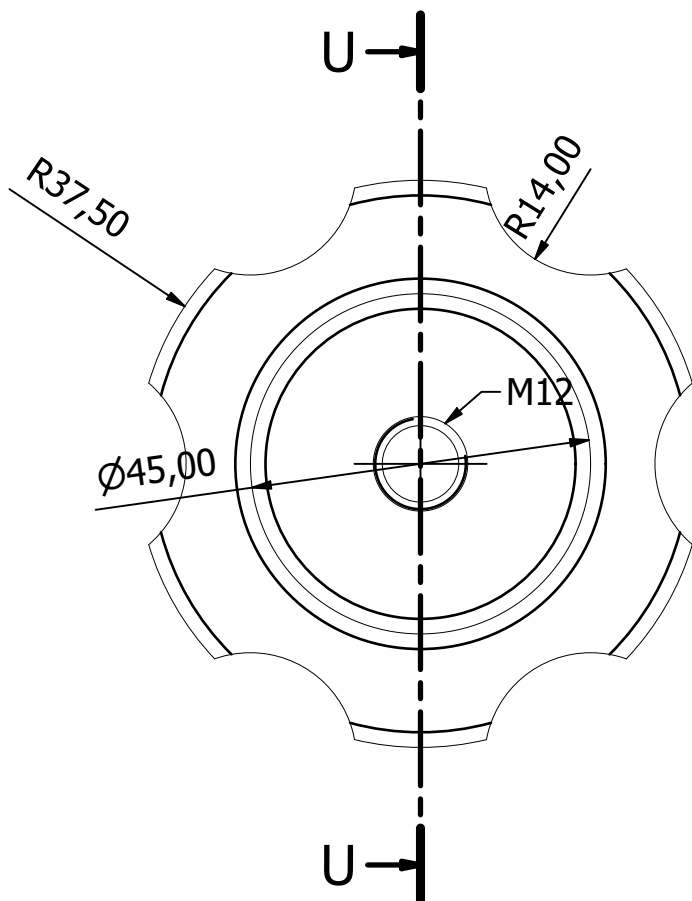


B

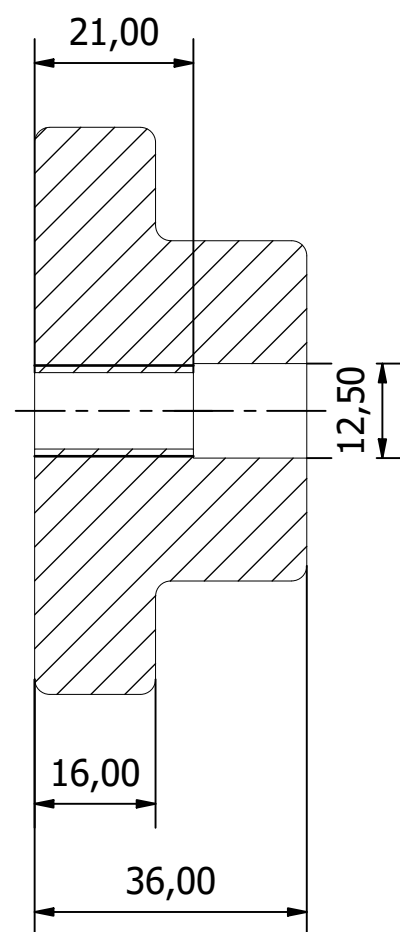
C

D

E



U-U ( 1 : 1 )



NOTAS:

- Eliminar aristas vivas
- Chaflanes no indicados 2x45°
- Radios de acuerdo no indicados R3

Trat. Térmico

Ninguno

Recubrimiento

Ninguno

EPN

FACULTAD DE  
INGENIERIA MECANICA

MATERIAL:

