



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

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS MODELO CON SISTEMA DE COLADO INCORPORADO PARA LA UNIÓN GIBAULT DE 6 PULGADAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER”

AUTOR: Marlon Lenin Saquina Chicaiza

TUTOR: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2023

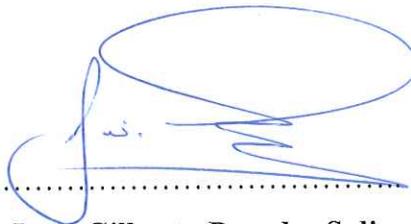
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS MODELOS CON SISTEMA DE COLADO INCORPORADO PARA LA UNIÓN GIBAULT DE 6 PULGADAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER”**, elaborado por el señor Marlon Lenin Saquinga Chicaiza con C.I. 1850214279, estudiante de la Carrera de Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2023



.....
Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Marlon Lenin Saquina Chicaiza, con C.I. 1850214279, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS MODELOS CON SISTEMA DE COLADO INCORPORADO PARA LA UNIÓN GIBAULT DE 6 PULGADAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER”**, así como también los cálculos, diseño, análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2023



Marlon Lenin Saquina Chicaiza

C.I. 1850214279

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2023



Marlon Lenin Saquina Chicaiza

C.I. 1850214279

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

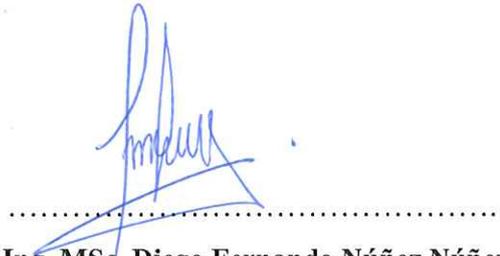
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Marlon Lenin Saquina Chicaiza de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS MODELOS CON SISTEMA DE COLADO INCORPORADO PARA LA UNIÓN GIBAULT DE 6 PULGADAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER”**.

Ambato, febrero 2023

Para constancia firmas:



.....
Ing. Francisco A. Peña Jordan MSc., Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto técnico va dedicado a mis padres Marlon Patricio e María Hilda por ser mis pilares en la enfermedad y obstáculos que se nos ha presentado en nuestro camino han estado a mi lado brindándome su apoyo.

A mis hermanas por haberme acompañado en este viaje por mostrar siempre ese cariño y apoyo recibido.

A mi familia quienes han sido una gran fuente de ejemplo y motivación para poder continuar con mis estudios.

Marlon Lenin Saquina Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Primero doy gracias a Dios por darme la salud y la vida, a la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica por ser gestores de mi formación y darme la oportunidad de continuar día a día con un nuevo aprendizaje para mi desarrollo personal y profesional.

A mis padres y hermanas por el apoyo que me han brindado durante estos últimos años de trayectoria universitaria.

A mi tutor Ing. Msc. Juan Gilberto Paredes Salinas por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo de titulación durante estos largos meses, por su paciencia, apoyo y confianza.

A mis compañeros de clase con quienes tuve la dicha de compartir largas horas de estudio y trabajo en equipo, por sus palabras de aliento para culminar exitosamente esta etapa.

Al Ing. Pérez y a su esposa Lic. Norma Tirado por abrirme las puertas de sus instalaciones y por toda la ayuda que me brindaron durante el trayecto a la institución.

Al Ing. Jairo Villagrán por toda la ayuda recibida, tiempo, además de ser una gran profesional es una gran persona.

Marlon Lenin Saquina Chicaiza

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Fundamentación Teórica	3
1.3.1 Unión Gibault.....	3
1.4 Fundición de piezas	4
1.4.1 Moldes de arena	6
1.4.2 Composición de la arena de contacto.....	7
1.5 Flujo del fluido	7
1.5.1 Análisis del vertido	8
1.5.2 Ley de continuidad de la masa	9
1.5.3 Características del flujo.....	9
1.5.4 Tiempo de llenado.....	9
1.5.5 Fuerza de flotación.....	10
1.6 Transferencia de calor	10

1.6.1	Solidificación de los metales.....	10
1.6.2	Tiempo de solidificación.....	11
1.6.3	Contracción	12
1.7	Componentes de una placa modelo con sistema de colado incorporado.....	12
1.7.1	Tipos de modelos	14
1.7.2	Materiales para fabricar modelos	17
•	Metal.....	19
•	Acero	20
•	Plásticos.....	20
1.8	Sistema de colado	20
1.8.1	Copa de vertido	21
1.8.2	Bebedero	21
1.8.3	Pozo de colado	23
1.9	Sistema de colado y compensación	23
1.9.1	Canal de ataque	25
1.9.2	Mazarota.....	26
1.10	Fabricación de los moldes	27
1.10.1	Ángulos de salida	28
1.10.2	Machos	28
1.10.3	Proceso de fundición de las bridas y tambor de la unión gibault.....	31
1.11	Mecanizado.....	32
CAPÍTULO II		33
2.	METODOLOGÍA	33
2.1	Materiales y equipos.....	33
2.1.1	Materiales.....	33
2.1.2	Equipos, herramientas y Máquinas.	36

2.2	Modalidad de investigación.....	40
2.3	Nivel tipo de investigación.....	40
2.4	Metodología del proyecto.....	40
2.5	Norma ANSI/AWWA C219, Acoplamientos atornillados tipo manguito para tuberías de extremo liso.....	41
2.6	Etapas del proyecto.....	43
2.7	Etapas para estimar las dimensiones del sistema de colado incorporado....	44
CAPITULO III.....		45
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1	Cálculo de espesor del tambor mediante la norma ANSI/AWWA C219 ...	45
3.2	Volumen y superficie de la pieza a fundirse	46
3.2.1	Diseño de la Mazarota.....	46
3.2.2	Cálculo de la velocidad de vertido	50
3.2.3	Gasto volumétrico	50
3.2.4	Tiempo de llenado del molde.....	51
3.2.5	Cálculo de Tiempo de solidificación.....	53
3.2.6	Pozo de distribución.....	57
3.2.7	Canal de ataque	57
3.2.8	Distancia entre Piezas	59
3.2.9	Distancia pieza-pozo y pieza-mazarota.....	60
3.3	Fuerza de flotación	61
3.4	Cálculos de mecanizado	62
3.5	Cálculos y análisis de diseño.....	63
3.5.1	Cálculo y análisis de diseño de Placa Modelo de la brida	63
3.6	Estimación del espesor de la soldadura	80
3.7	Simulación de fundición.....	81
3.8	Presupuesto.....	82

3.8.1	Costo de materiales	82
3.8.2	Costo por trabajo de maquinaria y herramientas.....	84
3.8.3	Costos de herramientas	85
3.8.4	Costo total de fabricación de las placas modelo con sistema de colado incorporado.....	85
3.9	Construcción de las placas modelos	86
3.9.1	Elaboración del modelo del Tambor	86
3.9.2	Construcción de la placa porta modelos.....	87
3.9.3	Construcción de modelos de sistema de alimentación.....	88
3.9.4	Construcción de placas modelos	93
3.9.5	Construcción de la Caja de Moldeo.	97
3.9.6	Elaboración del molde macho para el tambor.....	99
3.9.7	Elaboración de moldes de arena y fundición del tambor	100
3.9.8	Elaboración de moldes de arena y fundición de la brida	102
3.9.9	Conformación de la Unión Gibault de 6 pulgadas.....	104
CAPITULO IV.....		106
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
4.1	Conclusiones.....	106
4.2	Recomendaciones	107
MATERIALES DE REFERENCIA		109
BIBLIOGRAFÍA.....		109
ANEXOS.....		112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Componentes de la unión Gibault de 6 pulgadas.....	4
Tabla 2.	Composición de la arena de contacto.	7
Tabla 3.	Contracción volumétrica para metales de fundición, debido a la contracción por solidificación y del sólido.	12
Tabla 4.	Componentes que forman la placa modelo.....	13
Tabla 5.	Ventajas y desventajas de la madera como material de modelos.	18
Tabla 6.	Ventajas y desventajas del aluminio como material de modelos.....	18
Tabla 7.	Ventajas y desventajas del metal como material de modelos.....	19
Tabla 8.	Ventajas y desventajas del hierro dúctil como material de modelos.	19
Tabla 9.	Ventajas y desventajas del acero como material de modelos.	20
Tabla 10.	Ventajas y desventajas del plástico como material de modelos.....	20
Tabla 11.	Composición de noyo del tambor.	30
Tabla 12.	Propiedades física y mecánicas de Acero ASTM A36.	33
Tabla 13.	Propiedades del Hierro Dúctil.....	34
Tabla 14.	Parámetros del grado 65-45-12 Norma NTE INEN 2499:2009.....	34
Tabla 15.	Composición química SNAM MG9033LA.	35
Tabla 16.	Propiedades del Aluminio fundido.....	35
Tabla 17.	Lista de herramienta y equipo utilizados.	36
Tabla 18.	Norma ASTM A 216-95 Especificación estándar para Fundiciones de hierro gris para válvulas, bridas y accesorios de tubería.....	42
Tabla 19.	Longitud mínima de la manga central.....	45
Tabla 20.	Dimensiones de canales de ataque sugerido de acuerdo con el área....	58
Tabla 21.	Distancia entre piezas y pieza – borde de molde	59
Tabla 22.	Distancia pieza- pozo y pieza-mazarota.....	60
Tabla 23.	Lista de herramientas de mecanizado.	62
Tabla 24.	Cálculos de velocidades y avances de corte.....	62

Tabla 25.	Costos de materiales.....	83
Tabla 26.	Costo por trabajo de máquinas y herramientas.	84
Tabla 27.	Costo por herramientas.	85
Tabla 28.	Costo total de fabricación.....	86
Tabla 29.	Construcción del modelo del tambor.	86
Tabla 30.	Proceso de fabricación de las placas porta modelos.	87
Tabla 31.	Proceso de fabricación del modelo de pozo y canal de ataque	88
Tabla 32.	Proceso de fabricación del bebedero.....	90
Tabla 33.	Proceso de construcción de la mazarota.....	91
Tabla 34.	Proceso de construcción del modelo del canal de salida.....	92
Tabla 35.	Proceso de construcción de la placa modelo del tambor.....	93
Tabla 36.	Proceso de construcción de la placa modelo de la brida.....	95
Tabla 37.	Proceso de construcción de la caja de moldeo.	98
Tabla 38.	Proceso de elaboración del molde para el macho.	99
Tabla 39.	Proceso de modelado y fundición del tambor.	100
Tabla 40.	Proceso de modelado y fundición de la brida	102
Tabla 41.	Acabado y obtención de la Unión Gibault de 6 pulgadas.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ilustración de unión gibault 6 in.	3
Figura 2.	Fundición por gravedad.	5
Figura 3.	Partes que conforman un molde de arena.	6
Figura 4.	Esquema de una fundición con mazarotas, bebedero, pozo canal de ataque y compuertas.	8
Figura 5.	Curva de enfriamiento para un metal durante la fundición.	11
Figura 6.	Elementos de la placa modelo sección superior del tambor.	14
Figura 7.	Elementos de la placa modelo sección inferior del tambor.	14
Figura 8.	Modelo sólido.	15
Figura 9.	Modelo deslizante.	16
Figura 10.	Modelo de Placas ajustadas.	16
Figura 11.	Modelo de placa modelo con sistema de colado incorporado.	17
Figura 12.	Diseño de copa de vaciado.	21
Figura 13.	Diseño cónico del bebedero.	22
Figura 14.	a) Diseño cilíndrico del bebedero; b) Diseño cónico del bebedero.	22
Figura 15.	Parámetros para el diseño del pozo de colada.	23
Figura 16.	Elementos que componen el sistema de colado.	25
Figura 17.	Forma del canal de ataque.	26
Figura 18.	Disposición de mazarotas.	26
Figura 19.	Ángulo de salida del modelo para la extracción del molde de arena. ..	28
Figura 20.	Machos alojados en la cavidad realizada por el modelo.	29
Figura 21.	Ensamble de caja modelo de noyo del tambor.	31
Figura 22.	Noyo del tambor conformada por caja de modelo.	31
Figura 23.	Planchas de Acero ASTM 36.	33
Figura 24.	Hierro nodular con grafito en forma nodular.	35

Figura 25.	Bloques de aluminio fundidos.....	36
Figura 26.	Propiedades de físicas de la brida.	46
Figura 27.	Propiedades de físicas del Tambor.....	46
Figura 28.	Diseño de mazarota del tambor y brida.....	50
Figura 29.	Pieza fundida correspondiente a la brida.	52
Figura 30.	Propiedades físicas de la pieza fundida correspondiente al tambor.	53
Figura 31.	Angulo de desmoldeo de 6° de la brida.	54
Figura 32.	Línea de partición del molde de la brida.....	54
Figura 33.	Línea de partición del molde del tambor.....	54
Figura 34.	Diseño de bebedero.....	56
Figura 35.	Dimensiones de la copa de vertido.....	57
Figura 36.	Dimensiones del Pozo de distribución.	57
Figura 37.	Dimensiones de diseño del canal de ataque sección menor.....	58
Figura 38.	Dimensiones de diseño del canal de ataque sección mayor.....	59
Figura 39.	Distancia de entre piezas y pieza - borde molde.....	60
Figura 40.	Dimensiones de distancia pieza-pozo y pieza-mazarota.....	60
Figura 41.	Dimensión del ancho de canal de ataque.	60
Figura 42.	Condiciones de frontera, cargas y soportes.....	64
Figura 43.	Tensiones de la placa modelo por von Mises.....	65
Figura 44.	Desplazamientos resultantes [Autor].	65
Figura 45.	Deformaciones unitarias [Autor].....	66
Figura 46.	Factor de seguridad [Autor].	66
Figura 47.	Diagrama de esfuerzos y momentos flectores placa modelo brida.	68
Figura 48.	Propiedades de secciones y momentos de inercia.....	68
Figura 49.	Ubicación de los pernos cabeza avellanada de ¼ x ½ in.	69
Figura 50.	Especificación de torsión para perno ¼ x ½ in grado 5.	69
Figura 51.	Condiciones de frontera, conexiones, sujeciones y cargas.	72

Figura 52.	Tensiones de la placa modelo por von Mises.....	72
Figura 53.	Desplazamientos resultantes.	73
Figura 54.	Deformaciones unitarias.....	73
Figura 55.	Factor de seguridad.	74
Figura 56.	Diagrama de esfuerzos y momentos flectores placa modelo tambor. ..	75
Figura 57.	Propiedades de secciones y momentos de inercia del tambor.....	76
Figura 58.	Ubicación de pernos de sujeción.....	76
Figura 59.	Especificaciones de torsión tornillo grado 5.	77
Figura 60.	Condiciones de frontera, cargas y sujeciones.	80
Figura 61.	Esfuerzos de Von Mises.....	80
Figura 62.	Espesor de cordón de soldadura calculada de 1,58 mm en la sección de 125 mm.....	81
Figura 63.	Temperatura de vertido la cavidad del molde del tambor.....	81
Figura 64.	Solidificación de la pieza fundida del tambor.....	82

RESUMEN

Debido a la necesidad de reducir el tiempo y costos en la fabricación de moldes de arena del tambor y la brida que conforman la unión Gibault de 6 pulgadas, en el proyecto se presenta las placas modelo, destinadas para la producción en la empresa FUNDI LASER. Para esto se partió de Normas ANSI/AWWA C219-11 y ASTM A 126-95 que especifican el espesor del tambor. Para el proceso de diseño de las placas modelos se calcularon las dimensiones de los componentes: mazarota, bebedero, canal de ataque y canal de salida, así también se determinó el comportamiento del fluido: velocidad, número de Reynolds, tiempo de llenado en el molde y tiempo de solidificación; para validar el diseño se realizó una simulación del proceso de fundición en un Software, comprobando que el diseño fue el correcto.

Se realizó la construcción de las placas modelos, seleccionando los materiales adecuados para cada componente, los componentes diseñados fueron construidos con materiales disponibles en la empresa, y estas fueron: el modelo tambor de Acero A36, el modelo de la brida de aluminio fundido, las placas de sujeción de acero A36, el bebedero, la mazarota, canales de ataque y salida de hierro nodular. Al culminar el proceso de construcción de las placas modelos se realizaron moldes en arena verde para su posterior fundición en hierro dúctil de las piezas y se verificó el correcto funcionamiento de estas.

Palabras clave: Placas Modelos, Sistema de alimentación, Hierro dúctil, Unión Gibault, Bebedero, Mazarota, canal de ataque, canal de salida.

ABSTRACT

Due to the need to reduce time and costs in the manufacture of sand molds of the drum and flange that make up the 6-inch Gibault joint, the project presents the model plates, intended for production in the company FUNDI LASER. This was based on ANSI/AWWA C219-11 and ASTM A 126-95 standards that specify the thickness of the drum. For the design process of the model plates, the dimensions of the components were calculated: sprue, sprue, attack channel and exit channel, as well as the behavior of the fluid was determined: speed, Reynolds number, filling time in the mold and solidification time; to validate the design, a simulation of the casting process was carried out in a software, verifying that the design was correct.

The construction of the model plates was carried out, selecting the appropriate materials for each component, the components designed were built with materials available in the company, and these were: the A36 steel drum model, the cast aluminum flange model, the A36 steel clamping plates, the sprue, the sprue, the mazarota, the attack and exit channels of nodular iron. At the end of the construction process of the model plates, molds were made in green sand for subsequent casting of the parts in ductile iron and their correct operation was verified.

Keywords: Model Plates, Feeding System, Ductile Iron, Gibault Union, Drinker, Mazarota, Attack Channel, Exit Channel.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

La industria de la fabricación del hierro fundido es una de las importantes a nivel mundial. Anualmente, se producen piezas, componentes que son acopladas y utilizadas como elementos de equipos y maquinarias. La producción de hierro fundido se ha incrementado con la inclusión de la tecnología, permite la sinterización en hornos, permitiendo obtener metal líquido, que se vierte en moldes no permanentes en arena para producir un volumen considerable de piezas, con las actualizaciones en el área de diseño se permitió obtener placas modelo y modelos de acero, hierro fundido, aluminio, madera, plásticos, aceros de aleaciones que son rectificadas y mecanizadas para su diseño geométrico preciso, permitiendo un mejor rendimiento en el vertido y desempeño. La fundición en molde no permanente se lo divide de acuerdo con su llenado, es decir, el metal líquido se lo introduce a presión atmosférica (por gravedad), a baja presión y alta presión[1][2].

Un modelo para fundición es un componente utilizado para elaborar moldes en arena verde, estos se elaboran cuando la arena compacta siguiendo el modelo y están ubicados dentro una caja de moldeo. Al culminar de compactar la arena se retira el modelo, después se vuelve a cerrar el molde, se vierte metal líquido para llenar la cavidad. Los modelos deben ser diseñados correctamente, así disminuir fallas de moldeo, o en peor de los casos desecharlo, permita la formación de grietas u otros defectos de fundición. Los anteriores defectos se evitan si se realiza una forma adecuada de los modelos para que el moldeo sea fácil de realizar[3].

Múltiples trabajos de fabricación de modelos se han generado con el fin de brindar soluciones a dificultades ingenieriles en el diseño y construcción de placas modelos para diferentes piezas o componentes, deben cumplir con un diseño y construcción de alta calidad. Estos trabajos previos se utilizan como referencias y orientación del proyecto técnico de similar estudio, de entre ellos se destacan los siguientes:

Del autor[4], presenta un diseño del proceso de fabricación de una pieza fundida, especificando el cálculo y diseño sistema de alimentación, análisis de resultados, la validación teórica y verificación de los resultados, además determinando una mejora

en la pieza fundida. De este proyecto se tomó recomendaciones del cálculo de canales para el diseño del sistema de alimentación.

Del autor[5], presenta la fabricación de un molde para fundición de un álabe de rodete hidráulico tipo Francis, especificando un diseño del modelo de placa modelo, modelo suelto con sistema de colado incorporado, modelo placa superior e inferior y la fabricación de un macho. De este proyecto se tomó las consideraciones para la construcción de una modelo de placa modelo y referencias de un modelo con sistema de colado incorporado.

Del autor[6], presenta la modelación y análisis de un molde para fundición de aluminio por coquilla, donde se detalla materiales para fabricación del molde, elementos en un sistema de canales de alimentación, evacuación de gases, ensamble del molde, sistema de expulsión y recuperación. De este proyecto se tomó en consideración el material para la construcción de los modelos y ensamble de los componentes.

Del autor[7], presenta un estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena. Especificando diseño y cálculo de la mazarota, bebedero, pozo de colada, cono de colada y canal de ataque. De este proyecto se tomó como referencia dimensiones normalizadas de canal de colada.

Del autor[1], presenta un diseño de un molde permanente de fundición por gravedad para la fabricación de pesas adhesivas de plomo utilizadas en balanceo de neumáticos. Donde se tomó como referencia cálculos de las condiciones de la colada, tiempo de llenado, tiempo de solidificación, cálculo del bebedero, cálculo de la taza de colada, cálculo de canales de colada y ataque, cálculo de la mazarota y cálculo del sistema de alimentación y cálculo de pozo de colada.

1.2 Objetivos

Objetivo general

- Diseñar y construir las Placas Modelo con sistema de colado incorporado para la Unión Gibault de 6 pulgadas, en la empresa Fundi Laser.

Objetivos Específicos

- Identificar la información requerida para desarrollar la diseño y construcción de una placa modelo con sistema de colado incorporado.

- Realizar el diseño y planos de construcción de placas modelo con sistema de colado incorporado para la unión gibault de 6 pulgadas.
- Construir las placas modelo con sistema de colado incorporado para la unión gibault de 6 pulgadas.
- Elaborar moldes en arena y fundición de piezas para la unión gibault de 6 pulgadas, utilizando las placas modelo con sistema de colado incorporado.

1.3 Fundamentación Teórica

1.3.1 Unión Gibault

La unión Gibault es un tipo de unión que está conformada de pernos, empaquetaduras, tambor y dos anillos como se ilustra en la Figura 1, utilizada para unir tuberías de agua potable. Las especificaciones de la Unión Gibault de 6 pulgadas fueron establecidas por la empresa.

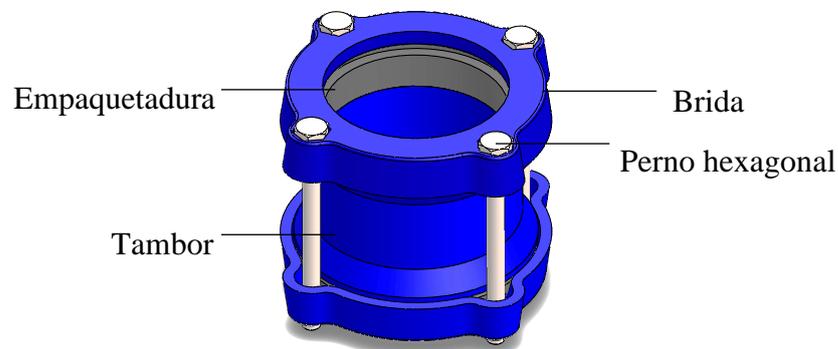
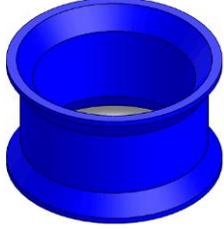


Figura 1. Ilustración de unión gibault 6 in.

- Unión gibault de 4 pulgadas.
- 2 bridas o anillos de hierro gris
- 1 tambor de hierro gris
- 2 empaques de caucho abocanado
- 4 pernos cabeza hexagonal de acero galvanizado de “1/2”
- Las presiones de trabajo de las uniones son de 200 PSI.
- **Esquema general de la unión Gibault de 6 pulgadas**

En la Tabla 1 se detallan los componentes de la unión gibault, donde se indica la ilustración, denominación y descripción del componente.

Tabla 1. Componentes de la unión Gibault de 6 pulgadas.

Componentes de Unión Gibault de 6 pulgadas			
N°	Ilustración	Denominación	Descripción
1		Tambor	El tambor es el encargado de unir y asegurar las tuberías, su forma es cilíndrica. Tiene una superficie de mayor diámetro en sus extremos donde van alojados las empaquetaduras.
2		Brida	La brida es la encargada de contener al tambor, las empaquetaduras y pernos. Por medio de ajuste de los pernos ajusta las empaquetaduras.
3		Empaquetadura	La empaquetadura es la encargada de sellar y no permitir que haya fugas de agua entre la tubería y la unión, el material es caucho.
4		Pernos cabeza hexagonal de "1/2 x 7 in"	Los pernos son los encargados de dar el ajuste necesario entre la unión y la tubería. El material de los pernos es de acero galvanizado.

1.4 Fundición de piezas

La fundición de piezas se basa en la producción de formas más complejas, existe una gran variedad de métodos de fundición, por lo cual se hace uno de los procesos de manufactura más versátiles. El proceso de fundición se lleva a cabo generalmente por medio de una fundidora. Una fundidora es una fábrica con el fin de realizar piezas fundidas, cambia al metal a un estado líquido, lo cual permite llenar las cavidades del molde para obtener las piezas o componentes deseados.

Dentro de las ventajas y posibilidades se hallan las siguientes:

- La fundición se emplea para realizar formas de piezas complejas, incluidas externas e internas.
- El proceso de fundición se utiliza para realizar piezas pequeñas, medianas y de gran tamaño.
- El método de fundición es muy apropiado para la producción en masa.

En el proceso de fundición también se encuentran desventajas. Dentro de estas limitaciones se encuentran las propiedades mecánicas; porosidad, acabado superficial defectuosa y exactitud dimensional. Asimismo, peligros de seguridad para los operarios dentro del proceso de fundición del metal y también los problemas ambientales[5].

La fundición de colada por gravedad

En la fundición por gravedad el metal fundido es vertido en el molde a presión atmosférica su propio peso permite el llenado del molde, se considera los parámetros del fluido como: la velocidad de vertido, el gasto volumétrico, el número de Reynolds, tiempo de llenado de los moldes y el tiempo de solidificación. El molde está elaborado de dos bloques de arena verde y la cavidad de estos bloques da forma a la pieza, en la Figura 2 se muestra el vertido del metal fundido para la conformación de piezas de hierro nodular; la utilización equipos de protección es fundamental para la seguridad de los operarios en el proceso los elementos necesarios son: mandil, guantes, zapatos y gorros[8][9].



Figura 2. Fundición por gravedad.

1.4.1 Moldes de arena

El molde contiene la cavidad con la configuración geométrica para determinar la forma de la pieza fundida, las operaciones de función en su mayoría se utiliza arena sílice (SiCo_2) como material del molde, debido a que es económica y sus características de resistencia a alta temperatura y elevado punto de fusión. El molde lleva una cavidad está configuración geométrica permite determinar la forma de la pieza fundida. El tamaño y la forma real de la cavidad se debe sobredimensionar sé con el fin de permitir la contracción del metal este se da durante la solidificación y el enfriamiento[10][11]. En la Figura 3 se muestra el molde de arena donde el metal líquido se vierte hasta llenar la cavidad abierta de la mazarota, el proceso de fundición con molde desechable se debe destruir una vez se solidifica el metal líquido para retirar la pieza, en un molde permanente es se lo utiliza las veces que sean necesarias para producir varias piezas fundidas, están fabricadas de materiales refractarios cerámicos, estos están constituidos de dos secciones que se abren y cierra para permitir la extracción de la pieza[12][13].

La selección de la arena para el molde se debe considerar diferentes factores respecto de las propiedades del metal, una arena que posea granos finos y redondos se puede apisonar de manera que se obtenga mayor compacto dando como resultado una pieza fundida con una superficie más lisa. Por lo tanto, una arena de grano fino refuerza la resistencia del molde, los granos finos reducen la permeabilidad (penetración a través de los poros). La permeabilidad en los moldes y machos permite que los gases y el vapor generados durante el proceso de fundición evacuen o escapen fácilmente. De la misma manera el molde de arena debe poseer una colapsabilidad adecuada para permitir que la pieza fundida se contraiga al enfriarse, esto reduce defectos de desgarramiento y agrietamiento en caliente[11][14].

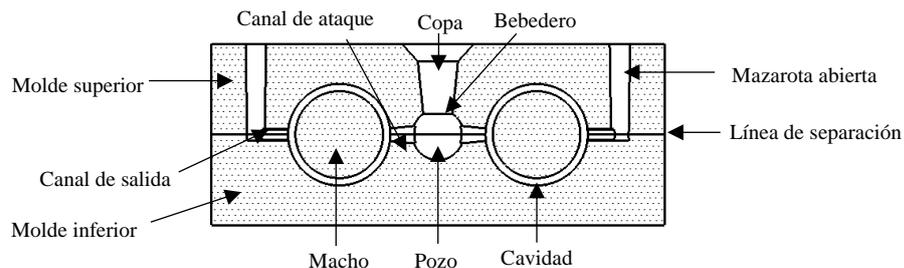


Figura 3. Partes que conforman un molde de arena.

1.4.2 Composición de la arena de contacto

En la tabla 2 se indica la composición de la arena de contacto o de moldeo consiste en la mezcla de arena cernida, arena nueva, bentonita, carbón luminoso y agua. El término para este tipo de arena es “verde” indica que el molde posee humedad. La arena verde en los moldes brinda suficiente resistencia, buena retractsibilidad (contracción), permeabilidad y reutilización.

Tabla 2. Composición de la arena de contacto [Autor].

ARENA DE CONTACTO	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Arena cernida (4 baldes)	105 kg
Arena nueva	10 kg
Bentonita	2.5 kg
Carbón bituminoso	0.75 kg
Agua	2 kg
Tiempo de mezclado	4 minutos

1.5 Flujo del fluido

Es importante enfocar en la importancia del flujo del fluido, para lo cual describimos un sistema básico por gravedad mostrada en la Figura 4 el metal fundido se vacía por la copa de vaciado; seguido fluye por medio del sistema de colado (copa de vaciado, bebedero, pozo y canal de ataque) llenando la cavidad del molde. Los canales de alimentación conectan el bebedero a la compuerta (parte del canal de alimentación por donde el metal fundido entra a la cavidad del molde). Las mazarotas, llamadas también alimentadores son depósitos de metal fundido para proveer de metal durante la solidificación y evitar la porosidad debida a la contracción[11][15].

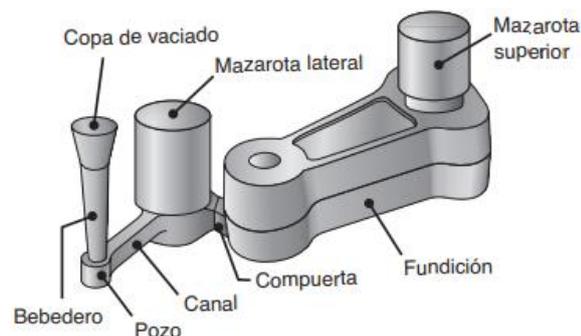


Figura 4. Esquema de una fundición con mazarotas, bebedero, pozo canal de ataque y compuertas [11].

1.5.1 Análisis del vertido

Existen relaciones que rigen el flujo del metal líquido y sistema de paso y dentro del molde. La principal es del teorema de Bernoulli, que dispone que la suma de las energías (piezométrica, presión, cinética y fricción) en dos puntos cualesquiera de líquido que circula son iguales [12]. Esta se describe con la Ecuación (1):

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + F_2 \quad (1)$$

Donde: h = cabezal piezométrico, cm (in); p = presión del líquido, N/cm^2 (lb/in^2); ρ = densidad, g/cm^3 (lbm/in^3); v = velocidad de flujo, cm/s (in/s); g = constante de la aceleración de la gravedad, $981 cm/s^2$ ($386 in/s^2$); y F = pérdidas piezométricas debidas a la fricción, cm (in). Los subíndices 1 y 2 muestran dos ubicaciones cualesquiera en el flujo del líquido.

La ecuación de Bernoulli se reduce de otras formas. Si se considera las pérdidas por fricción, esta perturbará al flujo del líquido a través del molde de arena y se considera que el sistema permanece a presión atmosférica, por lo tanto, la Ecuación se reduce a:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

Se usa para hallar la velocidad del metal líquido en la base del bebedero. El punto 1 se define como la parte superior de la mazarota y el punto 2 la base. Por lo tanto, si el punto 2 se usa como un plano de referencia, tenemos altura piezométrica en este punto es igual a cero ($h_2=0$) y h_1 es la altura o longitud de la entrada. El metal líquido se vierte en la copa de vertido y éste se dirige por el bebedero, la velocidad inicial en la sección superior es cero ($v_1=0$). Así la ecuación anterior se reduce más y se expresa la Ecuación (3) de la siguiente manera:

$$h_1 = \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

Despejando la Ecuación (3) resuelve la velocidad del flujo:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

Donde: v = velocidad de flujo, cm/s (in/s); g = constante de la aceleración.

1.5.2 Ley de continuidad de la masa

La ley de continuidad establece que la tasa de flujo volumétrico subsiste constante a través de líquido. Por lo tanto, el gasto volumétrico es igual a la velocidad multiplicada por el área de la sección transversal del metal líquido que fluye, la ley de continuidad se formula en la Ecuación(5)[12]:

$$Q = v_1A_1 = v_2A_2 \quad (5)$$

Donde: Q = gasto volumétrico, ($cm^3/s - in^3/s$); v = velocidad; A=área de la sección transversal del líquido, ($cm^2 - in^2$); los subíndices indican 2 puntos cualesquiera del sistema de flujo. Por lo tanto, un aumento del área resulta en una disminución de la velocidad o viceversa[12].

1.5.3 Características del flujo

Un factor fundamental para considerar en el flujo del fluido en el sistema de alimentación son las presencias de turbulencias. El número de Reynolds (Re) de la Ecuación (6), permite calcular el comportamiento del flujo del fluido, establece la relación entre fuerzas de inercia y la viscosidad y se precisa como:

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (6)$$

Se tiene un flujo laminar para un valor menor o igual a 2000, un valor entre 2000 a 20000 representa un flujo laminar-turbulento y superior a un valor de 20000 representa un flujo turbulento severo, lo que ocasiona el atrapamiento de aire y formación de espuma[11].

Donde, Re es el número de Reynolds, v es la velocidad de vertido, ρ es la densidad y η es la viscosidad del metal.

1.5.4 Tiempo de llenado

El tiempo de llenado del molde es el que se requiere para llenar la cavidad del molde. Sé debe considerarse un tiempo mínimo, esto debido a que se ignora las pérdidas por fricción en el análisis y puede existir alguna obstrucción del flujo en el sistema de paso; por lo tanto, el tiempo de llenado del molde de la Ecuación (7) debe resultar mayor al calculado[12].

$$T_{MF} = \frac{V}{Q} \quad (7)$$

Donde, T_{MF} es el tiempo de llenado del molde, V es el volumen de la pieza y Q es el gasto volumétrico.

1.5.5 Fuerza de flotación

En peligro habitual durante el vertido es la flotación inducida por el metal fundido que desplaza al noyo, la flotación resulta peso del metal fundido que desplaza el núcleo, esta fuerza que se expresa con la Ecuación (8) tiende a elevar el macho es igual al peso del líquido desplazado menos el peso del macho[12].

$$F_b = W_m - W_c \quad (8)$$

Donde F_b = fuerza de flotación, N (lb); W_m = peso del metal fundido desplazado, N (lb) y W_c = peso del núcleo, N (lb)[12].

1.6 Transferencia de calor

La transferencia de calor desde el vaciado a la solidificación y el enfriamiento debido a la temperatura ambiente es un factor que considerar en la fundición del metal. El flujo de calor en los distintos puntos del sistema comprende un fenómeno complejo y depende de distintos factores del metal a fundir, parámetros del molde cómo de su proceso. En una fundición de una sección delgada, para evitar un enfriamiento y solidificación prematura, la velocidad del flujo del metal debe ser alta. Asimismo, el gasto volumétrico no debe ser elevado para evitar turbulencias excesivas, evitando efectos dañinos al proceso de fundición[11][15].

1.6.1 Solidificación de los metales

El metal líquido una vez vaciado en el molde, se solidifica y se enfría a temperatura ambiente; aquí se da un sinnúmero de eventos que influyen en tamaño, forma, uniformidad, composición de los granos durante la fundición, a su vez influyen en sus propiedades mecánicas; este proceso se muestra en la Figura 5. Los factores fundamentales que afectan los eventos antes mencionados son las propiedades térmicas del metal y molde, la relación geométrica entre volumen y área superficial de la fundición y la forma del molde[11][16].

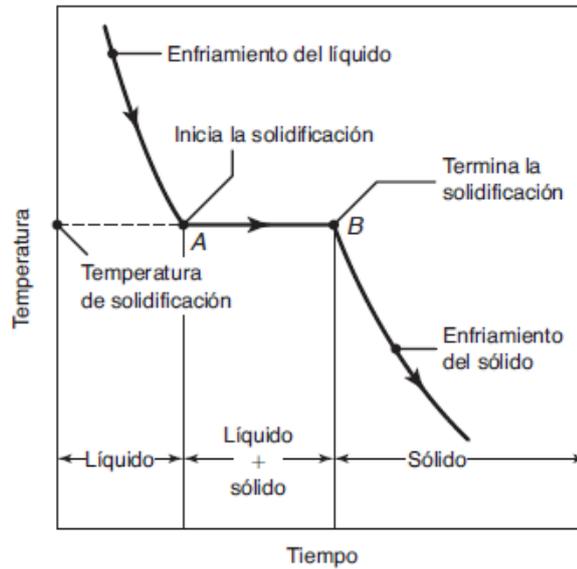


Figura 5. Curva de enfriamiento para un metal durante la fundición.

1.6.2 Tiempo de solidificación

El tiempo de solidificación es el que se requieren para que el metal fundido se solidifique después del vertido, este tiempo depende de la forma y el tamaño del fundido. La ecuación (9) es la regla de Chvorinov que establece una relación entre el volumen y la superficie de la pieza envasada una proporción al tiempo de solidificación de este[12].

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad (9)$$

Dónde, T_{TS} : es el tiempo de solidificación (min), C_m es la constante del molde (min/cm^2) la Ecuación (10) indica como calcular su valor, V : es el volumen de la pieza fundida (cm^3), A : Es el área de superficie del fundido (cm^2) y n es una constante con un valor de 2.

$$C_m = \left[\frac{\rho_m L}{(T_m - T_o)} \right]^2 \left[\frac{\pi}{4k\rho c} \right] \left[1 + \left(\frac{c_m \Delta T_s}{L} \right)^2 \right] \quad (10)$$

Donde, son propiedades del molde: k : es la conductividad térmica ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$), ρ : es la densidad (kg/cm^3), c : es el calor específico ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$) y T_o : es la temperatura inicial (K).

Las propiedades del metal son: ρ_m es la densidad del metal (kg/cm^3), L es el calor latente de fusión (J/kg), T_m : es la temperatura de fusión / solidificación del metal (K), C_m es el calor específico ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$) y ΔT_s : es el sobrecalentamiento (K) ($T_{\text{vertido}} - T_m$).

1.6.3 Contracción

La contracción ocurre durante el enfriamiento y la solidificación. La contracción consta de tres etapas: 1) contracción líquida durante el enfriamiento antes de la certificación, 2) contracción durante el Cambio de fase líquida a sólida, conocida como contracción por solidificación, y 3) contracción térmica del fundido certificado durante el enfriamiento a temperatura ambiente[12][16].

La contracción por solidificación consta de 2 efectos, el primero ocasiona una reducción adicional la altura del fundido y el segundo de la cantidad del metal líquido disponible para alimentar la porción central del fundido se ve restringida. Por lo general estas regiones se solidifican en ausencia de metal creando un vacío en Tabla 3 se muestra el porcentaje de contracción volumétrica, este defecto se los llama rechupe a la cavidad por contracción[12].

Tabla 3. Contracción volumétrica para metales de fundición, debido a la contracción por solidificación y del sólido [12].

Metal	Contracción volumétrica debida a:	
	Contracción por solidificación, %	Contracción térmica del sólido, %
Aluminio	7	5,6
Aleación de aluminio	7	5
Hierro colado gris	1,8	3
Hierro dúctil	1,2	3
Acero fundido al bajo C	3	7,2
Cobre	4,5	7,5
Bronce (Cu-Sn)	5,5	6

1.7 Componentes de una placa modelo con sistema de colado incorporado

El diseño de la placa modelo está conformada de 8 componentes que se establece en la Tabla 4, donde se especifica el nombre y su descripción de los elementos. Estos permiten conformar el molde de producción uniones gibault de hierro nodular.

Tabla 4. Componentes que forman la placa modelo [Autor].

N°	Componente	Descripción
1	Placa porta modelos	La placa porta modelos es la placa principal permitiendo el ensamble de los modelos, sistema de alimentación y sistema de salida.
2	Modelo	El modelo es la réplica de la pieza que se desea fabricar.
3	Copa de vaciado	La copa de vaciado está ubicada en la parte superior del bebedero, permite el vertido del metal fundido.
4	Bebedero	El bebedero es la parte vertical del sistema de alimentación, que provee al metal fundido de energía potencial y cinética necesaria para llenar el molde.
5	Sistemas de colada entrada	El sistema de colada de entrada son los conductos encargados de dirigir el metal líquido hacia la cavidad del molde.
6	Sistema de colada de salida	El sistema de colada de salida son los conductos encargados de dirigir el metal líquido hacia la mazarota del molde.
7	Pozo de colada	El pozo de colada es la unión entre el canal de colada y el fondo del bebedero, encargado de recibir el metal líquido en un flujo turbulento y redireccionarlo a laminar horizontalmente.
8	Mazarota	La mazarota es el reservorio de metal fundido permite alimentar al modelo durante el enfriamiento.

- **Placa modelo con sistema de colado incorporado superior**

En la Figura 6 se ilustra el diseño de la placa modelo del tambor, la vista corresponde a la parte superior de los modelos del tambor y del sistema de colado.

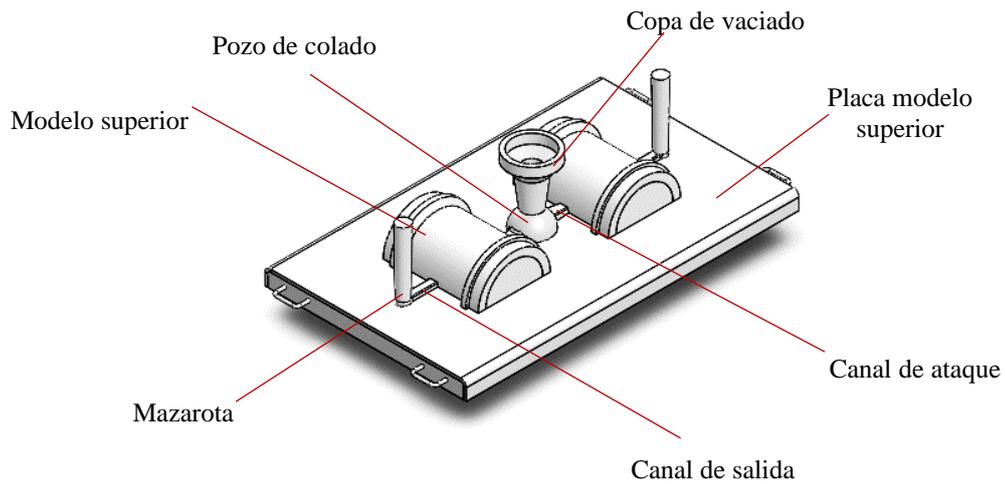


Figura 6. Elementos de la placa modelo sección superior del tambor [Autor].

- **Placa modelo con sistema de colado incorporado superior**

En la Figura 7 se ilustra el diseño de la placa modelo del tambor, la vista corresponde a la parte inferior de los modelos del tambor y del sistema de colado.

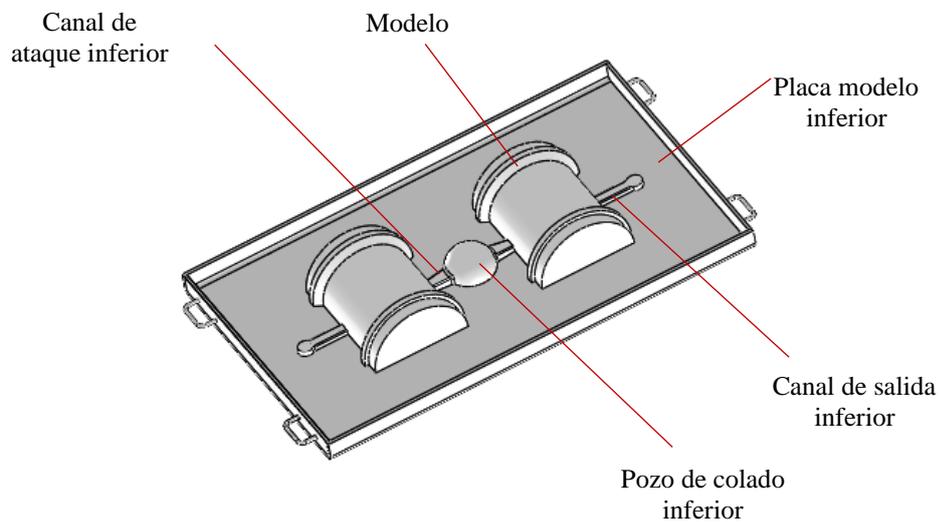


Figura 7. Elementos de la placa modelo sección inferior del tambor [Autor].