Acero inoxidable AISI 304

Tol. Gral.  
± 0.2Escala:  
1 : 1

Dib: Inti Casco

Dis: Inti Casco

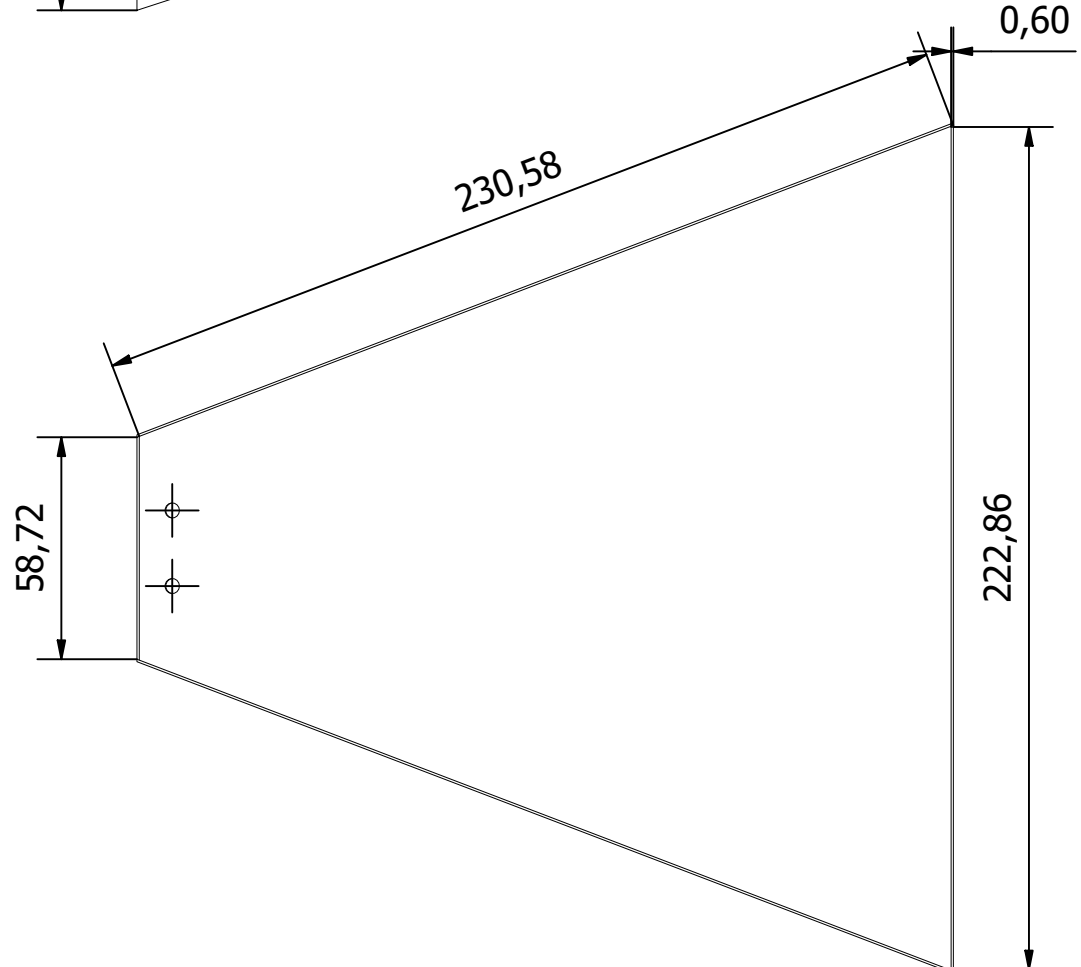
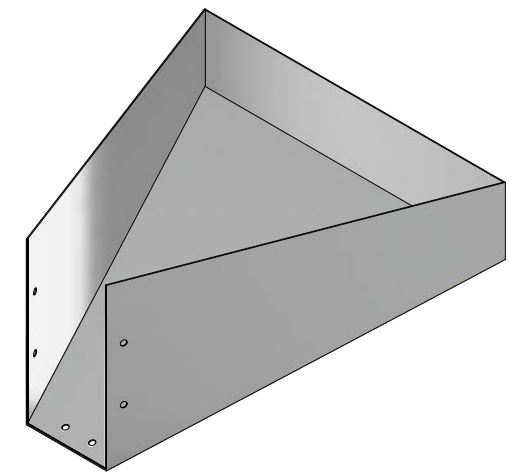
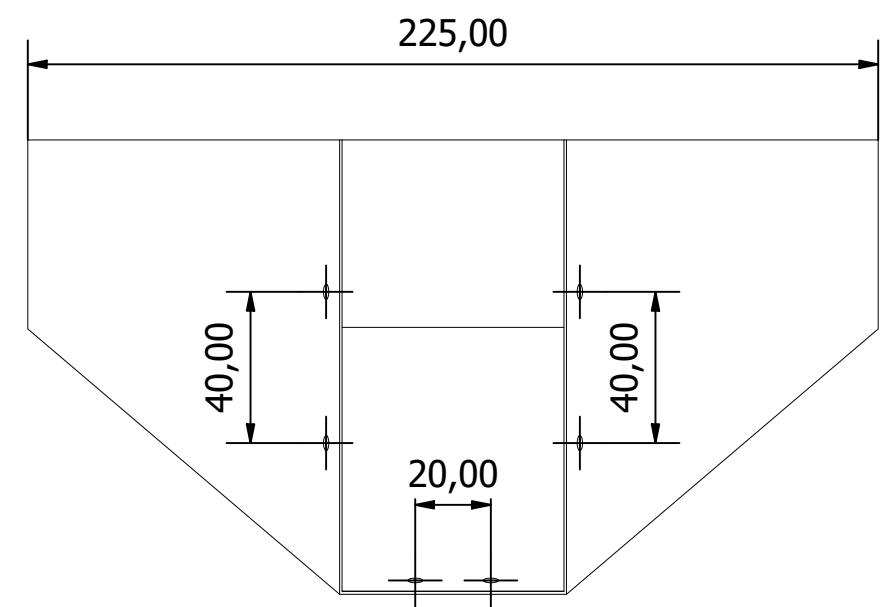
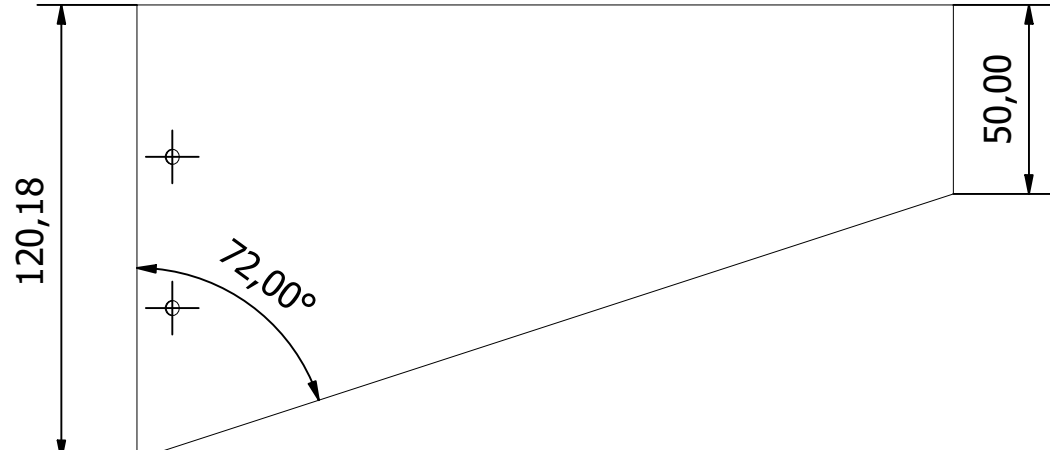
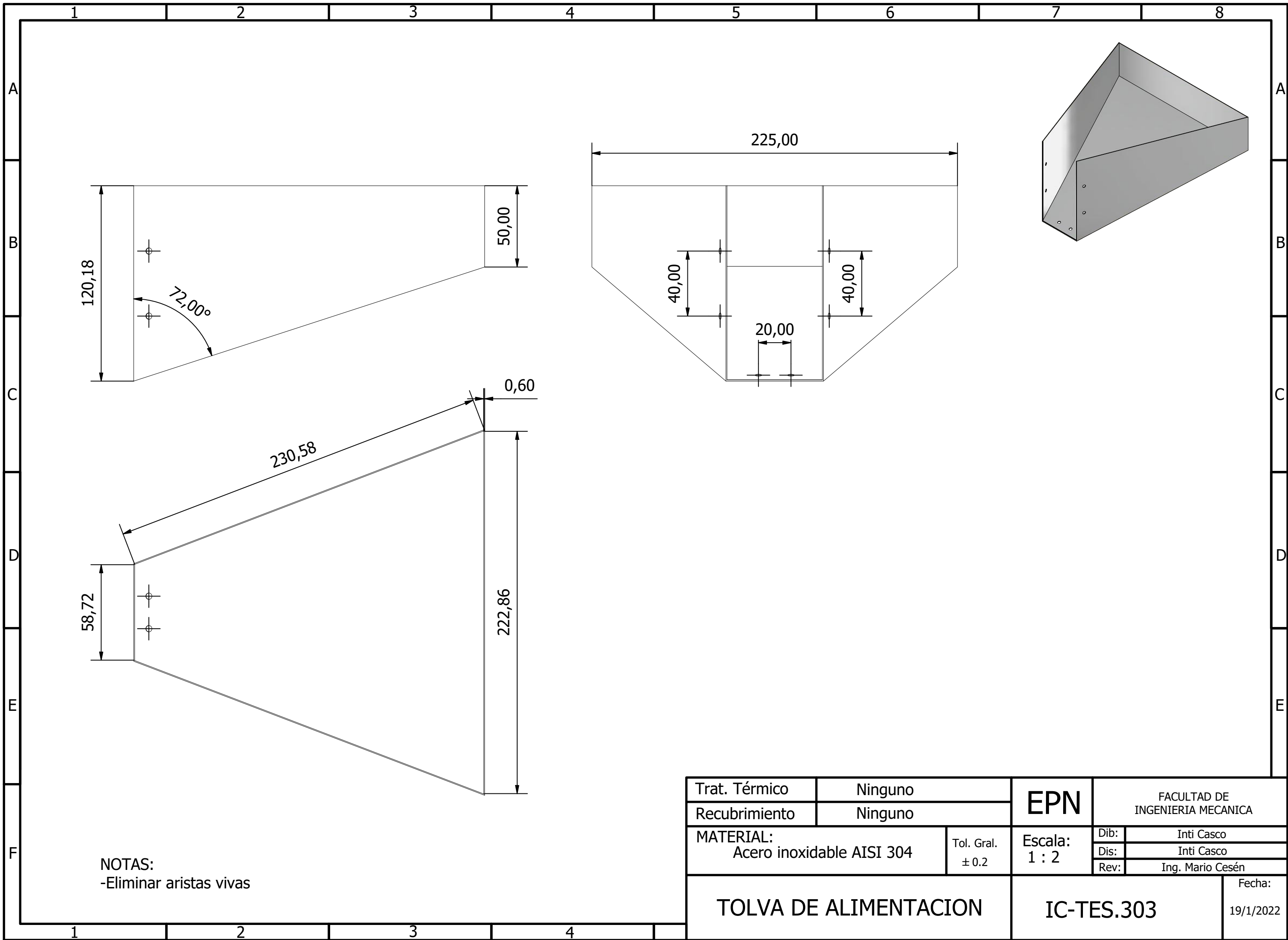
Rev: Ing. Mario Cesén