1.7.1 Tipos de modelos

- **Modelos**

Un modelo es la réplica de la pieza que se desea fabricar. Durante el proceso de diseño del modelo se debe tener en consideración la reducción de las dimensiones de la pieza por acción de la contracción durante el proceso de enfriamiento, asimismo la rugosidad en las superficies de la pieza por acción de la calidad de la arena y los alojamientos de

los noyos. Los pesos de los modelos varían de 50 gramos hasta 60 toneladas, esto se debe a que los tamaños de los modelos varían de acuerdo con el requerimiento de su utilización en diferentes partes de máquinas u componentes[3].

Un modelo cumple las siguientes funciones:

- Un modelo construido correctamente tiene un buen acabado superficial que ayuda a reducir los defectos de la fundición.
- Los modelos que están contruidos correctamente reducen el costo global de la fundición
- Un modelo posee una cavidad de moldeo que sirve como fundición
- Los bebederos, mazarotas y orificios de entrada pueden formar parte de un modelo.
- El modelo suele contener impresiones para colocar los machos con una posición adecuada
- El modelo establece la línea de división entre la parte inferior y superior del molde
- El fabricante de modelos de piezas debe tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - El número de partes a fabricar
 - La apariencia de la fundición y el acabado superficial
 - La ubicación del macho
 - El método de extracción del modelo del molde

- **Modelo sólido**

El modelo solido es el más simple está hecho de una sola pieza y recibe el nombre de modelo sólido, tiene la misma forma que el fundido y su tamaño está ajustado para la contracción y el maquinado. Aunque es el modelo más fácil de fabricar, no es el más fácil de usar para hacer moldes de arena. La determinación de la ubicación de la línea de separación de las dos mitades del molde de un modelo sólido puede ser un problema, en la Figura 8 se ilustra el modelo sólido los cuales se limitan por lo general a cantidades muy bajas de producción[11].

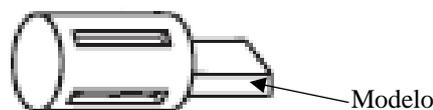


Figura 8. Modelo sólido[11].

- **Modelos deslizantes**

Se componen de dos piezas a lo largo de un plano, está es coincidente con la línea divisoria del molde. En la figura 9 se ilustra el diseño del modelo deslizante cuya utilización es apta en piezas cuyas configuraciones geométricas sean complejas, teniendo en cuenta que se las utiliza en la producción de cantidades moderadas de piezas, la línea de partición que divide el molde está establecida por dos mitades del modelo, por lo tanto, este criterio lo establece el diseñador del modelo[11].

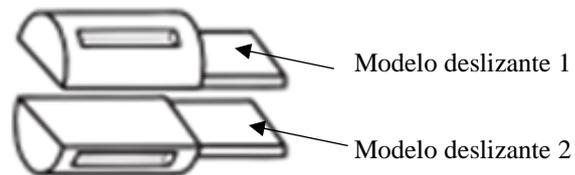


Figura 9. Modelo deslizante[11].

- **Placa Modelo ajustada**

El modelo de placa modelo ajustada consiste en que las dos piezas del modelo deslizante deben estar sujetas al plano puesto de una placa, el material puede variar de madera o metal. Para la alineación del molde de los marcos superior e inferior se deben realizar agujeros en la placa[11].

En la Figura 10 se ilustra la placa modelo ajustada que independientemente del material empleado en su construcción podrá presentarse bajo la forma de: Cara sencilla, cuando el modelo ocupa una sola cara de la placa; doble cara, cuando una cara sirve para el modelo superior y otra para el modelo inferior, para una producción de piezas en gran cantidad se utilizan modelos de placas modelo[11], [12].

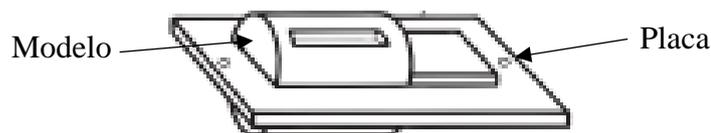


Figura 10. Modelo de Placas ajustadas[11].

- **Placas modelo reversible**

Se parecen a las placas de una sola cara, pero en este caso la forma del modelo de la pieza se presta a la reversibilidad, es decir, a la posibilidad de obtener dos piezas en la colada empleando solamente un modelo cortado según un plano de simetría y moldeado previamente una parte superior y una inferior parecidas; también permite

usar un modelo cortado según un plano horizontal que coincidirá con el de la junta, pero cuya posición de moldeo indiferente[1].

- **Placa modelo con sistema de colado incorporado**

Esta placa modelo es similar a la placa modelo ajustada se utiliza en la producción de grandes cantidades de piezas es utilizada este tipo de modelos, se montan el modelo en la parte superior y la inferior de la placa de metal que tienen una línea de partición. En la Figura 11 se ilustra la placa modelo con sistema de colado frecuentemente esta incorporada en la misma placa. Las placas modelo universalmente se usan máquinas y equipo de moldeo, para maximizar el tiempo de fabricación[5].

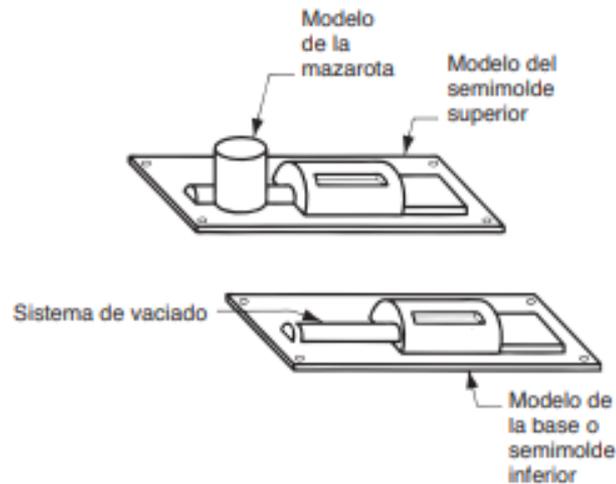


Figura 11. Modelo de placa modelo con sistema de colado incorporado[11].

1.7.2 Materiales para fabricar modelos

Los materiales para fabricar los modelos son madera, metales (como hierro fundido, bronce, aluminio y sus aleaciones), plásticos, yeso y cera. Los materiales antes mencionados poseen sus propias ventajas y desventajas [10].

- **Madera**

La madera es el material para elaborar modelos de uso más frecuente. En la Tabla 5 se detalla las ventajas y desventajas del uso de la madera como material para elaborar modelos.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la madera como material de modelos[10].

Ventajas	Desventajas
Disponibilidad amplia y coste bajo.	Absorbe la humedad y pierden su forma al secarse o al humedecerse.
De fácil maquinabilidad y se puede dar forma fácilmente.	Por acción abrasiva de la arena posee un desgaste elevado.
Fácil de unir mediante pegado o clavos, y fabricar fácilmente forma intrincadas.	Para su almacenamiento se requiere de preservadores y un lugar seco.
Brinda un buen acabado superficial.	No es apta para utilizarla en un gran número de impresiones de fundición.
Utilizando recubrimientos protectores sobre la superficie se puede conservar por mucho tiempo.	Posee una vida corta en comparación a las impresiones de fundición.
Disponibilidad amplia y coste bajo.	

- **Aluminio y sus aleaciones**

El aluminio es uno de los materiales más aptos para la realización de los modelos. En la Tabla 6 se indica las ventajas y desventajas del aluminio como material de fabricación de modelos.

Tabla 6. Ventajas y desventajas del aluminio como material de modelos[10].

Ventajas	Desventajas
Disponibilidad amplia y coste bajo	No es apto para soportar la acción abrasiva de las arenas utilizadas en el moldeo, tampoco permite un manejo rudo.
De fácil maquinabilidad y se puede dar forma fácilmente	
Fácil de unir mediante pegado o clavos, y fabricar fácilmente forma intrincadas	
Brinda un buen acabado superficial	Son de difícil reparación.
Utilizando recubrimientos protectores sobre la superficie se puede conservar por mucho tiempo.	
Disponibilidad amplia y coste bajo.	

- **Metal**

El metal como material para fabricar modelos se utilizan principalmente cuando se requieren muchas impresiones de fundición y las condiciones no se adaptan para modelos de madera. En la Tabla 7 se indica las ventajas y desventajas de los modelos metálicos.

Tabla 7. Ventajas y desventajas del metal como material de modelos[10].

Ventajas	Desventajas
En condiciones de humedad y en contacto con la arena no cambian su forma.	Se requiere de un proceso de mayor maquinado para la obtención de formas con alta precisión. Estas actividades aumentan el costo inicial de maquinado, espacio y costo de los modelos.
Poseen un buen acabado superficial	El costo del metal es mayor con respecto al de la madera y por lo tanto no adecuados para realizar pequeñas cantidades de fundiciones.
Brindan dimensiones precisas	Ciertos metales se pueden oxidar debido al oxígeno y a la humedad.
Ofrecen buena durabilidad y resistencia	Tiene un mayor peso y que son de difícil manejo.

- **Hierro dúctil**

El hierro dúctil la utilización como material de producción de modelos es amplia. En la Tabla 8 se indica las ventajas y desventajas del hierro dúctil como material para fabricar modelos.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del hierro dúctil como material de modelos[10].

Ventajas	Desventajas
Barato	Se oxida fácilmente
Es un material bastante fuerte	
De fácil maquinabilidad	
Su acabado superficial es liso	Peso elevado
Resistente al proceso de abrasión de la arena.	

- **Acero**

El acero es utilizado frecuentemente como material en la fabricación de modelos. En la Tabla 9 se indica las ventajas y desventajas del acero como material para fabricar modelos.

Tabla 9. Ventajas y desventajas del acero como material de modelos[10].

Ventajas	Desventajas
Su coste económico es menor el Bronce.	Peso elevado
Brinda una buena resistencia, tenacidad resistencia al desgaste y brinda buena maquinabilidad.	Alta densidad
Su reparación es accesible.	Baja resistencia a la corrosión y oxidación
Posee una buena resistencia a la acción abrasiva de la arena.	De difícil fundición debido a su alto punto Fusión.

- **Plásticos**

Se utilizan una gran variedad de plásticos para la fabricación de modelos. En la Tabla 10 se indica las ventajas y desventajas del plástico como material para fabricar modelos.

Tabla 10. Ventajas y desventajas del plástico como material de modelos[10].

Ventajas	Desventajas
Contracción baja.	No pueden soportar impactos severos.
Brindan un buen acabado superficial.	
Son ligeros.	Se requiere de refuerzos metálicos en las secciones delgadas, debido a que los modelos de plásticos son frágiles.
Durabilidad, resistentes a la corrosión y tiene excelente resistencia.	
Poseen una resistencia al impacto mayor que la madera.	

1.8 Sistema de colado

El sistema de colado permite dirigir el metal fundido hacia los canales de ataque, posterior se dirigirá a la cavidad del molde y formar la pieza.

1.8.1 Copa de vertido

La copa de vertido se ubica en la parte superior del bebedero, utilizada para la entrada del flujo del metal fundido en el sistema de colado. Hay un sinnúmero de geometrías del diseño de la copa de vertido, se conoce que debe ser cónica para facilitar su implementación. Para piezas fundidas pequeñas, como caso de estudio, la copa de vertido cónica tiene una conducta adecuada[7].

La copa de vaciado debe tener una altura fija de la caja de molde, lo que controlan directamente las dimensiones del bebedero, de acuerdo con la Figura 12 se realiza un dimensionamiento aproximado para el diseño de la copa de vertido, estableciendo como D_{bs} el diámetro superior del bebedero, D_{pc} el diámetro inferior y H la altura de la taza de colada[7].

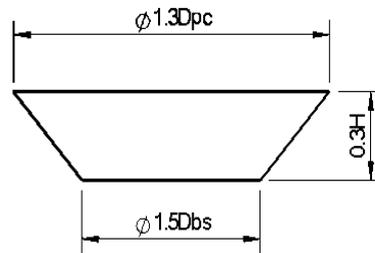


Figura 12. Diseño de copa de vaciado [Autor].

1.8.2 Bebedero

El bebedero es la parte vertical del sistema de alimentación, que provee al metal fundido de energía potencial y cinética suficiente para llenar la cavidad del molde. En consecuencia, es una de las partes más fundamentales dentro del análisis del sistema de alimentación por ende es importante su diseño correcto con el fin de que el metal fundido ocupe la sección destinada y no permita introducir gas o aire en el interior del molde. En la Figura 13 se ilustra los parámetros de diseño donde esta complementada de la base superior copa de vertido, permitiendo una adecuada corriente del fluido, proporcionando un caudal uniforme al bebedero de forma que no se produzcan turbulencias durante la trayectoria del metal. Por lo que es recomendable que el bebedero sea de manera cónica con 5° (ángulo de conicidad). [7][17].

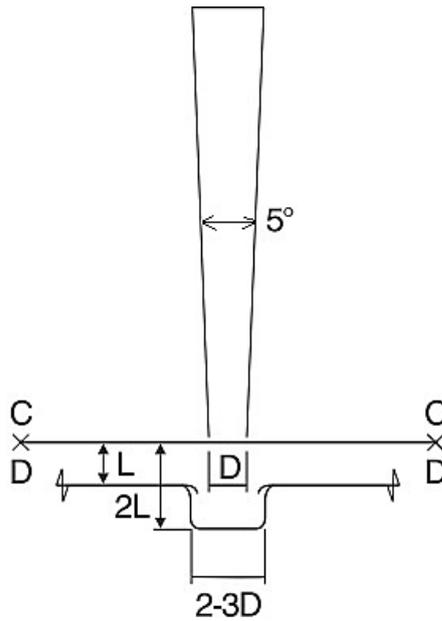


Figura 13. Diseño cónico del bebedero[17].

El diseño cónico de los bebederos permite que la presión en la parte superior del bebedero es igual a la presión del fondo no habrá pérdidas por fricción, la relación de la altura y el área de la sección transversal en cualquier punto está determinada por una relación parabólica, de acuerdo con la Figura 14. Esto conforme en metal acelere durante la trayectoria del descenso debido a la abertura del bebedero, el área de la sección transversal del canal del bebedero debe reducirse[11][12].

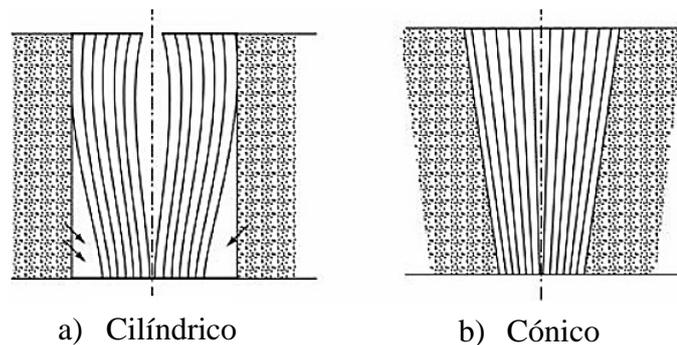


Figura 14. a) Diseño cilíndrico del bebedero; b) Diseño cónico del bebedero[17].

Tenga en cuenta que, en un líquido en caída libre, el área de la sección transversal del flujo disminuye al aumentar la velocidad. Si diseñamos un corredor con un área de sección transversal constante y vertemos metal en él, puede haber áreas donde el líquido pierda contacto con las paredes del corredor. Como resultado, puede ocurrir aspiración o aire atrapado en líquido. Con la finalidad de evitar esta condición, el bebedero se diseña como un ensanchamiento, de manera que el gasto volumétrico vA

siempre sea igual en la sección superior e inferior. Una alternativa común a las correderas cónicas es usar correderas de lados rectos con un mecanismo de estrangulamiento en la parte inferior de un canal de ataque estrangulador. El estrangulador reduce el flujo lo suficiente como para evitar la succión de aire del bebedero[11][12].

1.8.3 Pozo de colado

El pozo de colado constituye la unión entre el canal de colada y el fondo del bebedero. Este debe permitir una transición adecuada o suave del flujo del metal líquido, ya que este es el encargado de recibir el metal líquido a su mayor velocidad por acción de la bajada desde el bebedero, por lo cual debe permitir redireccionar horizontalmente hacia los canales de colada[7][18].

Los diseños usualmente utilizados por acciones de efectividad y simpleza es un diseño cilíndrico, que establece un área 5 veces mayor al área menor del bebedero. La altura se establece en relación con el canal de colada y debe ser 2 veces superior, los parámetros se ilustran en la Figura 15, este diseño optimizado fue para la eliminación de burbujas de gas y oxidación es potencial en función del tiempo[7].

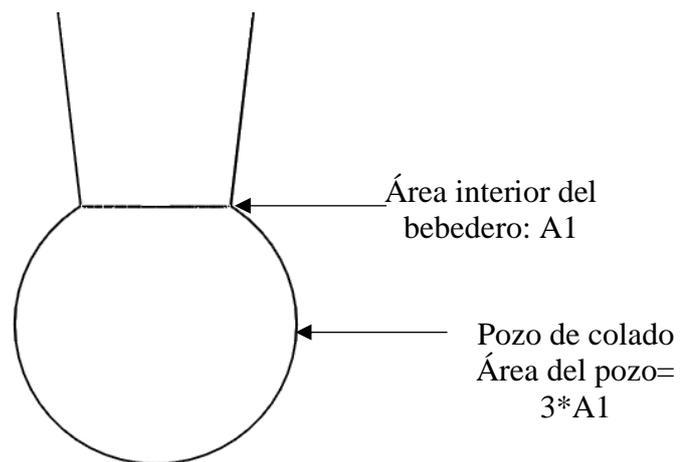


Figura 15. Parámetros para el diseño del pozo de colada [Autor].

1.9 Sistema de colado y compensación

El sistema de colado es el conjunto de canales encargados de conducir el metal líquido hacia la cavidad del molde para el llenado de la pieza. Hay muchas formas del llenado del molde, esto especialmente depende de la disposición del canal. Por tanto, se

recomienda tomar el llenado por la línea de partición del molde por ser un sistema sencillo de implementación[7].

Sistema de colado está formado de bebedero, copa de colado, bebedero, pozo de colada, canal de ataque, el canal de salida y mazarota como se ilustra en la Figura 16. En el diseño del sistema de colado se especifica a parámetros de diseño de acuerdo con las siguientes consideraciones:

Por el modelo: Se deben alimentar en la parte más gruesa o dimensión mayor del modelo consiguiendo garantizar una solidificación dirigida. Para modelos de piezas pequeñas se debe alimentar por un solo punto. Entonces, de acuerdo con la geometría de la pieza se toma en consideración un sistema de alimentación con un solo ataque tomando en cuenta tres posibilidades de localización en base a la vertical de la pieza de tres zonas de geometría planas[7].

Por la morfología: Debe ubicarse de manera que el material de fundición no sea perpendicular a las partes del molde. Estos se prevén al diseñar un sistema de colado con canales de ataque se colocan en los extremos de la pieza[7].

Por el dimensionamiento: Los canales de alimentación deben ser los más cortos posibles con el objetivo de evitar enfriamientos prematuros. En esta sección tomaremos longitud en el canal de ataque de 40 mm esto con el fin de evitar turbulencias extremas debidas al cambio de dirección que hay entre el pozo y canal ataque, también el pozo de colado hace la función de acumulador de residuos[7].

Por el posicionamiento: el canal de colada se recomienda colocar separadas de las zonas calientes y de las paredes de las cajas de moldeo. En esta sección la ubicación se involucran las dimensiones de la caja de moldeo, las distancias mínimas entre los sistemas y las paredes de la caja de moldeo, como la facilidad del moldeo y desmoldeo. Las fundiciones pequeñas se establecen distancias mínimas entre la pieza y los sistemas de alimentación con las paredes del molde[7].

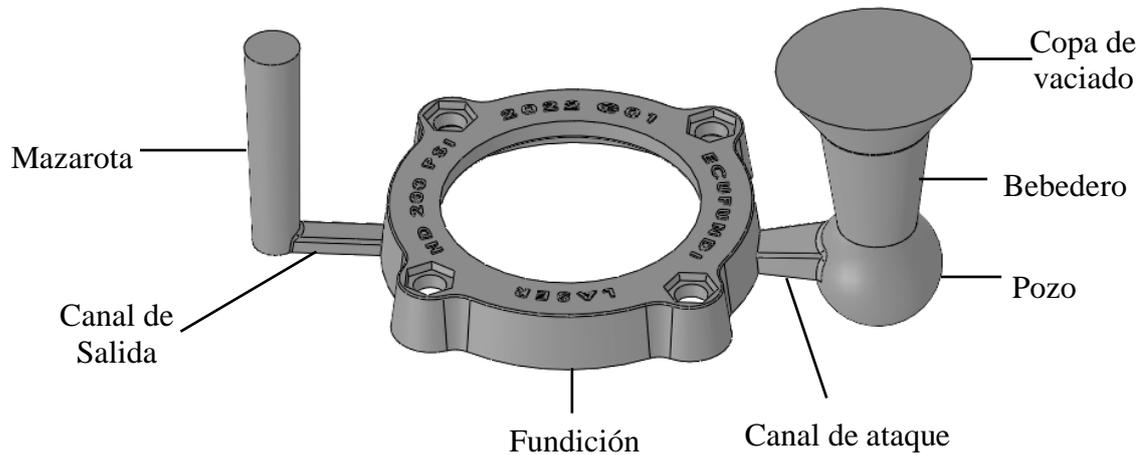


Figura 16. Elementos que componen el sistema de colado [Autor].

Hay un sinnúmero de modelos de sistema de alimentación de acuerdo del canal de ataque, así como de la relación de colada. Por ende, se toma en cuenta los sistemas a presión esto para cuando el área final del bebedero es mayor alargue del canal de colada, y por lo tanto será mayor al área del canal de ataque. Con ello se establece que el metal fundido incrementa su velocidad, por lo que la reducción de un área de paso para conservar el caudal del metal se incrementa la presión[7].

1.9.1 Canal de ataque

La función de los canales de ataque es la de dirigir el metal fundido hacia la cavidad del molde, el canal del ataque se une con el pozo de colado, la función principal es ser el enlace entre los dos, en la Figura 17 se ilustra el diseño con un área mayor a la salida del pozo y un área menor al contacto con la pieza, por lo que resulta en una aceleración del flujo en el paso del metal fundido por este canal[7].

Para establecer el número de canales de colado se debe tomar en cuenta las dimensiones de la fundición, se recomienda un diseño de los canales lo más cortos posibles con el fin de evitar enfriamientos prematuros del metal, para piezas de sencilla geometría y un bajo volumen se ha de diseñar con un canal de ataque.

El diseño de los canales se toma el ancho entre 1 a 3 veces al alto para permitir presión y velocidad, por el área de canal de ataque permite transformar de un flujo turbulento a laminar[7].

Redondeo 1 mm 

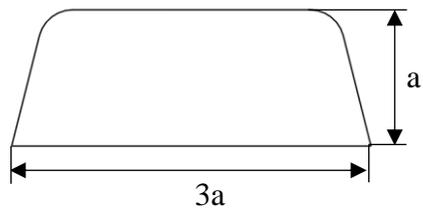


Figura 17. Forma del canal de ataque [Autor].

Frecuentemente los canales de colado deben ser de implementación fácil y horizontales, tomando en cuenta la disponibilidad para esto se posicionan verticalmente y con un cierto ángulo de inclinación. Normalmente van ubicadas en la línea de partición en cajas de moldeo bipartidas lo que permite una comodidad en la generación del modelo y de la extracción[7].

1.9.2 Mazarota

Durante el proceso de solidificación y enfriamiento de la fundición ocurre una contracción volumétrica del material metálico dando la reducción en el tamaño puede generar defectos internos en la pieza como consecuencia inutilidad para el objeto de su construcción. La desventaja del uso de mazarotas es evidente por los costos que supone su implementación y extracción de esta, la parte que alimenta la mazarota genera una región de presión reducida por lo cual evita la generación de poros o micro segregaciones[7].

La mazarota es el reservorio de metal fundido que cuenta con el volumen suficiente con el objetivo de alimentar al modelo en cualquier instante para evitar las contracciones volumétricas. Hay numerosos tipos de sistemas de compensación o llamadas también mazarotas de acuerdo requerimiento, este debe solidificarse o enfriarse tiempo después que el modelo, se disponen de diseños de mazarotas que se ubica encima o partes laterales contorno de la pieza. En la Figura 18 se ilustra los dos tipos de mazarotas más frecuentes[7].

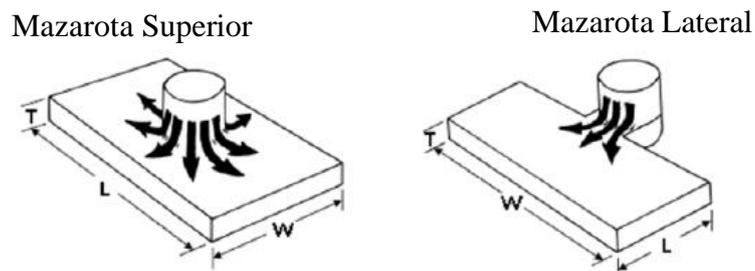


Figura 18. Disposición de mazarotas [7].

La mazarota abierta la cual posee su parte superior libre de contacto con la atmósfera o la mazarota cerrado la cual está tapada por el molde por todas sus superficies, las mazarotas se sitúan en zonas calientes o en puntos de difícil alimentación. Se utiliza generalmente una sola mazarota para fundiciones compactas y obtener un resultado aceptable, en piezas fundidas con geometría compleja o conjunto de fundiciones se requiere necesariamente la utilización de un mayor número de mazarotas [7].

En el dimensionamiento de la mazarota se inicia con el estudio del tiempo de solidificación de la pieza puesto que cumplen de la pieza se solidifique en un período posterior a la mazarota. Por lo cual, la mazarota debe tener mayor o igual módulo de enfriamiento de las partes de la pieza que alimenta. También, el volumen requerido de la masa rota se determina por la cantidad del metal de requerido con el objetivo de compensar la contracción del metal solidificado[7].

1.10 Fabricación de los moldes

Se determinan moldes desechables que son fabricados con arena cernida, arena nueva, bentonita, carbón luminoso y agua. se combinan con distintos aglutinantes (agentes de unión) para mejorar las propiedades. Un molde de arena está constituido de arena, 7% de arcilla y 3% de agua. Estos materiales son refractarios (capaces de soportar altas temperaturas del metal fundido). Luego que la fundición se solidifique, se destruye el molde de área para retirar la pieza[19][20].

- Los modelos se ubican en la placa con los bujes de alineación.
- La mitad del modelo se ensambla colocando la placa modelo a la caja de modelo utilizando las guías de alineación, ubicando los insertos de las mazarotas y bebedero.
- En la caja de moldeo se vierte la arena de contacto, luego se compacta con la pistola de impacto y se retira la placa y los insertos (mazarotas y bebedero).
- La placa modelo y caja de moldeo se invierten, la mitad inferior del modelo se produce de manera similar.
- La placa modelo y la caja de modelo se invierten para retirar la placa modelo realizando pequeños golpes para su extracción.
- En los moldes de arena se hace pasar una corriente de aire para limpiar la arena u otras impurezas.
- Se coloca los noyos dentro de la cavidad para establecer la figura interna de la pieza.

- El molde completo se cierra al ubicar el molde superior sobre el molde inferior y fijando correctamente el ensamble con las guías de alineación de las cajas de moldeo. En el molde superior se aplica una presión (Peso) para evitar su levantamiento por acción de las fuerzas de flotación del líquido.
- El metal líquido vertido y solidificado es extraído de los moldes de arena.
- El bebedero, mazarotas y canales de alimentación son cortados y reciclados. Las piezas fundidas se limpian, inspeccionan visualmente y se rectifican de ser necesario.

1.10.1 Ángulos de salida

La conicidad en los modelos para moldes de arena, que permita extraer el modelo sin dañar el molde. Los ángulos de salida suelen ir de 5 a 15 mm/m (1/16 a 3/16 pulgada/pie). Dependiendo de la calidad del modelo, es común que los ángulos de salida sean de 0.5° a 2°. En la Figura 19 se ilustra los ángulos en superficies internas son por lo general dos veces esta medida; tienen que ser mayores a los de las superficies exteriores porque la fundición se contrae hacia dentro, hacia el núcleo[11], [21].

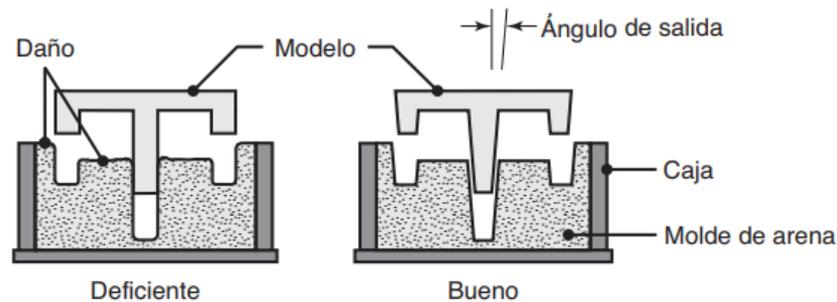


Figura 19. Ángulo de salida del modelo para la extracción del molde de arena [11].

1.10.2 Machos

El macho es la fracción del molde fabricada por separado y con el propósito de establecer las secciones internas de la pieza fundida, para la realización de las superficies internas en el fundido de una pieza es necesario un macho, noyo, corazón o núcleos. El macho es un modelo con un tamaño real con dimensiones del interior de la pieza, es necesario insertar el macho en la cavidad en el molde previo al proceso de vertido del metal líquido, con esto el metal líquido fluirá llenando la cavidad y luego se dará el proceso de solidificación que tendrá lugar entre la cavidad del molde y el núcleo, finalmente se formará la geometría externa e interna de la pieza fundida[4][13].

Generalmente, un macho está realizado de arena compacta con el fin de dar la forma requerida. Asimismo, el macho deberá tener tolerancias en el dimensionamiento debido al efecto de la contracción y el maquinado final[4].

De acuerdo con el requerimiento de la forma de la pieza, el núcleo puede estar formado de soportes con el fin de dar una posición correcta para la cavidad durante el proceso de vertido del metal. A los soportes también se los llama coronas, estos están fabricados por un metal cuya temperatura de fusión es mayor que la del metal a fundir, en la Figura 20 se ilustra el molde de arena donde va ubicado los noyos del tambor [4][22].

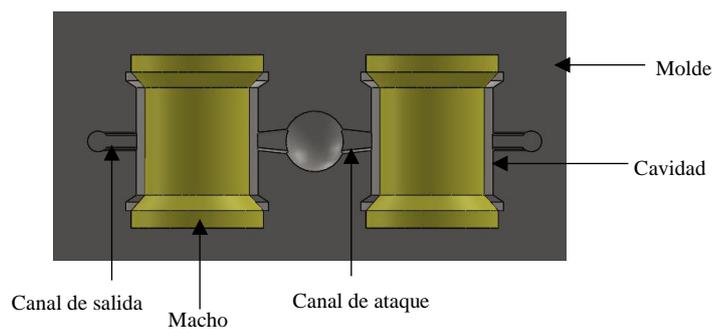


Figura 20. Machos alojados en la cavidad realizada por el modelo [Autor].

- **Propiedades de los machos**

- Resistencia durante el colado: proporcionar resistencia durante la manipulación y el proceso de colado del metal líquido, evitar deformaciones.
- Permeabilidad: facilita la evacuación de gases.
- Baja deformación por dilatación: evitar las grietas o fracturas, que genera defectos internos. Debido que el macho está sometido a calor por un tiempo elevado, pero menor al tiempo de solidificación de la masa metálica que lo rodea.
- Bajo costo: Para un proceso de fabricación de piezas se tiene que elaborar un estudio de rentabilidad tomando en cuenta la cantidad de machos y el tamaño.
- Buen acabado superficial: Debe brindar un excelente acabado interno, establecido por un índice de mayor finura y apisonado hasta donde sea dable sin afectar a las propiedades de permeabilidad, la elasticidad, dilatación y friabilidad.

- Baja oposición a la contracción del metal: Los machos deben tener la propiedad de elasticidad por la acción de la contracción del metal, una alta compactación del macho reduce la permeabilidad lo que ocasiona que se deslicen entre si los granos e irrumpan los espacios entre sí[5].
- Tendencia baja de generar gas

- **Machos con silicato de sodio-CO2**

El silicato de sodio se utiliza como aglomerante en la fabricación de machos en piezas de acero y hierro dúctil a elevadas temperaturas. Hay variantes para la constitución de noyos en nuestro caso ocupamos la siguiente: Arena sílice, silicato de sodio y el agente endurecedor o catalizador CO2.

En la Tabla 11 se describe la composición, además el proceso consiste en preparar una mezcla con cantidad para nuestro requerimiento de 16 kg con 1 litro de silicato de sodio, con la que se coloca en la caja de noyos y compactándola para no dejar hueco o cavidades. Se hace pasar una corriente de bióxido de carbono (CO2) sobre el noyo produciendo el efecto de endurecimiento, estas cantidades permiten realizar 6 noyos del tambor de la unión gibault de 3 kg de masa por cada unidad[20].

Tabla 11. Composición de noyo del tambor [Autor].

ARENA DE MOLDEO	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Arena de sílice	16 kg
Silicato de sodio	1.2 litros
Bióxido de carbono (CO2)	10 psi (1 minuto)

La relación de proporción estimada para composición del noyo es por cada 1 kg de arena sílice se requiere de 75 mililitros de silicato de sodio.

- **Fabricación de cajas o modelos de noyos**

Las cajas o modelos de los machos pueden ser elaborados de madera, metal o de plástico. Están compuestas por secciones aco plantas por medio de guías de unión, en la sección hueca se ubica y apisona la arena, para aumentar la rigidez y resistencia del macho se utiliza armaduras, refuerzos o varillas. La Figura 22 y 22 se muestra el modelo noyo este se elabora con un sistema de sujeción entre las secciones de la caja para garantizar el tamaño correcto del macho[5].

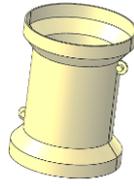


Figura 21. Ensamble de caja modelo de noyo del tambor [Autor].

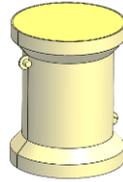


Figura 22. Noyo del tambor conformada por caja de modelo [Autor].

1.10.3 Proceso de fundición de las bridas y tambor de la unión gibault

- Primero se calienta el metal a una temperatura alta que logre transformar el Metal a estado líquido por completo. Seguido se vierte hacia la cavidad del molde. En un molde abierto y metal líquido se vierte hasta que la cavidad abierta se llene. En un molde cerrado se realiza un sistema de paso, permitiendo que el metal derretido fluya desde el exterior del molde hacia la cavidad.
- El metal fundido llega el molde, este comienza a enfriarse, la temperatura baja lo suficiente, es decir hasta poder retirarlo. La solidificación es el cambio de fase del metal, se necesita de tiempo para realizar el cambio de fase, dentro de este procedimiento hay una pérdida considerable de calor. Durante esta etapa el metal adquiere la forma sólida de la cavidad del molde, además sí establece varias propiedades y características del fundido[10].
- Cuando el fundido se haya enfriado lo necesario, se procede a retirar el molde. De acuerdo con el método de fundido y el metal es requerido, se podrá requerir de un proceso adicional.

Los factores primordiales que considerar en las operaciones de fundición son:

- El flujo del metal fundido dentro de la cavidad del molde.
- La solidificación y enfriamiento del metal
- La influencia del tipo de material del molde

1.11 Mecanizado

El mecanizado es fundamental para realizar un acabado correcto y usar adecuadamente las herramientas en operaciones de desbastado, planeado, escuadrado, acabado, refrentado, perforado, entre otros.

En el cálculo de velocidades de los herramientas en las operaciones de desbaste y acabado se requiere hallar la velocidad del husillo, avances de corte y profundidad por pasada.

- **Velocidad del husillo**

En base [23] utilizando la ecuación (11) se determina la velocidad del husillo.

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \phi \cdot Z} \quad (11)$$

Donde, n es la velocidad del husillo, V_c es la velocidad de corte, ϕ es el diámetro de la herramienta y Z es el número de filos cortantes de la herramienta.

Avances de corte

Utilizando la ecuación (12) permite calcular el avance de corte.

$$Vf = f_z \cdot n \cdot Z \quad (12)$$

Donde, Vf es el avance de corte, n es la velocidad del husillo, f_z es el avance por filos cortantes y Z es el número de filos cortantes de la herramienta.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales y equipos

A continuación, se especifican los materiales y equipos utilizados para el desarrollo del proyecto técnico.

2.1.1 Materiales

2.1.1.1 Acero ASTM A36

Es un tipo de estructural al carbono de alta calidad, también es llamada como hierro negro, tiene excelentes propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo con la Tabla 12; por lo cual es uno de los aceros más requeridos para la construcción de estructuras remachadas, soldadas o atornilladas. Se utilizó en la fabricación placas de sujeción 72x42 cm para los modelos del tambor y brida, como uso en el ámbito de la ingeniería y construcción; las planchas se ilustran en la Figura 23.

Tabla 12. Propiedades física y mecánicas de Acero ASTM A36[24].

Propiedades físicas	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Densidad	7.85 g/cm ³	0.284 lb/in ³
Propiedades Mecánicas	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Resistencia a la tracción	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Límite elástico	250 MPa	36300 psi
Elongación en rotura	20 %	20 %
Módulo elástico	200 GPa	29000 ksi
Coefficiente de Poisson	0.26	0.26
Módulo cortante	79.3 GPa	11500 ksi



Figura 23. Planchas de Acero ASTM 36 [2].

2.1.1.2 Hierro dúctil

El material de fundición es hierro dúctil donde las propiedades de físicas se detallan en la Tabla 13, el grafito de halla de forma nodular o esferoidal, la propiedad del material es que sea dúctil y resistente a impacto. La forma de hojuelas de grafito se modifica a nódulos por medio de la adición de pequeñas cantidades de magnesio o cerio al metal fundido previo a colarlo. Aplicaciones en componentes de maquinaria que requieran resistencia elevada y excelente resistencia al desgaste[12][11].

Tabla 13. Propiedades del Hierro Dúctil [25].

Propiedades físicas	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Densidad	7.10 - 7.20 g/cm ³	0.257 - 0.260 lb/in ³
Propiedades Mecánicas	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Resistencia a la tracción	448 MPa	65000 psi
Límite elástico	310 MPa	45000 psi
Elongación en rotura	12 %	12 %
Dureza, Brinell	131 - 220	131 - 220

En la Tabla 14 se describe la composición y Figura 24 se ilustra la estructura del hierro nodular es con base en parámetros del grado 65-45-12 Norma NTE INEN 2499:2009, con 0,77% liga SNAM MG9033LA, 330 Kg de acero y 130 Kg de retorno obteniendo una resistencia a la tracción de 678,61 MPa, un límite de fluencia de 404,61 MPa y un % de elongación de 15,78 [26].

Tabla 14. Parámetros del grado 65-45-12 Norma NTE INEN 2499:2009 [26].

Propiedades Mecánicas	Grado 65-45-12 NTE INEN 2499:2009	330 kg Acero + 130 retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA
Resistencia a la tracción (Mpa)	448	678,61
Límite de fluencia (Mpa)	310	404,61
% de elongación	12	15,78

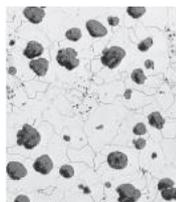


Figura 24. Hierro nodular con grafito en forma nodular [26].

En la Tabla 15 se describe la composición del Ferro magnesio liga SNAM MG9033LA utilizado en el proyecto técnico.

Tabla 15. Composición química SNAM MG9033LA [Quintal S.A.].

ELEMENTO	PORCENTAJE
MAGNESIUM	8.0 - 9.0 %
CALCIUM	2.75 - 3.25 %
RARE EARTH	3.25 - 3.5 %
LANTHANUM	2.5 - 3.0 %
SILICON	43.0 - 48.0 %
ALUMINIUM	1.0 % máx.
IRON	REST

2.1.1.3 Aluminio Fundido

El aluminio fundido es un material de mayor calidad, característica de ser más liviano, tiene alta resistencia a la corrosión, permite un anodizado gustoso, material soldable, tiene la característica de ser maleable, las propiedades físicas se detallan en la Tabla 16. En la Figura 25 se ilustra los bloques de aluminio de 25x25 cm para los modelos de la brida.

Tabla 16. Propiedades del Aluminio fundido[24].

Propiedades físicas	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Densidad	7.53g/cm ³	0.272 lb/in ³
Propiedades Mecánicas	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Resistencia a la tracción	450 MPa	65300 psi
Limite elástico	170 MPa	24700 psi
Elongación en rotura	20 %	20 %
Dureza, Brinell	140	140
Módulo de elasticidad	110 GPA	16000 ksi



Figura 25. Bloques de aluminio fundidos[24].

2.1.2 Equipos, herramientas y Máquinas.

Los equipos y herramientas utilizados para la fabricación de la placa modelo se especifica a continuación en la Tabla 17 donde se detalla la fotografía, descripción y funcionalidad:

Tabla 17. Lista de herramienta y equipo utilizados [Autor].

Listado de herramientas y equipos		
Fotografía	Descripción	Funcionalidad
	Computador Portátil	Requerida para la elaboración de la memoria técnica, así mismo útil para realizar diseño CAD de partes, realizar simulaciones y establecer planos de construcción.
	Memoria USB	Transferir información
	Calibrador pie de rey	Herramienta para medir con un margen precisión de ± 0.01 .
	Flexómetro	Equipo de medición con un margen de precisión de ± 1 .
	Llaves mixtas	Herramientas utilizadas para realizar aprietes de pernos de las máquinas.

Tabla 17. Lista de herramienta y equipo utilizados (Continuación) [Autor].

Fotografía	Descripción	Funcionalidad
	Llave Inglesa	Herramienta utilizada para realizar aprietes de pernos de las máquinas.
	Barra porta inserto	Herramienta de corte utilizada para el cuadrado y desbaste del modelo.
	Fresa esférica	Herramienta de corte utilizada para el desbaste del modelo.
	Fresa cilíndrica	Herramienta de corte utilizada para el acabado de detalles finos del modelo.
	Broca de centro	Herramienta de corte utilizada perforar del modelo.
	Brocas	Herramientas de corte para realizar perforaciones en la placa de sujeción y modelos.
	Juego de machuelos	Herramienta empleada para conformar roscas.

Tabla 17. Lista de herramienta y equipo utilizados (Continuación) [Autor].

Fotografía	Descripción	Funcionalidad
	Amoladora angular	Herramienta de corte para realizar operaciones de desbaste de modelos y corte de piezas.
	Rectificador (Motor tool)	Herramienta de corte para realizar operaciones de acabados o afinados en los modelos.
	Esmeril	Herramienta de desbaste para retirar el exceso de material en los modelos.
	Compresor de aire	Máquina utilizada para las operaciones de construcción del centro de mecanizado, rectificador, limpieza de los modelos, entre otros.
	Taladro de columna	Máquina utilizada para perforar la placa de sujeción y modelos con brocas de diferentes diámetros.
	Soldadura TIG	Máquina utiliza para unir por electrodo refractario y gas inerte los perfil estructurales tipo “G” de las cajas de moldeo.

Tabla 17. Lista de herramienta y equipo utilizados (Continuación) [Autor].

Fotografía	Descripción	Funcionalidad
	Soldadura SMAW	Máquina utilizada para unir por electrodo planchas de acero, componentes de sujeción y manijas.
	Torno	Máquina utilizada en el modelo del tambor en operaciones de mecanizado por revolución, eliminado material en forma de viruta.
	Dobladora	Máquina utilizada para realizar doblez en placas o varillas.
	Centro de Mecanizado- KIAMT	Maquinaria utilizada en operaciones desbaste y acabado.
	Electro de hilo	Máquina de corte utiliza para retirar el exceso de material del modelo.
	Horno de inducción	Máquina eléctrica utilizada para realizar el proceso de fundición de hierro nodular.

2.2 Modalidad de investigación

El marco metodológico compone la parte central de la investigación. Es decir, se describe el desarrollo del trabajo investigativo, la especificación de la población el cual se sujeta al estudio, pero fundamentalmente se refiere al diseño de instrumentos de recolección de datos.

También, en este punto del trabajo, se presenta lo diferentes métodos requeridos para el progreso de este. Por lo tanto, el marco metodológico abarca los recursos necesarios para desarrollar el trabajo de investigación.

a. Bibliográfica

La metodología bibliográfica se usa en la recolección de datos para conseguir referencias de libros, artículos científicos, normas y otras fuentes de información evidentes, que permita formar un marco teórico con investigaciones preliminarmente hechas sobre los materiales, diseño y modelos de placas modelos.

b. De campo

La metodología de campo se usa para comparar las opciones de selección de los materiales en la fabricación en las placas modelos y en la selección del material para los modelos.

2.3 Nivel tipo de investigación

a. Exploratoria

La investigación exploratoria de usa para conocer la información técnica del material que se usara para el maquinado de las diferentes piezas, la materia prima para obtener la unión gibault de 6 pulgadas.

b. Descriptiva

Por medio del método descriptivo se describe los parámetros de los materiales seleccionados para la fabricación de la placa modelo, para el tipo de diseño de la placa modelo para construir.

2.4 Metodología del proyecto.

En nuestro caso el proyecto técnico deberá contemplar parámetros estructurales que estarán evaluados de acuerdo con los parámetros de diseño que serán contemplados posteriormente con el desarrollo del proyecto.

Dado que el presente proyecto técnico se enfoca en realizar el diseño de una placa modelo con sistema de colado incorporado para la unión Gibault de 6 pulgadas, se recurrirá a un diseño experimental, debido a que se cuenta con la información y sustento teórico suficiente, sobre diseño y construcción.

Una vez construida la placa modelo se verificará para su correcto funcionamiento con el apoyo modelado y fundición de piezas, las cuales deben soportar 250 psi, que se especifica la carga de servicio. Además, se implementará el sistema de colado incorporado para la elaboración de moldes desechables en arena con la finalidad que el proceso sea más rápido y optimice tiempo.