MANIJA

IC-TES.212

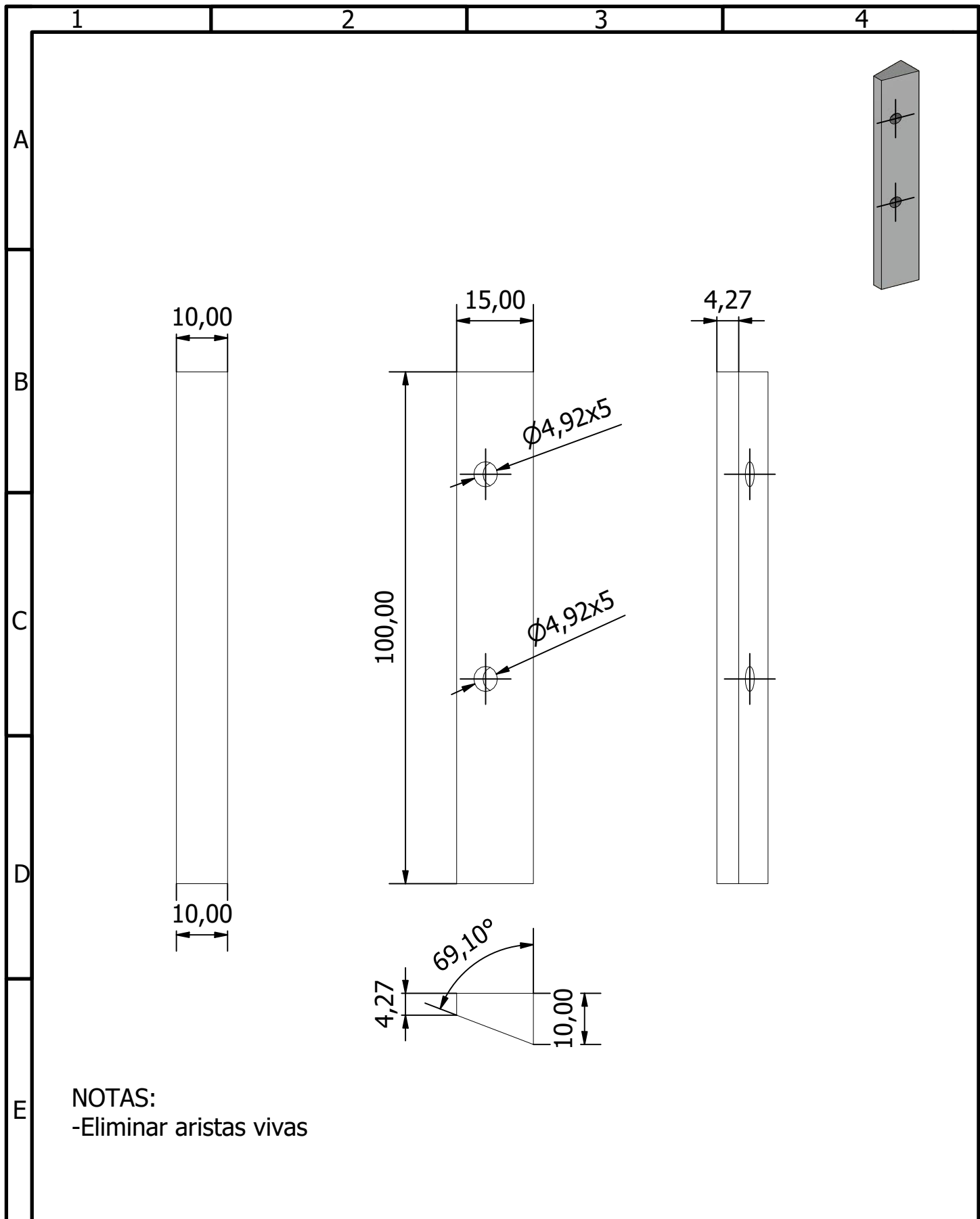
Fecha:

18/12/2021



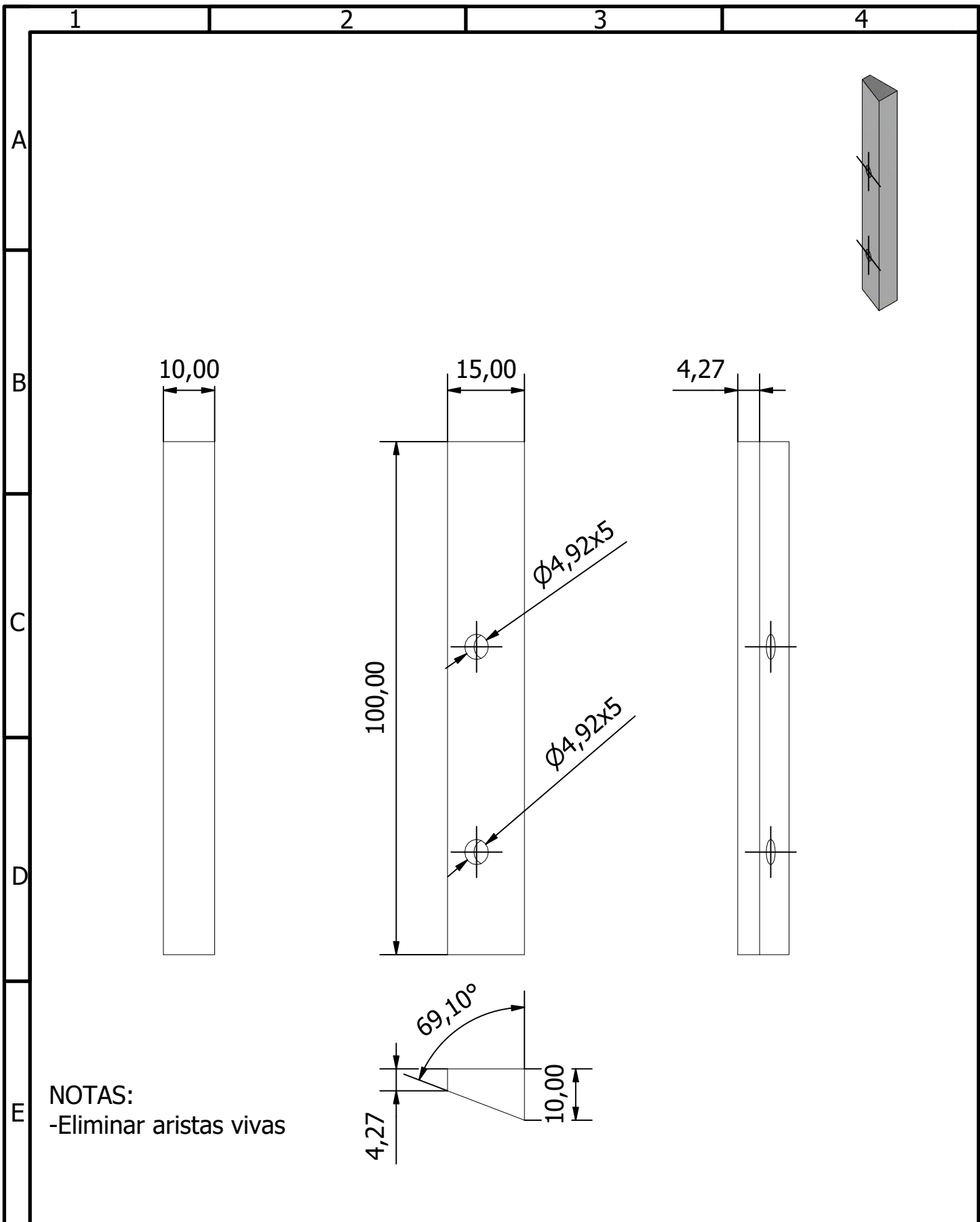
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
<b>TOLVA DE ALIMENTACION</b>			<b>IC-TES.303</b>		Fecha: 19/1/2022