Los programas que se utilizará para el presente proyecto son el software de dibujo para realizar el diseño de los componentes de la placa modelos, ANSYS que permitirá evaluar parámetros de diseño, a más de eso utilizará el software EXCEL para la tabulación de datos y Word para la elaboración de la memoria técnica.

2.5 Norma ANSI/AWWA C219, Acoplamientos atornillados tipo manguito para tuberías de extremo liso.

Para mantener el rendimiento de la estanqueidad, los acoplamientos se diseñarán para controlar la relajación a largo plazo de las juntas causada por las propiedades de fluencia de los compuestos elastoméricos. El comprador debe proporcionar la presión nominal, la presión transitoria y la presión de prueba a la que se someterá el acoplamiento durante el servicio[27][28].

Manguitos centrales. A menos que el comprador especifique lo contrario, el fabricante determinará el grosor adecuado del material del manguito y la longitud de este para el uso prescrito por el comprador. Los manguitos centrales deben cumplir con las longitudes mínimas indicadas en la Tabla 19, se utilizará la fórmula de Barlow para determinar el espesor mínimo del manguito central mediante la Ecuación(13)[27].

$$t = \frac{PD}{2S} \quad (13)$$

Donde:

t = espesor del manguito central, pulg. (mm)

P= presión nominal del acoplamiento, psi (MPa)

D= diámetro exterior del manguito central, mm (pulg.)

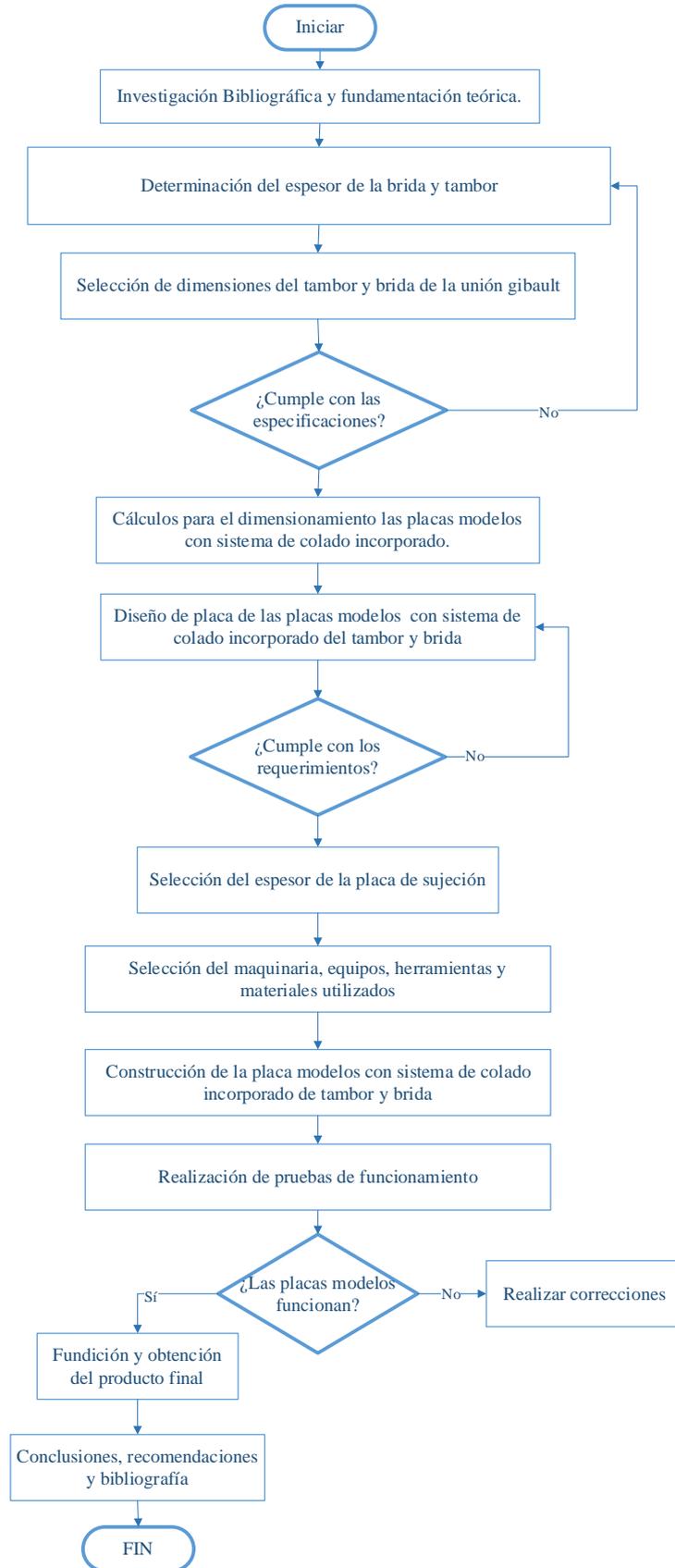
$S = 0,5 \times$ el límite elástico mínimo especificado del material del manguito central, psi (MPa).

La Tabla 18 indica la resistencia a la tracción del tambor mediante la norma ASTM B126 CLASE B.

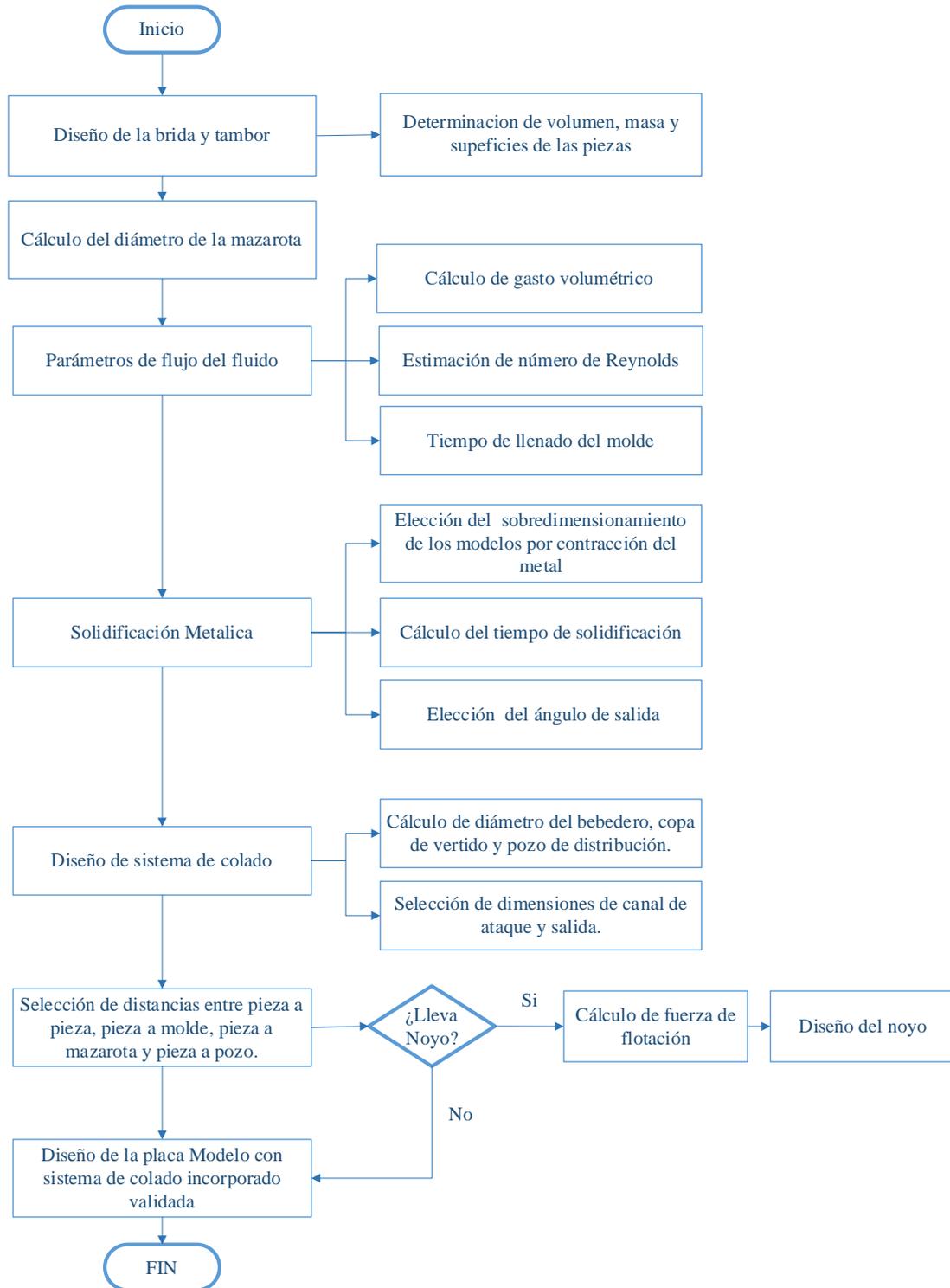
Tabla 18. Norma ASTM A 216-95 Especificación estándar para Fundiciones de hierro gris para válvulas, bridas y accesorios de tubería[28].

	Clase A	Clase B	Clase C
Resistencia a la tracción, min, ksi (MPa)	21 (145)	31(214)	41(283)

2.6 Etapas del proyecto



2.7 Etapas para estimar las dimensiones del sistema de colado incorporado.



CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cálculo de espesor del tambor mediante la norma ANSI/AWWA C219

Se realizó el cálculo de espesor adecuado y la longitud de tambor utilizando la norma ANSI/AWWA C219, de material hierro nodular y de aplicación de unión de tubería de agua potable de 6 pulgadas. El tambor cumple con las longitudes mínimas indicadas en la Tabla 19, utilizando la fórmula de Barlow para determinar el espesor mínimo del tambor central mediante la ecuación(13)[27].

Tabla 19. Longitud mínima de la manga central[27].

Tamaño nominal del grupo de tubería		Longitud mínima del manguito central	
in.	(mm)	in.	(mm)
1/2 a ≤ 2	(13 a ≤ 50)	3 1/2	89
> 2 a ≤ 12	(> 50 a ≤ 300)	4	102
> 12 a ≤ 18	(> 300 a ≤ 450)	5	127
> 18 a ≤ 36	(> 450 a ≤ 900)	6	152
> 36 a ≤ 72	(> 900 a ≤ 1,800)	7	178
> 72	(> 1,800)	10	254

$$t = \frac{PD}{2S} \quad (1)$$

Datos:

$$P = 200 \text{ Psi} \approx 17 \text{ MPa}$$

$$D = 6 \text{ in} \approx 152 \text{ mm}$$

$$S = 45\,000 \text{ Psi} \approx 310 \text{ MPa}$$

$$t = \frac{17 \text{ MPa} \cdot 152 \text{ mm}}{2 \cdot 0.5 \cdot 310 \text{ MPa}} = 7,85 \text{ mm} \approx \mathbf{8 \text{ mm}}$$

3.2 Volumen y superficie de la pieza a fundirse

El primer paso para iniciar el diseño de la placa modelo para su fundición se requiere conocer los valores del volumen, del mismo modo que la superficie exterior que estará en contacto directo en el molde por la cual el calor se disipa del material al molde.

- **Volumen y superficie de la brida**

Para nuestro proyecto se modeló las piezas mediante un software basándose en la Norma, especificaciones y dimensiones, en la Figura 26 se detallan las propiedades físicas de la pieza fundida.

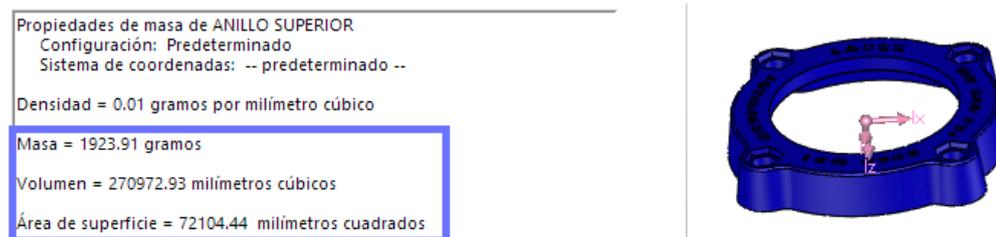


Figura 26. Propiedades de físicas de la brida [Autor].

Se puede observar de la brida tiene un volumen de 270972,93 mm³ y una superficie total de 14 163, 38 mm².

- **Volumen y superficie del tambor**

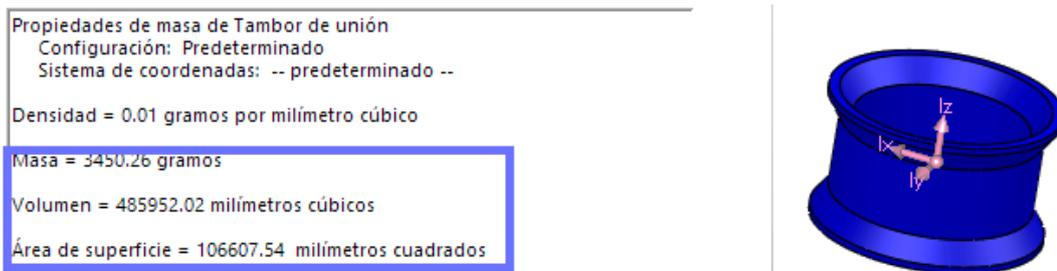


Figura 27. Propiedades de físicas del Tambor [Autor].

En la Figura 27 se ilustra el volumen del Tambor con un valor de 485 952,02 mm³ y una superficie total de 106 607, 54 mm².

3.2.1 Diseño de la Mazarota

El cálculo para determinar el diámetro y altura de la mazarota adecuada en primera instancia es conocer el volumen de la pieza, el diseño más eficiente es una mazarota cilíndrica.

Para calcular los parámetros de la mazarota se utilizan dos criterios y se toma el valor más alto para asegurar que cumpla su función adecuadamente. El criterio uno establece que el volumen total de las mazarotas debe ser mayor al volumen de la contracción de

la pieza. El criterio dos de los módulos, el cual establece que el módulo de enfriamiento de la mazarota debe ser mayor al módulo de enfriamiento de la pieza.

- **Cálculo mazarota para el modelo de la brida**

Criterio de volumen

$$V_{maz} = V_{pieza} \cdot k \cdot c \quad (2)$$

Donde, V_{maz} es el volumen de la mazarota, V_{pieza} es el volumen de la pieza, c coeficiente volumétrica del meta (hierro dúctil 2,5%) y, k coeficiente de tipo de mazarota (normal $k=2,5$) se resuelve con la Ecuación (2).

$$V_{maz} = 270,973 \text{ cm}^3 \cdot 2,5 \cdot 2,5\%$$

$$\mathbf{V_{maz} = 16,94 \text{ cm}^3}$$

Con el dato del volumen se calcula con la Ecuación (3) el diámetro de la mazarota cuya forma es cilíndrica, se utiliza la relación entre diámetro y altura de $h = 2d$.

$$V_{maz} = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot h \rightarrow \text{reemplazando } h = 2d$$

$$V_{maz} = (\pi/2) \cdot d^3; \quad \text{igualamos a } V_{maz} = 16,94 \text{ cm}^3$$

$$d = \left(\frac{V_{maz}}{\pi/2} \right)^{1/3} \quad (3)$$

$$d = \left(\frac{20,323 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{2}} \right)^{1/3}$$

$$\mathbf{d = 2,2 \text{ cm} \wedge h = 4,4 \text{ cm}}$$

Criterio de módulos de enfriamiento

Utilizando el criterio de módulos de enfriamiento, se realiza el siguiente cálculo. El concepto de módulo de enfriamiento es una reducción del área de Chvorinov, estableciendo una relación entre tiempo de solidificación y el parámetro V/A de la Ecuación (4) para calcular el tiempo de solidificación.

$$M_{pieza} = V_{pieza}/A_{pieza} \quad (4)$$

$$M_{pieza} = \frac{270,973 \text{ cm}^3}{721,04 \text{ cm}^2} = 0,375$$

Se utiliza la $M_{maz} = 1,2 \cdot M_{pieza}$

Entonces; $M_{maz} = 0,45 \text{ cm}$

Por lo tanto, para la mazarota cilíndrica y $M_{maz} = V_{maz}/A_{maz}$, permite calcular mediante la Ecuación (4) el diámetro de la mazarota.

$$M_{maz} = (\pi \cdot r^2 \cdot h) / ((2 \cdot \pi \cdot r^2) + (2 \cdot \pi \cdot h))$$

Reemplazando $h = 2d = 4r$ se obtiene:

$$M_{maz} = \left(2 \cdot \frac{r}{5}\right)$$

$$0,45 \text{ cm} = 2 \cdot \frac{r}{5}$$

$$r = \frac{0,45 \text{ cm} \cdot 5}{2} = 1,13 \text{ cm}$$

$$\mathbf{d = 2,4}$$

$$V_{maz} = M_{maz} \cdot A_{maz}$$

$$A_{maz} = (2 \cdot \pi \cdot r^2) + (2 \cdot \pi \cdot h) = (2 \cdot \pi \cdot (1,2)^2) + (2 \cdot \pi \cdot 12,5) = 87,6 \text{ cm}^2$$

$$V_{maz} = 0,45 \text{ cm} \cdot 87,6 \text{ cm}^2$$

$$V_{maz} = 39,41 \text{ cm}^3 + 26,2 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{V_{maz} = 65,6 \text{ cm}^3}$$

De manera que se toma el valor del diámetro de la mazarota de la brida de $d=2,4 \text{ cm}$; $h= 12,5 \text{ cm}$ y el volumen de la mazarota de $65,6 \text{ cm}^3$.

- **Cálculo mazarota para el modelo del tambor**

Criterio de volumen

$$V_{maz} = V_{pieza} \cdot k \cdot c$$

$$V_{maz} = 485,952 \text{ cm}^3 \cdot 2,5 \cdot 2,5\%$$

$$\mathbf{V_{maz} = 30,4 \text{ cm}^3}$$

$$V_{maz} = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot h \quad \text{reemplazando } h = 2d$$

$$V_{maz} = (\pi/2) \cdot d^3; \quad \text{igualamos a } V_{maz} = 30,4 \text{ cm}^3$$

$$d = \left(\frac{30,4 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{2}} \right)^{1/3}$$

$$\mathbf{d = 2,7 \text{ cm} \wedge h = 5,4 \text{ cm}}$$

Criterio de módulos de enfriamiento

$$M_{pieza} = V_{pieza}/A_{pieza}$$

$$M_{pieza} = \frac{485,952 \text{ cm}^3}{1066,7 \text{ cm}^2} = 0,46$$

Se utiliza la $M_{maz} = 1,2 \cdot M_{pieza}$

$$\text{Entonces; } M_{maz} = 0,55 \text{ cm}$$

Por lo tanto, para la mazarota cilíndrica y $M_{maz} = V_{maz}/A_{maz}$, permite calcular el diámetro de la mazarota.

$$M_{maz} = (\pi \cdot r^2 \cdot h) / ((2 \cdot \pi \cdot r^2) + (2 \cdot \pi \cdot h))$$

$$\text{Reemplazando } h = 2d = 4r \text{ se obtiene } M_{maz} = \left(2 \cdot \frac{r}{5}\right)$$

$$0,55 \text{ cm} = 2 \cdot \frac{r}{5}$$

$$r = \frac{0,55 \text{ cm} \cdot 5}{2} = 1,4 \text{ cm}$$

$$\mathbf{d = 2,8}$$

$$V_{maz} = M_{maz} \cdot A_{maz}$$

$$A_{maz} = (2 \cdot \pi \cdot r^2) + (2 \cdot \pi \cdot h)$$

$$A_{maz} = (2 \cdot \pi \cdot (1,4)^2) + (2 \cdot \pi \cdot 12,5) = 90,9 \text{ cm}^2$$

$$V_{maz} = 0,55 \text{ cm} \cdot 90,9 \text{ cm}^2$$

$$V_{maz} = 49,97 \text{ cm}^3 + 22,7 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{V_{maz} = 72,66 \text{ cm}^3}$$

De manera que se toma el valor del diámetro de la mazarota de la brida y el tambor de $d=2,8 \text{ cm}$; $h= 12,5 \text{ cm}$, además de se obtiene el volumen de la mazarota de $72,66 \text{ cm}^3$. Se elige unas mazarotas laterales abiertas de diámetro de $2,8 \text{ cm}$, altura $12,5 \text{ cm}$ y con un ángulo de salida 1° para el diseño, en la Figura 28 de indica sus valores, teniendo aspectos positivos para la eliminación de escoria y gases, aplicando colectivamente la regla de la contracción y del módulo se adquiere la dimensión óptima del diámetro de la mazarota.

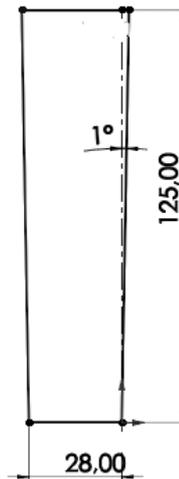


Figura 28. Diseño de mazarota del tambor y brida [Autor].

Se debe tomar en consideración que la mazarota tiene su propio volumen, evitando rechupes de la misma manera dar un tamaño adecuado al canal de vertido. Por lo tanto, se debe verificar la altura de las cajas de moldeo superior e inferior que cumpla con la siguiente proporción.

3.2.2 Cálculo de la velocidad de vertido

Para calcular la velocidad de vertido utilizamos la Ecuación (5) de la fórmula de Torricelli.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

Donde: v es la velocidad del vertido, g es la aceleración debido a la gravedad ($g = 981 \text{ cm/s}^2$), y h es la altura desde el pico de la cuchara de vertido de colada a la base de bebedero.

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot \frac{981 \text{ cm}}{\text{s}^2} \cdot 12 \text{ cm}}$$

$$v = 156,605 \text{ cm/s}$$

3.2.3 Gasto volumétrico

Para calcular el gasto o caudal volumétrico se utiliza la Ecuación (6):

$$Q = v \cdot A_b \quad (6)$$

Donde, v : es la velocidad de vertido y A_b : área del bebedero.

$$A_b = \frac{\pi D_b^2}{4} = \frac{\pi (4 \text{ cm})^2}{4} = 12,57 \text{ cm}^2$$

$$Q = 156,605 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot 12,57 \text{ cm}^2$$

$$Q = 1967,57 \frac{cm^3}{s}$$

- **Número de Reynolds**

En el flujo del fluido se considerará si existe presencia de turbulencias en el sistema de alimentación, utilizada para determinar el aspecto del fluido. Para calcular el número de Reynolds y determinar el tipo de flujo se lo realiza con la Ecuación (7), donde para el hierro dúctil, la densidad $\rho = 7,1 \frac{g}{cm^3}$; y la viscosidad del líquido $\eta = 0,004 \frac{Ns}{m^2} \approx 0,04 \frac{g}{cm \cdot s}$

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (7)$$

$$Re = \frac{156,605 \frac{cm}{s} \cdot 4 \text{ cm} \cdot 7,1 \text{ g/cm}^3}{0,04 \text{ g/cm}^3}$$

$$Re = 111\,189,3$$

Como resultado se obtiene un flujo turbulento con un valor de número de Reynolds de 111 189,3, el cálculo de este valor se tomó el análisis en el punto inferior de bebedero, tomando el valor del diámetro menor. Por lo tanto, se conoce que al ingresar el metal fundido es un flujo turbulento, lo que coincide con el resultado del cálculo realizado. el cálculo del número de Reynolds en el canal de ataque, donde se establece una sección transversal menor.

$$Re = \frac{156,605 \frac{cm}{s} \cdot 0,21 \text{ cm} \cdot 7,1 \text{ g/cm}^3}{0,04 \text{ g/cm}^3}$$

$$Re = 5\,837,44 \Rightarrow OK$$

Para cambiar a un flujo laminar-turbulento, el diseño del pozo de colado es fundamental, debido a que calma el flujo, permitiendo que aquí se quede el aire, escorias y espuma. Como resultado se obtiene un flujo laminar con un valor de número de Reynolds de 5 837.44, para calcular este valor se tomó el análisis en el punto un diámetro de 0.21 cm que corresponde a una estimación del canal de ataque.

Por lo tanto, se conoce que al ingresar a la cavidad el metal fundido es un flujo laminar-turbulento, lo que permite un llenado óptimo.

3.2.4 Tiempo de llenado del molde

El tiempo de llenado del molde calculado debe considerarse un tiempo mínimo. Esto debido a que se ignora las pérdidas por fricción en el análisis y puede existir alguna

obstrucción del flujo en el sistema de paso; por lo tanto, el tiempo de llenado del molde debe resultar mayor al calculado.

- **Tiempo de llenado del molde de la brida**

En la Figura 29 se muestra las propiedades físicas de la pieza fundida que corresponde a la brida.



Figura 29. Pieza fundida correspondiente a la brida [Autor].

Datos:

$$V = 767,511 \text{ cm}^3$$

Sección transversal del canal de ataque: $1,62 \text{ cm}^2$

$$Q = A_c \cdot v = 1,62 \text{ cm}^2 \cdot 156,605 \text{ cm/s} = 252,92 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$T_{MF} = \frac{V}{Q} \tag{8}$$

$$T_{MF} = \frac{767,511 \text{ cm}^3}{252,92 \text{ cm}^3/\text{s}} = 3,03 \text{ s}$$

Se obtiene un tiempo de llenado de la cavidad del molde de la arena de 3,03 segundos mediante la Ecuación (8), lo cual estima un tiempo similar al tiempo en la práctica real.

- **Tiempo de llenado del molde del tambor**

En la Figura 30 se muestra las propiedades físicas de la pieza fundida que corresponde al tambor.

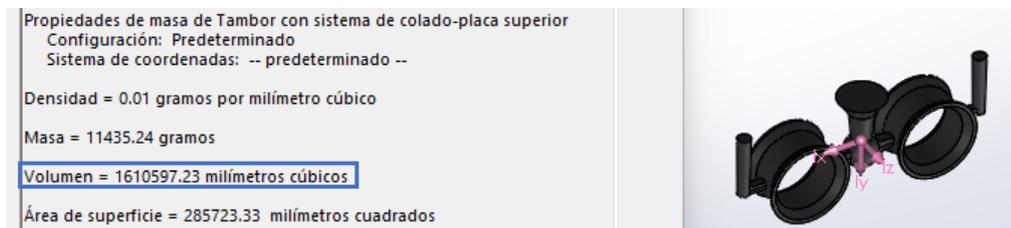


Figura 30. Propiedades físicas de la pieza fundida correspondiente al tambor [Autor].

Datos:

$$V = 1\,610,6 \text{ cm}^3$$

Sección transversal del canal de ataque: $3,23 \text{ cm}^2$

$$Q = A_c \cdot v = 3,23 \text{ cm}^2 \cdot 156,605 \text{ cm/s} = 505,83 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$T_{MF} = \frac{V}{Q}$$

$$T_{MF} = \frac{1\,610,6 \text{ cm}^3}{505,83 \text{ cm}^3/\text{s}} = 3,2 \text{ s}$$

Se obtiene un tiempo de llenado de la cavidad del molde de la arena de 3,2 segundos, lo cual estima un tiempo similar al tiempo en la práctica real.

3.2.5 Cálculo de Tiempo de solidificación

Para calcular el tiempo de solidificación utiliza la regla de Chvorinov, que establece una relación entre el volumen y la superficie de la pieza envase una proporción al tiempo de solidificación establecida por la Ecuación (9) y Ecuación (10) de las propiedades del molde.

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A}\right)^2 \quad (9)$$

$$C_m = \left[\frac{\rho_m L}{(T_m - T_o)}\right]^2 \left[\frac{\pi}{4k\rho c}\right] \left[1 + \left(\frac{c_m \Delta T_s}{L}\right)^2\right] \quad (10)$$

$$C_m = \left[\frac{7100 \cdot 1490}{(1808 - 68)}\right]^2 \left[\frac{\pi}{4 \cdot 124 \cdot 0,0023 \cdot 677}\right] \left[1 + \left(\frac{450 \cdot 1215}{14900}\right)^2\right]$$

$$C_m = 5,483 \text{ min/cm}^2$$

- **Tiempo de solidificación de la brida**

$$T_{TS} = 5,483 \text{ min/cm}^2 \left(\frac{767,51}{1271,96}\right)^2$$

$$T_{TS} = 2,3 \text{ min} = 138,02 \text{ segundos}$$

- **Tiempo de solidificación de tambor**

$$T_{TS} = 5,483 \text{ min/cm}^2 \left(\frac{1610,6}{2857,23}\right)^2$$

$$T_{TS} = 2,1 \text{ min} = 120,5 \text{ segundos}$$

- **Ángulo de desmoldeo**

En nuestro diseño de la brida se colocó un ángulo de salida de 6 grados debido a la geometría de la pieza, como se ilustra en la Figura 31; también debido a la geometría de la cara interna, debido a que la fundición se contrae desde afuera hacia adentro de la pieza. Para el diseño del tambor no se realiza con ángulo de desmoldeo debido a que es una pieza con figura geométrica redonda.

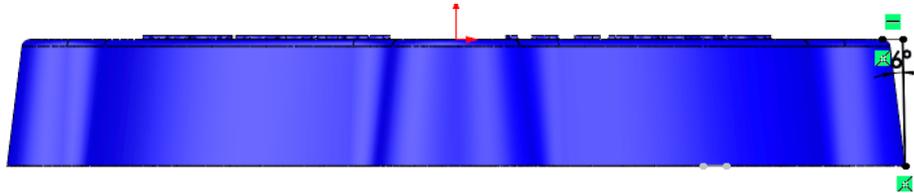


Figura 31. Ángulo de desmoldeo de 6° de la brida [Autor].

- **Dimensionamiento del bebedero**

Ubicación de la línea de partición

En la Figura 32 y 33 se ilustra la línea de partición permite separar en dos mitades el molde. Generalmente, la línea de partición se ubica de manera que abarque un plano único de la pieza, logrando que las rebabas de metal no sean muy evidentes. Para nuestro diseño de la brida se ubicó la línea de partición en el plano superior, para el diseño del tambor se ubicó la línea de partición en la mitad, es decir en el plano superior e inferior.

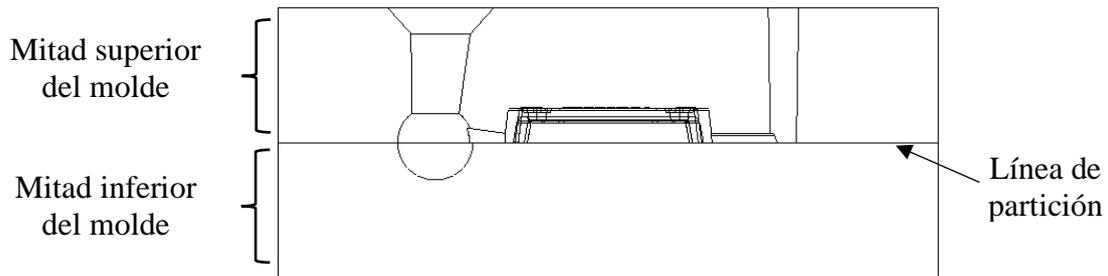


Figura 32. Línea de partición del molde de la brida [Autor].

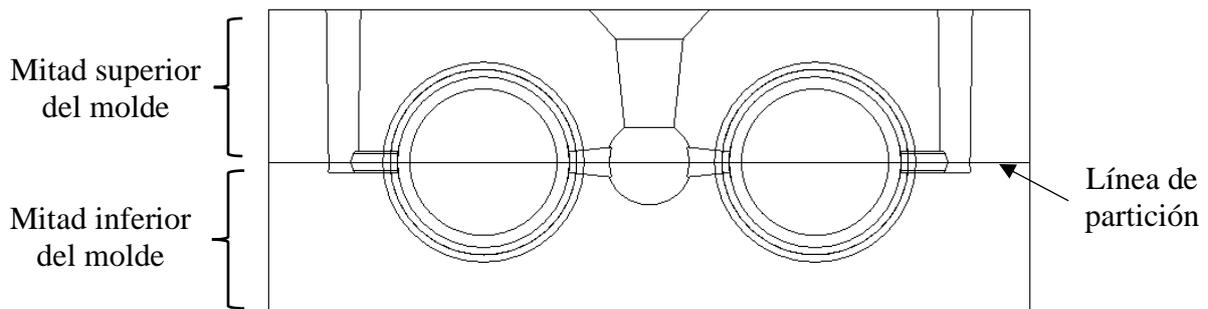


Figura 33. Línea de partición del molde del tambor [Autor].

- **Bebedero**

Se diseñó convenientemente el bebedero de una forma cónica con 5° ángulo de salida, este diseño no permite que haya aspiración de aire en la pieza fundida como se muestra en la Figura 34. Para determinar el diámetro del bebedero se utilizó el valor del volumen de la pieza, el cálculo se realizó utilizando la Ecuación (11).

Tenemos datos de la velocidad de vertido y flujo volumétrico:

$$v = 156,605 \text{ cm/s}$$

$$Q = 1967,95 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q = v \cdot A_b$$

$$A_b = \frac{Q}{v}$$

$$A_b = \frac{\pi D_b^2}{4}$$

$$\text{Reemplazamos } A_b: \frac{\pi D_b^2}{4} = \frac{Q}{v}$$

$$D_b = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{1967,57 \cdot 4}{156,605 \cdot \pi}}$$

$$D_b = 4 \text{ cm}$$

Tenemos datos de la velocidad de vertido y flujo volumétrico:

$$v = 156,605 \text{ cm/s}$$

$$Q = 1967,95 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q = v \cdot A_b$$

$$A_b = \frac{Q}{v}$$

$$A_b = \frac{\pi D_b^2}{4}$$

$$\text{Reemplazamos } A_b: \frac{\pi D_b^2}{4} = \frac{Q}{v}$$

$$D_b = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} \tag{11}$$

$$D_b = \sqrt{\frac{1967,57 \cdot 4}{156,605 \cdot \pi}}$$

$$D_b = 4 \text{ cm}$$

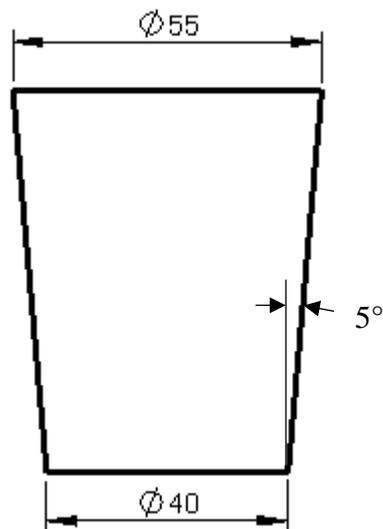


Figura 34. Diseño de bebedero [Autor].

- **Cono de vertido**

El diseño del cono de colado simula a un embudo, por dónde se vierte el metal fundido. Las dimensiones del diámetro superior e inferior de este componente se determinan con el siguiente cálculo de la Ecuación (12) y (13):

Tenemos los siguientes datos: diámetro superior del bebedero 55 mm, diámetro inferior 40 mm y altura 64 mm.

Cálculo:

Diámetro superior de la copa de vertido

$$D_s = 1,3 \cdot D_{pc} \tag{12}$$

$$D_s = 1,3 \cdot 75 = \mathbf{98 \text{ mm}}$$

Diámetro inferior de la copa de vertido

$$D_i = 1,5 \cdot D_{bs} \tag{13}$$

$$D_i = 1,5 \cdot 40 \text{ mm} = \mathbf{55 \text{ mm}}$$

En la Figura 35 se muestra los valores de diámetro superior, inferior y la altura de la copa de vertido.

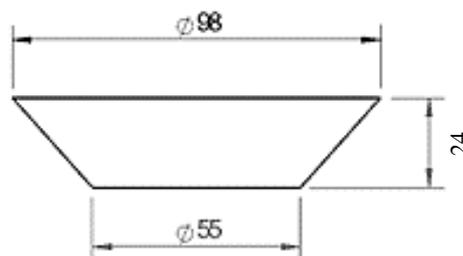


Figura 35. Dimensiones de la copa de vertido [Autor].

3.2.6 Pozo de distribución

El pozo de distribución se ubica la parte inferior del bebedero, se diseñó en forma esférica con un diámetro de 7 cm de manera que pueda calmar flujo del fluido, además de recoger las impurezas y escorias al fondo, también los canales de ataque saldrán perpendiculares desde este pozo, la Figura 36 muestra el diseño de este; para determinar el diámetro se utiliza la Ecuación (36).

$$D_{\text{pozo}} = 2 \cdot D_b \quad (14)$$
$$D_{\text{pozo}} = 2 \cdot 40 = \mathbf{80 \text{ mm}}$$

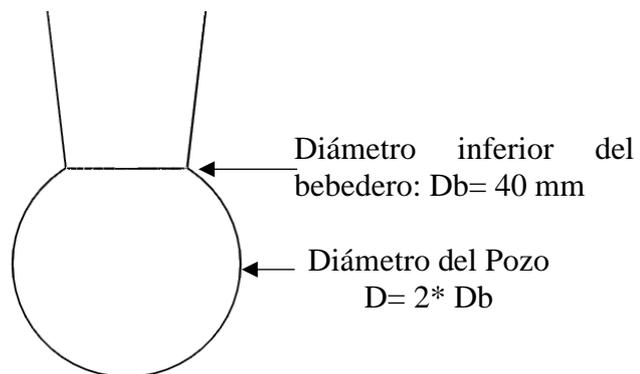


Figura 36. Dimensiones del Pozo de distribución [Autor].

3.2.7 Canal de ataque

El canal de ataque son las entradas de la cavidad del molde, el diseño nuestros canales de ataque es un trapecio 3 veces más ancho que el alto, para establecer las dimensiones del canal de ataque se escoge los valores de la Tabla 20, donde se recomienda la altura, ancho superior e inferior y cumple con el anterior apartado. También el canal de ataque tiene una longitud de 3,5 cm con un ángulo de salida de 6°, este permite dar al fluido velocidad y presión.

La geometría del canal de ataque corresponde a un trapecio en sus esquinas se requiere de un redondeo, para ello se requiere calcular el área del canal con la fórmula de un trapecio de la Ecuación (15):

$$A_{c1} = \frac{(b1 + b2) \cdot h}{2} \quad (15)$$
$$A_{c1} = \frac{(2,1 + 1,7) \cdot 0,85}{2} = \mathbf{1,62 \text{ cm}^2}$$

$$A_{C2} = \frac{(b1 + b2) \cdot h}{2} = \frac{(3,5 + 3,1) \cdot 0,85}{2} = 2,81 \text{ cm}^2$$

Tabla 20. Dimensiones de canales de ataque sugerido de acuerdo con el área [Autor].

A (cm ²)	Altura de ataque h (mm)									
	4		5		6		8		12	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	26	23	21	19	18	15	14	11	10	7
1,1	29	26	23	21	20	17	15	12	10	8
1,2	31	29	25	23	22	19	16	14	11	9
1,4	36	33	29	26	24	21	18	15	12	9
1,6	41	39	33	30	27	24	21	17	14	11
1,8	46	43	37	34	30	27	22	19	15	12
2	51	49	41	39	33	30	25	22	17	14
2,2	56	53	45	42	36	33	28	25	19	16
2,5	64	61	51	49	42	39	31	28	21	18
2,8	71	69	57	54	46	43	35	31	24	21
3					50	47	39	36	25	22

- **Redondeo del canal**

Mediante la ecuación (16) se calcular el valor del redondeo del canal.

$$\text{Redondeo} = 0,1h \tag{16}$$

$$\text{Redondeo} = 0,1(21\text{mm})$$

$$\text{Redondeo} = 2,1 \text{ mm}$$

En la Figura 37 se muestra los valores para el diseño del canal de ataque sección menor: a=21 mm; b=17 mm; h=8,5 mm.

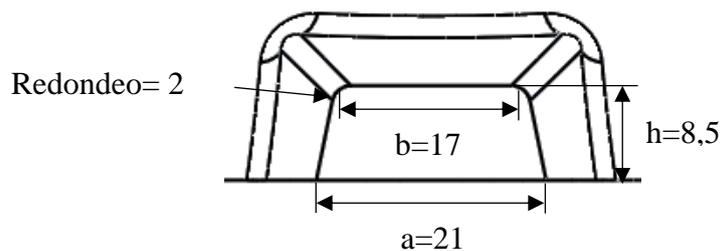


Figura 37. Dimensiones de diseño del canal de ataque sección menor [Autor].

En la Figura 38 se muestra los valores para el diseño del canal de ataque sección mayor: $a=35$ mm; $b=31$ mm; $h=15$ mm.

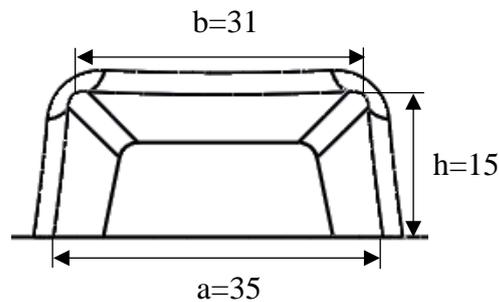


Figura 38. Dimensiones de diseño del canal de ataque sección mayor [Autor].

3.2.8 Distancia entre Piezas

Para nuestro diseño es necesario realizar un correcto posicionamiento de los sistemas para brindar una mejor colocación de estos. El dimensionamiento de las distancias entre componentes se especifica en Tabla 21, éstas definen las distancias como:

- **Distancia mínima entre piezas y borde de la caja de moldeo.**

Tabla 21. Distancia entre piezas y pieza – borde de molde [Autor].

Distancia pieza-pieza y pieza-molde					
Tipo de Pieza	DIMENSIONES				
	A	b	B	s	d
Pequeñas	20-30	35-60	35-75	0.3 de la altura del modelo	0.5 de la altura del modelo
Medianas	50-75	75-100	100-125		
Grandes	125-175	150-200	175-200	----	----

En la Figura 39 se muestran los valores de distancias entre piezas se toman para piezas pequeñas, teniendo los siguientes valores: $a = 3$ cm; $b = B = 3,5$ cm; $s = 10$ cm; $d = 13$ cm.

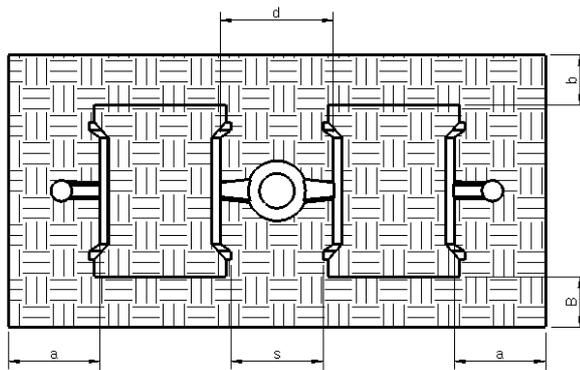


Figura 39. Distancia de entre piezas y pieza - borde molde [Autor].

3.2.9 Distancia pieza-pozo y pieza-mazarota

En la Figura 40 y 41 se muestran las distancias recomendables de pieza-pozo y pieza-mazarota para el diseño de la placa modelo se utiliza la Tabla detallada continuación:

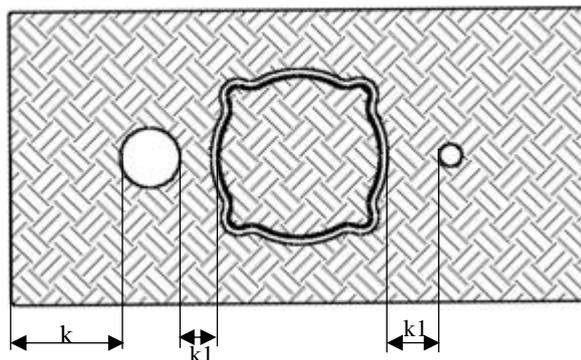


Figura 40. Dimensiones de distancia pieza-pozo y pieza-mazarota [Autor].

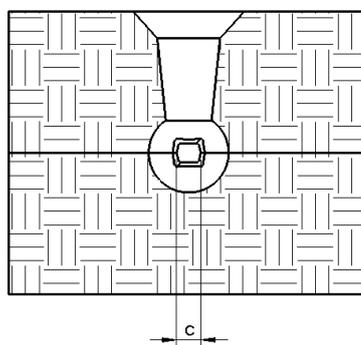


Figura 41. Dimensión del ancho de canal de ataque [Autor].

Se utiliza la Tabla 22 para establecer distancias recomendadas entre pieza y pozo y pieza mazarota, dando valores adecuados para el diseño de la placa modelo.

Tabla 22. Distancia pieza- pozo y pieza-mazarota [Autor].

Distancia pieza-Conductos de alimentación									
Base del conducto c (mm)	Tipo de molde	Masa de la Pieza en (Kg)							
		≤50	51-250	251-500	>501	≤50	51-250	251-500	>501
		k				K1			
≤25	Seco	30	35	-	-	30	35	-	-
	Verde	50	60	-	-	30	35	-	-
26-50	Seco	40	40	45	50	40	40	45	50
	Verde	50	55	60	70	45	50	55	60
>51	Seco	50	55	60	50	50	50	55	60
	Verde	60	65	70	80	60	60	65	70

Valores Distancia entre pieza-pozo y mazarota son las siguientes: $K1 = 50 \text{ mm}$ y $K = 35 \text{ mm}$.