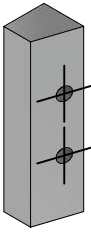
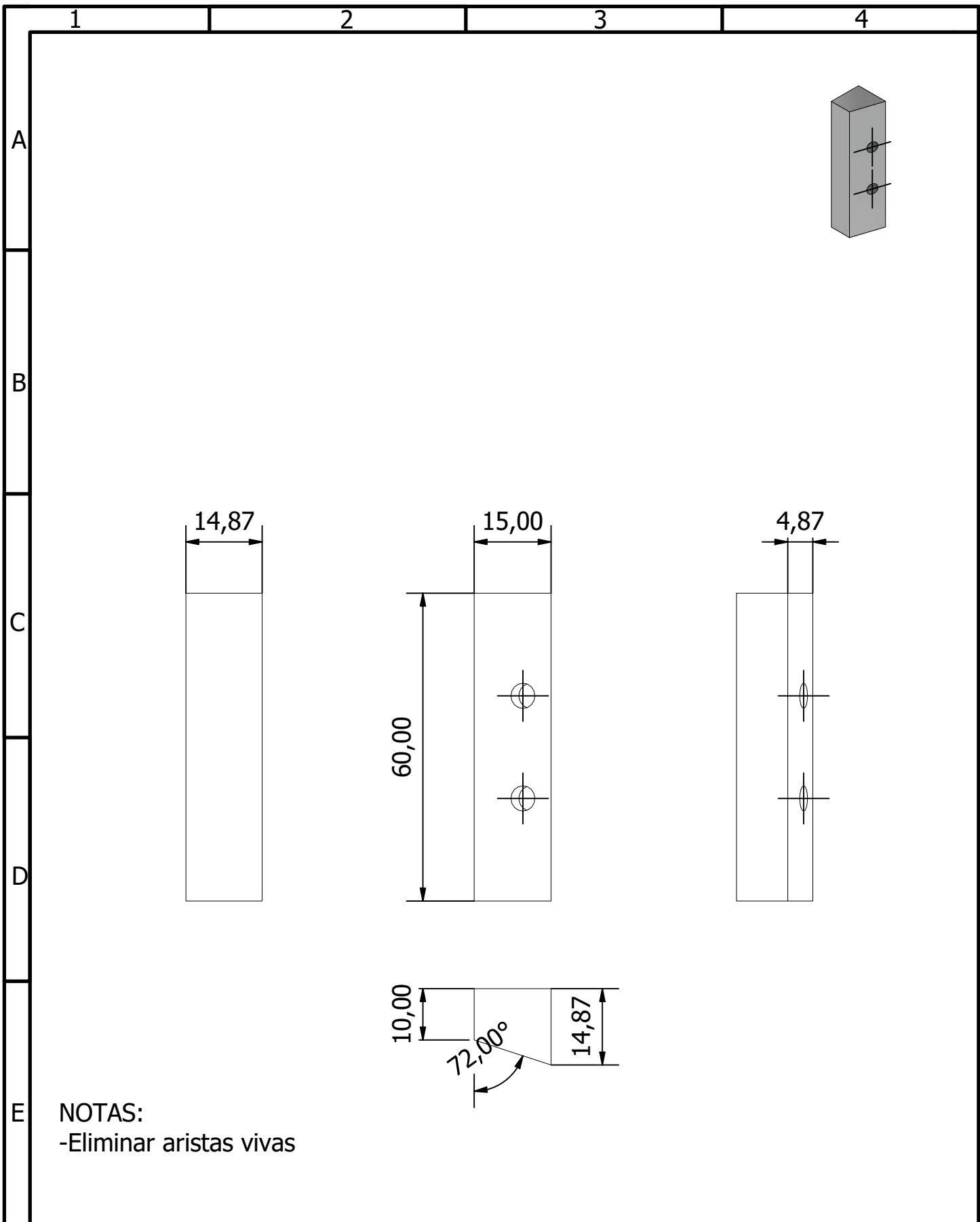
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
PLATINA 1 TOLVA		IC-TES.304		Fecha:	12/2/2022





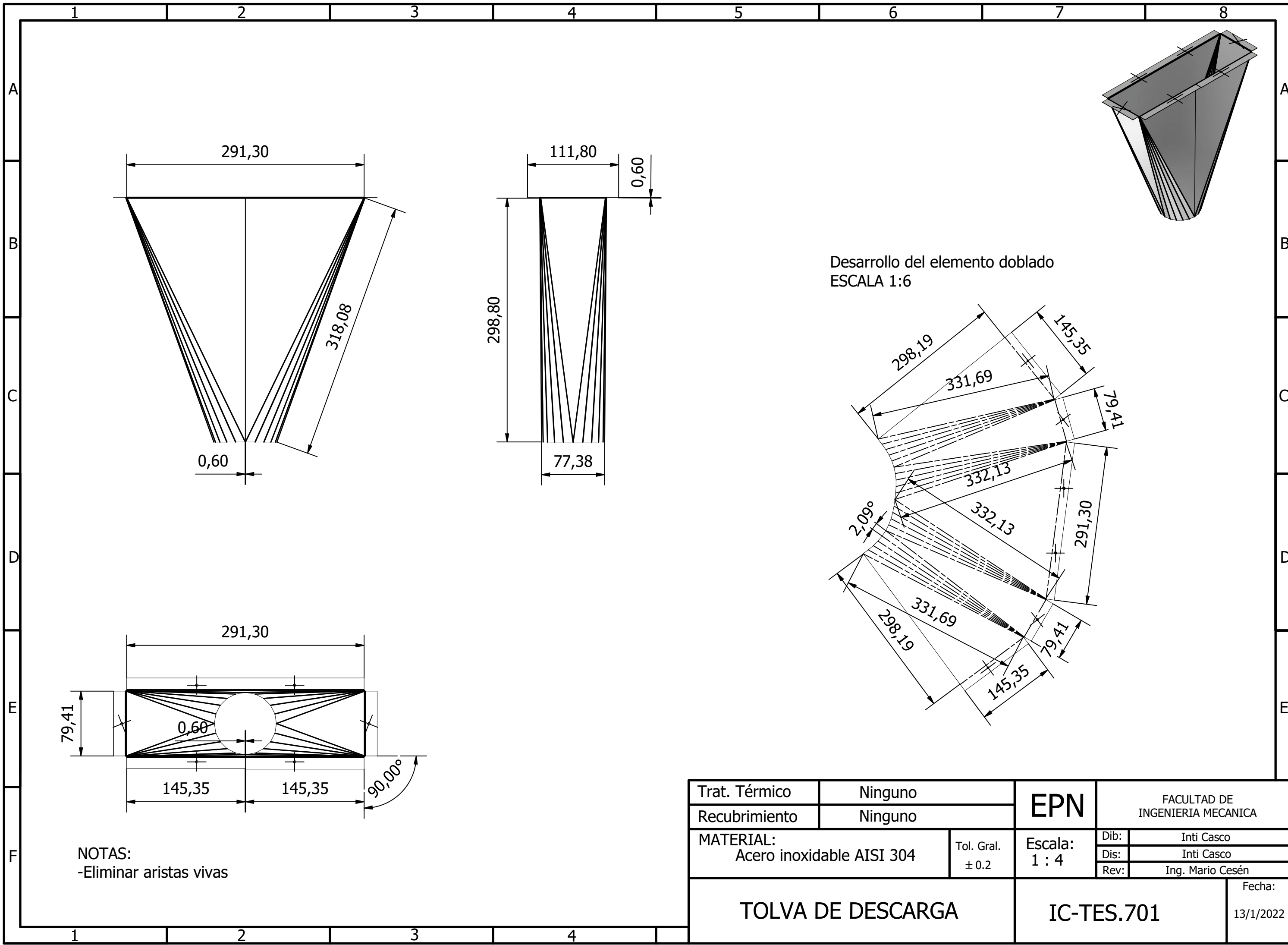
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. $\pm 0.2$	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
PLATINA 2 TOLVA			IC-TES.305		Fecha: 12/2/2022