3.3 Fuerza de flotación

Se calcula la fuerza de flotación desplaza el núcleo mediante la Ecuación (17).

$$F_b = W_m - W_c \quad (17)$$

Datos:

ρ del hierro nodular = $7,1 \text{ g/cm}^3$

ρ de la arena = $1,6 \text{ g/cm}^3$

Masa de pieza = $6\,900 \text{ g}$

Masa de núcleo = $6\,182,92 \text{ g}$

$$F_b = (7,1 \cdot 6,9) - (1,6 \cdot 6,2)$$

$$F_b = 39,1 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$$

$$F_b = 71,3 (9,81) = \mathbf{383,6 \text{ N}}$$

Masa del molde de arena: $48,13 \text{ Kg}$

$$F_{\text{Molde}} = 48,13 (1,6) = 77,01 \text{ Kg}$$

$$F_{\text{Molde}} = 77,01 \cdot (9,81) = \mathbf{755,45 \text{ N}}$$

Por lo tanto, comprobamos que:

$$F_{\text{Molde}} > F_b$$

$$\mathbf{755,45 \text{ N} > 383,6 \text{ N} \rightarrow \text{OK}}$$

Esto nos indica que la fuerza del molde por efecto del peso del molde de arena es mayor a la fuerza de flotación, por lo cual no se da lugar al fenómeno del flotamiento del macho.

3.4 Cálculos de mecanizado

El cálculo de dimensionamiento de mecanizado es fundamental para realizar un acabado correcto y usar adecuadamente las herramientas en operaciones de desbastado, planeado, escuadrado, acabado, refrentado, perforado, entre otros. En la Tabla 23 se enlista las herramientas utilizadas en el proceso de mecanizado para el material de fundición de aluminio y fundición gris.

Tabla 23. Lista de herramientas de mecanizado [Autor].

N°	Tipo de herramienta	Diámetro	N° de hilos	Tipo de operación
1	Fresa tórica porta insertos.	20 mm	2	Desbaste-cuadrado
2	Fresa esférica.	12 mm	4	Desbaste
				Acabado
3	Fresa cilíndrica.	4 mm	4	Acabado
4	Fresa cilíndrica.	8 mm	4	Acabado
5	Broca de centro.	¼ in	-	Perforado
6	Broca de centro.	½ in	-	Perforado

En el cálculo de velocidades de los herramientas en las operaciones de desbaste y acabado se requiere hallar la velocidad del husillo, avances de corte y profundidad por pasada.

Los resultados de la velocidad de corte (V_c) y el valor del avance por filos (f_z), se basaron de acuerdo con el Anexo 1.

En la Tabla 24 se indica los resultados de los cálculos de velocidades y avances de las herramientas de corte utilizados para construir los modelos de la brida.

Tabla 24. Cálculos de velocidades y avances de corte [Autor].

Tipo de herramienta	Diámetro (mm)	# de filos	Operación	Velocidad de corte	Avance por diente	Velocidades seleccionadas [RPM]	Avances seleccionados [mm/min]
				$V_c = \left[\frac{m}{min} \right]$	$f_z = \left[\frac{m}{rev} \right]$	$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot \phi \cdot Z}$	$V_f = f_z \cdot n \cdot Z$
Fresa tórica porta insertos.	20	2	Desbaste	200	0,2	1800	720
			Cuadrado	200	0,2	1800	720
Fresa esférica.	12	4	Desbaste	200	0,15	1200	720
			Acabado	300	0,1	1800	720
Fresa cilíndrica.	4	4	Acabado	150	0,1	3600	540
Fresa cilíndrica.	8	4	Acabado	150	0,1	3600	540
Broca de centro.	6,35	2	Perforado	50	0,2	1200	120
Broca de centro.	12,7	2	Perforado	50	0,2	600	60

3.5 Cálculos y análisis de diseño

3.5.1 Cálculo y análisis de diseño de Placa Modelo de la brida

Para realizar el análisis estático se establece el material para conocer sus propiedades mecánicas y físicas. El acero ASTM A36 para la placa de sujeción y caja de moldeo, Aluminio para los modelos de la brida y Hierro nodular para los modelos del sistema de alimentación y compensación. Así asignamos las cargas de gravedad, masa distribuida de la arena de moldeo, fuerza ejercida por el peso del operario y fuerza ejercida por el pistón neumático de golpe.

- Masa distribuida ejercida por la arena de moldeo.

Densidad: $2650 \frac{Kg}{m^3}$; Volumen: $0,0284 m^3$

$$m = \delta \times V$$

$$m = 2650 \frac{Kg}{m^3} \times 0,0284 m^3$$

$$m = 75,366 Kg$$

- Gravedad
Se asigna el valor de la gravedad $-9,81 \text{ m/s}^2$
- Fuerza 1 ejercida por el peso del operario
Se establece una fuerza de 75 Kgf debida al peso del operario.
- Fuerza 2 ejercida por la pistola neumática de golpe
Área: 0.0019635 m^2 ; Presión: $110 \text{ psi} \gg 77337.51 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$

$$F = P \times A$$

$$F = 77337.51 \times 0.0019635$$

$$F = 151.82 \text{ Kgf}$$

3.5.1.1 Análisis estático Placa modelo de la Brida

En la Figura 42 se muestra las condiciones de frontera: carga 1 que corresponde al valor de gravedad de $9,81 \text{ m/s}^2$, la Fuerza 1 que corresponde a la carga del peso del operario, y Fuerza 2 corresponde a la carga por el peso de la arena de moldeo y la fuerza ejercida por compactación; la sujeción se ubica en la parte inferior de la caja de moldeo que hace referencia al contacto con el suelo y se mantiene fija.

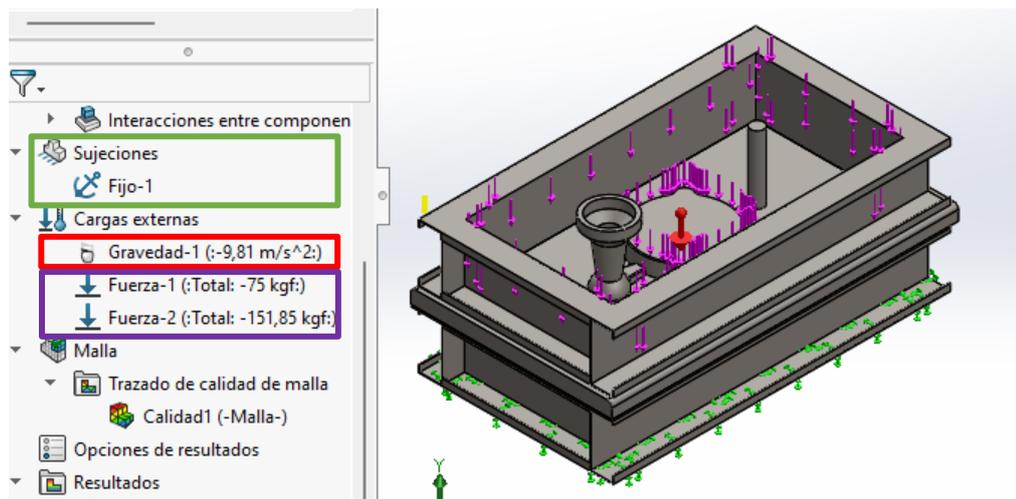


Figura 42. Condiciones de frontera, cargas y soportes [Autor].

El análisis se realizó con un mallado de mixto que comprende superficies sólidas y de vaciado (chapa metálica), el número de elementos son 54967. En la Figura 43 se muestra las tensiones de la placa modelo de la brida, se muestra los esfuerzos más grandes de la placa modelo, esta es de color azul lo cual nos indica que el diseño no hay tensiones que supere el límite elástico.

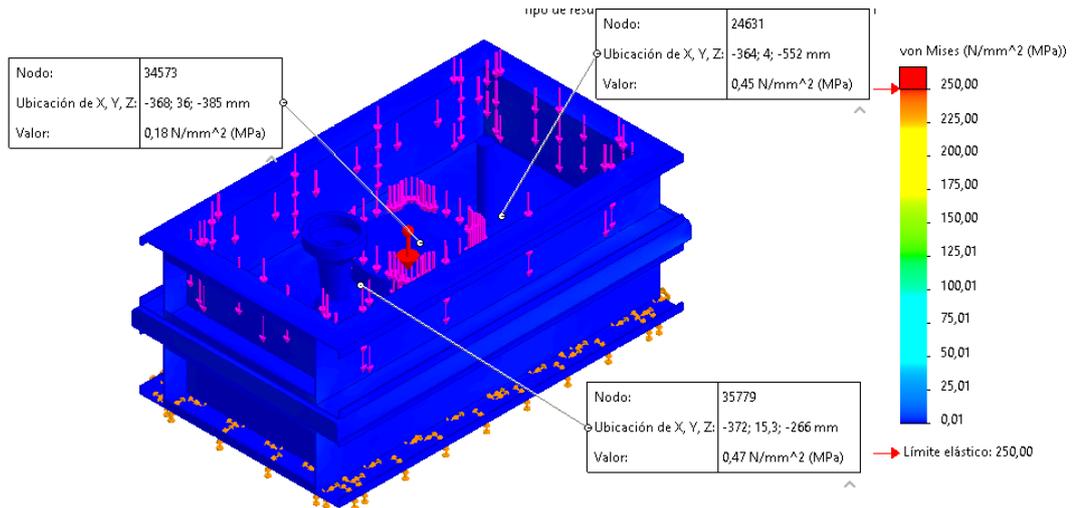


Figura 43. Tensiones de la placa modelo por von Mises [Autor].

En la Figura 44 se muestra los resultados de los desplazamientos resultantes, se muestra en color azul lo cual nos indica hay desplazamientos unitarios que no afectaran al diseño de la placa modelo del tambor.

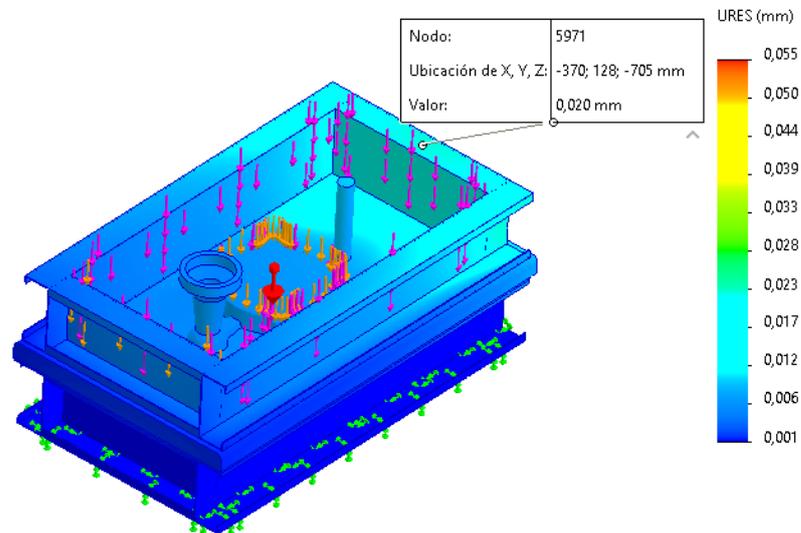


Figura 44. Desplazamientos resultantes [Autor].

En la Figura 45 se muestra los resultados de deformaciones, se muestra un valor de 0,02 mm en color azul lo cual nos indica hay deformaciones relativamente bajas, las mismas no afectaran al diseño de la placa modelo del tambor.

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1

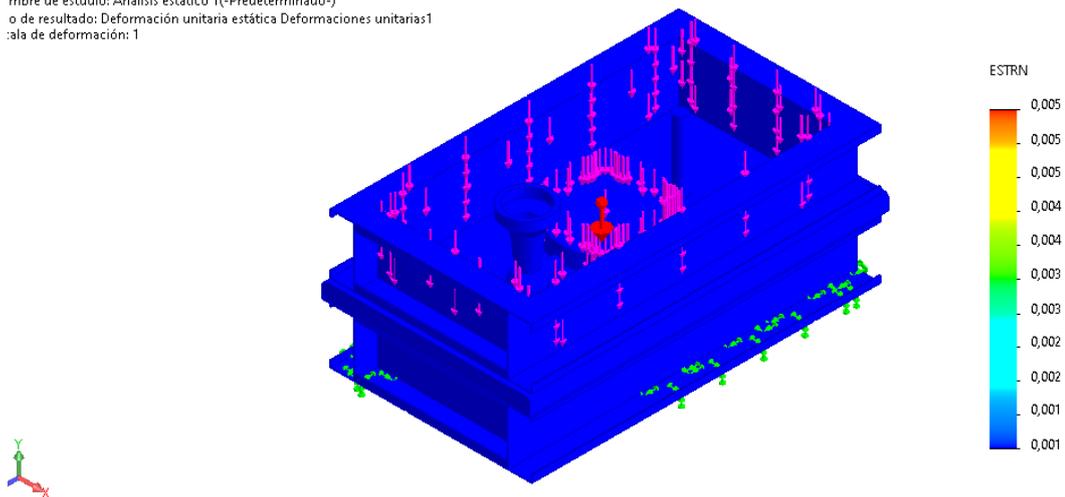


Figura 45. Deformaciones unitarias [Autor].

En la Figura 46 se muestra el factor de seguridad de 3,9 indicando que es idóneo, la figura se muestra ciertas secciones de color rojo, también mayormente hay secciones color azul y verde lo cual indica que el diseño de la placa modelo del tambor no hay fallo.

Nombre del modelo: Ensamble Total Placas-Arillo: Aluminio 2018
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,9

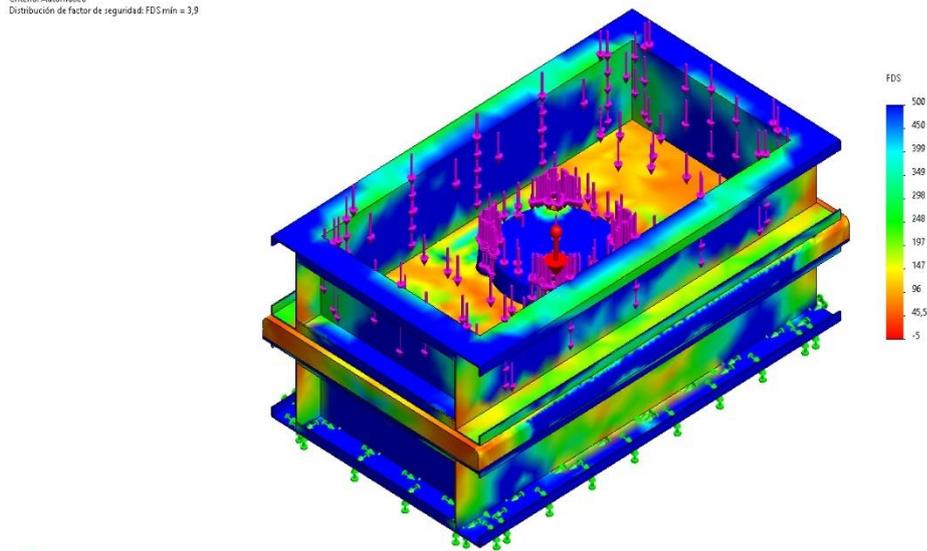


Figura 46. Factor de seguridad [Autor].

- **Cálculos de Momento Flector Máximo**

Determinamos la carga distribuida W1 que corresponde al peso del operario.

$$F = 75 \text{ Kg} \gg 735.50 \text{ N}$$

$$L = 620 \text{ mm} \gg 0.62 \text{ m}$$

$$W1 = \frac{735.50 \text{ N}}{0.62 \text{ m}}$$

$$W1 = 1186,288 \frac{N}{mm}$$

Determinamos la carga distribuida W2 que corresponde al peso de los modelos y la gravedad.

$$m = 18.16 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 178.14 \text{ N}$$

$$L = 740mm \gg 0.74 \text{ m}$$

$$W2 = \frac{178.14 \text{ N}}{0.74m}$$

$$W2 = 240.729 \frac{N}{m}$$

Determinamos la carga distribuida W3 que corresponde al peso de la arena de moldeo.

$$F = 75.366 \text{ Kgf} \gg 739.08 \text{ N}$$

$$L = 620mm \gg 0.62 \text{ m}$$

$$W3 = \frac{739.08 \text{ N}}{0.62m}$$

$$W3 = 1192,064 \frac{N}{m}$$

Determinamos la carga distribuida W4 que corresponde a la fuerza de impacto generada por el pistón neumático, en la Figura 47 de muestra los diagramas de fuerza y momento.

$$F = 151.82 \text{ Kgf} \gg 1488.84 \text{ N}$$

$$L = 620mm \gg 0.62 \text{ m}$$

$$W3 = \frac{1488.84 \text{ N}}{0.62m}$$

$$W4 = 2401.35 \frac{N}{m}$$

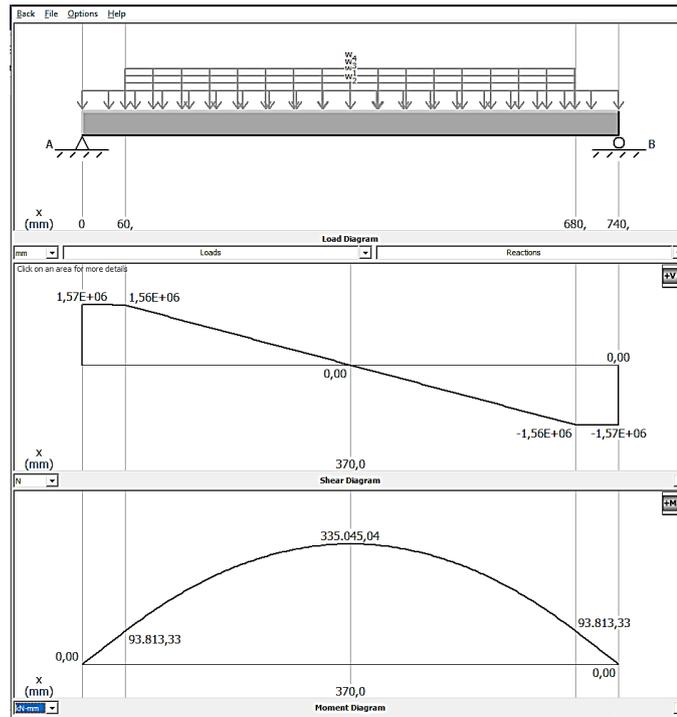


Figura 47. Diagrama de esfuerzos y momentos flectores placa modelo brida [Autor].

$$M_{max} = 335045,04 \frac{KN}{mm}$$

$$S_x = \frac{M}{F_y}$$

$$S_x = \frac{335045,04 \text{ KN mm}}{248.108 \frac{N}{mm^2}}$$

$$S_x = 1360.399 \text{ mm}^3$$

En la Figura 48 de muestra las propiedades de secciones y momentos de inercia correspondiente a la placade sujeción de la brida.

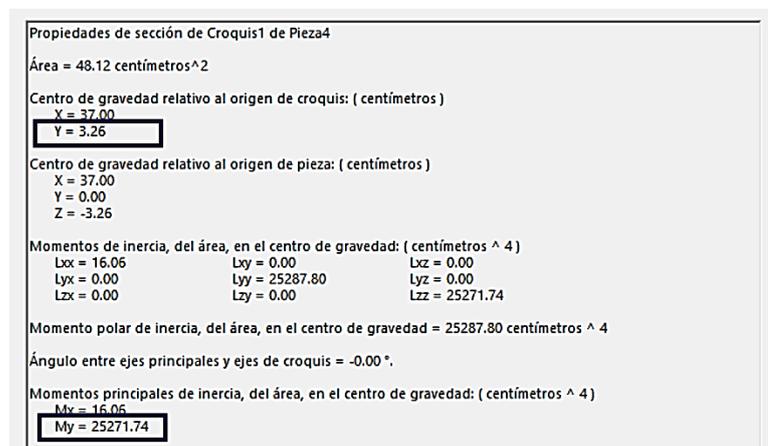


Figura 48. Propiedades de secciones y momentos de inercia.

$$S_x = \frac{M_y}{Y}$$

$$S_x = \frac{25271.74 \text{ cm}^4}{3.26 \text{ cm}}$$

$$S_x = 7752.06 \text{ cm}^3$$

$$S_{xreq} \leq S_{xele}$$

$$1.36 \text{ cm}^3 \leq 7752.06 \text{ cm}^3 \gg OK$$

- **Cálculo de tornillos analíticamente**

La figura 49 muestra la sujeción del modelo de la brida se por de tornillos cabeza avellanada $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ in.

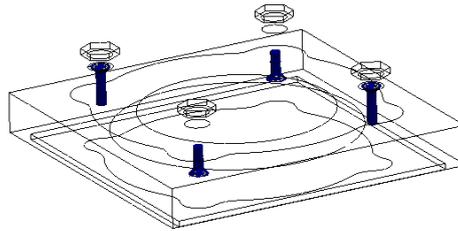


Figura 49. Ubicación de los pernos cabeza avellanada de $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ in [Autor].

En la Figura muestra 50 muestra el perno elegido y el grado S.A.E. del tornillo $\frac{1}{4}$ in, indicando la torsión recomendada para el perno.

ESPECIFICACIONES DE TORSION DE ACUERDO CON LA DUREZA DEL TORNILLO
Este diagrama le ayudará a identificar los tornillos de acuerdo con su construcción, para poder aplicar en ellos la torsión adecuada en cada caso.

GRADO S. A. E.	1 o 2	5	6	8	
$\frac{1}{4}$ Diám.	5 Lbs.-pie	7 Lbs.-pie	10 Lbs.-pie	10.5 Lbs.-pie	11 Lbs.-pie
$\frac{5}{16}$ Diám.	9 Lbs.-pie	14 Lbs.-pie	19 Lbs.-pie	22 Lbs.-pie	24 Lbs.-pie
$\frac{3}{8}$ Diám.	15 Lbs.-pie	25 Lbs.-pie	34 Lbs.-pie	37 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie
$\frac{7}{16}$ Diám.	24 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie	55 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	65 Lbs.-pie
$\frac{1}{2}$ Diám.	37 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	85 Lbs.-pie	92 Lbs.-pie	97 Lbs.-pie
$\frac{9}{16}$ Diám.	53 Lbs.-pie	88 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	132 Lbs.-pie	141 Lbs.-pie
$\frac{5}{8}$ Diám.	74 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	167 Lbs.-pie	180 Lbs.-pie	192 Lbs.-pie
$\frac{3}{4}$ Diám.	120 Lbs.-pie	220 Lbs.-pie	280 Lbs.-pie	286 Lbs.-pie	316 Lbs.-pie
$\frac{7}{8}$ Diám.	190 Lbs.-pie	302 Lbs.-pie	440 Lbs.-pie	473 Lbs.-pie	503 Lbs.-pie
1 Diám.	282 Lbs.-pie	466 Lbs.-pie	660 Lbs.-pie	714 Lbs.-pie	771 Lbs.-pie

Figura 50. Especificación de torsión para perno $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ in grado 5 [Autor].

Ubicamos el valor del tornillo de cabeza avellana al que corresponda el mayor esfuerzo siendo el Tornillo Avellanado, los esfuerzos y el momento máximo se indican a continuación:

Esfuerzo cortante $fc = 15.703 \text{ N}$

Esfuerzo Axial $F = 5.86 \text{ KN}$

Momento máximo $M = 0.0519 \text{ N.m}$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Diámetro $d = 6.35 \text{ mm} \gg 0.00635 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi(0.00635^2)}{4}$$

$$A = 3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau_{xy} = \frac{fc}{A}$$

$$\tau_{xy} = \frac{15.703 \text{ N}}{3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = 495844.269 \text{ Pa} \gg \mathbf{0.495 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{5858.5 \text{ N}}{3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{x1} = 184990362.026 \text{ Pa} \gg \mathbf{184.99 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{x2} = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{x2} = \frac{32 (0.0519 \text{ N.m})}{\pi(0.016)^3}$$

$$\sigma_{x2} = 52442.091 \text{ Pa} \gg \mathbf{0.052 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_{x1} + \sigma_{x2})^2 + 3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(184.99 \text{ Mpa} + 0.052 \text{ Mpa})^2 + 3(0.495)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \mathbf{185.043 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{eq} = -185.043 \text{ Mpa}$$

- Factor de seguridad en tornillos

$$n = \frac{\text{sp resistencia del material}}{\sigma_{eq}}$$

$$n = \frac{300 \text{ Mpa}}{185.043 \text{ Mpa}}$$

$$n = 1,62 \gg 1 \text{ OK}$$

3.5.1.2 Análisis estático y cálculos de la Placa modelo del tambor

Para realizar el análisis estático se establece los materiales el Acero ASTM A36 para conocer sus propiedades mecánicas y físicas. Así asignamos las cargas de gravedad, masa distribuida de la arena de moldeo, fuerza ejercida por el peso del operario y fuerza ejercida por el pistón neumático de golpe.

- **Masa distribuida ejercida por la arena de moldeo.**

Mediante la Ecuación (18) se calcular el valor de la masa con los datos de densidad:

$2650 \frac{Kg}{m^3}$; Volumen: $0,0284 m^3$

$$m = \delta \times V \tag{18}$$

$$m = 2650 \frac{Kg}{m^3} \times 0,0284 m^3$$

$$m = 75,366 \text{ Kg}$$

- **Gravedad**

Se asigna el valor de la gravedad $-9,81 \text{ m/s}^2$

- **Fuerza 1 ejercida por el peso del operario**

Se establece una fuerza de 75 Kgf debida al peso del operario.

- **Fuerza 2 ejercida por la pistola neumática de golpe**

Área: $0.0019635 m^2$; Presión: $110 \text{ psi} \gg 77337.51 \frac{Kgf}{m^2}$

$$F = P \times A$$

$$F = 77337.51 \times 0.0019635$$

$$F = 151.82 \text{ Kgf}$$

- **Sujeciones de los modelos en la placa de sujeción**

Para la sujeción de los modelos en la placa modelo se utilizó el perno cabeza avellanada de $3/8 \times 1 \frac{1}{2} \text{ in}$ para el modelo del tambor, para sujetar los modelos del canal de ataque y canal de salida se utilizó el perno cabeza avellanada de $1/4 \times 1/2 \text{ in}$.

En la Figura 51 se muestra las condiciones de frontera: conexiones de pernos, interacciones locales, interacciones de campo, carga 1 que corresponde al valor de

gravedad de $9,81 \text{ m/s}^2$, la Fuerza 1 que corresponde a la carga del peso del operario, y Fuerza 2 corresponde a la carga por el peso de la arena de moldeo y la fuerza ejercida por compactación; la sujeción se ubica en la parte inferior de la caja de moldeo que hace referencia al contacto con el suelo y se mantiene fija.

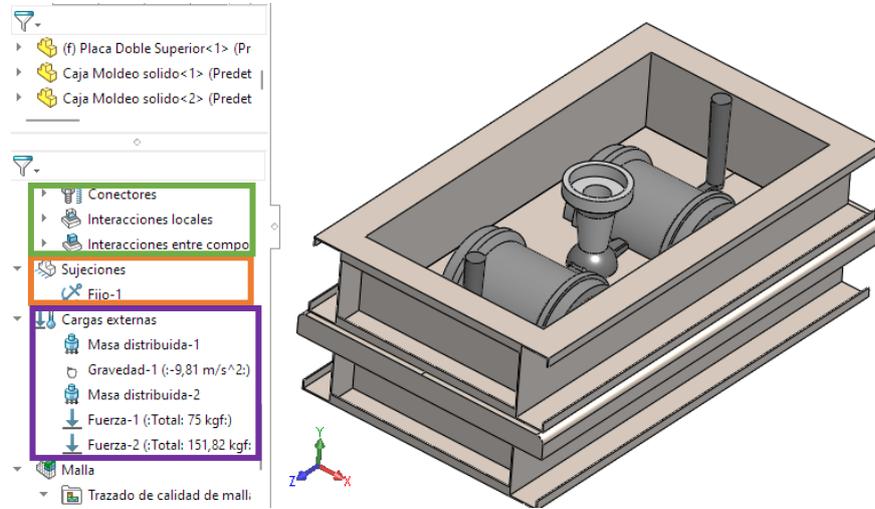


Figura 51. Condiciones de frontera, conexiones, sujeciones y cargas.

El análisis se realizó con un mallado de mixto que comprende superficies sólidas y de vaciado (chapa metálica), el número de elementos 53660. En la Figura 52 se muestra las tensiones de la placa modelo de la brida, se muestra los esfuerzos más grandes de la placa modelo, esta es de color azul lo cual nos indica que el diseño no hay tensiones que supere el límite elástico.

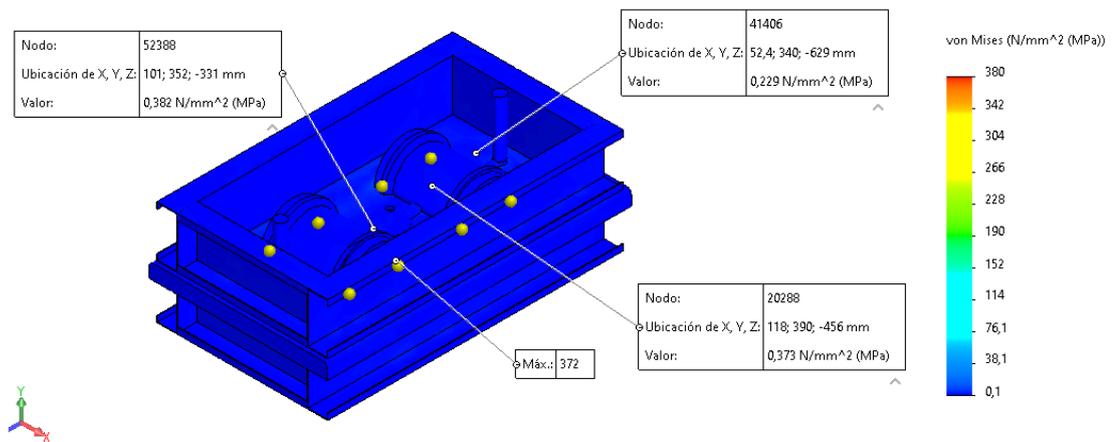


Figura 52. Tensiones de la placa modelo por von Mises [Autor].

En la Figura 53 se ilustra los resultados de los desplazamientos resultantes, la figura se muestra en color azul lo cual nos indica hay desplazamientos unitarios que no afectaran al diseño de la placa modelo del tambor.

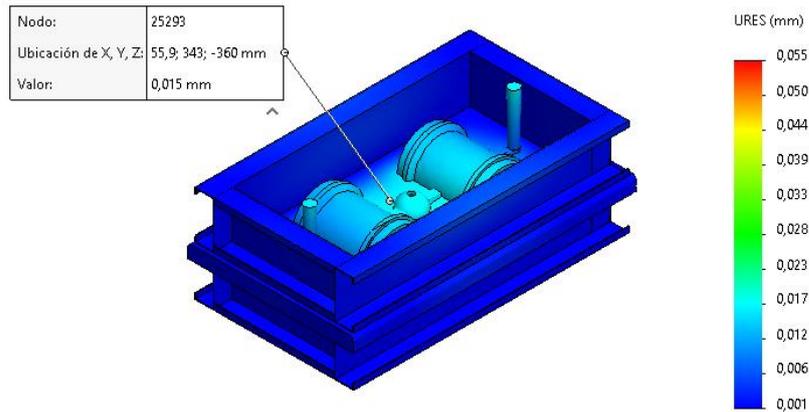


Figura 53. Desplazamientos resultantes [Autor].

En la Figura 54 se ilustra los resultados de deformaciones, la figura se muestra en color azul lo cual nos indica hay deformaciones relativamente bajas, las mismas no afectaran al diseño de la placa modelo del tambor.

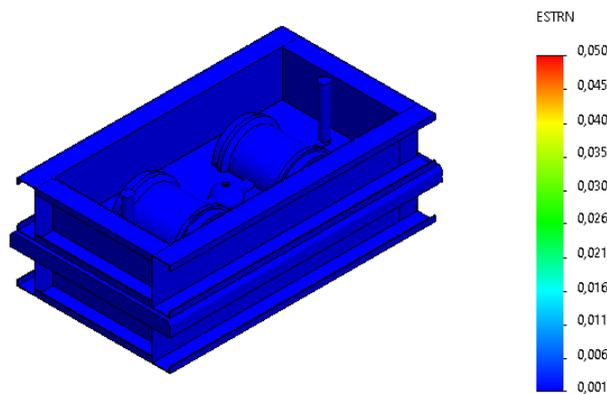


Figura 54. Deformaciones unitarias [Autor].

En la Figura 55 se muestra el factor de seguridad de 1,55 indicando que es idóneo, la figura se muestra ciertas secciones de color rojo, también mayormente hay secciones color azul y verde lo cual indica que el diseño de la placa modelo del tambor no hay fallo.

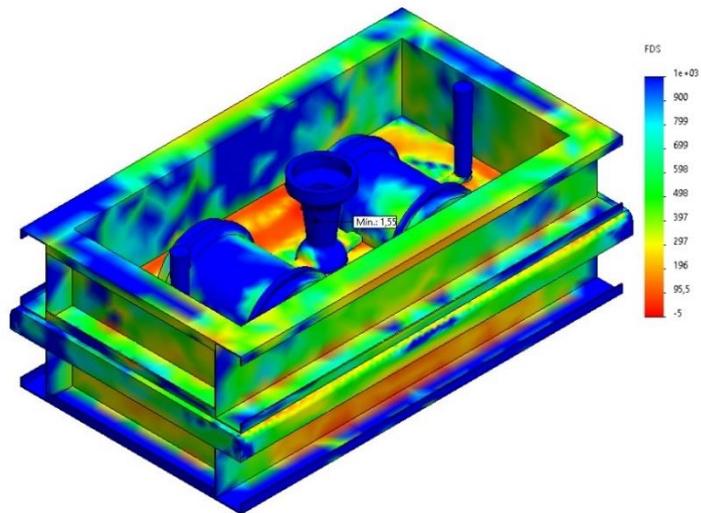


Figura 55. Factor de seguridad [Autor].

- **Cálculos de Momento Flector Máximo**

La Ecuación (19) permite determinar la carga distribuida W1 que corresponde al peso del operario.

$$F = 75 \text{ Kg} \gg 735.50 \text{ N}$$

$$L = 620\text{mm} \gg 0.62 \text{ m}$$

$$W = \frac{F}{d} \tag{19}$$

$$W1 = \frac{735.50 \text{ N}}{0.62\text{m}}$$

$$W1 = 1186,288 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Determinamos la carga distribuida W2 que corresponde al peso de los modelos y la gravedad.

$$m = 18.16 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 178.14 \text{ N}$$

$$L = 740\text{mm} \gg 0.74 \text{ m}$$

$$W2 = \frac{178.14 \text{ N}}{0.74\text{m}}$$

$$W2 = 240.729 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Determinamos la carga distribuida W3 que corresponde al peso de la arena de moldeo.

$$F = 75.366 \text{ Kgf} \gg 739.08 \text{ N}$$

$$L = 620 \text{ mm} \gg 0.62 \text{ m}$$

$$W3 = \frac{739.08 \text{ N}}{0.62 \text{ m}}$$

$$W3 = 1192,064 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Determinamos la carga distribuida W4 que corresponde a la fuerza de impacto generada por el pistón neumático, en la Figura 56 de muestra los diagramas de fuerza y momento.

$$F = 151.82 \text{ Kgf} \gg 1488.84 \text{ N}$$

$$L = 620 \text{ mm} \gg 0.62 \text{ m}$$

$$W3 = \frac{1488.84 \text{ N}}{0.62 \text{ m}}$$

$$W4 = 2401.35 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

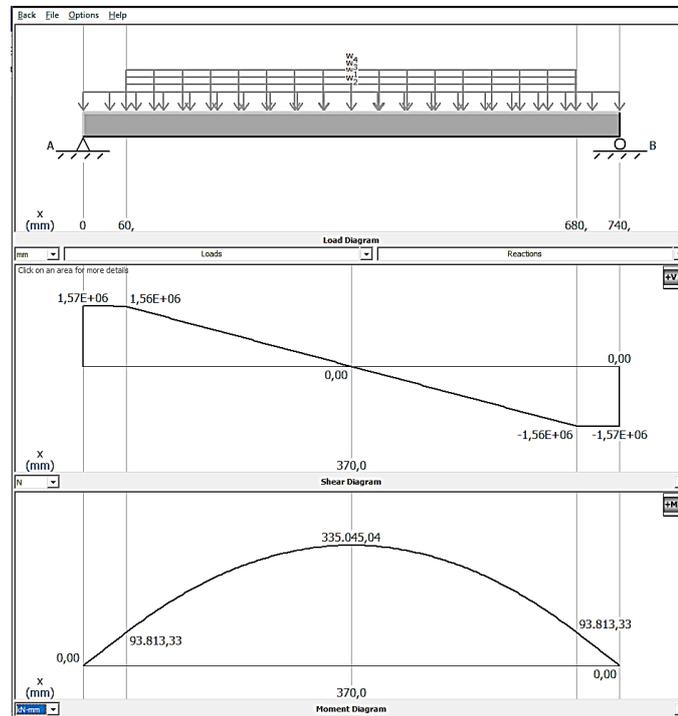


Figura 56. Diagrama de esfuerzos y momentos flectores placa modelo tambor [Autor].

$$M_{max} = 335045,04 \frac{\text{KN}}{\text{mm}}$$

$$S_x = \frac{M}{F_y} \tag{20}$$

$$S_x = \frac{335045,04 \text{ KN mm}}{248.108 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$S_x = 1350.399 \text{ mm}^3$$

En la Figura 57 se muestra las propiedades y momentos de inercia.

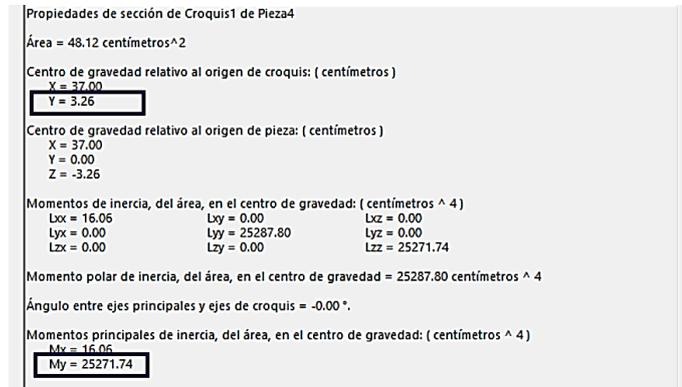


Figura 57. Propiedades de secciones y momentos de inercia del tambor [Autor].

$$S_x = \frac{M_y}{Y}$$

$$S_x = \frac{25271.74 \text{ cm}^4}{3.26 \text{ cm}}$$

$$S_x = 7752.06 \text{ cm}^3$$

$$S_{x_{req}} \leq S_{x_{ele}}$$

$$1.35 \text{ cm}^3 \leq 7752.06 \text{ cm}^3 \gg OK$$

- **Cálculo de tornillos analíticamente**

En la Figura 58 se muestra la colocación de tornillos cabeza avellanada para los modelos de 3/8 in.

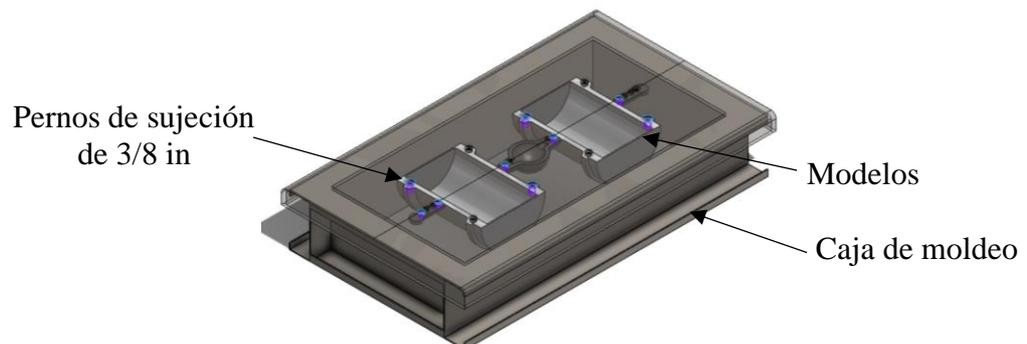


Figura 58. Ubicación de pernos de sujeción [Autor].

En la Figura muestra 59 muestra el perno elegido y el grado S.A.E. del tornillo ¼ in y 3/8 in, indicando la torsión recomendada para el perno.

ESPECIFICACIONES DE TORSION DE ACUERDO CON LA DUREZA DEL TORNILLO
Este diagrama le ayudará a identificar los tornillos de acuerdo con su construcción, para poder aplicar en ellos la torsión adecuada en cada caso.

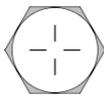
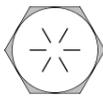
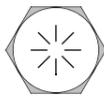
GRADO S. A. E.	1 o 2	5	6	8	
					
1/4 Diám.	5 Lbs.-pie	7 Lbs.-pie	10 Lbs.-pie	10.5 Lbs.-pie	11 Lbs.-pie
5/16 Diám.	9 Lbs.-pie	14 Lbs.-pie	19 Lbs.-pie	22 Lbs.-pie	24 Lbs.-pie
3/8 Diám.	15 Lbs.-pie	25 Lbs.-pie	34 Lbs.-pie	37 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie
7/16 Diám.	24 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie	55 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	65 Lbs.-pie
1/2 Diám.	37 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	85 Lbs.-pie	92 Lbs.-pie	97 Lbs.-pie
9/16 Diám.	53 Lbs.-pie	88 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	132 Lbs.-pie	141 Lbs.-pie
5/8 Diám.	74 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	167 Lbs.-pie	180 Lbs.-pie	192 Lbs.-pie
3/4 Diám.	120 Lbs.-pie	220 Lbs.-pie	280 Lbs.-pie	286 Lbs.-pie	316 Lbs.-pie
7/8 Diám.	190 Lbs.-pie	302 Lbs.-pie	440 Lbs.-pie	473 Lbs.-pie	503 Lbs.-pie
1 Diám.	282 Lbs.-pie	466 Lbs.-pie	660 Lbs.-pie	714 Lbs.-pie	771 Lbs.-pie

Figura 59. Especificaciones de torsión tornillo grado 5 [Autor].

Ubicamos el valor del tornillo de cabeza avellana al que corresponda el mayor esfuerzo siendo el Tornillo Avellanado perteneciente al grupo de diámetro 3/8 colocando un torque de 300 lbf.in, los esfuerzo y el momento máximo fueron se indican a continuación:

-Esfuerzo cortante $f_c = 82.598 N$

Esfuerzo Axial $F = 14.768 KN$

Momento máximo $M = 0.433 N.m$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \tag{21}$$

Diámetro $d = 9.525 mm \gg 0.009525 m$

$$A = \frac{\pi(0.009525^2)}{4}$$

$$A = 7.125 \times 10^{-5} m^2$$

$$\tau_{xy} = \frac{f_c}{A} \tag{22}$$

$$\tau_{xy} = \frac{82.598 N}{7.125 \times 10^{-5} m^2}$$

$$\tau_{xy} = 1159176.80 Pa \gg \mathbf{1.159 Mpa}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{14768 N}{3.167 \times 10^{-5} m^2}$$

$$\sigma_{x1} = 207253480.99 Pa \gg \mathbf{207.25 Mpa}$$

$$\sigma_{x2} = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (23)$$

$$\sigma_{x2} = \frac{32 (0.433 N.m)}{\pi (0.009525)^3}$$

$$\sigma_{x2} = 5103792.96 Pa \gg \mathbf{5.1037 Mpa}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_{x1} + \sigma_{x2})^2 + 3(\tau_{xy})^2} \quad (24)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(191.70 Mpa + 0.439 Mpa)^2 + 3(1.159)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \mathbf{212.36 Mpa}$$

$$\sigma_{eq} = -212.36 Mpa$$

- **Factor de seguridad en tornillos 3/8**

$$n = \frac{sp \text{ resistencia del material}}{\sigma_{eq}} \quad (25)$$

$$n = \frac{300 Mpa}{212,36}$$

$$\mathbf{n = 1,41 \gg 1 OK}$$

Ubicamos el valor del tornillo de cabeza avellanada al que corresponda el mayor esfuerzo siendo el Tornillo Avellanado 8 perteneciente al grupo de diámetro 1/4 colocando un torque de 84 lbf.in, los esfuerzo y el momento máximo fueron proporcionados por el software.

Esfuerzo cortante $f_c = 103.97 N$

Esfuerzo Axial $F = 6.071 KN$

Momento máximo $M = 0.435 N.m$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Diámetro $d = 6.35 mm \gg 0.00635 m$

$$A = \frac{\pi (0.00635^2)}{4}$$

$$A = 3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau_{xy} = \frac{fc}{A}$$

$$\tau_{xy} = \frac{103.97 \text{ N}}{3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = 3282998.709 \text{ Pa} \gg \mathbf{3.283 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{6071 \text{ N}}{3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{x1} = 191700347.84 \text{ Pa} \gg \mathbf{191.70 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{x2} = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{x2} = \frac{32 (0.435 \text{ N.m})}{\pi (0.00635)^3}$$

$$\sigma_{x2} = 17304863.84 \text{ Pa} \gg \mathbf{17.30 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_{x1} + \sigma_{x2})^2 + 3(\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(191.70 \text{ Mpa} + 17.30 \text{ Mpa})^2 + 3(3.28)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \mathbf{209.077 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{eq} = \mathbf{-209.077 \text{ Mpa}}$$

- **Factor de seguridad en tornillos ¼**

$$n = \frac{\text{sp resistencia del material}}{\sigma_{eq}}$$

$$n = \frac{300 \text{ Mpa}}{209,077 \text{ Mpa}}$$

$$\mathbf{n = 1,43 \gg 1 \quad OK}$$

- **Sujeciones de los modelos en la placa de sujeción**

Para la sujeción de los modelos en la placa modelo se utilizó el perno cabeza avellanada de 3/8 x 1 1/2 in para el modelo del tambor, para sujetar los modelos del canal de ataque y canal de salida se utilizó el perno cabeza avellanada de 3/8 x1/2 in.

3.6 Estimación del espesor de la soldadura

El espesor del cordón de soldadura de la caja de moldeo se determinó mediante la simulación, en la Figura 60 se muestra condiciones de frontera, conectores de soldadura, sujeción fija, masas distribuidas que corresponde a peso del operario de 75 Kgf, el peso de la arena de 75, 36 Kgf y una fuerza de 151, 82 Kgf de resultado de la presión ejercida por el pistón neumático utilizado para la compactación de la arena.

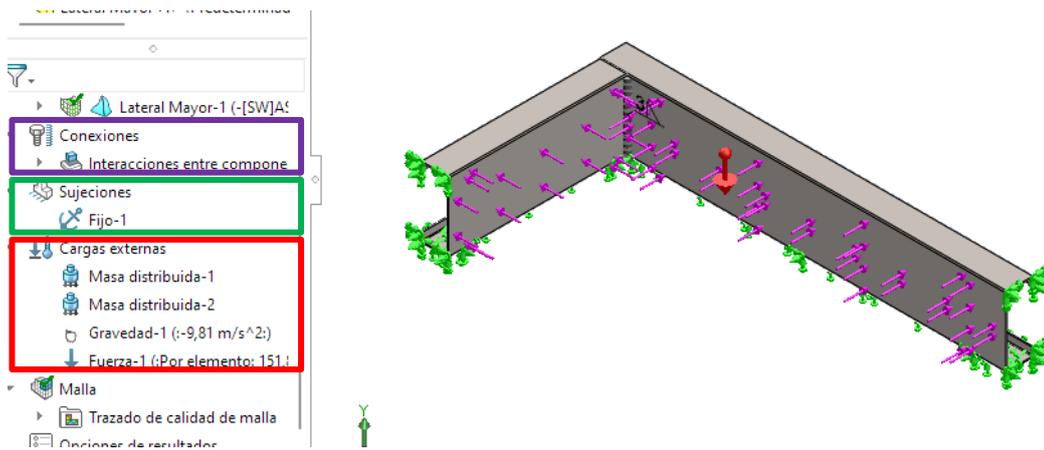


Figura 60. Condiciones de frontera, cargas y sujeciones.

El análisis se realizó con un mallado sólido, el número de elementos son 38272. En la Figura 61 se muestra las tensiones de la caja de moldeo, se muestra los esfuerzos más grandes de la placa modelo, el color azul lo cual nos indica que el diseño no hay tensiones que supere el límite elástico.

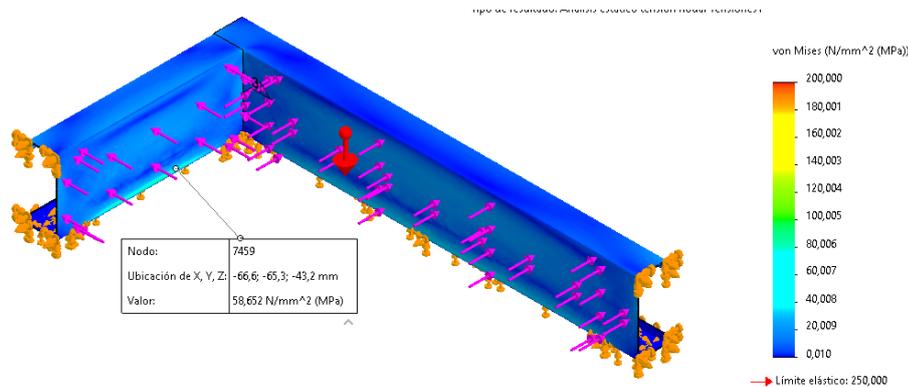


Figura 61. Esfuerzos de Von Mises.

En la Figura 62 se muestra el resultado del espesor de cordón de soldadura calculado por el software es de 1,58 mm para soportar la fuerza de trabajo ejercida por la pistola neumática de compactación y el peso del operario. En la fabricación de la caja de moldeo se dio un espesor de 5 mm de espesor del cordón de soldadura, para lo cual se garantiza una unión de las piezas adecuada.

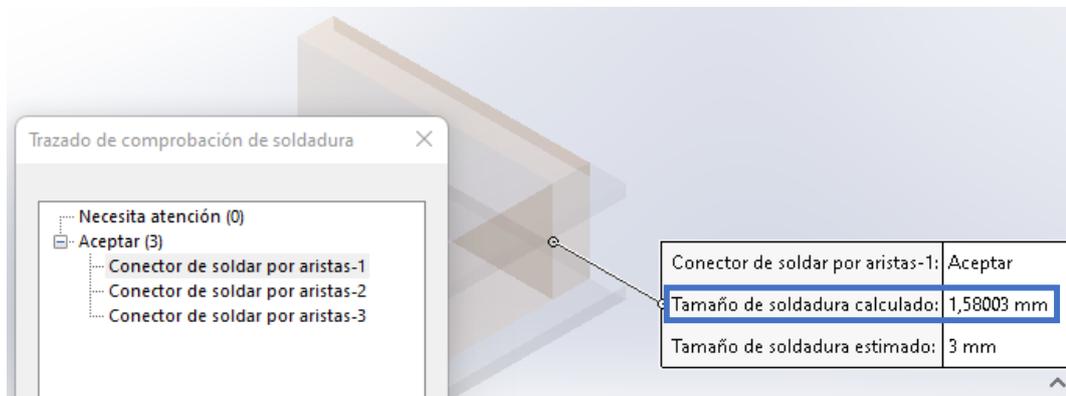


Figura 62. Espesor de cordón de soldadura calculada de 1,58 mm en la sección de 125 mm. [Autor].

3.7 Simulación de fundición

La Figura 63 se muestra la simulación de fundición del tambor en un estado transitorio ya que las propiedades del fluido cambian con el tiempo, mediante el Software se ingresan todos los parámetros antes calculados de velocidad de vertido, gasto volumétrico, propiedades físicas del hierro nodular.

En el Primer análisis es la temperatura de vertido en la cavidad del molde y conformada la pieza, como resultado se tiene la temperatura máxima en el bebedero de 1500 °C, así mismo se observa cómo se va dando el proceso de enfriamiento de la pieza fundida.

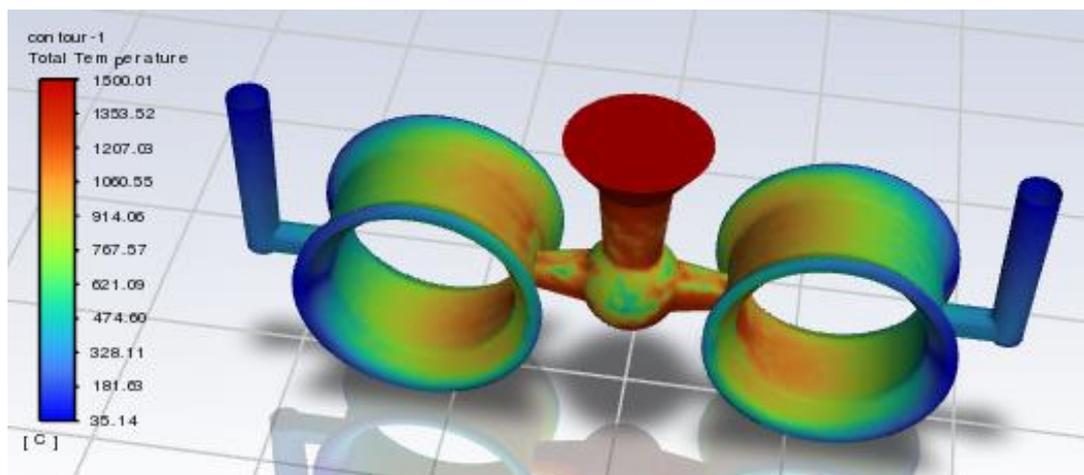


Figura 63. Temperatura de vertido la cavidad del molde del tambor [Autor].

El segundo resultado es la solidificación de la pieza en un tiempo de 3 minutos, se observa cómo se va enfriando la pieza fundida, donde destaca que el bebedero es el último en enfriarse por que tiene una mayor área, pasado este tiempo la pieza se enfría completamente, como se muestra en la Figura 64 y se puede retirar del molde de arena, así reduciendo en tiempo de producción.



Figura 64. Solidificación de la pieza fundida del tambor [Autor].

3.8 Presupuesto

3.8.1 Costo de materiales

En la Tabla 25 se indica el valor de los costos formados por los materiales requeridos para la construcción de la placa modelo.

Tabla 25. Costos de materiales [Autor].

Costo de materia prima				
Cantidad	Componente	Características	Costo Unitario	Costo Total
2	Placa de acero negro 6 mm	100x45 cm	\$ 29,70	\$ 59,40
1	Plancha de acero negro 4 mm	75x45 cm	\$ 15,40	\$ 15,40
7	Hierro dúctil	kg	\$ 2,15	\$ 15,05
8	Perno cabeza avellanada	3/8 x 2 in	\$ 0,15	\$ 1,20
10	Perno cabeza avellanada	1/4 x 1/2 in	\$ 0,12	\$ 1,20
8	Perno cabeza avellana	3/8x1 in	\$ 0,12	\$ 0,96
4	Perno cabeza hexagonal	1/2x6 in	\$ 1,30	\$ 5,20
4	Perno cabeza hexagonal	1/4 x 1 in	\$ 0,20	\$ 0,80
2000	Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	2000g	\$ 0,04	\$ 80,00
4	Lija		\$ 0,75	\$ 3,00
2	Tiñer	Lt	\$ 1,00	\$ 2,00
2	Pintura Epóxica	Lt	\$ 5,00	\$ 10,00
10	Electrodos	6011	\$ 0,50	\$ 5,00
6	Aluminio	kg	\$ 2,00	\$ 12,00
2	Varilla lisa redonda	1 m	\$ 1,32	\$ 2,64
Total				\$ 213,85

3.8.2 Costo por trabajo de maquinaria y herramientas

En la Tabla 26 se indica el costo por utilización de las máquinas y herramientas requeridas para el mecanizado y construcción de la placa modelo con sistema de colado incorporado, para el mismo se detalla el costo de la maquina por el tiempo del uso (h), el precio de trabajo de las maquinas se detalla en el Anexo 2.

Tabla 26. Costo por trabajo de máquinas y herramientas [Autor].

Costos por trabajo de máquinas y herramientas				
#	Máquina	Tiempo de trabajo (h)	Costo (\$)	Costo total de uso (\$)
1	Taladro de pedestal	8	\$ 10,00	\$ 80,00
2	Soldadora	4	\$ 15,00	\$ 60,00
3	Plasma de corte	2	\$ 1,00	\$ 2,00
4	Torno	10	\$ 30,00	\$ 300,00
5	Compresor	8	\$ 5,00	\$ 40,00
7	Rectificador	10	\$ 5,00	\$ 50,00
8	Amoladora	8	\$ 10,00	\$ 80,00
9	Computadora de escritorio	72	\$ 0,50	\$ 36,00
12	Esmeril	6	\$ 10,00	\$ 60,00
15	Impresora 3D	8	\$ 2,40	\$ 19,20
16	Centro de mecanizado	12	\$ 15,00	\$ 180,00
17	Electro de hilo	8	\$ 7,50	\$ 60,00
Total				\$ 907,20

3.8.3 Costos de herramientas

En la Tabla 27 se detalla el costo de herramientas utilizadas para la construcción de las placas modelos, donde se muestra la secuencia, fotografía, operación y descripción de cada proceso.

Tabla 27. Costo por herramientas [Autor].

Costo de herramientas			
#	Herramientas	Cantidad	Costo (\$)
1	Disco de desbaste metal 7"x1/4"x7/8"	4	\$ 3,86
2	Disco de corte 7"x 1/16"x7/8"	4	\$1,80
3	Broca 7/32 in	1	\$ 1,30
4	Broca 1/4 in	1	\$ 1,40
5	Broca 5/16 in	1	\$ 1,60
6	Broca 3/8 in	1	\$ 1,90
7	Broca 1/2 in	1	\$ 2,40
8	Broca 17 mm	1	\$ 6,20
9	Machuelo 1/4in	2	\$ 2,00
10	Machuelo 3/8 in	1	\$ 2,40
11	Machuelo 5/16 in	1	\$ 3,00
12	Disco flap 4-1/2	6	\$ 1,50
13	Boquilla, anillo de vórtice, electrodo y tapa protectora.	1	\$ 90,00
14	Fresa plana	1	\$ 8,00
Total			\$ 127,36

3.8.4 Costo total de fabricación de las placas modelo con sistema de colado incorporado

En la Tabla 28 se describe el costo total de la fabricación de las placas modelo con sistema de incorporado se suma los valores totales de la materia prima y mecanizado, el valor total se indica en la Tabla.

Tabla 28. Costo total de fabricación [Autor].

Costo total de fabricación del molde	
Costo de materia prima	\$ 213,85
Costo de máquinas y herramientas	\$ 1.034,56
Total	\$ 1.248,41

3.9 Construcción de las placas modelos

La construcción de las placas modelos del tambor y la brida se realizaron en el centro de mecanizado de la empresa.

3.9.1 Elaboración del modelo del Tambor

En la Tabla 29 se especifica el orden de la operación, fotografía, la designación del proceso y la descripción de la actividad para la fabricación del modelo del tambor.

Tabla 29. Construcción del modelo del tambor [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Selección del material	Se seleccionó la materia prima para la fabricación del tambor el cual es el acero ASTM A36.
2		Mecanizado del tambor	Se torneo el tubo de acero dando la forma del tambor de 250 mm de diámetro y una longitud de 165 mm.
3		Separación del modelo en mitades	Se realizó el corte del modelo del tambor en mitades para ubicarlas en ambos lados de la placa modelo, este proceso se debe realizar con exactitud porque el modelo debe ser simétrico al otro.

3.9.2 Construcción de la placa porta modelos

En la Tabla 30 se especifica el orden de la operación, fotografía, la designación del proceso y la descripción de la actividad para la fabricación de la placa porta modelos.

Tabla 30. *Proceso de fabricación de las placas porta modelos [Autor].*

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Corte	Se corto una plancha de 6 mm de espesor con la herramienta de plasma, dando unas medidas de 740 de largo y 420 de ancho.
2		Doblado	Se realizó el doblado de los laterales de 28 mm, utilizando la máquina dobladora.
3		Pulido	Se realizó el pulido de rebabas y aristas irregulares, dejando una sin superficies plana.
4		Soldadura	Se soldó dos placas de 41 cm de largo, 2.8 cm de ancho y 4 mm de espesor en los laterales que son los refuerzos hacia la placa. Además, se soldó 4 manijas de operación de la placa.
5		Limpieza	Se realizó un proceso de cepillado con la amoladora dejando la superficie limpia.

3.9.3 Construcción de modelos de sistema de alimentación.

La construcción de los modelos del pozo de colado y canal de ataque se realizó mediante la impresión en 3D con un sobredimensionamiento debida a la contracción dada por la fundición. Las operaciones de fabricación se detallan en la Tabla 31, especificando el orden de la operación, fotografía, la designación del proceso y la descripción de la actividad.

3.9.3.1 Construcción de Pozo de colada y canal de ataque.

Tabla 31. Proceso de fabricación del modelo de pozo y canal de ataque [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Fabricación del modelo	Se realizó la impresión 3D de modelo de Pozo y canal de ataque en Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).
2		Modelado	Modelado del elemento en arena verde, obteniendo las cavidades del elemento.
3		Fundición	Se vierte el metal fundido en el molde de arena verde del elemento, se da un tiempo determinado para su enfriamiento.
4		Corte	Se extrae del molde de arena y se corta la pieza de los canales de ataque y salida.

Figura 31. Proceso de fabricación del modelo de pozo y canal de ataque (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
5		Desbaste	Se desbastó el material excedente que cubre al elemento, se utiliza el esmeril para realizar esta operación para optimizar tiempo.
6		Acabado	Se realizó el pulido de la pieza utilizando la amoladora con el disco flap, removiendo las superficies irregulares dejando un acabado liso sobre el área de aplicación.

3.9.3.2 Construcción del bebedero

La Tabla 32 se describe la construcción del modelo del bebedero se realizó mediante la operación torneado en madera con un sobredimensionamiento debida a la contracción dada por la fundición.

Tabla 32. Proceso de fabricación del bebedero [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Fabricación del modelo	Se realizó la fabricación del modelo del bebedero en madera de pino, la forma y dimensiones del bebedero se dio mediante la operación de torneado.
2		Fundición del modelo	Se realizó el proceso de modelado y vertido del metal fundido en las cavidades del elemento.
3		Corte	Se realizó el corte de canal de ataque y salida, también se retiró el exceso de material y rebabas.
4		Mecanizado	Se mecanizó mediante torneado el bebedero estableciendo las dimensiones especificadas por el diseño.

3.9.3.3 Construcción de la mazarota y canal de salida

En la Tabla 33 se describe la construcción del modelo del modelo de la mazarota se realizó mediante la operación torneado en madera y el canal de salida en impresión 3D para obtener las dimensiones calculadas.

Tabla 33. Proceso de construcción de la mazarota [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Fabricación del modelo	Se realizó la fabricación del modelo de la mazarota en madera de pino, las dimensiones dieron mediante la operación de torneado.
2		Fundición	Se realizó el proceso de modelado y vertido del metal fundido en las cavidades del elemento.
3		Corte	Se realizó el corte de canal de ataque y salida, también se retiró el exceso de material y rebabas.
4		Mecanizado	Se mecanizó mediante torneado las mazarotas estableciendo las dimensiones especificadas por el diseño.
5		Ubicación de la guía de la mazarota	Se taladro y se realizó el machuelo de 1/2 in en área menor para colocar una guía. Esta guía es de un perno 1/2 el cual se cortó su cabeza para que cumpla su función de guía.

En la Tabla 34 se detalla la construcción del modelo del canal de salida, donde se muestra la secuencia, fotografía, operación y descripción de cada proceso.

Tabla 34. Proceso de construcción del modelo del canal de salida [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Fabricación del modelo	Se realizó la impresión 3D de modelo del canal de salida en Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) para obtener el modelo con las dimensiones exactas.
2		Fundición	Modelado del elemento en arena verde, obteniendo las cavidades del elemento y se realiza en vertido del metal fundida en los moldes.
3		Corte	Se realizó el corte de canal de ataque y salida, también se retiró el exceso de material y rebabas.
4		Acabado	Se realizó el pulido de la pieza utilizando la amoladora con el disco flap, removiendo las superficies irregulares dejando un acabado liso sobre el área de aplicación.
5		Taladrado	Se realiza el taladrado con una broca de 1/4 in para realizar la sujeción en la placa porta modelos.

3.9.4 Construcción de placas modelos

La función de las placas son la sujeción de los modelos de tambor, pozo de colado, mazarota, canal de ataque y salida mediante empernado. Se realizan la operación de avellanado debido a la utilización de pernos cabeza avellanada.

3.9.4.1 Construcción de la Placa Modelos del tambor

En la Tabla 35 se detalla la elaboración de la placa modelo del tambor, donde se muestra la secuencia, fotografía, operación y descripción de cada proceso.

Tabla 35. Proceso de construcción de la placa modelo del tambor [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Centrado y cuadrado	Se realizó el centrado de la placa modelo en la mesa de trabajo y el cuadrado de los puntos de taladrado.
2		Taladrado del modelo	Se realizó 8 perforaciones con la broca 3/8 in en la placa para sujetar los modelos del tambor.
3		Avellanado	Se realizó el avellanado de los pernos 1/4 in y 3/8 para que no obstruyan al inverso de la placa de sujeción.
4		Empernado del modelo	Se realizó el empernado para sujetar los modelos del tambor utilizando los pernos de 3/8 in.

Tabla 35. Proceso de construcción de la placa modelo del tambor (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
5		Taladrado de los componentes	Se realizó 6 perforaciones con la broca 1/4 in en la placa para sujetar el canal de ataque y salida. .
6		Empernado de los componentes	Se realizó en empernado del canal de ataque y canales de salida con la placa de sujeción, se utilizó el perno de 3/8 in para la sujeción.
7		Placa modelo ensamblada	Se insertan todos los componentes que componen la placa modelo con sistema de colado incorporado del tambor.

3.9.4.2 Construcción de la Placa Modelo de la brida

En la Tabla 36 se detalla la elaboración de la placa modelo de la brida, donde se muestra la secuencia, fotografía, operación y descripción de cada proceso.

Tabla 36. Proceso de construcción de la placa modelo de la brida [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Centrado	Se realizó el centrado de la placa modelo en la mesa de trabajo.
2		Cuadrado	Se realizó el centrado de los puntos de taladrado del modelo en la placa de sujeción.
3		Taladrado	Se realizó el taladrado con la broca 1/4 in en la placa para sujetar los modelos del tambor de la brida
4		Corte	Se realizó el corte de una plancha de 4 mm para utilizarla como placa de sujeción de la brida de secciones internas (hembra), se utilizó el plasma de corte para realizar esta operación.
5		Soldadura	Se realizó la soldadura de la placa de sujeción, para establecer las dimensiones de 74 x42 cm.

Figura 36. Proceso de construcción de la placa modelo de la brida (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
6		Corte	Se realizó el corte de la placa de dimensiones 20x20 cm para ubicar el modelo.
7		Ubicación del modelo	Se ubica el modelo centrando con el corte en la placa modelo.
8		Taladrado y empernado placa superior	Se realizó el taladrado y empernado del canal y ataque, utilizando una broca de ¼ in. Para realizar la sujeción se realiza el perforado de 7/32 in y el roscado con un machuelo de ¼ in en la placa.
9		Taladrado y empernado placa inferior	Se realizó el taladrado y empernado del canal y ataque, utilizando una broca de ¼ in. Para realizar la sujeción se realiza el perforado de 7/32 in y el roscado con un machuelo de ¼ in en la placa.
10		Pintado de placa la modelo	Se realizó el pintado de color negro de la placa modelo, pozo, canal de ataque, canal de salida, bebedero y mazarota.

Tabla 36. Proceso de construcción de la placa modelo de la brida (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
11		Pintado de placa la modelo	Se realizó el pintado de color negro de la placa modelo, pozo, canal de ataque y canal de salida.
12		Taladrado de las guías	Se realizó la perforación de 2 agujeros en la placa modelo para el centrado con las cajas de moldeo superior e inferior.
13		Ensamble con la caja modelo superior	Se ensambla la placa modelo con la mazarota, bebedero y cajas de moldeo, verificando un acople adecuado.
14		Ensamble con la caja modelo inferior	Se ensambla la placa modelo con la caja de moldeo inferior, verificando un acople y centrado adecuado.

3.9.5 Construcción de la Caja de Moldeo.

En la Tabla 37 se detalla la elaboración de la caja de moldeo es un proceso adicional debido a que se requiere que contengan la arena y conformen los moldes, estas permiten el centrado y alineación con la placa modelo.

Tabla 37. Proceso de construcción de la caja de moldeo [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Corte	Se el corte del perfil estructural de acero laminado en caliente en forma de “G”. Calidad ASTM A36.
2		Soldadura	Se realizó la soldadura para unir el perfil. Se realizó el proceso de soldadura de 8 perfiles para la caja de moldeo.
3		Taladrado	Se realizó el taladrado con la broca 3/8 in de las guías de centrado de la placa modelo y el taladrado con la broca de 1/2 in para las guías de centrado de las cajas de moldeo.
4		Soldadura de componentes	Se realizó la soldadura del sistema de apriete y unión: Manija, tubo cuadrado, tubo redondo y la bincha se acople.
5		Limpieza	Se realiza la limpieza con un cepillo de alambre retirando las escorias de la soldadura y otros residuos en la superficie.
6		Pintado	Se realizó el pintado de color negro para evitar la corrosión de las cajas de moldeo.

3.9.6 Elaboración del molde macho para el tambor

En la Tabla 38 se detalla la elaboración del molde del macho, es un proceso adicional debido a que se requiere que contengan la arena de sílice y conformen el noyo deseado, estas se conforman de dos mitades simétricas, el diseño con guías permite el centrado y alineación.

Tabla 38. Proceso de elaboración del molde para el macho [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Ensamble de caja del macho	Se une la caja modelo por medio de las guías de centrado.
2		Compactación	Se realizó el inserto de la arena de sílice para el macho y luego se compacta para evitar que haya agujeros o cavidades.
3		Aplicación de CO2	Se realizó la aplicación de CO2 durante 1 minuto cuya función es la de un catalizador para endurecer el macho y evitar que se desmorone.
4		Desensamble	Se retiró la caja de moldeo del macho con mucho cuidado, verificando que el macho este endurecido antes que su retiro.
5		Limpieza	Se realiza la limpieza de la superficie del macho, retirando el exceso de material para que encaje en la cavidad del molde.

3.9.7 Elaboración de moldes de arena y fundición del tambor

En la Tabla 39 se detalla la realización de moldes de arena utilizando la placa modelo del tambor, comprobando que el funcionamiento es eficiente, resulta en cavidades exactas para ubicar el noyó. Una vez conformado los moldes de arena se procede a la fundición de las piezas, las mismas resultaron en piezas de tambor.

Tabla 39. Proceso de modelado y fundición del tambor [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Ensamble de componentes	Se coloca las cajas de moldeo superior en inferior, quedando la placa modelo en la mitad de estas. Se ensambla o se ubica correctamente los modelos del tambor, canal de ataque, canal de calidad, bebedero y mazarota.
2		Modelado	Se realiza el proceso de modelado, se coloca plomatina, tierra de contacto y tierra de moldeo sobre los modelos como en los componentes de la placa modelo.
3		Compactación	Se compacta la tierra de moldeo utilizando una pistola neumática de impacto en la caja de moldeo superior e inferior.
4		Extracción de bebedero y mazarotas	Se realiza la extracción del bebedero y las mazarotas, dejando las cavidades de estas.

Tabla 39. Proceso de modelado y fundición del tambor (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
5		Separación del molde de arena de la placa modelo	Se realiza la separación la caja de moldeo que contiene el molde de arena verde con la cavidad del tambor, canal de ataque, canales de salida, bebedero y mazarotas.
6		Extracción de la placa modelo	Se retira los modelos y componentes de la parte superior de la placa. Así mismo se retira la placa modelo de la caja de moldeo inferior, conformando las cavidades respectivas.
7		Colocación de los machos	Se ubica los machos en las cavidades de alojamientos, esto permite formar la cavidad del tambor.
8		Unión de las cajas de moldeo y moldes de arena verde.	Se ubica la caja de moldeo superior sobre la inferior por medio de guías para garantizar una alineación adecuado del molde de arena verde.
9	 	Fundición	Se realiza el proceso de fundido de la pieza, este proceso se lo realiza con las medidas de seguridad correspondientes.

Tabla 39. Proceso de modelado y fundición del tambor (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
10		Extracción y limpieza	Se extrae las piezas fundidas de los moldes de arena además se retira el macho de la parte interna del tambor.
11		Acabado	Se realiza las operaciones de corte con una pulidora de los canales de ataque y salida. Luego de realiza el pulido del exceso del material, así como de las rebabas y finalmente se realiza un pulido con el disco flap para darle un acabado liso con mayor estética.

3.9.8 Elaboración de moldes de arena y fundición de la brida

En la Tabla 40 se detalla la realización de moldes de arena utilizando la placa modelo de la brida, comprobando que el funcionamiento es eficiente, resulta en cavidades requeridas de la pieza. Una vez conformado los moldes de arena se procede a la fundición de las piezas, las mismas resultaron en piezas de las bridas.

Tabla 40. Proceso de modelado y fundición de la brida [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Ensamble de componentes	Se coloca las cajas de moldeo superior en inferior, quedando la placa modelo en la mitad de estas. Se ensambla o se ubica correctamente los modelos del tambor, canal de ataque, canal de calidad, bebedero y mazarota.

Tabla 40. Proceso de modelado y fundición de la brida (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
2		Modelado	Se realiza el proceso de modelado, se coloca plomatina, tierra de contacto y tierra de moldeo sobre los modelos como en los componentes de la placa modelo.
3		Compactación	Se compacta la tierra de moldeo utilizando una pistola neumática de impacto en la caja de moldeo superior e inferior.
4		Extracción de bebedero y mazarotas	Se realiza la extracción del bebedero y las mazarotas, dejando las cavidades de estas.
5		Separación y extracción de la placa modelo	Se realiza la separación la caja de moldeo que contiene el molde de arena verde con la cavidad del tambor, canal de ataque, canales de salida, bebedero y mazarotas.
6		Separar de las cajas de moldeo y unir los moldes de arena verde.	Se ubica la caja de moldeo superior sobre la inferior por medio de guías para garantizar una alineación adecuado del molde de arena verde. Posterior se unen y se desmonta las cajas de moldeo. Finalmente se coloca tapas en los orificios del bebedero y mazarota impidiendo que ingrese arena.

Tabla 40. Proceso de modelado y fundición de la brida (Continuación) [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
7		Fundición	Se realiza el proceso de fundido de la pieza, este proceso se lo realiza con las medidas de seguridad correspondientes.
8		Extracción y limpieza	Se extrae las piezas fundidas de los moldes de arena, se muestra la brida fundida y se observa el bebedero hay un agujero en la cual evidencia que apporto el hierro dúctil para la correcta terminación de la pieza.
9		Acabado	Se realiza las operaciones de corte con una pulidora de los canales de ataque y salida. Luego de realiza el pulido del exceso del material, así como de las rebabas y finalmente se realiza un pulido con el disco flap para darle un acabado liso con mayor estética.

3.9.9 Conformación de la Unión Gibault de 6 pulgadas

En la Tabla 41 se detalla las operaciones complementarias de acabado y pintado para brindar la unión gibault como producto final.

Tabla 41. Acabado y obtención de la Unión Gibault de 6 pulgadas [Autor].

#	Fotografía	Operación	Descripción
1		Acabado y limpieza	Se realiza las operaciones de pulido con el disco flap para retirar pequeñas imperfecciones y posterior la limpieza con aire u guaípe.
2		Ensamble	Se ensambla el tambor con las bridas y observar que encajen correctamente para su correcto funcionamiento, caso contrario rectificar los componentes.
3		Pintado con fondo	Primero se limpia las impurezas sobre la superficie. Se prepara la pintura de fondo y luego realizar el pintado correspondiente.
4		Pintado del tambor	Se realiza la extracción del bebedero y las mazarotas, dejando las cavidades de estas.
5		Pintado de bridas	Se realiza la separación la caja de moldeo que contiene el molde de arena verde con la cavidad del tambor, canal de ataque, canales de salida, bebedero y mazarotas.
6		Emsamble	Se conforma la unión gibault con sus componentes.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinó el espesor del tambor de 8 mm mediante la Norma ANSI/AWWA C219-11 y ASTM B126 CLASE B, la presión de trabajo de la unión Gibault es de 200 Psi este valor es reemplazado en la Ecuación (1) que corresponde a la fórmula de Barlow que permite hallar el espesor, por lo tanto, se comprueba que el tambor cumplirá las condiciones de operación y seguridad.
- Se diseñó los componentes de las placas modelos, mediante los siguientes valores calculados: diámetro del bebedero de 2,8 cm con un ángulo de salida de 5°, el canal de ataque se diseña con un estrechamiento y el pozo de distribución en forma esférica de un diámetro de 7,5 cm, obteniendo una velocidad de vertido de 156, 605 cm/s, el gasto volumétrico de 1967.67 cm³/s, un número de Reynolds de 5 837, 44, indicando que es un flujo laminar y no abra presencia de atrapamiento de aire. Por lo cual se evidencia en la calidad del producto final donde permite un llenado adecuado y sin presencia de rechupes.
- Se calculó un factor de seguridad para los ajustes de los tornillos en los modelos con las placas, donde sé tiene un factor de seguridad de 1,17 para el tornillo de 3/8 in. de diámetro; el modelo soportará un torque de 300 lbf.in, también se obtuvo un factor de seguridad de 1,19 para el tornillo de 1/4 in. de diámetro, el modelo soportará un torque de 84 lbf.in. Por lo que se concluye que los modelos soportaran los ajustes sin sufrir fallos.
- Se construyó las placas de sujeción de la brida y tambor de Acero ASTM A36 con un espesor de 6 y 4 mm. Este material brinda una resistencia a la acción abrasiva de la arena de moldeo, además por las propiedades mecánicas va a soportar todas las cargas colocadas.
- Se fabricó el modelo del bebedero, mazarota, pozo de colado, canal de ataque y salida de hierro dúctil, este material es adecuado para la producción de modelos por su bajo costo, es un material fuerte, de fácil maquinabilidad y resiste al proceso de abrasión de la arena de moldeo.

- Se construyó el modelo de la brida en un centro de mecanizado, las diferentes operaciones permiten conformar la geometría compleja del modelo. El material para el modelo de la brida es el aluminio, este es de fácil maquinabilidad, permite realizar una producción en masa y brinda un buen acabado superficial.
- Se construyó el modelo del tambor mediante el proceso torneado, mediante esta operación se obtuvo un buen acabado superficial y precisión en las medidas del modelo. El material del tambor es de Acero ASTM A36, este brinda una buena resistencia al desgaste, tenacidad, buena maquinabilidad, su reparación es sencilla y posee buena resistencia a la acción abrasiva de la arena de moldeo.
- Se elaboró moldes de arena utilizando las placas modelos, estas dieron como resultado cavidades eficientes cumpliendo su objetivo de copiar la forma de los modelos, no se presentaron desmoronamientos de las paredes de los moldes, debido a que se diseñó con un ángulo de salida adecuado. Concluyendo que el diseño y la construcción fue la correcta.
- Se realizó la fundición de piezas de tambores y bridas, el tiempo de llenado del molde es de 3 segundos, el tiempo de solidificación de las piezas es de 120 segundos, en la solidificación se observa que la mazarota aporta con metal fundido, estos resultados permiten obtener piezas sin defectos de rechupes o poros, por lo tanto, el sistema de colado y las placas modelo cumple con su función correctamente. En las Tablas 40 y 41 se muestra la fundición de las piezas.

4.2 Recomendaciones

- Para la fabricación de la placa modelo se debe tomar en cuenta el precio de los materiales, estos deben ser accesibles dentro de la empresa para minimizar el costo de materiales.
- Al diseñar el sistema de salida o compensación es importante tener en cuenta las secciones que permiten salir los gases que llegan a generar defectos de socava duras.
- Para ofrecer la unión gibault de calidad al mercado se debe basar en normas que establecen parámetros de diseño de uniones universales, válvulas y tuberías.

- Cuando se realiza la placa modelo con sistema de colado incorporado se necesario tener en cuenta que la mazarota y el bebedero deben ser móviles para su fácil desmontaje del molde de arena.
- Se recomienda verificar el producto final de función para verificar las dimensiones especificadas de la unión gibault por acción de la contracción, defectos de fundición y sistema de colado.
- Capacitar a los modeladores en base a la utilización de la placa modelo y la importancia de usar un sistema de ataque y compensación adecuado para obtener piezas de calidad.
- Sujetar los modelos o componentes a la placa de porta modelos con pernos debido a que alguna pieza requiera alguna modificación o arreglo se pueda desmontar fácilmente.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. E. Bazante del Pozo, “Diseño de un Molde Permanente de Fundición por Gravedad para la Fabricación de Pesas Adhesivas de Plomo Utilizadas en Balanceo de Neumáticos,” Universidad Internacional SEK, Quito-Ecuador, 2014.
- [2] ferrosplanes, “Usos del hierro en la industria - ferrosplanes,” Aug. 03, 2021. <https://ferrosplanes.com/usos-del-hierro-en-la-industria/> (Último acceso: Oct. 11, 2022).
- [3] H. M. Avendaño Garrido, M. de la luz Hernández, E. S. León Domínguez, and R. Ramos Flores, “Diseño y fabricación de modelos para fundición,” 2015.
- [4] L. M. Muñoz Astorga, “Diseño del proceso de fabricación de una pieza fundida, Lifter Molino Sag,” Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2018.
- [5] M. A. Ugalde Linares, “Fabricación de un molde para fundición de un álabe de rodete hidráulico tipo Francis,” Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Morelia, 2010.
- [6] P. Carrizosa Isaza, “Modelación y análisis de un molde para fundición de aluminio por coquilla,” Universidad EAFIT, Medellín, 2007.
- [7] J. PFC, “Estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena,” 2018.
- [8] D. C. Gestión, “Moldeo por Gravedad - Proceso y Aplicaciones,” 2018. <https://www.gestiondecompras.com/es/productos/fundicion/moldeo-por-gravedad/> (Último acceso: Jun. 01, 2022).
- [9] birt ikastaroak, “Tipología de defectos en fundición por gravedad. | DMMF03.- Diseño de la pieza y el molde para fundición por gravedad.,” 2021. https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMMF/DMMF03/es_DFM_DMMF03_Contenidos/website_21_tipologa_de_defectos_en_fundicin_por_gravedad.html (Último acceso: Jan. 02, 2023).
- [10] H. S. Bawa, Procesos de Manufactura . México, 2007.
- [11] S. Kalpakjian and S. Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, Quinta. México: Pearson educación, 2008. [En Línea]. Disponible en: www.pearsoneducacion.net/kalpakjian

- [12] M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna*, Tercera Edición. New York: McGraw.Hill, 2017.
- [13] R. Intelángelo and A. Bonato, *Fundición y Moldeo*, Primera. Instituto Politécnico, 2005.
- [14] J. J. Bustos Cocha and C. I. Calapiña Toapanta, “Optimización de los procesos en la elaboración de moldes para la fundición de piezas en la empresa Fundi Laser.,” 2020. Último acceso: Jun. 01, 2022. [En Línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6754>
- [15] M. A. Garcés García, “Diseño y simulación del llenado de un molde en arena en verde para fundición de piezas de aluminio blanco.,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [16] J. A. Schey, *Procesos de manufactura*, Tercera. México: McGraw-Hill, 2002.
- [17] birt ikastaroak, “Cálculo y dimensionado de los moldes en fundición por gravedad.,”2022.
https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMMF/DMMF02/es_DFM_DMMF02_Contenidos/website_index.html (Último acceso: Jun. 06, 2022).
- [18] J. Campbell, *The new metallurgy of cast metals castings* , Segunda., vol. 1. London, 2003.
- [19] G. Enplegu Eta and S. Gaietako, “Diseño de moldes y modelos para fundición o forja,” G. Enplegu Eta and S. Gaietako, Eds. Gobierno Vasco, 2019.
- [20] mineralmilling, “Tipos de defectos de fundición en la fundición de arena | African Pegmatite,” 2020. <https://mineralmilling.com/es/tipos-de-defectos-de-fundicion-en-la-fundicion-de-arena/> (Último acceso: Jan. 02, 2023).
- [21] Radver, “Industria Limpia con Hornos de Inducción Térmica.” <https://www.radver.com/articulos-fundicion-metales/12-la-fundicion-de-metales/59-industria-limpia-con-hornos-de-inducci%C3%B3n-t%C3%A9rmica.html> (Último acceso: Jul. 02, 2022).
- [22] F. J. Rodríguez, P. M. Dardati, L. A. Godoy, and D. J. Celentano, “Derivation of nodular cast iron elastic properties via computational micromechanics,” *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, vol. 31, no. 2, pp. 91–105, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.rimni.2014.01.003.

- [23] J. Solís, Teoría y cálculo para fresado mecánico, Primera. Costa Rica, 2013.
- [24] MatWeb, “ASTM A36 Steel, bar,” 2022. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1> (Último acceso: Dec. 12, 2022).
- [25] NTE INEN, “Fundición nodular requisitos-NTE INEN 2 499:2009,” Quito, 2009.
- [26] J. Villagran, “Influencia de las micro aleaciones (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) en el proceso de obtención de fundición nodular (NTE INEN 2499-2009) para determinar las propiedades mecánicas, en la empresa Fundi laser,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [27] American Water Works Association, “AWWA Standard The Authoritative Resource on Safe Water® Bolted, Sleeve-Type Couplings for Plain-End Pipe,” New York, 2011 [En Línea]. Disponible en: www.awwa.org
- [28] American Society for Testing and Materials, “Standard Specification for Gray Iron Castings for Valves, Flanges, and Pipe Fittings 1,” West Conshohocken, 2002. [En Línea]. Disponible en: www.astm.org
- [29] P.V.E., Programación del Centro de Mecanizado,. Quito, 2005.

ANEXOS

Anexo 1. Condiciones de corte.

Kind of machining	Material to be cut	Steel (S35C)		Cast (FC25)		Aluminum (Al)	
	Cutting condition	Cutting speed(V)	Feed rate (f)	Cutting speed(V)	Feed rate (f)	Cutting speed(V)	Feed rate (f)
	Classification	m/min	mm/Tooth Az	m/min	mm/Tooth Az	m/min	mm/Tooth Az
Face milling (Cemented carbide)	Rough	120	0.2	90	0.2	200	0.2
	Finish	150	0.15	120	0.2	300	0.2
End milling (High-speed steel)	Rough	20	0.12	22	0.1	80	0.1
	Finish	25	0.08	26	0.06	90	0.08
End milling (Cemented carbide)	Rough	60	0.1	65	0.1	120	0.15
	Finish	70	0.06	75	0.07	150	0.10
Drilling (High-speed steel)	/	20	0.2 (mm/rev)	25	0.2 (mm/rev)	50	0.2 (mm/rev)
Drilling (Cemented carbide)	/	60	0.3 (mm/rev)	50	0.2 (mm/rev)	/	/
Boring (Cemented carbide)	Rough	85	0.15	95	0.15	250	0.15
	Finish	95	0.08	100	0.1	300	0.08
Tapping (High-speed steel)	/	8	(Pitch)	10	(Pitch)	15	(Pitch)
Reaming (High-speed steel)	/	6	0.25 (mm/rev)	6	0.25 (mm/rev)	10	0.5 (mm/rev)

b) Cutting conditions vary according to various kinds of factors such as the size of the tool diameter, the rigidity and setting method, workpiece and machining accuracy. Values in the above table can be used as yardsticks of cutting conditions.

Fuente:[29]

Anexo 2: Calendarización del modelo de la brida superior.

Concept.	Proceso	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad del husillo (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)	Tiempo	Ilustración
Brida partes externas (Macho)	Desbaste-cuadrado	Se retiró el material en la superficie aproximada a las dimensiones requeridas.	Centro de mecanizado	Barra porta inserto: D=20 mm	1800	720	3	1h	
	Desbaste de forma aproximada	Se desbastó el exceso de material en la parte externa.	Centro de mecanizado	Fresa esférica: D=12 mm	1800	720	2	2h	
	Acabado	Se realizo el fresado en los acabados externos de los detalles finos.	Centro de mecanizado	Fresa de cilíndrica 8 mm	3600	540	0.5	3 h	
	Perforado	Se realizaron las perforaciones para la sujeción de la brida a la placa porta modelos.	Centro de mecanizado	Broca de centro: D=1/4 in.	1200	120	2	30 min	
		Se realizó el avellanado para los pernos de sujeción.	Centro de mecanizado	Broca de centro: D=1/2 in.	600	60	2	30 min	

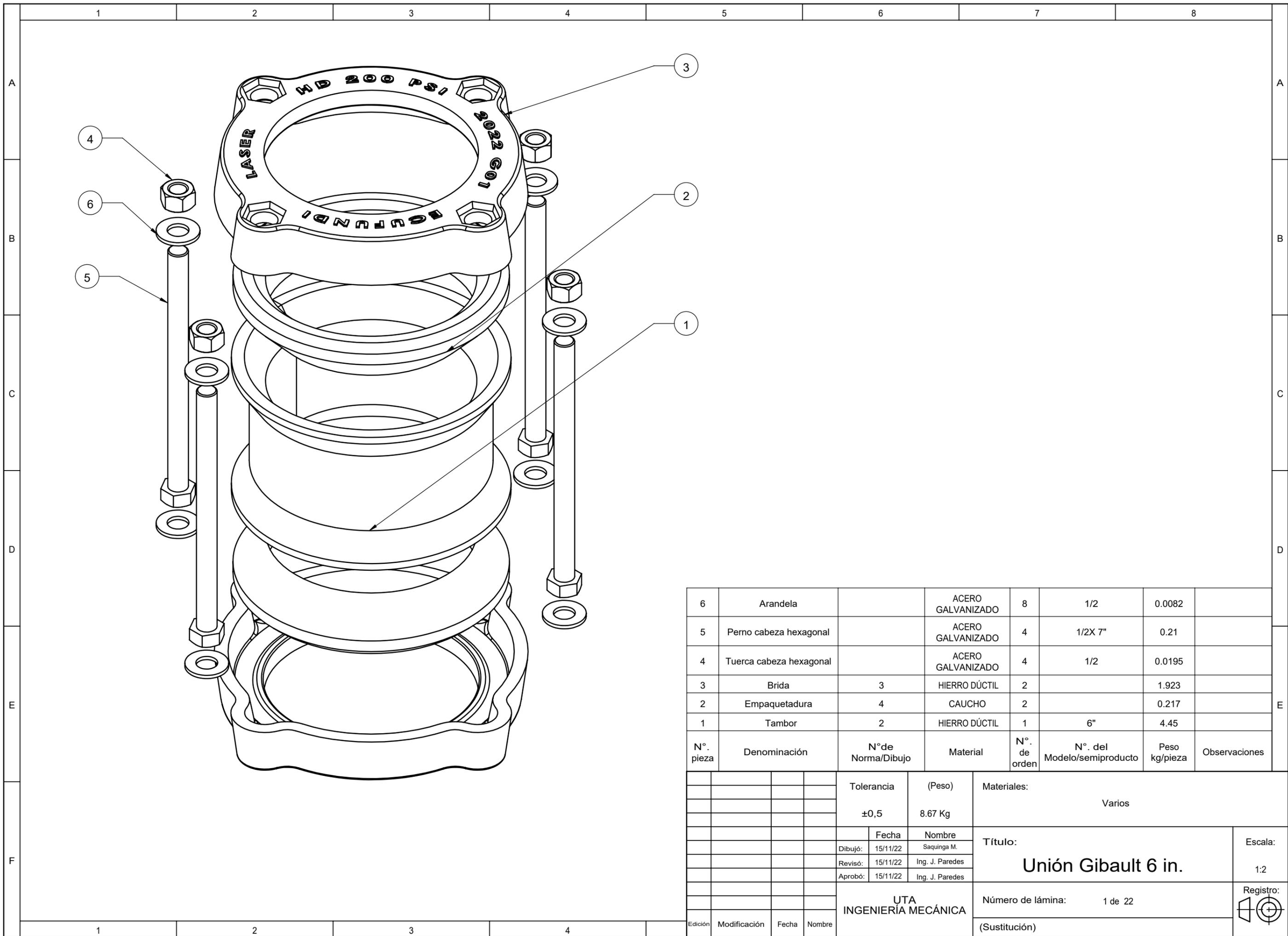
Concepto	Proceso	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad del husillo (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)	Tiempo	Ilustración
Brida partes externas (Macho)	Desbaste	Se desbastó el exceso de material en la parte interna para la sección de los hexágonos y agujeros.	Centro de mecanizado	Fresa esférica: D=12 mm	1200	720	3	30 min	
	Acabado	Se realizó el fresado en los acabados internos de los detalles finos de los hexágonos y agujeros.	Centro de mecanizado	Fresa de cilíndrica 4 mm	3600	540	0.5	30 min	
	Corte	Se realiza el corte exceso del material en la parte inferior del modelo ya mecanizado.	Electro de hilo	Alambre de Tungsteno	60	60		8h	

Anexo 3: Calendarización del modelo de la Brida inferior.