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

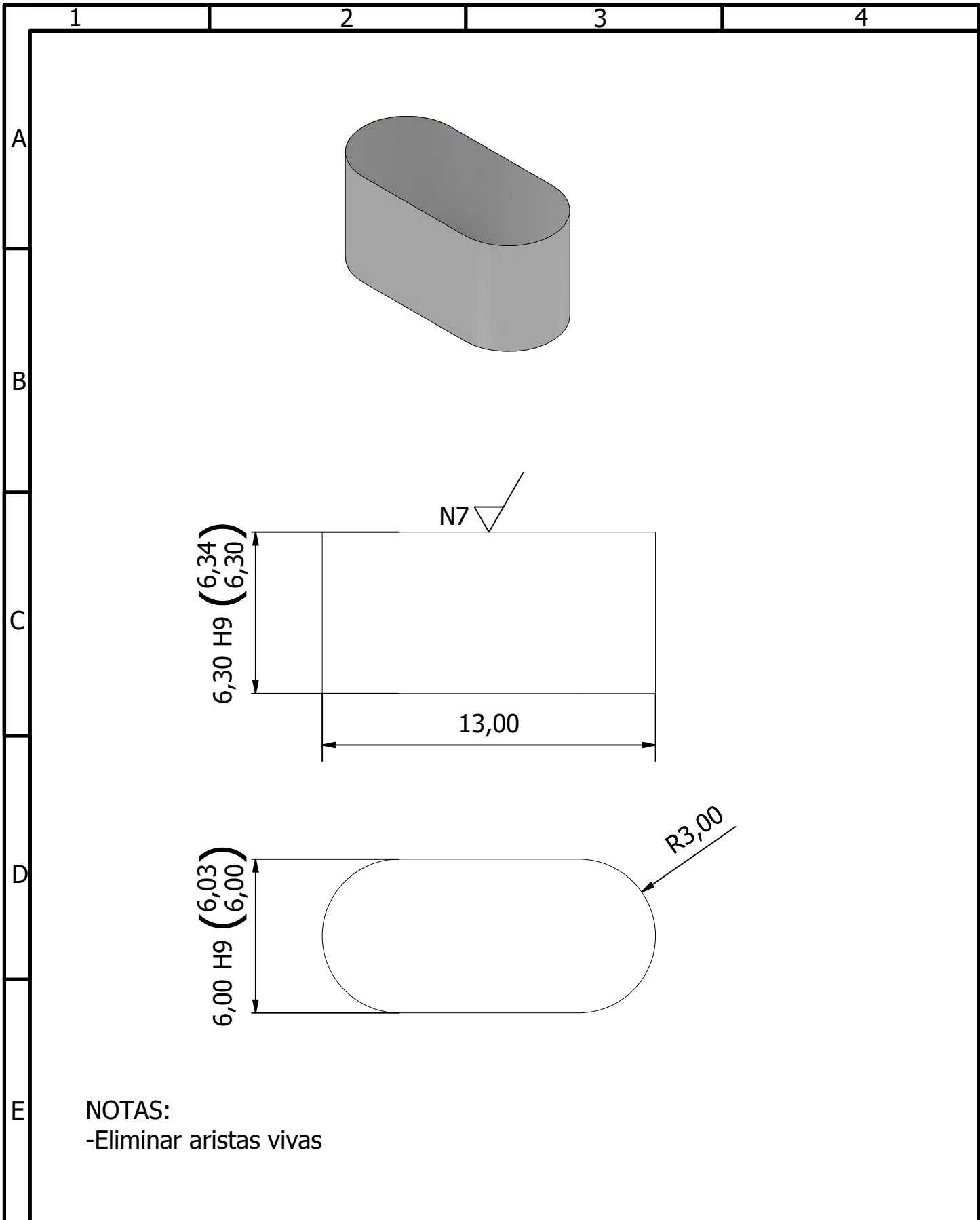
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
PLATINA 3 TOLVA		IC-TES.306		Fecha:	12/2/2022