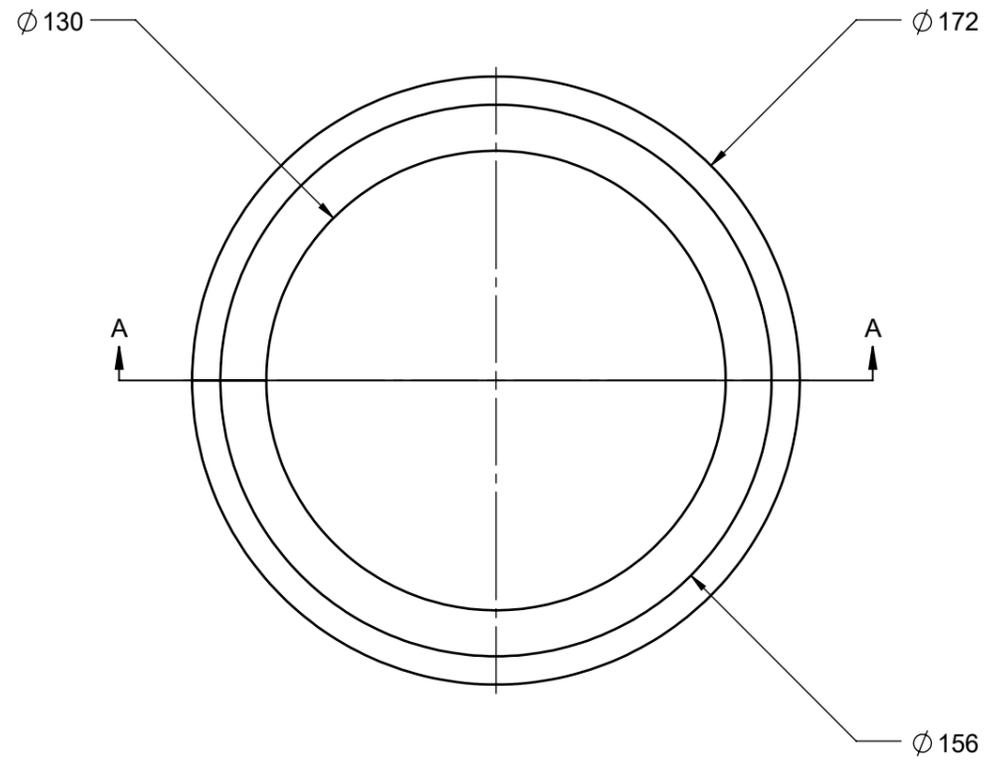
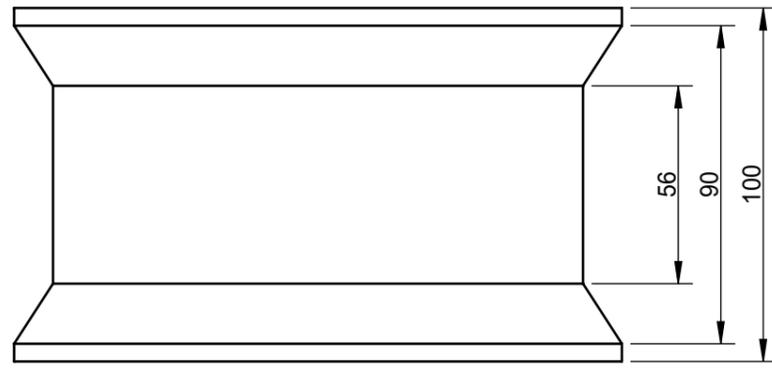
Concepto	Proceso	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad del husillo (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)	Tiempo (mm)	Ilustración
Brida partes internas (Hembra)	Desbaste-cuadrado	Se retiró el material en la superficie aproximada a las dimensiones requeridas.	Centro de mecanizado	Barra porta inserto: D=20 mm	1800	720	3	1h	
	Desbaste de forma aproximada	Se desbastó el exceso de material en la parte externa.	Centro de mecanizado	Fresa esférica: D=12 mm	1800	720	2	2h	
	Acabado	Se realizo el fresado en los acabados externos de los detalles finos.	Centro de mecanizado	Fresa de cilíndrica 8 mm	3600	540	0.5	3 h	

Concepto	Proceso	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad del husillo (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)	Tiempo (min)	Ilustración
Brida partes internas (Hembra)	Perforado	Se realizaron las perforaciones para la sujeción de la brida a la placa porta modelos.	Centro de mecanizado	Broca de centro: D=1/4 in.	1200	120	2	30 min	
		Se realizó el avellanado para los pernos de sujeción.	Centro de mecanizado	Broca de centro: D=1/2 in.	600	60	2	30 min	
	Desbaste	Se desbastó el exceso de material en la parte interna para la sección de los hexágonos y agujeros.	Centro de mecanizado	Fresa esférica: D=12 mm	1200	720	3	30	
	Acabado	Se realizó el fresado en los acabados internos de los detalles finos de los hexágonos y agujeros.	Centro de mecanizado	Fresa de cilíndrica 4 mm	3600	540	0.5	30 min	

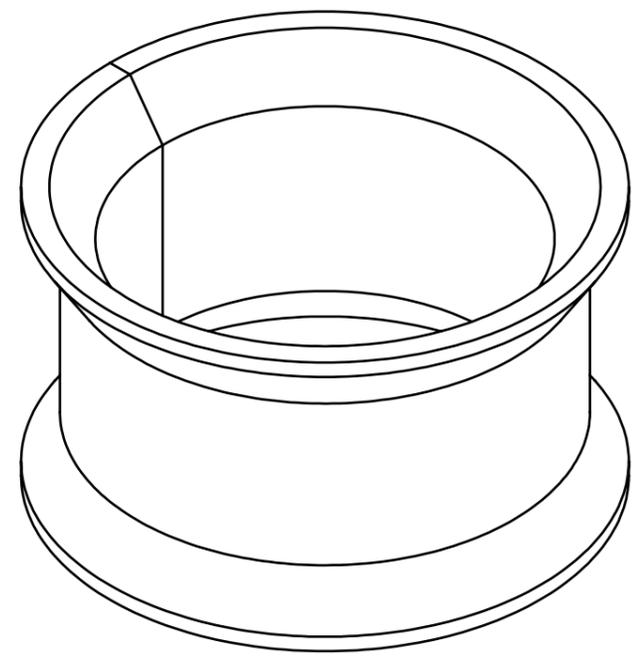
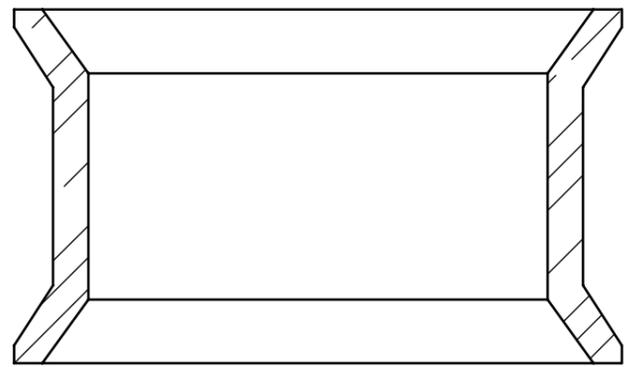
Anexo 4. PLANOS



N°. pieza	Denominación	N° de Norma/Dibujo	Material	N°. de orden	N°. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
6	Arandela		ACERO GALVANIZADO	8	1/2	0.0082	
5	Perno cabeza hexagonal		ACERO GALVANIZADO	4	1/2X 7"	0.21	
4	Tuerca cabeza hexagonal		ACERO GALVANIZADO	4	1/2	0.0195	
3	Brida	3	HIERRO DÚCTIL	2		1.923	
2	Empaquetadura	4	CAUCHO	2		0.217	
1	Tambor	2	HIERRO DÚCTIL	1	6"	4.45	
Tolerancia		(Peso)		Materiales:			
±0,5		8.67 Kg		Varios			
Fecha		Nombre		Título:			Escala:
Dibujó: 15/11/22		Saquina M.		Unión Gibault 6 in.			1:2
Revisó: 15/11/22		Ing. J. Paredes		Número de lámina: 1 de 22			Registro:
Aprobó: 15/11/22		Ing. J. Paredes		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA INGENIERÍA MECÁNICA			



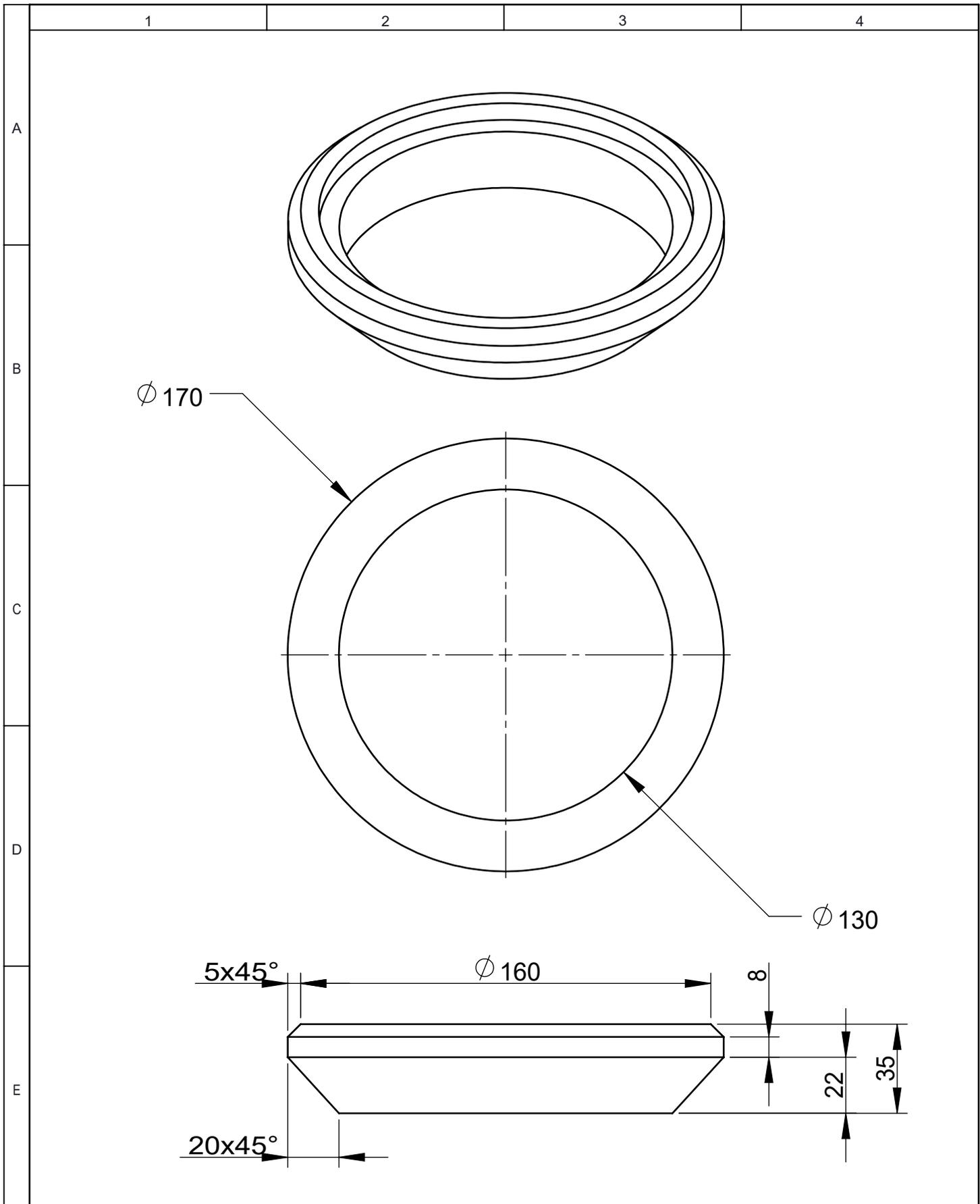
CORTE A-A



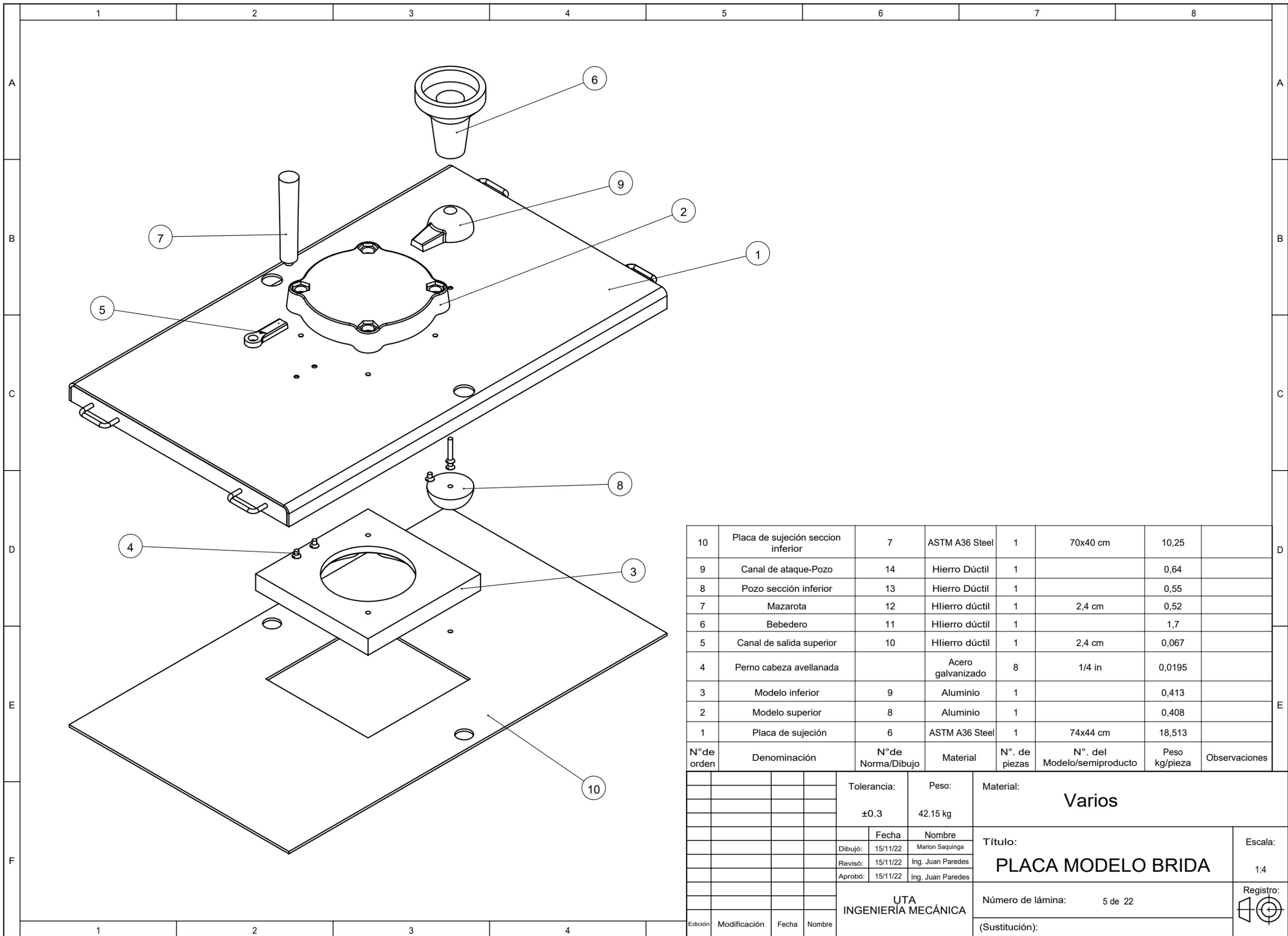
N11 FUNDIDO

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				$\pm 2,5$	3,5 Kg	HIERRO DÚCTIL		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina	TAMBOR	
				Revisó:	15/11/22	Ing. J. Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. J. Paredes		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina:	2 de 24
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución):	Registro:

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

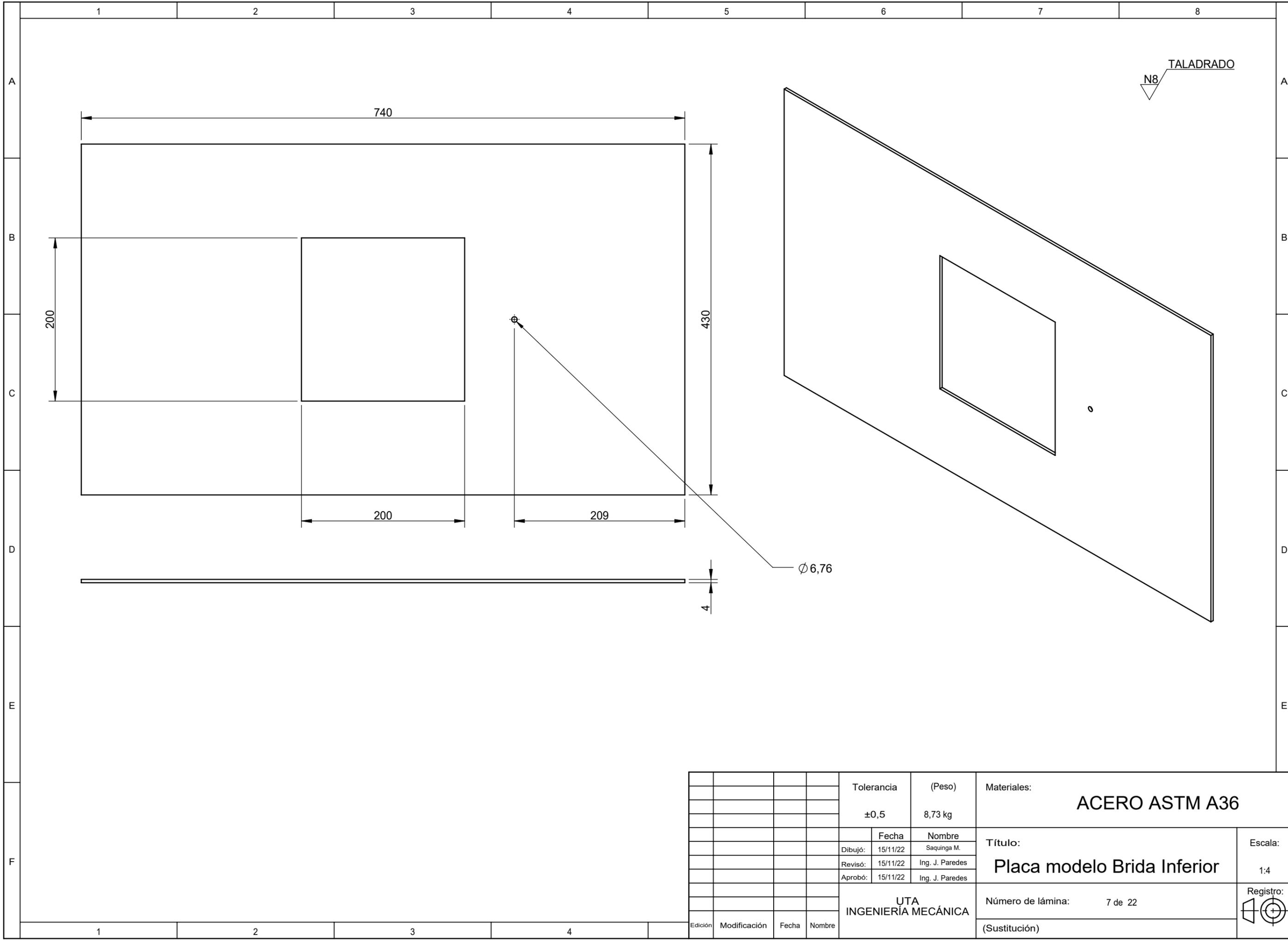


				Tolerancia:	Peso:	Material:		CAUCHO
				±0.1	0,22 kg			
					Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		
				Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	EMPACQUETADURA	1:2
				UTA				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA			(Sustitución):	



N° de orden	Denominación	N° de Norma/Dibujo	Material	N°. de piezas	N°. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
10	Placa de sujeción seccion inferior	7	ASTM A36 Steel	1	70x40 cm	10,25	
9	Canal de ataque-Pozo	14	Hierro Dúctil	1		0,64	
8	Pozo sección inferior	13	Hierro Dúctil	1		0,55	
7	Mazarota	12	Hhierro dúctil	1	2,4 cm	0,52	
6	Bebedero	11	Hhierro dúctil	1		1,7	
5	Canal de salida superior	10	Hhierro dúctil	1	2,4 cm	0,067	
4	Perno cabeza avellanada		Acero galvanizado	8	1/4 in	0,0195	
3	Modelo inferior	9	Aluminio	1		0,413	
2	Modelo superior	8	Aluminio	1		0,408	
1	Placa de sujeción	6	ASTM A36 Steel	1	74x44 cm	18,513	

Tolerancia:		Peso:		Material:			
±0.3		42.15 kg		Varios			
Fecha		Nombre		Título:			Escala:
Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		PLACA MODELO BRIDA			1:4
Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes					
Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes					
UTA INGENIERÍA MECÁNICA				Número de lámina:		5 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución):			



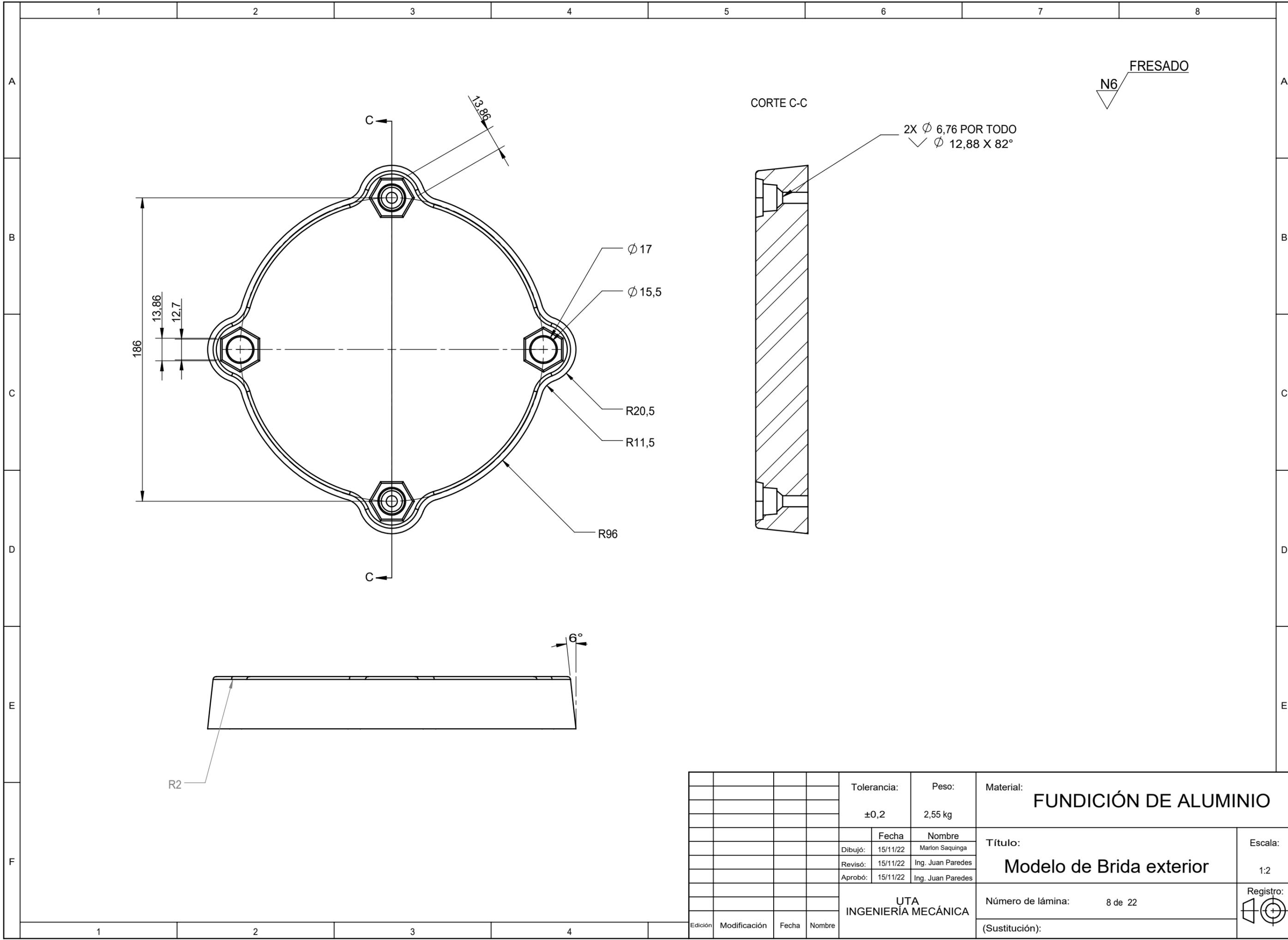
TALADRADO
N8

Ø 6,76

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,5	8,73 kg	ACERO ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Título:
				Dibujó:	15/11/22	Saquina M.	Placa modelo Brida Inferior
				Revisó:	15/11/22	Ing. J. Paredes	
				Aprobó:	15/11/22	Ing. J. Paredes	
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	7 de 22
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	Registro:

Escala:
1:4

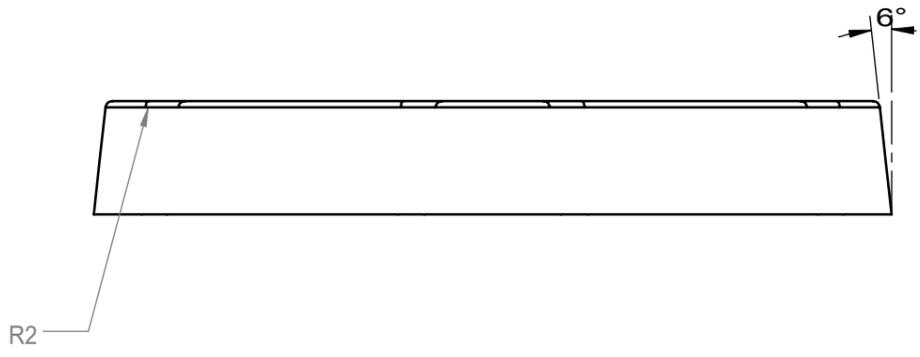
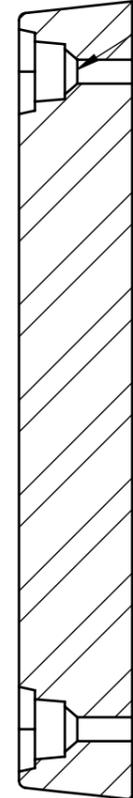
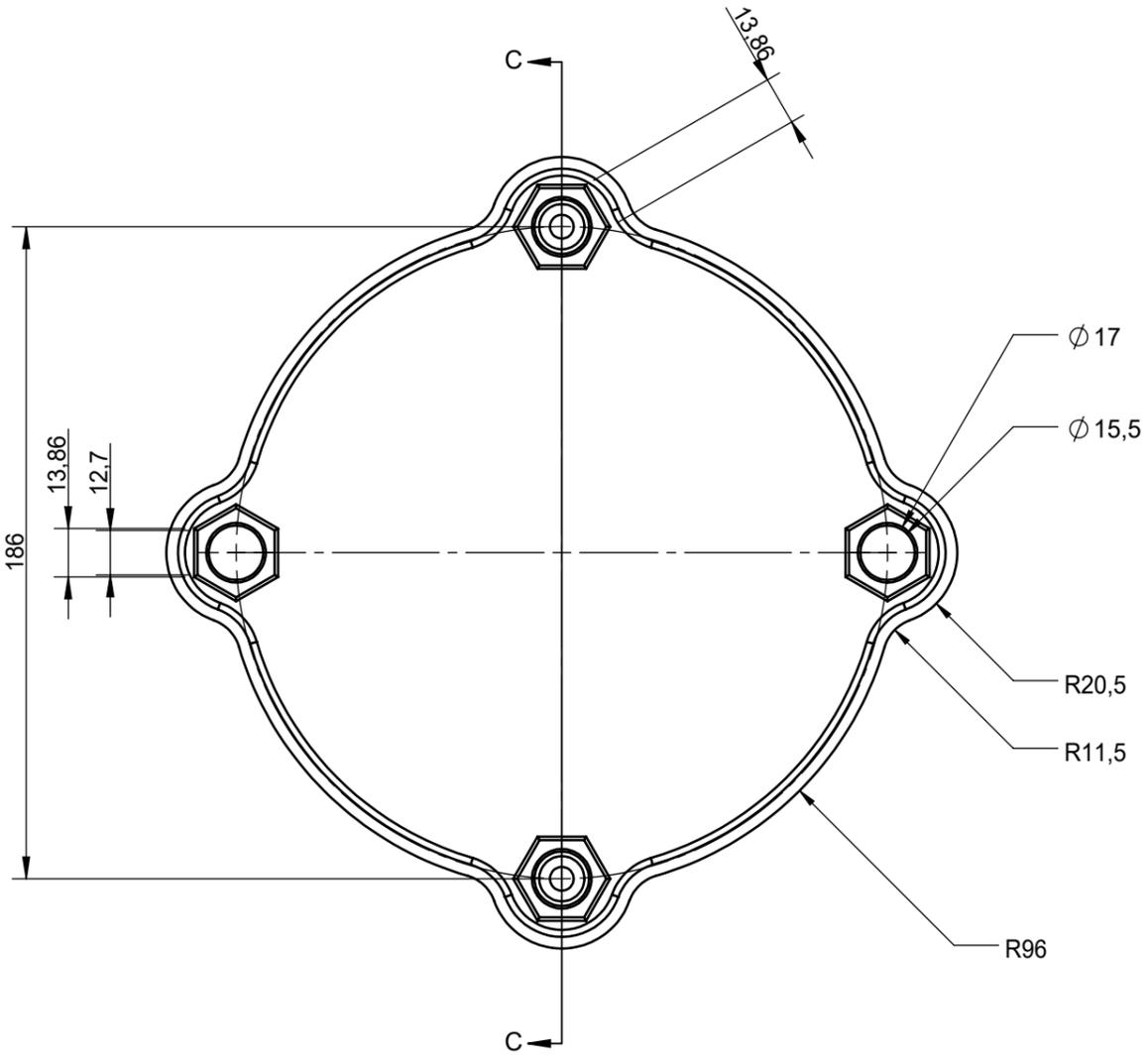
Registro:



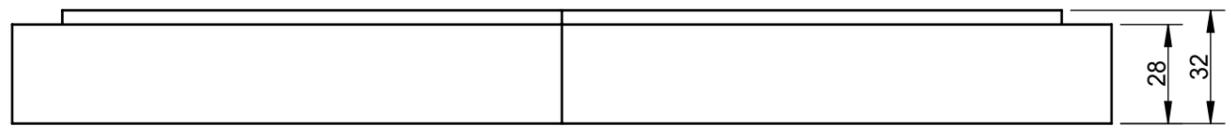
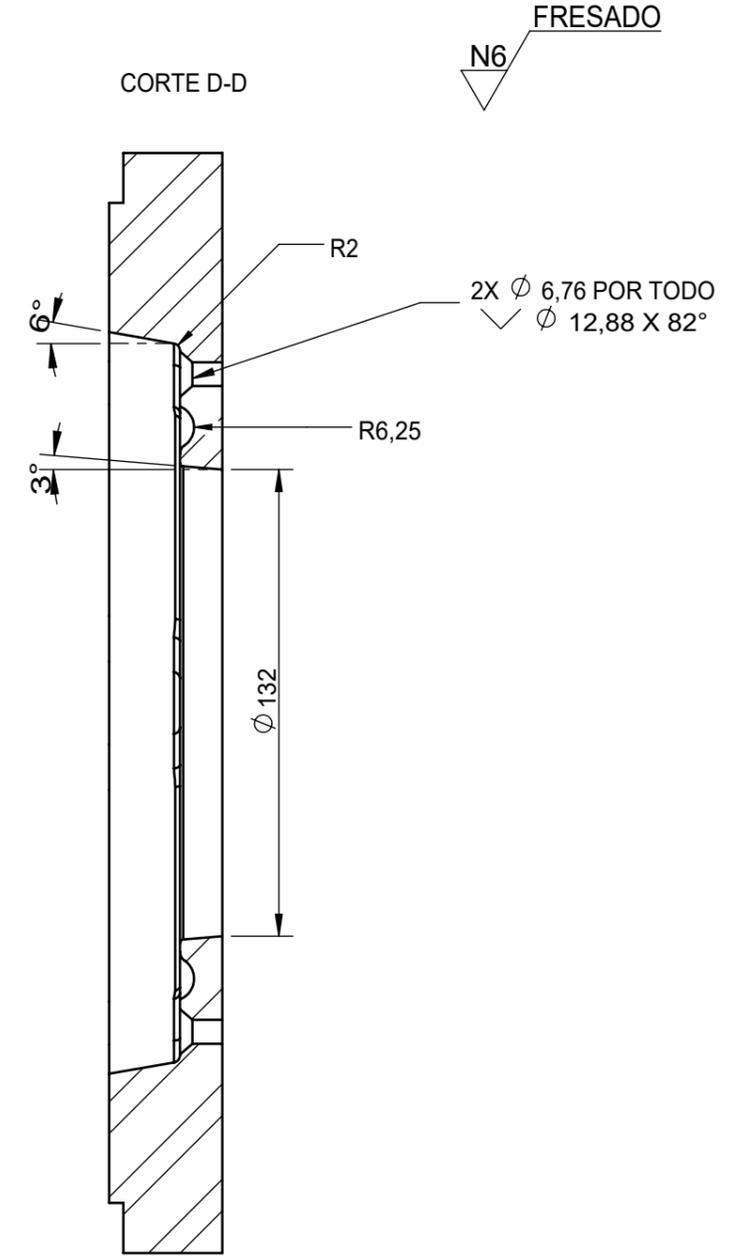
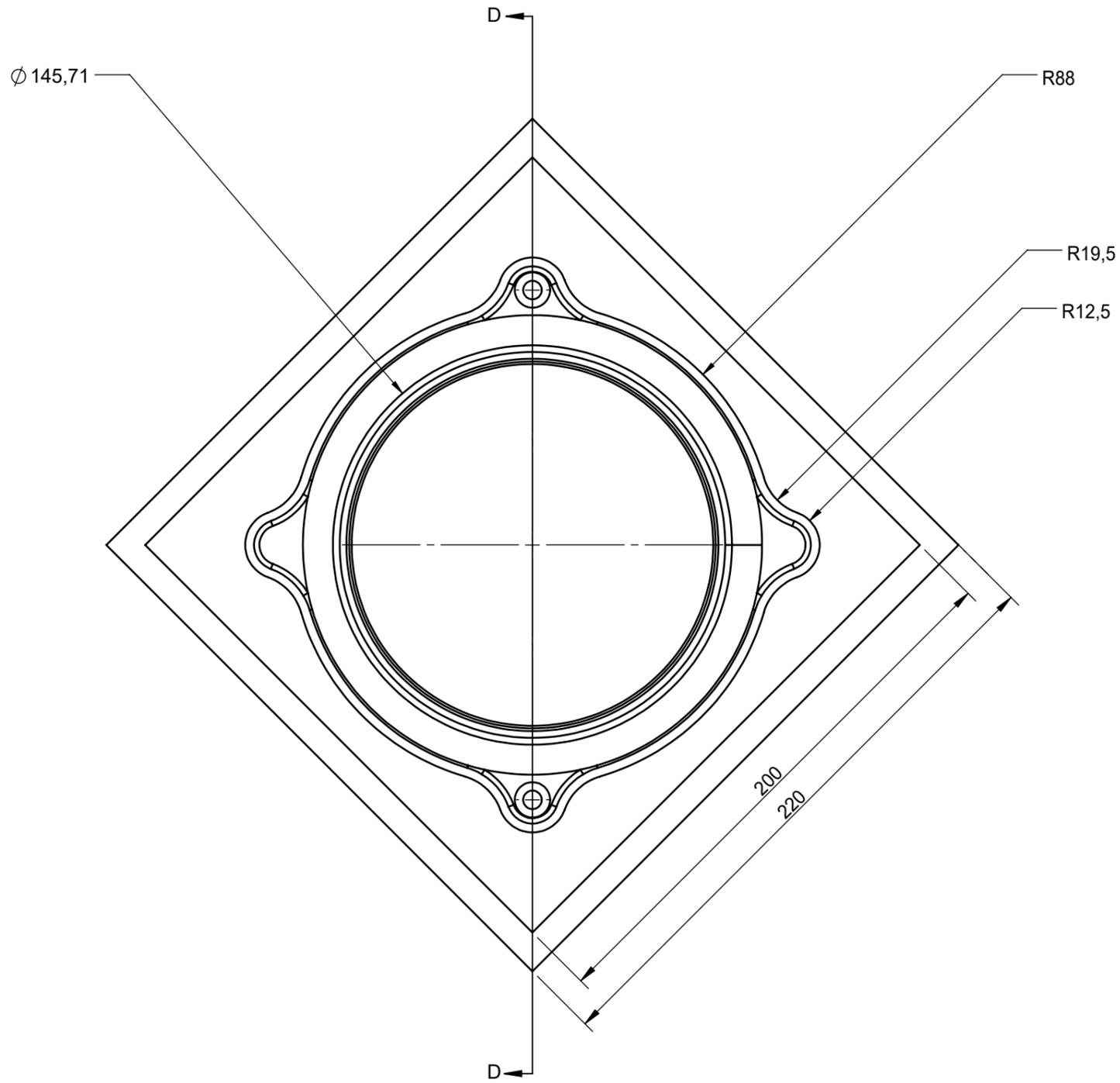
FRESADO
N6

CORTE C-C

2X ϕ 6,76 POR TODO
 \surd ϕ 12,88 X 82°



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				$\pm 0,2$	2,55 kg	FUNDICIÓN DE ALUMINIO		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina	Modelo de Brida exterior	
				Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina:	8 de 22
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución):	
							Registro:	
							1:2	



				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0,4	2.23 kg	FUNDICIÓN DE ALUMINIO	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 15/11/22	Marlon Saquina	Modelo de Brida interior	
				Revisó: 15/11/22	Ing. Juan Paredes	Escala:	
				Aprobó: 15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:2	
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 9 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Registro:	
						(Sustitución):	



1

2

3

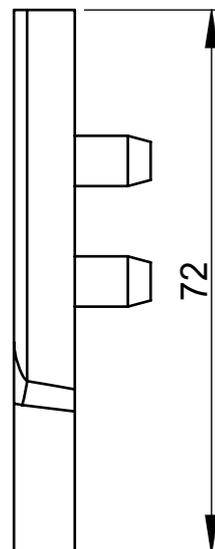
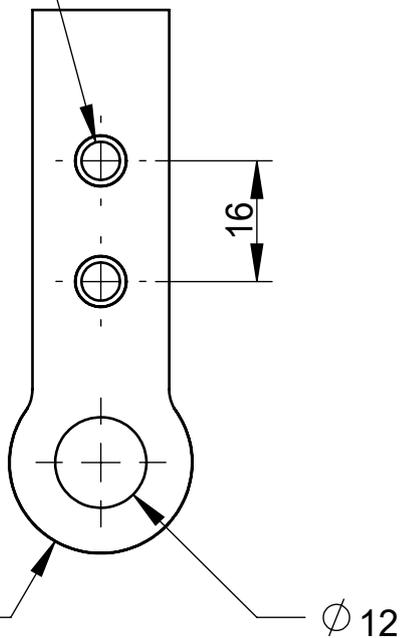
4

A

TALADRADO
N9

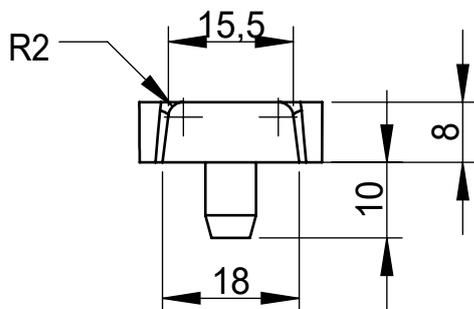
$\checkmark \phi 6,66 \nabla 10$
 $\phi 5,05 \times 30^\circ$

B



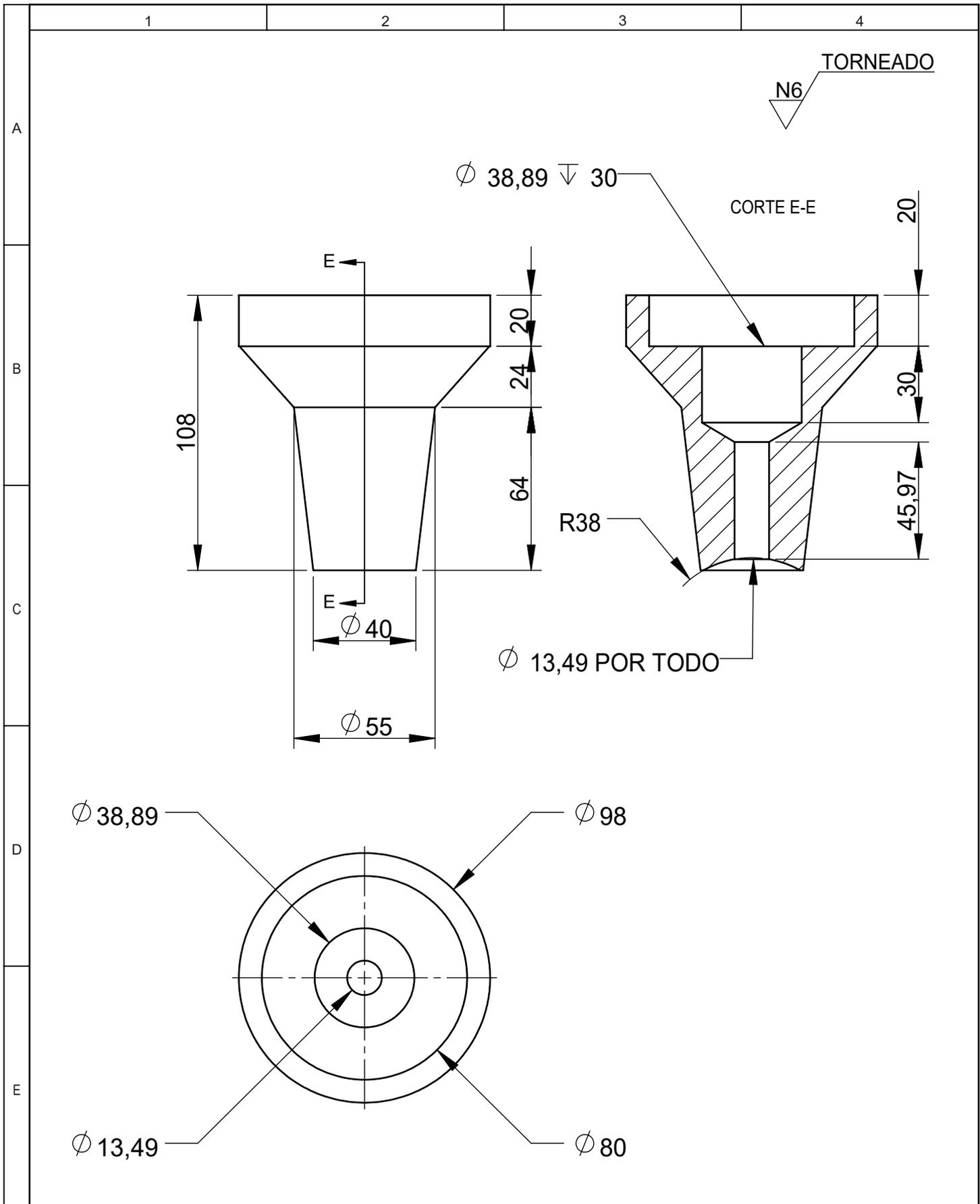
C

D

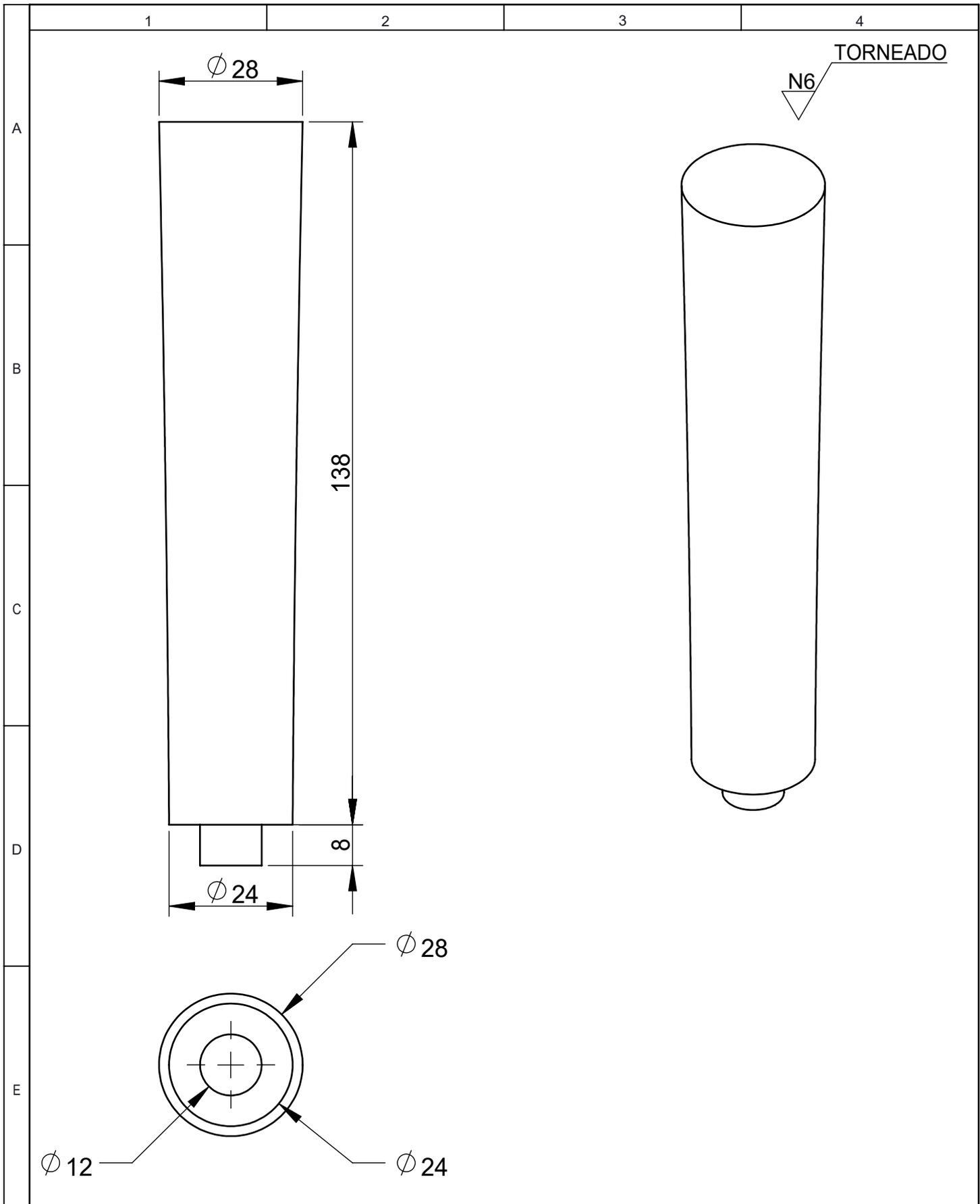


E

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 0.3	0.067 kg	HIERRO NODULAR	
					Fecha	Nombre	Título:
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina	
				Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	Escala:
				UTA		Nº. de lámina	10 de 22
				INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución):	1:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				± 0.1	1.616 kg	HIERRO NODULAR	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	16/11/22	Marlon Saquinga		
			Revisó:	16/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	16/11/22	Ing. Juan Paredes	1:2
				UTA		N°. de lámina:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		11 de 22	
						(Sustitución):	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,5$	0.525 kg	HIERRO NODULAR	
					Fecha	Nombre	Título:
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquinga	
				Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	Escala:
				UTA		Nº. de lámina	12 de 22
				INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución):	1:1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

N11 FUNDIDO

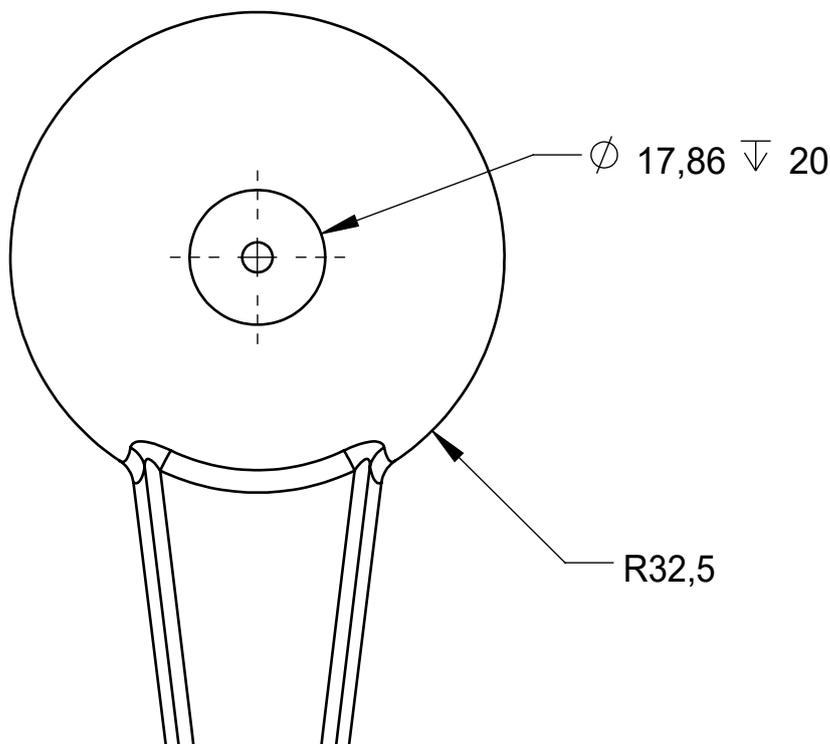
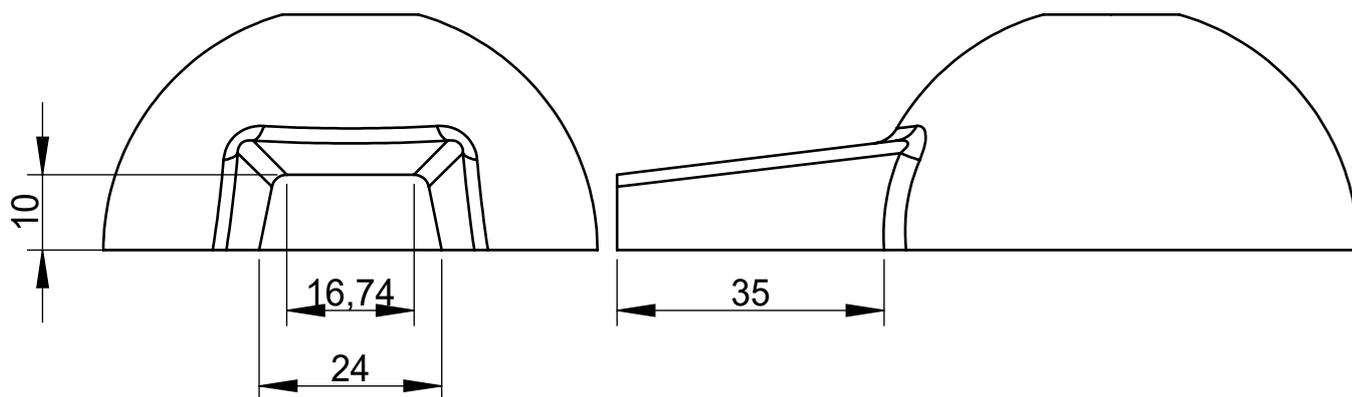
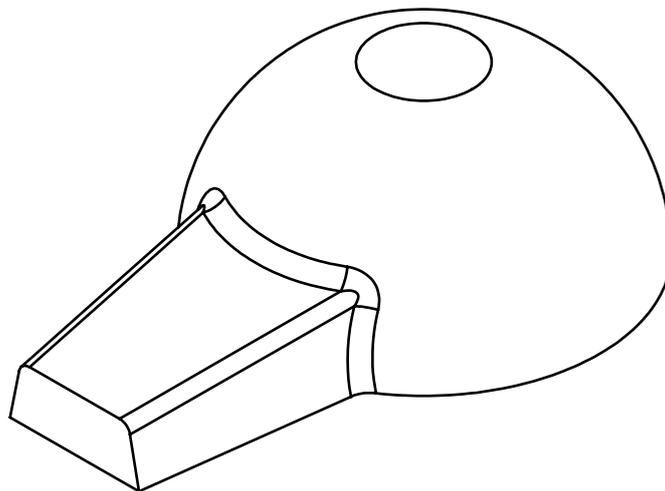
A

B

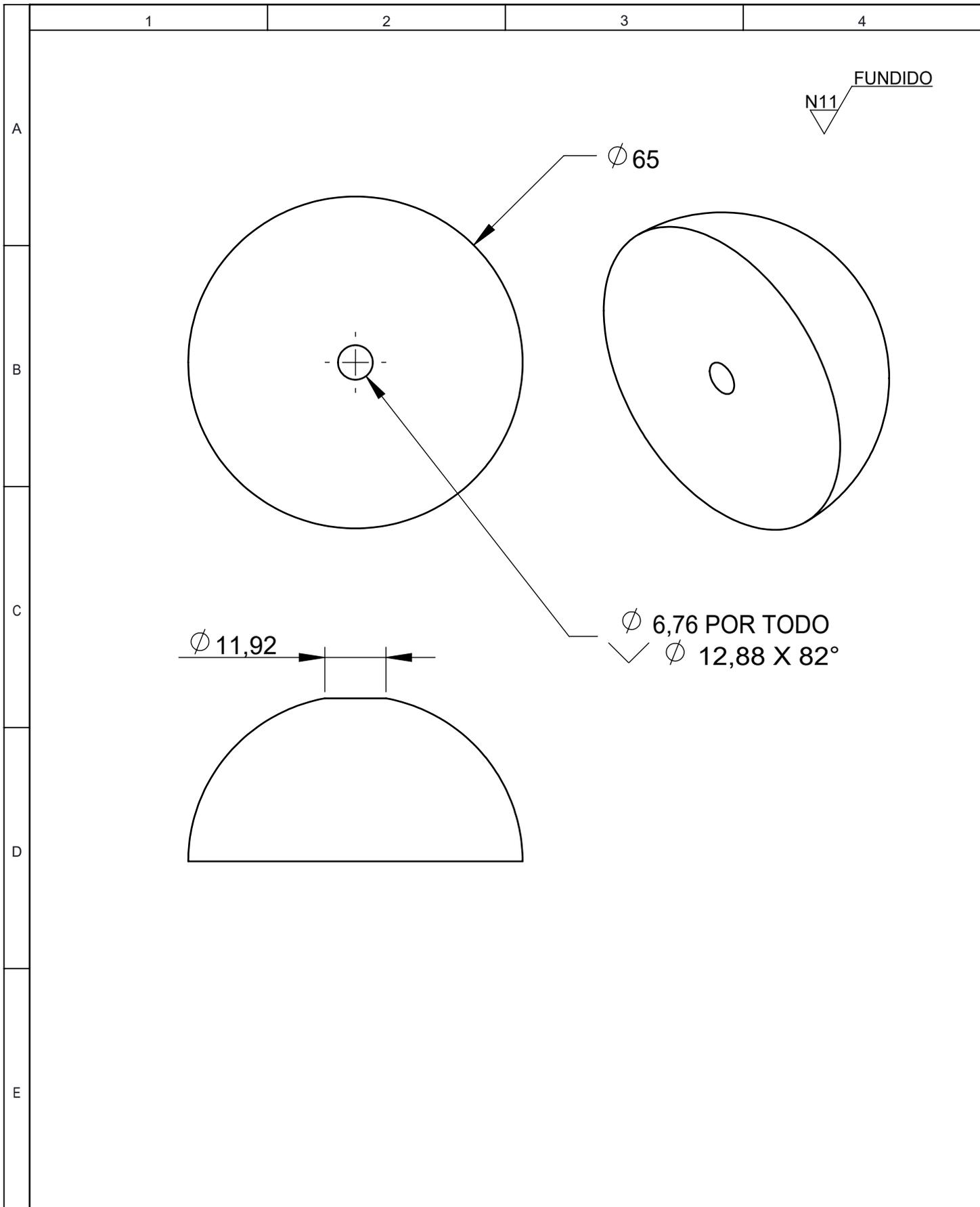
C

D

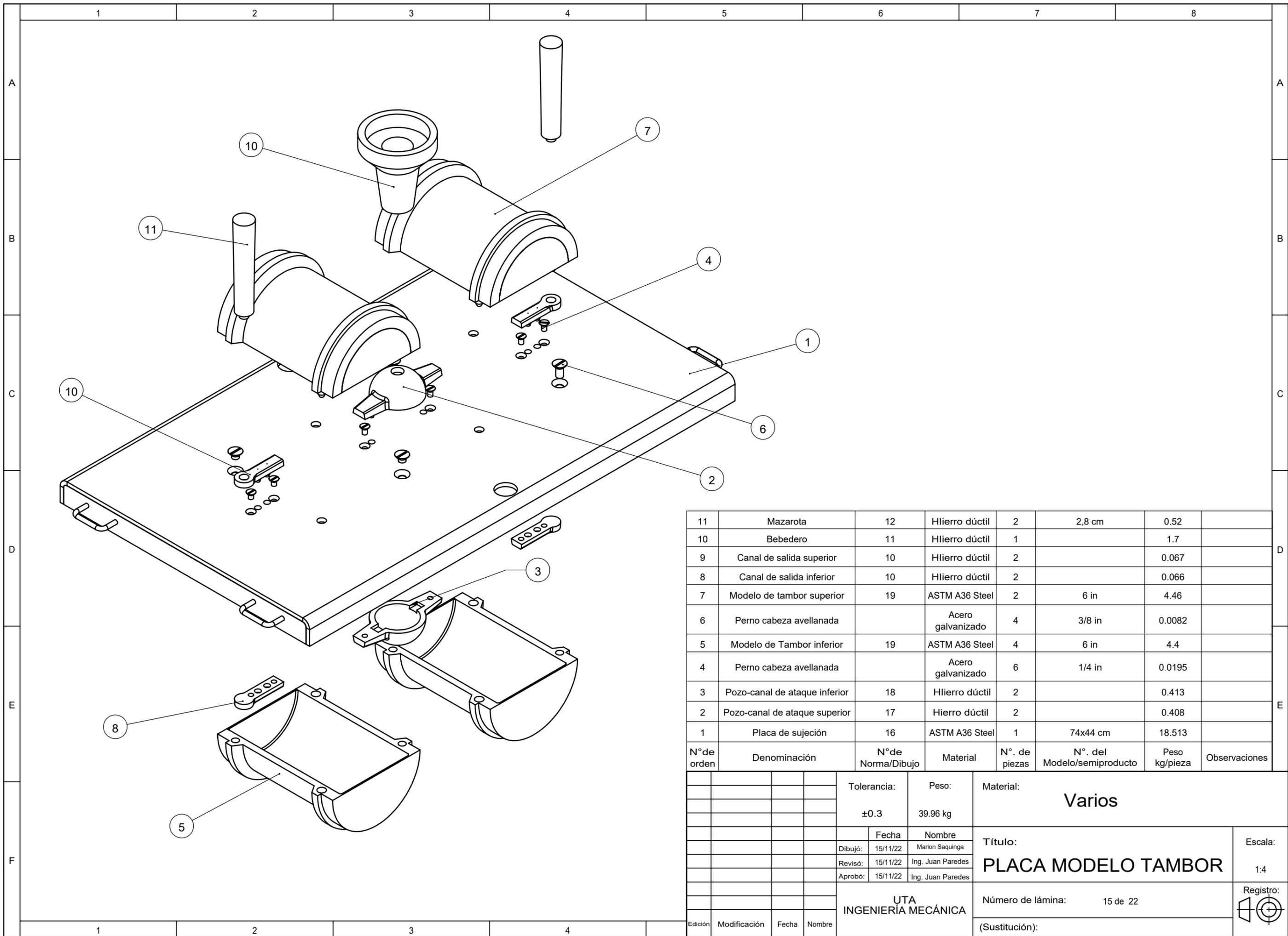
E



				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.5	0,55 kg	HIERRO NODULAR	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		
			Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:1
				UTA		N° de lámina:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		13 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución):	

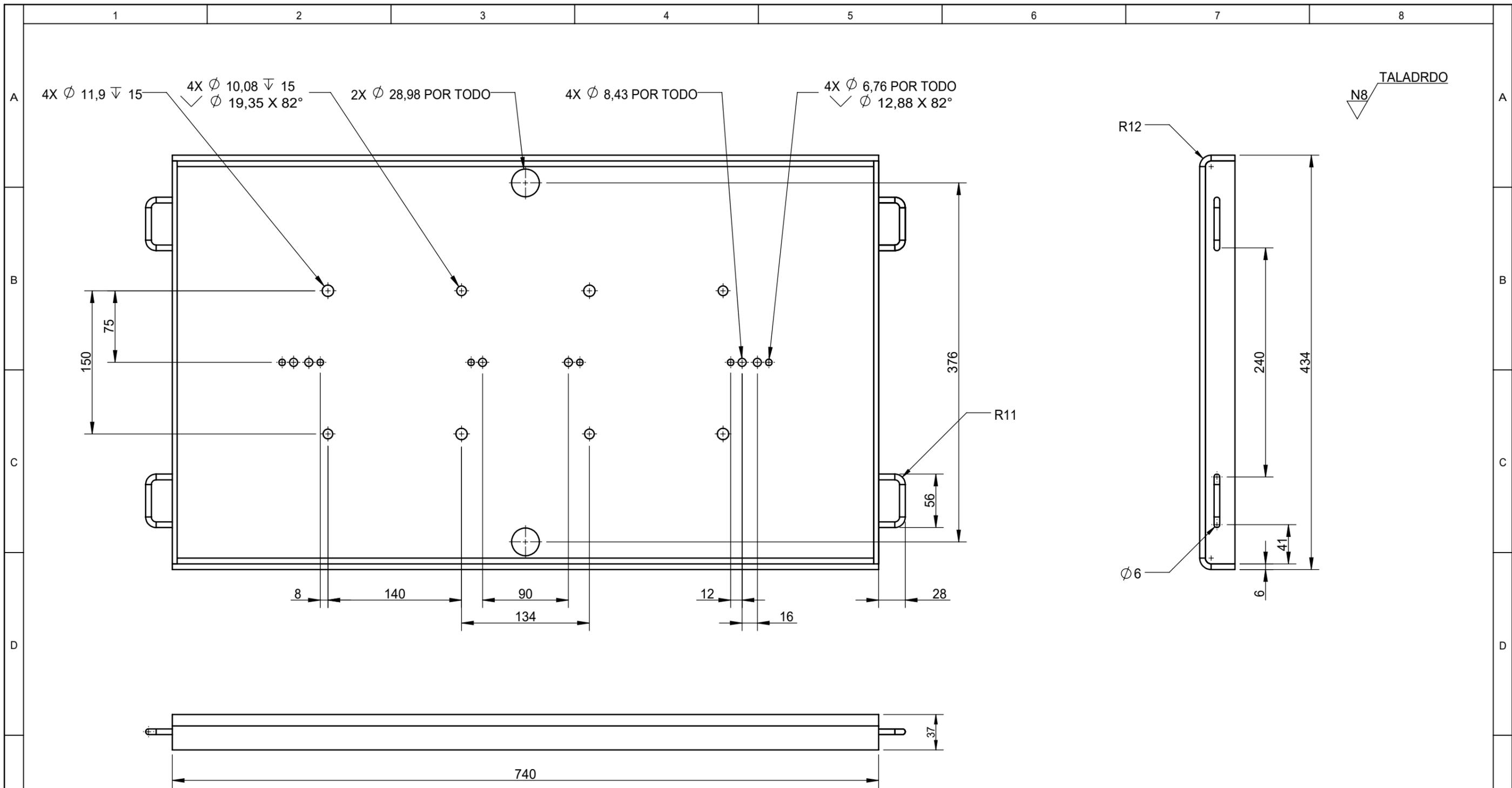


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.5	0,19 kg	HIERRO NODULAR	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		
			Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:1
				UTA		N° de lámina:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución):	



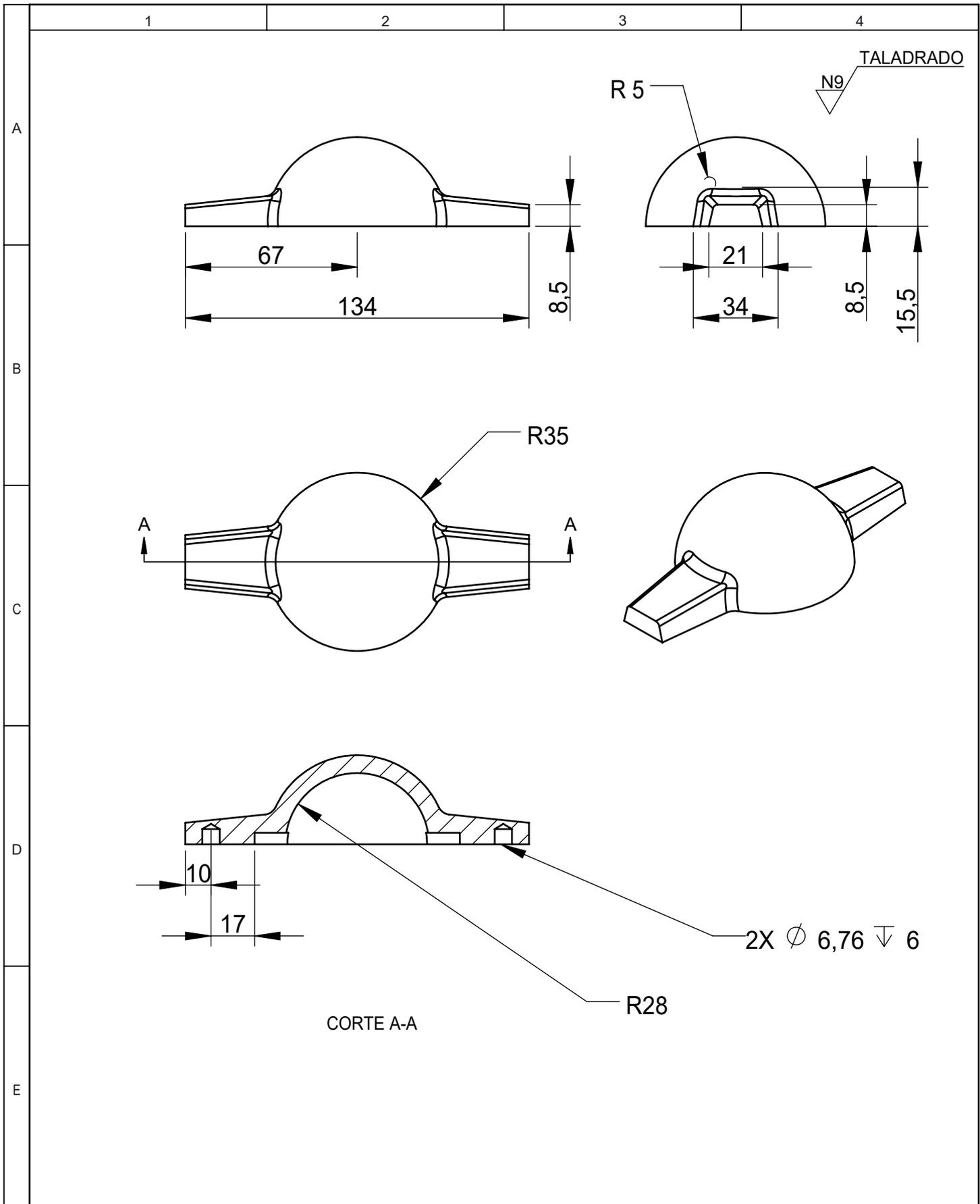
11	Mazarota	12	Hhierro dúctil	2	2,8 cm	0.52	
10	Bebedero	11	Hhierro dúctil	1		1.7	
9	Canal de salida superior	10	Hhierro dúctil	2		0.067	
8	Canal de salida inferior	10	Hhierro dúctil	2		0.066	
7	Modelo de tambor superior	19	ASTM A36 Steel	2	6 in	4.46	
6	Perno cabeza avellanada		Acero galvanizado	4	3/8 in	0.0082	
5	Modelo de Tambor inferior	19	ASTM A36 Steel	4	6 in	4.4	
4	Perno cabeza avellanada		Acero galvanizado	6	1/4 in	0.0195	
3	Pozo-canal de ataque inferior	18	Hhierro dúctil	2		0.413	
2	Pozo-canal de ataque superior	17	Hhierro dúctil	2		0.408	
1	Placa de sujeción	16	ASTM A36 Steel	1	74x44 cm	18.513	
N° de orden	Denominación	N° de Norma/Dibujo	Material	N°. de piezas	N°. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

Tolerancia:		Peso:		Material:			
±0.3		39.96 kg		Varios			
Fecha		Nombre		Título:			Escala:
Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		PLACA MODELO TAMBOR			1:4
Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes					
Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes					
UTA INGENIERÍA MECÁNICA				Número de lámina:		15 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución):			

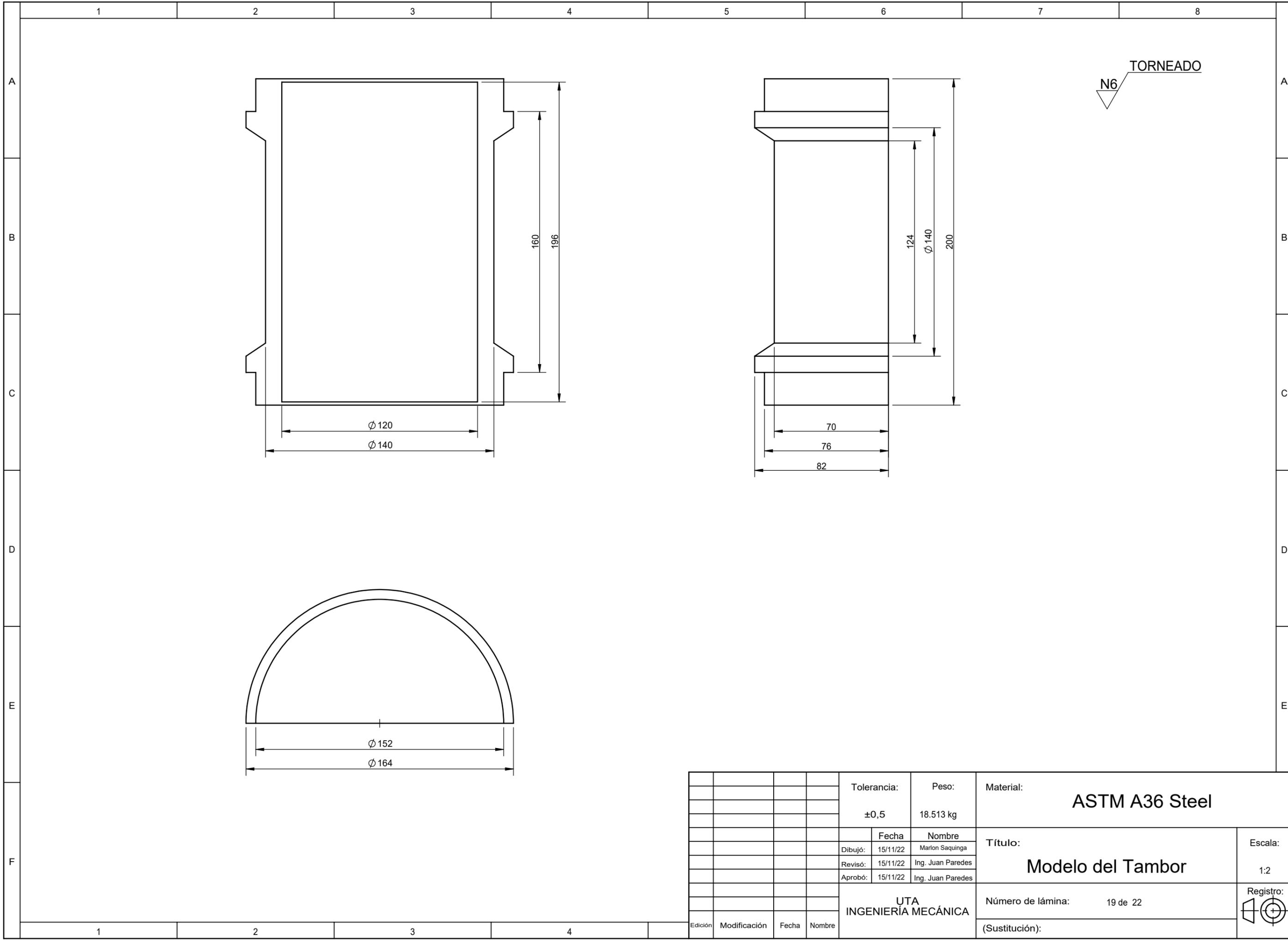


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,5	18,513 kg	Acero ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina	Placa de sujeción de Tambor	
				Revisó:	15/11/22	Ing. J. Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. J. Paredes		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina:	16 de 22
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Registro:
								(Sustitución)

Escala:
1:4



				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.5	0.408 kg	HIERRO NODULAR	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquinga		
			Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:2
				UTA		N° de lámina:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		18 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución):	

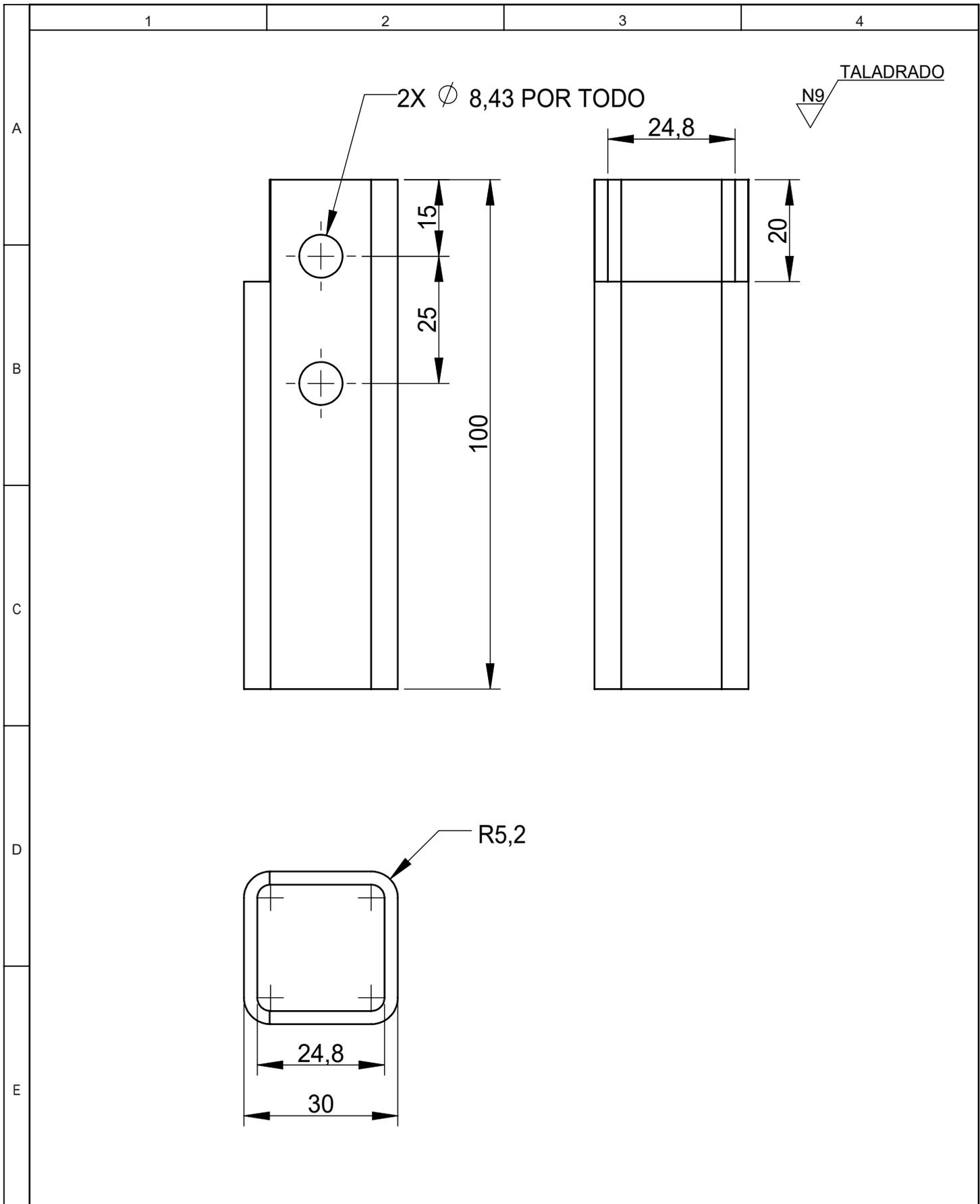


N6 TORNEADO

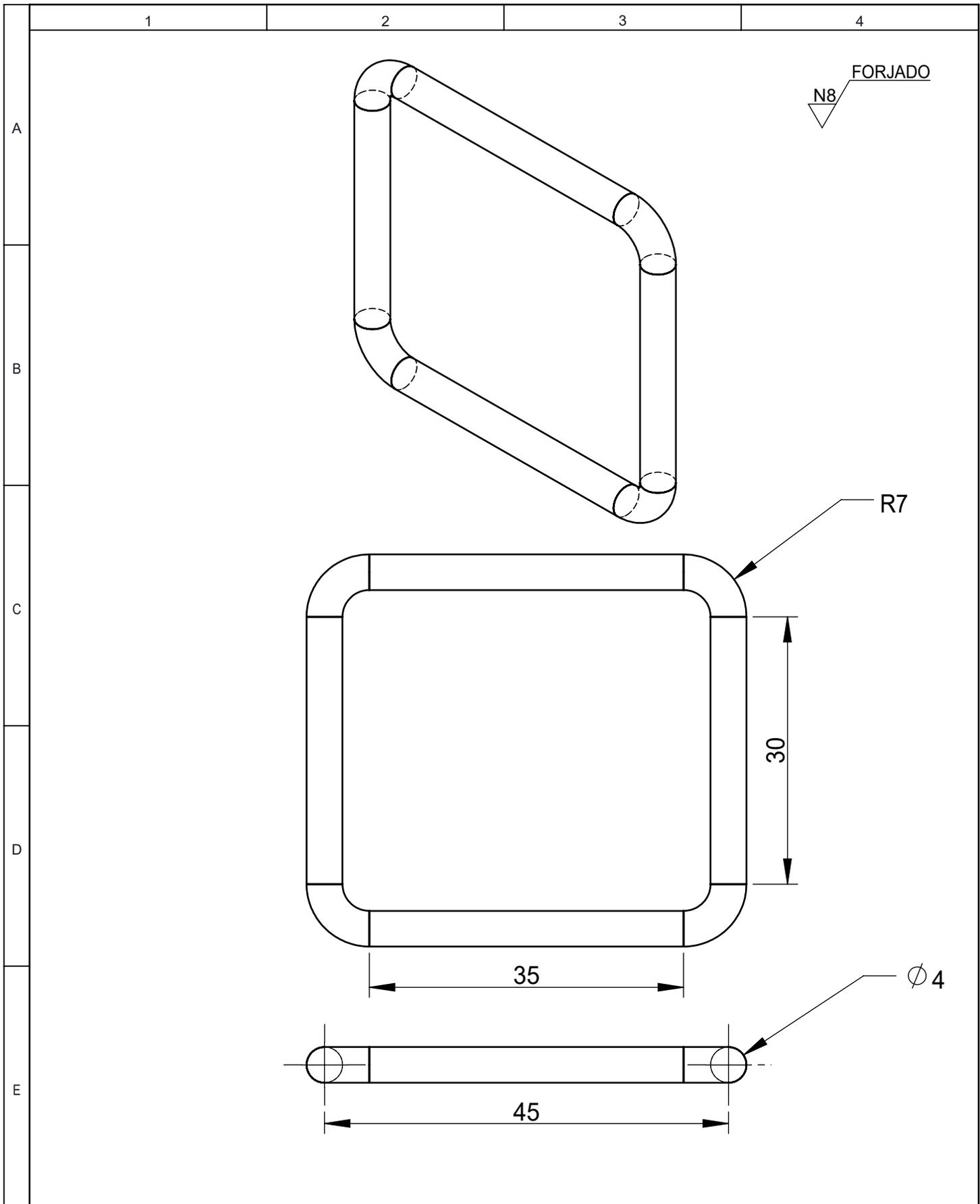
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±0,5	18.513 kg	ASTM A36 Steel		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquinga	Modelo del Tambor	
				Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina:	19 de 22
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Registro:
								(Sustitución):

Escala:
1:2

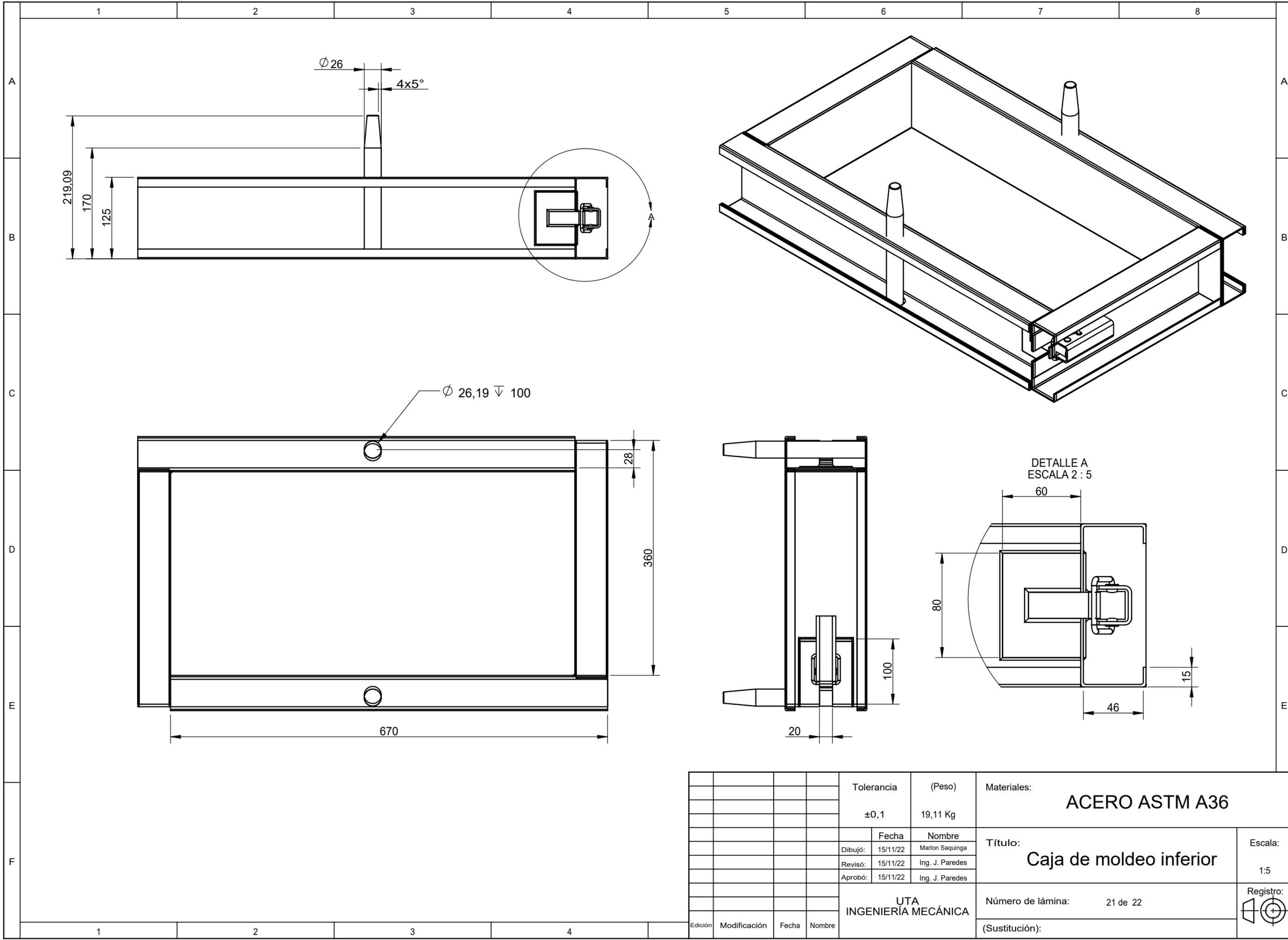
Registro:



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0.3	0.193 kg	ACERO GALVANIZADO	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquinga		
			Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:1
				UTA		Nº. de lámina	
				INGENIERÍA MECÁNICA		20 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución):	

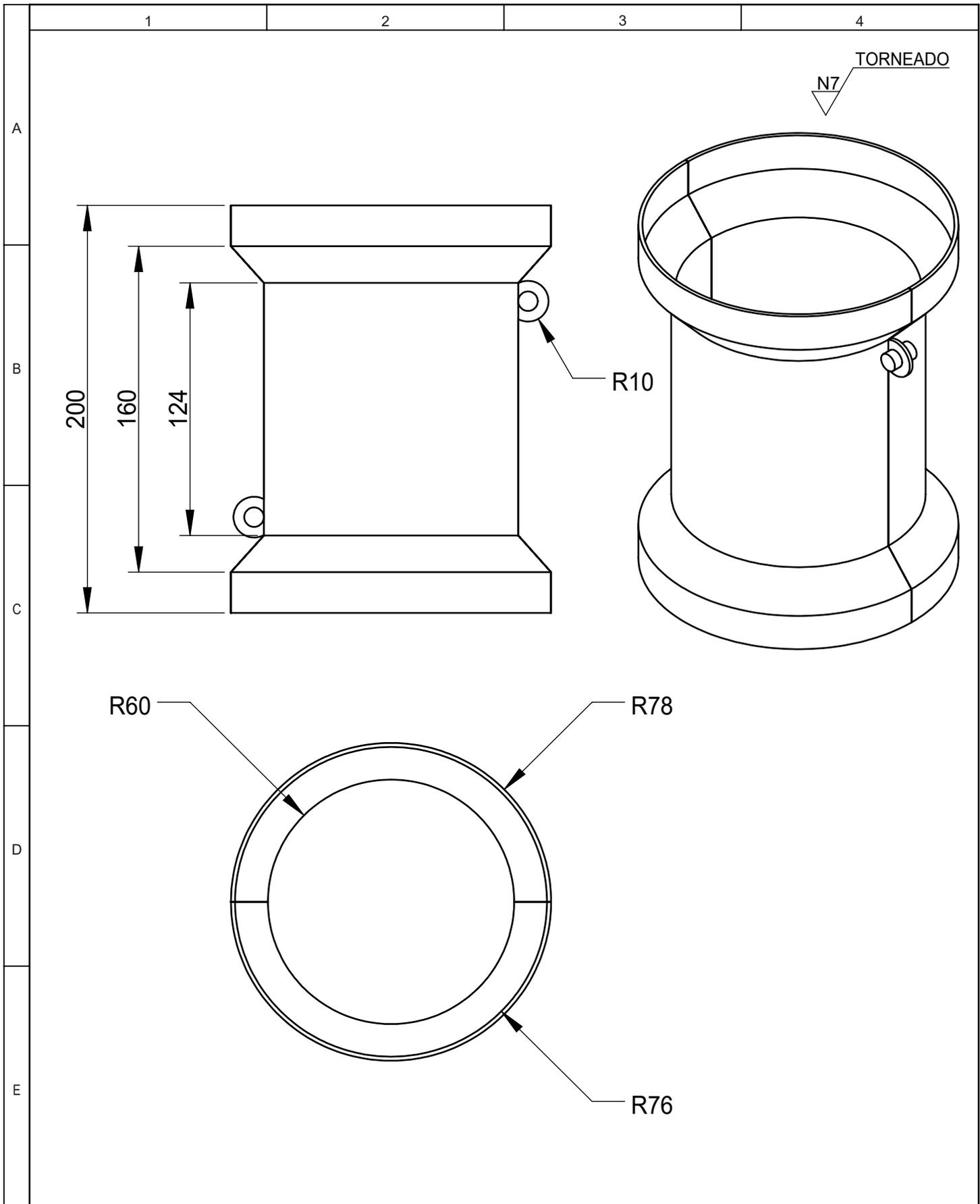


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.3	0.015 kg	ASTM A36 STEEL	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		
			Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:1
				UTA		N°. de lámina	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		18 de 22	
						(Sustitución):	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				$\pm 0,1$	19,11 Kg	ACERO ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquinga	Caja de moldeo inferior	
				Revisó:	15/11/22	Ing. J. Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. J. Paredes		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina:	21 de 22
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Registro:
								(Sustitución):





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0.3	0.43 kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	15/11/22	Marlon Saquina		
			Revisó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes		
				Aprobó:	15/11/22	Ing. Juan Paredes	1:4
				UTA		N°. de lámina	
				INGENIERÍA MECÁNICA		22 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución):	

Anexo 5. Norma ASTM A 126-95



Standard Specification for Gray Iron Castings for Valves, Flanges, and Pipe Fittings¹

This standard is issued under the fixed designation A 126; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers three classes of gray iron for castings intended for use as valve pressure retaining parts, pipe fittings, and flanges.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

NOTE 1—The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
 - A 48 Specification for Gray Iron Castings²
 - A 438 Test Method for Transverse Testing of Gray Cast Iron²
 - A 644 Terminology Relating to Iron Castings²
 - E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials³

3. Terminology

3.1 Definitions of many terms common to gray iron castings are found in Terminology A 644.

4. Classification

4.1 Castings produced to this specification are classified based upon the minimum tensile strength of the iron (see Table 1).