Desarrollo del elemento doblado  
ESCALA 1:6

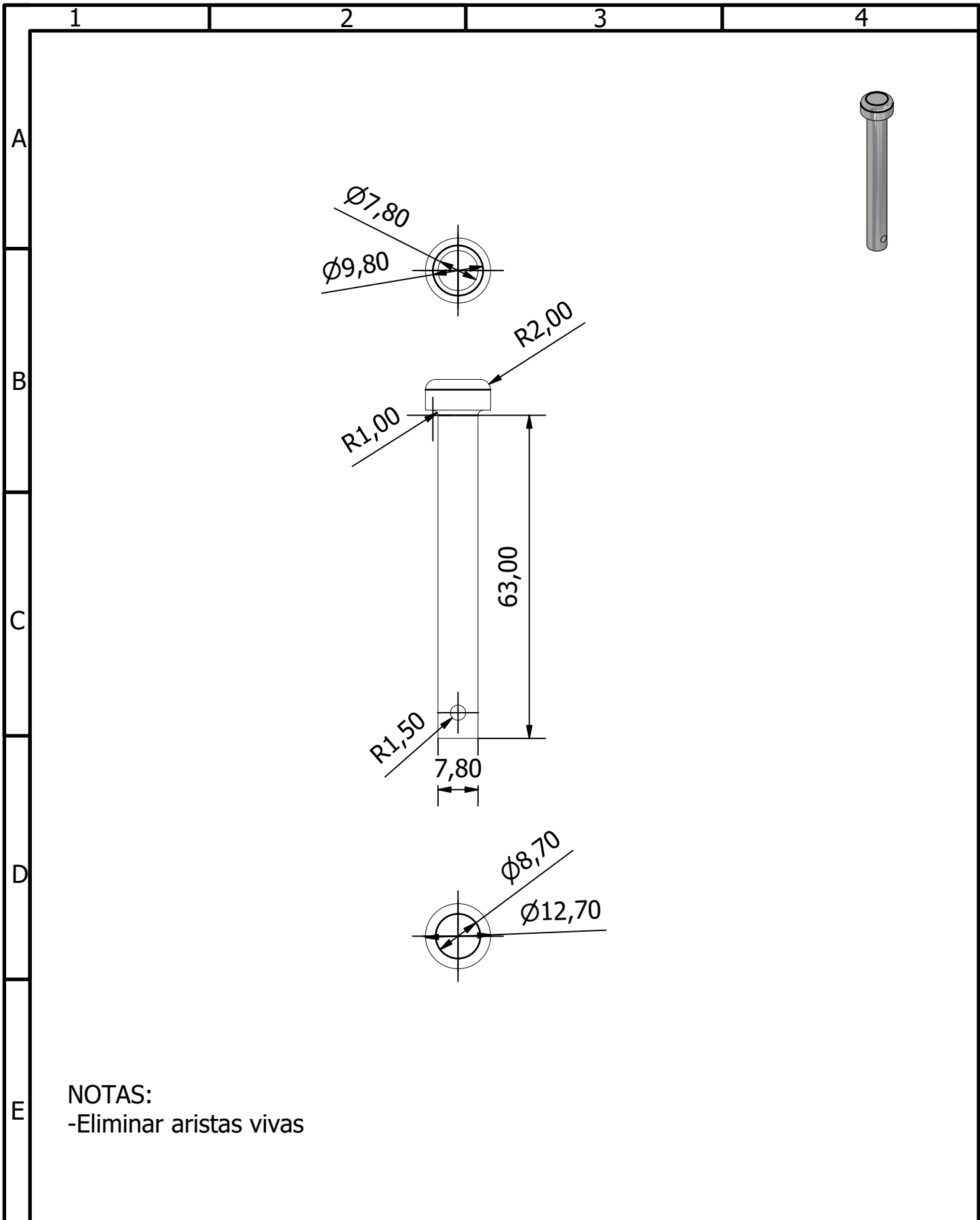
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 4	Dis:	Inti Casco
<b>TOLVA DE DESCARGA</b>		<b>IC-TES.701</b>		Rev:	Ing. Mario Cesén
				Fecha: 13/1/2022	



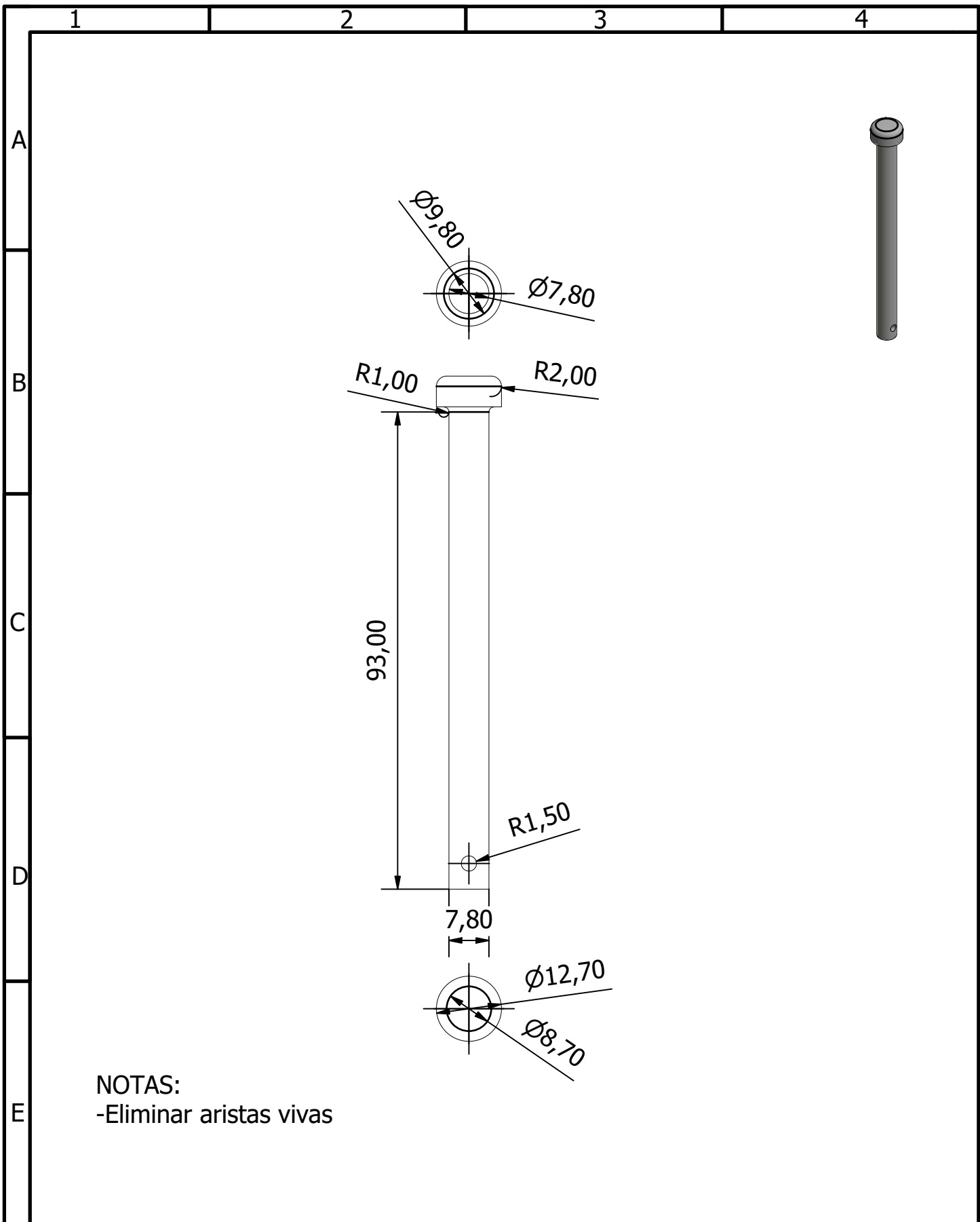
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 5 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
CHAVETA EJE DISCO			IC-TES.213		Fecha: 15/2/2022