5. Ordering Information

5.1 Orders for material in this specification should include the following information:

- 5.1.1 ASTM designation and year date,
- 5.1.2 Class of iron required,
- 5.1.3 Quantity,
- 5.1.4 Transverse test, if required (see Section 8), and
- 5.1.5 Certification, if required (see Section 17).

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A04 on Iron Castings and is the direct responsibility of Subcommittee A04.01 on Gray and White Iron Castings.

Current edition approved Dec. 10, 1995. Published January 1996. Originally published as A 126 – 29T. Last previous edition A 126 – 93.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

TABLE 1 Tensile Requirements

	Class A	Class B	Class C
Tensile strength, min, ksi (MPa)	21 (145)	31 (214)	41 (283)

6. Workmanship, Finish, and Appearance

6.1 The castings shall be made in a workmanlike manner and the surface shall be free of adhering sand, scale, cracks, and hot tears as determined by visual examination.

7. Chemical Requirements

7.1 A chemical analysis shall be performed on each lot and shall conform to the following requirements for phosphorus and sulfur:

Phosphorus, max, %	0.75
Sulfur, max, %	0.15

7.2 The chemical analysis shall be performed on a sample obtained during the pouring of the lot.

8. Tensile Properties

8.1 One tension test shall be performed on each lot and shall conform to the mechanical properties specified in Table 1.

9. Transverse Test

9.1 When specified by the purchaser, one transverse test shall be performed on each lot and shall conform to the requirement specified in Table 2.

9.2 The test shall be performed with the bar resting on supports separated by 12 in. (305 mm) and the load applied midway between the supports. The load shall be applied at a rate that will produce 0.10 in. (2.5 mm) central deflection in 20 to 40 s.

9.3 In case the transverse test specimen varies from the specified diameter of 1.20 in. (30.5 mm), a correction factor conforming to the requirements for Test Bar B in Table 1 of Test Method A 438 shall apply.

10. Cast Test Bars

10.1 Separately cast 1 1/8 in. (28.6 mm) diameter test bars shown in Fig. 1 shall be poured in sand molds from the same lot as the castings represented.

NOTE 2—The numbering on the test specimens shown in Fig. 1 and Fig.

TABLE 2 Transverse Test Requirements

	Class A	Class B	Class C
Force at center, min, lb (kN)	2200 (9.75)	3300 (14.65)	4000 (17.75)
Deflection at center, min, in. (mm)	0.10 (2.5)	0.12 (3.0)	0.12 (3.0)

2 is intended simply to illustrate a method of designation. In the particular method shown¹² refers to December 8, B 1 is the cupola number, and the numeral 1 which follows shows the hour cast (1 p.m.).

10.2 Test bars that are intended to represent castings which are cooled in the mold to less than 900°F (480°C) before shakeout, shall be cooled in their molds to a temperature less than 900°F, and then may be cooled in still air to room temperature.

10.3 Test bars that are intended to represent castings which are hotter than 900°F when shaken out of their molds, shall be cooled as described in 9.2 or (by agreement between the manufacturer and the purchaser) may be shaken out of their molds at approximately the same temperature as the castings they represent.

11. Tension Test Apparatus

11.1 Ball and socket specimen holders or spherical-seated bearings or other device which will ensure that the specimen, when under load, will be as nearly as possible in pure axial tension without transverse stress shall be used in making the tension test.

NOTE 3—Suitable socket specimens holders and spherical-seated bearing device are shown in Fig. 4 and described in 5.2.3 of Test Methods E 8.

11.2 After reaching a stress of 15 000 psi (103 MPa), the speed of the crosshead of the testing machine shall not exceed 1/8 in. (3.2 mm)/min.

12. Sampling

12.1 A lot shall consist of one of the following:

12.1.1 All the metal poured from a single heating in a batch type melting furnace,

12.1.2 All the metal from two or more batch type melting furnaces poured into a single ladle or single casting, or

12.1.3 All the metal poured from a continuous melting furnace for a given period of time between changes in charge, processing conditions, or aim-for chemistry or 4 h, whichever is the shorter period.

12.1.3.1 The purchaser may agree to extend the 4-h time period to 8 h if the manufacturer can demonstrate sufficient process control to warrant such an extension.

13. Test Specimens

13.1 Tension test specimens shall have threaded ends and conform to the dimensions shown in Fig. 2. The cross-sectional area of the reduced section shall be 1 in.²(645 mm²) ± 5 %. The actual cross-sectional area shall be used in calculating the tensile strength.

14. Alternate Test Bars

14.1 Alternate test bars poured in accordance with Specification A 48 to the equivalent classes shown in Table 5 may be substituted for the Specification A 126 test bars. When the alternate bars are used, they shall be machined and tested in accordance with Specification A 48 and shall meet the requirements of Specification A 48.

15. Inspection

15.1 All tests and inspections required by this specification shall be performed by the manufacturer or other reliable sources whose services have been contracted for by the manufacturer. Complete records of all tests and inspections shall be maintained by the manufacturer and shall be available for review by the purchaser.

16. Rejection and Rehearing

16.1 Castings which fail to conform to the requirements specified when inspected or tested by the purchaser or his agent may be rejected. Rejection shall be reported to the manufacturer or supplier promptly and in writing. In case of dissatisfaction with the test results, the manufacturer or supplier may make claim for a rehearing.

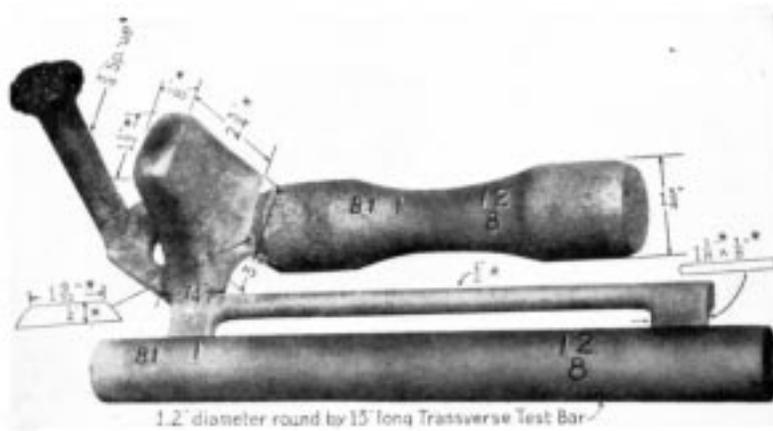
17. Certification

17.1 When requested by the purchaser, the manufacturer shall furnish the certification stating that the material was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with Specification A 126, including the year date. The certification shall also include the results of all tests performed including chemical analysis.

17.2 A signature is not required on the certification. However, the document shall clearly identify the organization submitting the certification and the authorized agent of the manufacturer who certified the test results. Notwithstanding the absence of a signature, the organization submitting the certification is responsible for its content.

18. Keywords

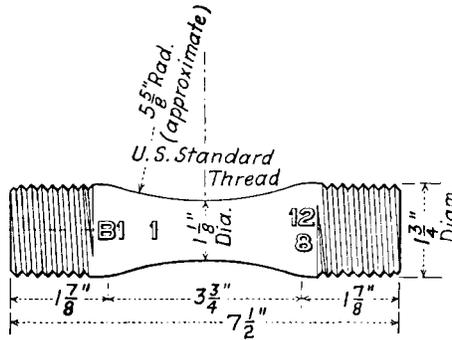
18.1 gray iron castings; pressure retaining parts



		Metric Equivalents										
in.	1/8	1/4	1/2	3/4	7/8	1 1/8	1.2	1 9/32	1 1/2	1 3/4	2 3/4	13
mm	3.2	6.4	12.7	19.0	22.2	28.6	30.5	32.5	38.1	44.4	69.8	1330

NOTE—These dimensions are suggested as satisfactory for average conditions, but may be varied to best suit individual pouring.

FIG. 1 Mold of Tension and Transverse Test Specimens



		Metric Equivalents	
in.	mm	in.	mm
1 1/8	28.6	3 3/4	95.2
1 3/4	44.4	5 5/8	142.9
1 7/8	47.6	7 1/2	290.5

NOTE—Modification may be made to the grip-ends of the tension test specimen to allow alternative means of gripping as required by testing procedures and equipment. Should alternative grip-ends be disputed, the threaded grip-ends shall be used.

FIG. 2 Tension Test Specimen

TABLE 5 Equivalent Classes (Specification A 48)

Specification A 126 Class	Under 0.50 in. (12.7 mm)	0.51 to 1.00 in. (13.0 to 25.4 mm)	Over 1 in. (25.4 mm)
A	25 A	20 B	20 C
B	35 A	30 B	30 C
C	45 A	40 B	40 C

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 6. Norma ANSI/AWWA C219-11



**American Water Works
Association**

AWWA Standard

Bolted, Sleeve-Type Couplings for Plain-End Pipe

SECTION 1: GENERAL

Sec. 1.1 Scope

This standard describes bolted, sleeve-type couplings, reducing or transition couplings, and flanged coupling adapters (couplings) used to join plain-end pipe. Couplings may be manufactured from carbon steel, stainless steel, ductile iron, or malleable iron and are intended for use in systems conveying water. This standard describes nominal coupling sizes from ½ in. (13 mm)* through 144 in. (3,600 mm).

Sec. 1.2 Purpose

The purpose of this standard is to provide the minimum requirements for couplings of plain-end pipe, including requirements for materials, design, testing and inspection, installation, and shipping.

Sec. 1.3 Application

This standard can be referenced in documents for purchasing the described couplings. The stipulations of this standard apply when this document has been referenced.

* Metric conversions given in this standard are direct conversions of US customary units and are not those specified in International Organization for Standardization (ISO) standards.

SECTION 2: REFERENCES

This standard references the following documents. In their latest edition, they form a part of this standard to the extent specified in this standard. In any case of conflict, the requirements of this standard shall prevail.

ANSI*/AWWA C200—Steel Water Pipe—6 In. (150 mm) and Larger.

ANSI/AWWA C210—Liquid-Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines.

ANSI/AWWA C213—Fusion-Bonded Epoxy Coating for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines.

ANSI/AWWA C218—Liquid Coating Systems for the Exterior of Above-ground Steel Water Pipelines and Fittings.

ANSI/AWWA C222—Polyurethane Coatings for the Interior and Exterior of Steel Water Pipe and Fittings.

ANSI/AWWA C224—Nylon-11-Based Polyamide Coating System for the Interior and Exterior of Steel Water Pipe, Connections, Fittings, and Special Sections.

ANSI/AWWA C550—Protective Interior Coatings for Valves and Hydrants.

ASME[†] B1.1—Unified Inch Screw Threads, UN and UNR Thread Form.

ASME B1.13M (Metric)—Metric Screw Threads: M Profile.

ASME B18.2.1—Square and Hex Bolts and Screws Inch Series.

ASME B18.2.2—Square and Hex Nuts.

ASME B18.2.3.6M—Metric Heavy Hex Bolts.

ASME B18.2.4.6M—Metric Heavy Hex Nuts.

ASME—Boiler and Pressure Vessel Codes.

ASTM[‡] A47—Standard Specification for Ferritic Malleable Iron Castings.

ASTM A276—Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes.

ASTM A283/A283M—Standard Specification for Low and Intermediate Tensile Strength Carbon Steel Plates.

ASTM A307—Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60,000 psi Tensile Strength.

ASTM A380—Standard Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems.

* American National Standards Institute, 25 West 43rd Street, Fourth Floor, New York, NY 10036.

† ASME International, Three Park Avenue, New York, NY 10016.

‡ ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

ASTM A536—Standard Specification for Ductile Iron Castings.

ASTM A563/ASTM A563M—Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts.

ASTM A576—Standard Specification for Steel Bars, Carbon, Hot-Wrought, Special Quality.

ASTM A666—Standard Specification for Annealed or Cold-Worked Austenitic Stainless Steel Sheet, Strip, Plate, and Flat Bar.

ASTM A967—Standard Specification for Chemical Passivation Treatments for Stainless Steel Parts.

ASTM D395—Standard Test Methods for Rubber Property-Compression Set.

ASTM D412—Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Rubbers and Thermoplastic Elastomers-Tension.

ASTM D572—Standard Test Method for Rubber-Deterioration by Heat and Oxygen.

ASTM D1149—Standard Test Method for Rubber Deterioration-Surface Ozone Cracking in a Chamber.

ASTM D2000—Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Applications.

ASTM D2240—Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness.

ASTM F568M—Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners.

ASTM F593—Standard Specification for Stainless Steel Bolts, Hex Cap Screws, and Studs.

ASTM F594—Standard Specification for Stainless Steel Nuts.

ASTM F738M—Standard Specification for Stainless Steel Metric Bolts, Screws, and Studs.

ASTM F836M—Standard Specification for Style 1 Stainless Steel Metric Nuts.

AWS* D1.1—Structural Welding Code—Steel.

AWS D1.6 – Structural Welding Code – Stainless Steel.

AWWA Manual M11: *Steel Pipe—A Guide for Design and Installation*. AWWA, Denver, Colo.

* American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

SECTION 3: DEFINITIONS

The following definitions shall apply in this standard (refer to Figures 1 and 2).

1. *Actual outside diameter:* The pipe outside diameter (including any coating).

2. *Angular deflection:* The angle between the longitudinal axes of the pipes joined by the coupling.

3. *Center sleeve (center ring, middle ring):* A cylinder of sufficient length to fully enclose both pipe ends.

4. *Constructor:* The party that provides the work and materials for placement or installation.

5. *Coupling:* An assembly consisting of a center sleeve, gaskets, and end rings connected with bolts and nuts or other type of threaded fasteners. Tightening the fasteners transfers the load through the end rings and compresses the gaskets into the space between the inside of the center sleeve and the outside surface of the pipe ends.

6. *Design pressure:* See rated pressure.

7. *End ring (follower ring):* A ring that provides a means of compressing the coupling gasket(s).

8. *Flanged-coupling adapter:* A coupling used to connect plain-end pipe to a flange. It consists of a flange, center sleeve, gasket, and an end ring connected with bolts and nuts or other threaded fasteners.

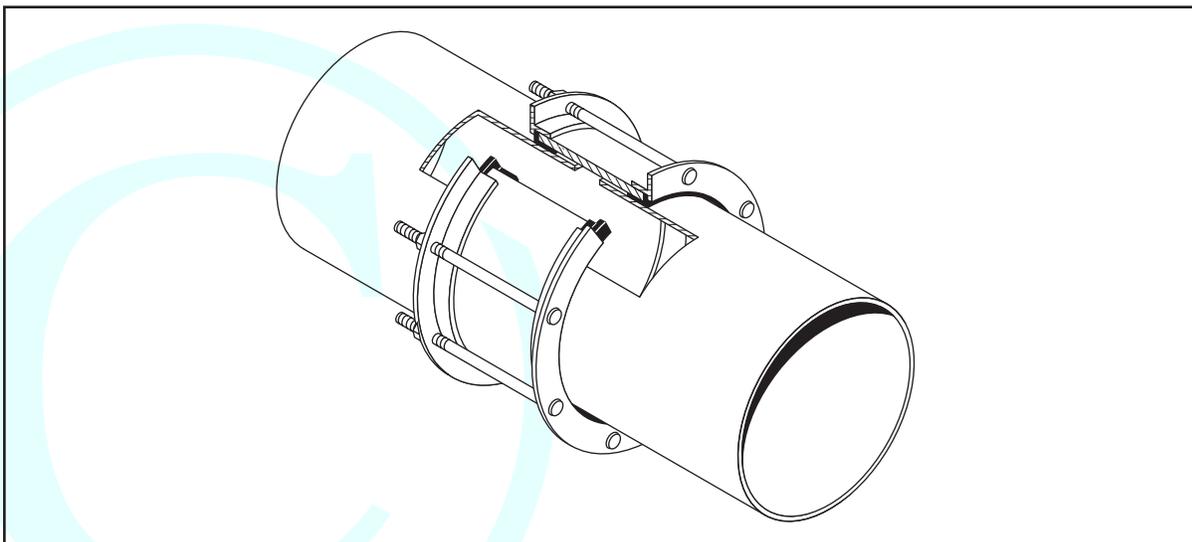


Figure 1 Typical straight coupling

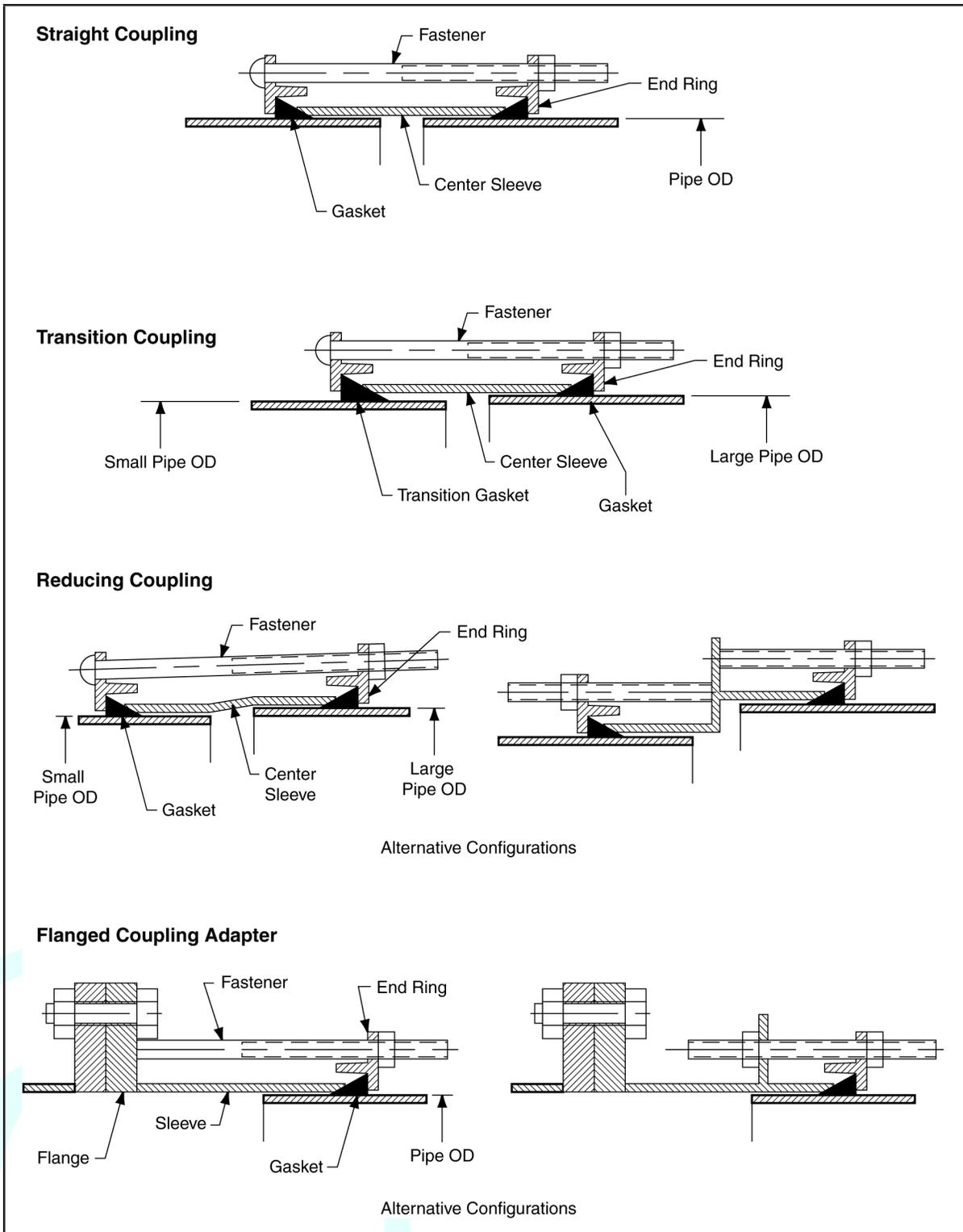


Figure 2 Typical coupling configurations

9. *Gasket*: An elastomeric ring that provides the pressure seal of the coupling.

10. *Insulating coupling*: A coupling used to break electrical continuity between two pipes. This is normally done by means of special insulating gaskets.

11. *Manufacturer*: The party that manufactures, fabricates, or produces the materials or products.

12. *Nominal pipe size*: The commercial designation or dimension by which the pipe is identified. The designation may not be the same as the actual outside diameter.

13. *Purchaser*: The person, company, or organization that purchases any materials or work to be performed.

14. *Rated pressure*: The maximum internal hydrostatic pressure to which the coupling is to be subjected under normal operating conditions. In addition, transient and test pressures should be considered in the design by the purchaser.

15. *Reducing coupling*: A coupling that uses end rings of different sizes and a center sleeve with ends of proper inside diameter to join pipes of different outside diameters. The center sleeve may be a single piece or several pieces sized to accommodate the different pipe diameters.

16. *Supplier*: The party that supplies materials or services. A supplier may or may not be the manufacturer.

17. *Test pressure*: Hydrostatic test pressure for proof of design.

18. *Transient pressure*: Surge or other pressures that exceed normal operating conditions and are of short duration.

19. *Transition coupling*: A coupling used to join pipe of the same nominal size, but of differing outside diameters. Differences in pipe outside diameters are accommodated by specially sized gaskets and, when necessary, specially sized end rings.

SECTION 4: REQUIREMENTS

Sec. 4.1 Permeation

The selection of materials is critical for potable water, wastewater, and reclaimed water service and distribution piping in locations where there is likelihood the pipe will be exposed to significant concentrations of pollutants composed of low-molecular-weight petroleum products or organic solvents or their vapors. Documented research has shown that pipe materials (such as polyethylene and

polyvinyl chloride) and elastomers, such as used in jointing gaskets and packing glands, are subject to permeation by low-molecular-weight organic solvents or petroleum products. If a potable water, wastewater, or reclaimed water pipe must pass through such a contaminated area or an area subject to contamination, consult with the manufacturer regarding permeation of pipe walls, jointing materials, and so forth, before selecting materials for use in that area.

Sec. 4.2 Materials of Construction

4.2.1 *Material compliance.* Materials shall comply with the requirements of the Safe Drinking Water Act and other federal regulations for potable water, wastewater systems, or reclaimed water as applicable.

4.2.2 *Center sleeves.* Center sleeves may be manufactured from carbon steel, stainless steel, ductile iron, or malleable iron, as described in the sections that follow. After forming, welding, or casting into a complete integral circle, the center sleeves must remain in a complete integral circle after manufacturing and testing processes have been completed.

4.2.2.1 *Steel center sleeves.* Steel center sleeves shall be formed from a material that meets or exceeds the requirements of ASTM A283/A283M, Grade C for carbon steel, or ASTM A666, type 304/304L for stainless steel. Other grades of steel with equivalent or higher specified yield strength, such as those listed in ANSI/AWWA C200 and AWWA Manual M11, may be used. Sleeves made from mill pipe or tubing shall satisfy the material requirements of ANSI/AWWA C200.

4.2.2.2 *Iron center sleeves.* Center sleeves manufactured from ductile iron shall meet the minimum requirements of ASTM A536, Grade 65-45-12. Center sleeves manufactured from malleable iron shall meet the minimum requirements of ASTM A47, Grade 32510 or 35018.

4.2.3 *Gaskets.*

4.2.3.1 *Composition and physical requirements.* Gaskets shall be vulcanized, molded or extruded, natural or synthetic rubber, and free from porous areas, foreign materials, and visible defects. Reclaimed rubber shall not be used. Unless otherwise specified by the purchaser, gaskets shall be suitable for water service to 150°F (66°C). Gaskets shall meet the requirements of ASTM D2000, and gasket material shall have the minimum physical properties shown in Table 1.

4.2.3.2 *Special service requirements.* Where service conditions differ from those described in Sec. 4.2.3.1, special gasket material may be required. The purchaser must specify service conditions.

4.2.3.3 *Special gaskets for electrical insulation.* An insulating boot may be used, extending over one pipe a minimum of 1 in. (25 mm) beyond the end

Table 1 Minimum physical properties of gasket material

Physical Property	Property Value	Test Procedure
Durometer hardness Shore "A," points	75, ±5	ASTM D2240
Tensile strength, minimum ultimate, psi (MPa)	1,300 (9.0)	ASTM D412
Ultimate elongation, minimum, percent	150	ASTM D412
Proportion of original tensile and elongation after aging, percent	60	ASTM D572 (oxygen pressure method): 96 hr at 122°F ±1.2°F (50°C ±0.5°C) and 300 psi ±10 psi (2,068 kPa ±69 kPa)
Maximum compression set, percent	20	ASTM D395, Method B
Resistance to surface ozone cracking	No cracking	ASTM D1149, after 25 hr minimum exposure in 50 pphm ozone concentration at 104°F (40°C) on a loop-mounted gasket with approximately 20% elongation at outer surface
Color	Black	
Surface	Nonblooming	

of the coupling, thereby preventing any metal-to-metal contact between the pipe ends. The purchaser must specify the need for insulation requirements.

4.2.4 *End rings.*

4.2.4.1 *Steel end rings.* Steel end rings shall be made from a material that meets or exceeds the requirements of ASTM A576, Grade 1020 for carbon steel, or ASTM A276, type 304/304L for stainless steel. Other grades of steel with equivalent or higher specified minimum yield strengths may be used, provided they conform to a nationally recognized standard.

4.2.4.2 *Iron end rings.* Ductile-iron end rings shall be manufactured from ductile iron conforming to ASTM A536, Grade 65-45-12. End rings manufactured from malleable iron shall conform to ASTM A47, Grade 32510 or 35018.

4.2.5 *Bolting.*

4.2.5.1 *Similar materials.* Similar materials shall be used for bolts, nuts, and washers (when used) to minimize the possibility of galvanic corrosion. Caution should be used in buried installations or where the environment is highly corrosive to ensure that the bolts and nuts are properly protected. Advice from a qualified corrosion engineer is recommended. Manufacturers shall provide bolts, nuts, and washers (when required) of suitable quality, workmanship, and yield strength to ensure compatibility with the coupling design and rated working pressure. The purchaser may

request the manufacturer's certification of bolting material, complete with physical, chemical, and dimensional details.

4.2.5.1.1 Steel bolts shall meet or exceed the requirements of ASTM A307 or ASTM F568M for carbon steel, or ASTM F593 or ASTM F738M for stainless steel. Nuts shall meet or exceed the requirements of ASTM A563 or ASTM A563M for carbon steel, or ASTM F594 or ASTM F836M for stainless steel. Other grades of bolts and nuts with equivalent or higher specified minimum yield strengths may be used, as agreed to by the purchaser. Stainless-steel bolt and nut threads may gall, which may cause erroneous torque readings during installation, leading to improper gasket compression and leakage. Contact the manufacturer for recommendations.

4.2.5.1.2 Iron bolts and nuts shall meet or exceed the requirements of ASTM A536, Grade 65-45-12.

Sec. 4.3 Design of Bolted Couplings

4.3.1 *General.* To retain sealing performance, couplings shall be designed to control long-term relaxation of gaskets caused by the creep properties of elastomeric compounds. The purchaser must provide the rated pressure, transient pressure, and the test pressure to which the coupling will be subjected during service.

4.3.2 *Center sleeves.* Unless otherwise specified by the purchaser, the manufacturer will determine the proper thickness of the sleeve material and sleeve length for the use prescribed by the purchaser. Center sleeves must meet the minimum lengths shown in Table 2. The Barlow formula shall be used to determine the minimum center sleeve thickness.

$$t = \frac{PD}{2S} \quad (\text{Eq 1})$$

or

$$t = \frac{(P + P_t)D}{2S_t} \quad (\text{Eq 2})$$

whichever is greater.

Where:

t = thickness of center sleeve, in. (mm)

P = rated pressure of coupling, psi (MPa)

P_t = transient pressure of coupling, psi (MPa)

D = outside diameter of center sleeve, in. (mm)

S = $0.5 \times$ specified minimum yield strength of center-sleeve material, psi (MPa)

S_t = $0.75 \times$ specified minimum yield strength of center-sleeve material, psi (MPa)

Table 2 Minimum center-sleeve length

Nominal Pipe Size Group		Minimum Center-Sleeve Length	
<i>in.</i>	<i>(mm)</i>	<i>in.</i>	<i>(mm)</i>
1/2 to ≤ 2	(13 to ≤ 50)	3 1/2	(89)
> 2 to ≤ 12	(> 50 to ≤ 300)	4	(102)
> 12 to ≤ 18	(> 300 to ≤ 450)	5	(127)
> 18 to ≤ 36	(> 450 to ≤ 900)	6	(152)
> 36 to ≤ 72	(> 900 to ≤ 1,800)	7	(178)
> 72	(> 1,800)	10	(254)

4.3.3 *End rings.* End rings shall be of sufficient cross section and strength to obtain a leakproof test at 1.5 times the maximum rated pressure. After final bolt tightening to the coupling manufacturer's recommended torques, the end rings shall not roll more than 3.5° from their original position prior to bolting.

4.3.4 *Bolting.* The size, type, and number of bolts shall be such that when they are tightened during installation procedures to the recommended torque, the resulting gasket compression will provide a watertight seal at 1.5 times the rated pressure of the coupling. The manufacturer's recommended torque shall not result in the bolts being tightened beyond the yield point of the bolt material.

4.3.4.1 Bolts may be headed or nonheaded rod threaded on both ends. Bolt heads may include track-head, hexagonal-head, carriage-head, T-head, or D-head types. Hexagonal-head bolts shall be heavy hexagonal in accordance with ASME B18.2.1 or ASME B18.2.3.6M. All-thread rod is not acceptable.

4.3.4.2 Nuts. Nuts shall be heavy hexagonal in accordance with ASME B18.2.2 or ASME B18.2.4.6M.

4.3.4.3 Threads. Nuts and bolts shall be threaded in accordance with ASME B1.1. Coarse-thread series or coarse-pitch metric threads as defined in ASME B1.13M.

Sec. 4.4 Detailed Design and Manufacture

4.4.1 *Center sleeves.* Center sleeves shall be round and free of irregularities, flat spots, or surface defects that would impair the performance of the coupling.

4.4.1.1 Steel center sleeves. Sleeves shall be made from pipe, tubing, plate, or mill-rolled sections, with ends beveled to provide a suitable gasket seating surface.

Each roll-formed sleeve shall be welded with complete joint penetration welded butt joints after rolling. The welding process may use fusion or flash welding. After welding, each roll-formed and welded sleeve shall be cold-expanded at a stress beyond the yield point of the steel used, to result in a permanent expansion sufficient to ensure circularity of the sleeve and strength of the weld (normally a minimum of 1 percent of the diameter). See Sec. 5.1.1.1 for weld acceptance criteria. Where cold expansion is not used, each center sleeve shall be hydrostatically tested prior to shipment in accordance with Section 5. In lieu of hydrotesting, at the purchaser's option, welds may be examined by radiography or ultrasonics, in accordance with the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, AWS D1.1, or AWS D1.6, or by any other nondestructive test method mutually agreed to by the purchaser and manufacturer. Sleeves manufactured from previously pressure-tested pipe or tubing need not be expanded or hydrostatically tested.

4.4.1.2 *Iron center sleeves.* Gasket-bearing areas shall be in the form of a smooth taper, cast into the sleeve, and free from defects that may impair the function of the coupling.

4.4.2 *End rings.* End-ring assemblies shall be designed to provide uniform support under bolt heads and nuts.

4.4.2.1 *Steel end rings.* End rings may be stamped from flat stock. End rings formed from a fabricated or hot-rolled special steel section and fusion or flash-welded at the seam shall be cold-expanded beyond the yield point of the steel used. Where cold expansion is impractical, welds shall be examined by radiography or ultrasonics, in accordance with the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, AWS D1.1, or AWS D1.6, or by any other nondestructive test method mutually agreed to by the purchaser and manufacturer. Bolt holes may be punched, thermal cut, drilled, or cut using a water jet.

4.4.2.2 *Cast end rings.* Bolt holes shall be cast or drilled in end rings. The finished castings shall be free of irregularities, flat spots, and surface defects that would impair the function of the coupling.

4.4.3 *Gaskets.*

4.4.3.1 *Configuration.* Gaskets shall be of such size and shape as to conform to the sealing surfaces of the coupling and effect a positive seal on the pipe surface.

4.4.3.2 *Marking.* The gasket shall be indelibly marked with the manufacturer's identification, pipe outside diameter, material, and year of manufacture.

4.4.3.3 Special service gaskets. For insulating gaskets or gaskets for special service conditions, the manufacturer must be consulted.

Sec. 4.5 Performance

When correctly installed according to the manufacturer's installation instructions and properly supported, couplings sized 10 in. (250 mm) and larger shall accommodate longitudinal pipe movement of $\frac{3}{8}$ in. (9.5 mm) per joint without leakage. For angular pipe movement while in service, consult the manufacturer. For sizes smaller than 10 in. (250 mm), the manufacturer shall be consulted for recommended limits on pipe movement. Couplings do not resist end load; therefore, pipelines must be provided with suitable anchorage, thrust blocks, or harness assemblies to prevent accumulation of pipe movement, which could result in pipe pull-out from the coupling (refer to AWWA Manual M11).

Without special design considerations, couplings will only transmit minor shear forces. Differential settlement conditions may require the use of multiple couplings. The coupling shall allow, within the center sleeve, angular deflection of the pipe axis to varying amounts, dependent on diameter, center-sleeve length, and pipe-end gap (see Table 3). This angular deflection shall occur without leakage and without distortion of any metallic components of the coupling at hydrostatic test pressure. When a specific amount of angular deflection to the pipe axis is required, the purchaser must specify the required deflection. If the anticipated deflection exceeds the value shown in Table 3, the manufacturer shall supply supporting calculations upon request.

Flanged coupling adapters provide half the expansion, contraction, and deflection of the full coupling.

The maximum allowable angular deflections shown in Table 3 should only be used when the pipes will not move in service.

Sec. 4.6 Coatings

4.6.1 *Standard shop coatings.* Unless otherwise specified by the purchaser, couplings shall receive an interior and exterior coating to inhibit rust during transit. Coatings are not applicable for stainless-steel couplings.

4.6.2 *Optional coatings.* The purchaser may specify certain other optional interior and exterior coatings conforming to ANSI/AWWA C210, ANSI/AWWA C213, ANSI/AWWA C218, ANSI/AWWA C222, ANSI/AWWA C224, ANSI/AWWA C550, or other coatings agreed to by the manufacturer. The desired interior and exterior coating should be specified by the purchaser. The thickness of optional lining and coating systems may be limited by the working tolerances of

Table 3 Maximum angular deflection (no in-service movement)

Nominal Pipe Group Size		Center-Sleeve Length, in. (mm)					
		3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	10.0
<i>in.</i>	<i>(mm)</i>	(89)	(102)	(127)	(152)	(178)	(254)
		Values in Degrees					
½ to ≤ 2	(>13 to ≤ 50)	4	4	4	4	4	4
>2 to ≤ 12	(>50 to ≤ 300)	*	4	4	4	4	4
>12 to ≤ 18	(>300 to ≤ 450)		*	2.5	3	4	4
>18 to ≤ 24	(>450 to ≤ 600)			*	3	4	4
>24 to ≤ 36	(>600 to ≤ 900)				2	3	3
>36 to ≤ 48	(>900 to ≤ 1,200)				*	2	2.5
>48 to ≤ 72	(>1,200 to ≤ 1,800)					1.5	2
>72 to ≤ 120	(>1,800 to ≤ 3,000)					*	1
>120 [†]	(> 3,000)						*

NOTE: For each pipe size/sleeve length combination, Table 3 indicates the angular deflection between connected pipes that can be provided by a coupling complying with the requirements of this standard. Individual manufacturer's designs may allow greater angular deflection than those indicated in this table.

*Pipe size/sleeve length combinations not listed in this table should not be used except by special agreement between the manufacturer and purchaser.

†Contact individual manufacturers for sizes larger than 120 in. (3,000 mm).

the coupling components. The purchaser should consult with coupling manufacturers to establish these limitations.

4.6.3 Passivation of stainless steel. All stainless-steel surfaces and weldments shall be passivated, in accordance with ASTM A380 or ASTM A967.

Sec. 4.7 Installation

4.7.1 General. A bolted, sleeve-type coupling for plain-end pipe is one component of a piping system. The coupling's performance depends on being sized correctly and installed properly on pipe having suitable end conditions.

4.7.2 Pipe-end preparation and surface requirements. When couplings are to be used to join pipe, the purchaser should specify that the pipe shall be specially prepared within a distance from each pipe end equal to or greater than the length of the center sleeve of the coupling (see Table 2). The special preparations include

1. Couplings are manufactured based on the outside diameter of plain-end pipe with tolerances not exceeding those listed in Table 4.

Table 4 Pipe-end diameter tolerances

Nominal Pipe Size		Tolerances on Actual Outside Diameter (OD)	
<i>in.</i>	<i>(mm)</i>	<i>in.</i>	<i>(mm)</i>
½ to ≤ 16	(13 to ≤ 400)	± 0.06	(± 1.5)
> 16 to ≤ 24	(> 400 to ≤ 600)	± 0.08	(± 2.0)
> 24 to ≤ 42	(> 600 to ≤ 1,050)	± 0.10	(± 2.5)
> 42	(> 1,050)	+0.12/−0.06	(+3/−1.5)

2. The exterior pipe surface within the area delineated above shall be round, smooth, and free from weld reinforcement (bead), seams, scars, dents, flats, or other defects likely to interfere with the joint-sealing process.

4.7.3 *Suitability of system components.* The recommendations stated in Sec. 4.4, Table 2, Table 4, and Sec. 4.7.3 will provide minimum acceptable performance according to this standard.

These recommendations may be varied with the pipe or coupling manufacturer by agreement with the purchaser to accommodate the following:

1. Specific performance characteristics of the coupling.
2. Particular operation requirements.
3. Installations requiring that the coupling be assembled by sliding it fully onto one pipe before bringing the other pipe into line. In such cases, the end conditions described in this section shall apply to the area within 1.5 times the center sleeve length.
4. Pipe ends not complying with tolerances stated in Table 4.

4.7.4 *Installation of couplings.*

4.7.4.1 *General.* Proper installation of couplings requires that the center sleeves be centered over the gap between the ends of the pipes being joined; the gap must conform to Table 5. When a water pipeline is under internal pressure, unbalanced forces develop at points where there are changes of size or direction of the pipeline. These unbalanced forces may result in pipe movement. Couplings do not provide protection against possible pull-out of pipe ends in unrestrained conditions. Suitable anchorage or harness assemblies shall be provided where excessive pipe or coupling movement may occur. Refer to AWWA Manual M11. Special attention must be given to the unbalanced thrust forces in transition and reducing couplings where the pressure tends to push the coupling toward the smaller pipe.

Table 5 Recommended centerline gaps

Center-Sleeve Length		Recommended Centerline Gaps				Maximum Permissible In-Service Centerline Gap‡	
		Straight-Run Pipe*		Deflected Joints†			
<i>in.</i>	<i>(mm)</i>	<i>in.</i>	<i>(mm)</i>	<i>in.</i>	<i>(mm)</i>	<i>in.</i>	<i>(mm)</i>
3.5	(89)	0.5	(13)	0.75	(19)	1.5	(38)
4	(102)	0.5	(13)	0.75	(19)	1.5	(38)
5	(127)	0.5	(13)	1	(25)	2	(51)
6	(152)	0.5	(13)	1	(25)	2	(51)
7	(178)	1	(25)	1.5	(38)	3	(76)
10	(254)	1	(25)	2.25	(57)	4.5	(114)

*Recommended centerline setting gaps for pipework that is not expected or able to deflect in service to an angularity greater than 25 percent of the relevant value stated in Table 3.

†It is recommended that initial pipe separation be based on the recommended centerline setting gap value. These values normally permit the full amount of angularity to take place without the pipe ends touching. These values may be varied according to installation conditions (such as required angularity, pipe-cutting tolerances, and so forth).

‡Maximum permissible centerline gap shall not be exceeded. Refer to AWWA Manual M11 for restraint requirements.

For gaskets to seal most effectively, contact surfaces shall be thoroughly cleaned just prior to assembly for a distance equal to center-sleeve length plus 2 in. (50 mm) on each pipe end to remove loose rust and foreign material.

4.7.4.2 Procedure. When pipe ends are properly prepared, installation shall be in accordance with the manufacturer's installation instructions.

SECTION 5: VERIFICATION

Sec. 5.1 Inspection

5.1.1 *Inspection by the manufacturer.* The manufacturer shall establish quality control and inspection measures necessary to ensure compliance with this standard.

5.1.1.1 Welds. After cold expansion, the weld areas of center sleeves and end rings shall be visually inspected for cracks or other defects in accordance with AWS D1.1, Section 6, or AWS D1.6, Section 6, visual inspection acceptance criteria for statically loaded nontubular connections.

5.1.1.1.1 Optional nondestructive examination. The purchaser may require the manufacturer to perform additional nondestructive examination of the welds.

5.1.1.2 Dimensions. A taping or gauging procedure shall be used to determine the inside diameter measurement of center sleeves and end rings to ensure a proper fit between the coupling assembly and the pipe it is designed to connect. Unless otherwise specified by the purchaser, the inside diameter of center sleeves shall be sized based on the pipe-end diameter tolerances stated in Table 4.

5.1.1.3 Materials. Material certifications shall be made available to the purchaser on request. The extent of such certifications shall be indicated by the purchaser at the time of request. Materials shall comply with the requirements of Sec. 4.2, except as modified by the purchaser. Materials that do not comply may be rejected by the purchaser.

5.1.2 *Inspection by the purchaser.* If the purchaser desires to inspect the couplings at the manufacturer's location, the purchaser shall so specify. The purchaser shall have free access to those parts of the manufacturer's facility that are necessary to ensure compliance with this standard. The manufacturer shall make available to the purchaser the equipment necessary for inspection. The manufacturer shall provide the purchaser with assistance, if necessary, in handling the items to be inspected.

Sec. 5.2 Tests

5.2.1 *Test pressures.* Hydrostatic test pressure, when required, shall be calculated by multiplying rated pressure by 1.5.

5.2.2 *Manufacturer's proof-of-design test.*

5.2.2.1 Tests required. For proof of design of each nominal pipe group stated in Table 2, it shall only be necessary to hydrostatically test a complete coupling assembly of the largest diameter and highest pressure rating contained in each nominal pipe group, provided the designs of the components within the group are essentially the same. To pass this test, the coupling must provide a leakproof seal at the test pressure, and the end rings must meet the criteria of Sec. 4.3.3.

5.2.2.2 Report. The manufacturer, when requested by the purchaser, shall provide test data to verify that the appropriate hydrostatic testing has been performed.

5.2.2.3 Test waiver. In lieu of the tests, manufacturers with at least five years' experience manufacturing bolted couplings shall provide documentation

acceptable to the purchaser that indicates the manufacturer has designed, manufactured, and provided couplings for water service at a rated pressure of at least 150 psi (1,034 kPa) for the largest diameter for the applicable group in Table 2.

5.2.3 *Production hydrostatic test.*

5.2.3.1 Steel center sleeves, cold expansion as a test. In most cases, cold expansion is part of the normal process for manufacturing steel center sleeves and end rings (Sec. 4.4.1.1 and 4.4.2.1). This process rounds and sizes the components and tests the parent metal and the butt-welded seam. When performed during manufacture, it is also considered an integral part of the testing and inspection procedure and eliminates the need for hydrostatic testing. Sleeves manufactured from previously pressure-tested pipe or tubing need not be expanded or hydrostatically tested. See Sec. 4.4.1.1 for test requirements for steel center sleeves produced without cold expansion of the components.

5.2.3.2 Iron couplings. The manufacturer shall qualify the design of the product by testing in accordance with Sec. 5.2.1 and 5.2.2. The manufacturer shall maintain records of this testing for the largest diameter and highest pressure-rated coupling in each nominal pipe size group (Table 2) as stated in Sec. 5.2.2.2.

5.2.4 *Purchaser's proof test.* The purchaser may specify individual hydrostatic proof testing. If individual hydrostatic proof testing is required, assembled couplings shall be tested at a maximum of 1.5 times the rated pressure. To pass this test, the coupling must provide a leakproof seal at the test pressure, and the end rings must meet the criteria of Sec. 4.3.3.

Sec. 5.3 Nonconformance

Couplings that fail to meet the provisions of this standard may be repaired and retested.

SECTION 6: DELIVERY

Sec. 6.1 Marking

At the time of shipment from the manufacturer, couplings shall be clearly marked with the following information:

1. Manufacturer's model number or type.
2. Pipe size (outside diameter of pipe).
3. Center-sleeve section identification, or, for steel center sleeves, thickness and length.