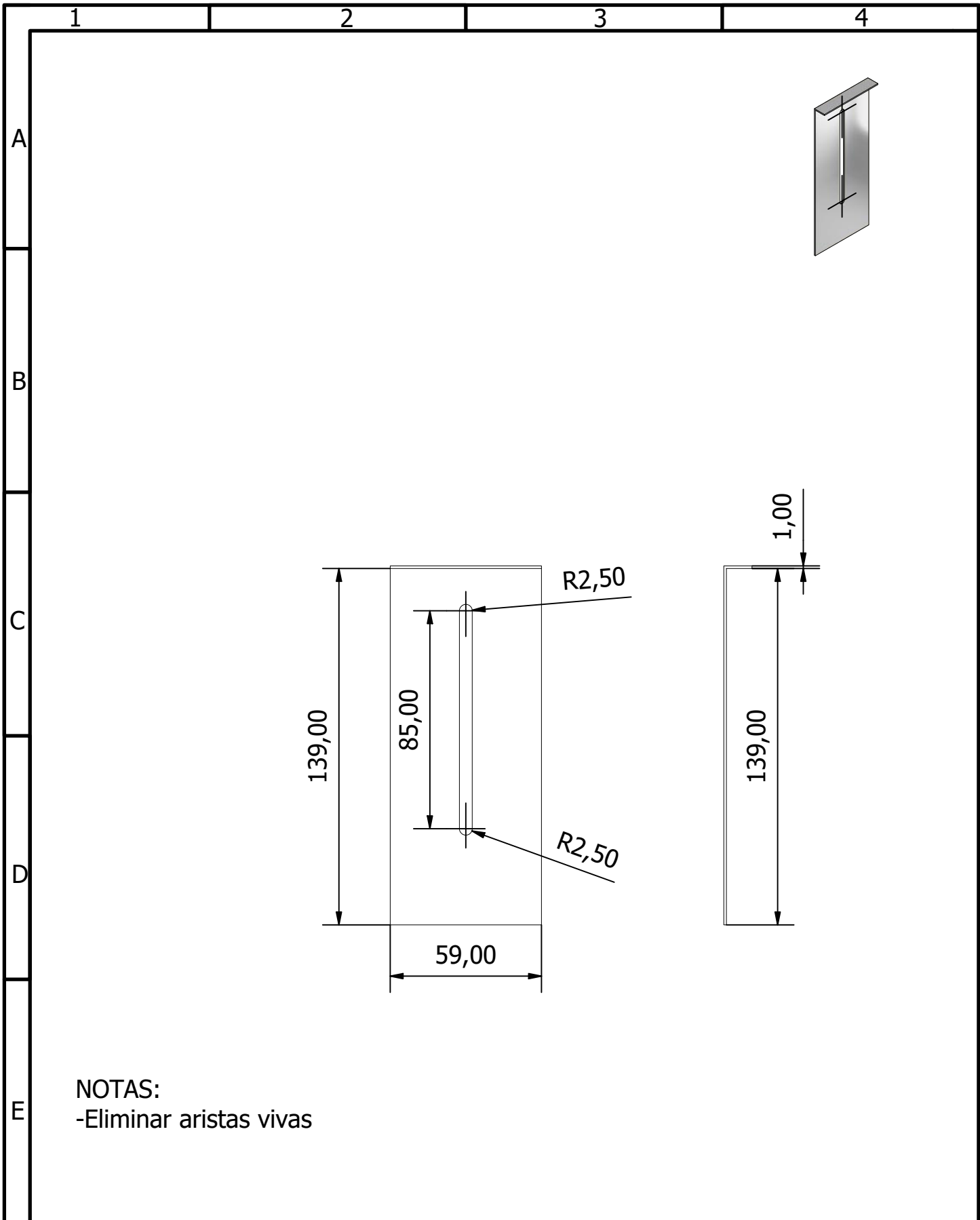
NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. $\pm 0.2$	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
<b>PASADOR SEGURO 1</b>			<b>IC-TES.214</b>		Fecha: 16/12/2021



NOTAS:  
-Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 1	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
<b>PASADOR SEGURO 2</b>			<b>IC-TES.215</b>		Fecha: 16/12/2021



Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib:	Inti Casco	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		Tol. Gral. ± 0.2	Escala: 1 : 2	Dis:	Inti Casco
				Rev:	Ing. Mario Cesén
<b>COMPUERTA</b>		<b>IC-TES.307</b>		Fecha:	31/1/2022