

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,**

**INFORMATICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS  
(POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m<sup>3</sup> UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL**

**RECICLADO CUSCO, 2022**

**PRESENTADO POR:**

Br. LUIS GUSTAVO MOROCCO QUISPE

Br. WILINTON ROBIL AIMA BONIFACIO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**ASESOR:**

M. Sc. Ing. ARTURO MACEDO SILVA

**CUSCO – PERU**

**2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Mgt. ARTURO MACEDO SILVA  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO  
PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE  
2,4 m3 UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022

Presentado por: LUIS GUSTAVO MOROCCO QUISPE DNI N° 46100970 ;  
presentado por: WILINTON ROBIL AIMA BONIFACIO DNI N°: 43317770  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**  
**Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**  
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 09 de diciembre de 20 25

  
Firma

Post firma ARTURO MACEDO SILVA

Nro. de DNI 23821894

ORCID del Asesor 0000-0002-2794-949X

### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:538781488

# Luis Gustavo y Wilinton Robil MOROCCO QUISPE y ...

## TESIS UNSAAC L.G. Morocco y Aima..pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:538781488

Fecha de entrega

9 dic 2025, 6:17 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

9 dic 2025, 6:49 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS UNSAAC L.G. Morocco y Aima..pdf

Tamaño del archivo

18.9 MB



500 páginas

78.907 palabras

403.798 caracteres

# 8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)
- Trabajos entregados
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

## Exclusiones



- N.º de coincidencias excluidas

## Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
111 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
15 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



## **PRESENTACIÓN**

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.**

**SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.**

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos Vigentes de nuestra casa de estudios, presentamos en trabajo de investigación titulado: **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 M3 UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”**.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de generar un proyecto de una máquina de moldeo para fabricar bloques de EPS con el 15% de material reciclado.

En nuestro trabajo de tesis hemos empleado conocimientos de la metodología de la investigación científica, mecánica de materiales, hidráulica, termodinámica y diseño mecánico aprendidos durante nuestra formación académica.

## **DEDICATORIA**

Doy gracias a dios por darme una nueva oportunidad en mi vida y poder culminar satisfactoriamente mi carrera profesional.

A mi padre Roberto Morocco y a mi madre Dominga Quispe; por su apoyo y su perseverante motivación para lograr mis metas que son cada vez más importantes.

A mis hermanos Yesenia, Jasmin, Heidi, Jeremy y Javier, por la unión y confianza por su amistad y ejemplo.

A mi tío Hernan Quispe; por su apoyo y consejos que me ayudaron a seguir mejorando.

A mi sobrina Damaris y familia en general por estar en los momentos indicados.

**Luis Gustavo Morocco Quispe**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis, con profundo amor y gratitud, a mis padres Juan Aima y a mi madre Olga Bonifacio, por su apoyo incondicional, sus sacrificios y enseñanzas que han sido la base de mi formación y la impulsión para lograr mis objetivos.

A mis hermanos Eliana, Yaqui y Jayden, por su compañía constante y aliento en los momentos difíciles.

**Wilinton Robil Aima Bonifacio**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a dios quien nos permite lograr nuestros objetivos, a nuestros familiares y amigos quienes estuvieron con su apoyo incondicional.

A nuestro asesor de tesis, Ing. M s.c. ARTURO MACEDO SILVA, por estar involucrado desde el primer día en nuestro proyecto de tesis, por su apoyo académico y por solucionar nuestras dudas en la realización de esta.

Nuestro agradecimiento especial al Ing. Plinio por las facilidades brindadas para realizar las mediciones en su fábrica y por brindarnos su amistad.

Nuestro agradecimiento a todos los docentes de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica por ser parte de nuestra formación académica.

**Bach. Morocco Quispe, Luis Gustavo**

**Bach. Aima Bonifacio, Wilinton Robil**

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m<sup>3</sup> UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”. busca presentar una alternativa para la fabricación de este tipo de equipos con el cual se aprovecha el residuo de poliestireno expandido generado en planta productora de bloques de EPS.

Las máquinas de moldeo en el sector local vienen siendo fabricadas de forma empírica ya que traer maquinas del extranjero resulta muy costoso. El porcentaje de reciclado debe ser la adecuada para garantizar las propiedades mecánicas del bloque de EPS.

Como las máquinas de moldeo son fabricadas de forma empírica, surgen preguntas de cómo se elaboró la máquina, cuales fueron los parámetros, cual fue costo, así como también, cual la cantidad de reciclado que debe utilizarse para que el bloque de EPS tenga buenas propiedades mecánicas. De esta forma, una solución a estas preguntas es el de diseñar la máquina de moldeo que cumpla con las interrogantes.

La metodología de investigación que se presenta es de enfoque cuantitativo del tipo descriptivo.

Esta tesis está organizada por siete capítulos: en el primer capítulo se presenta las generalizades para el planteamiento del problema; el segundo revisa el marco teórico sobre la máquina de moldeo; el tercero el diseño conceptual; el cuarto parámetros de diseño, diseño mecánico, hidráulico y térmico; el quinto desarrolla el cálculo y selección del mezclador; el sexto desarrolla la simulación computacional; el séptimo desarrolla el análisis de costo. Con este trabajo se pretende contribuir con la fabricación de la máquina de moldeo.

## RESUMEN

La investigación aborda el diseño de una máquina de moldeo, debido a la generación de grandes cantidades de desechos de poliestireno expandido y estas son fabricadas en máquinas hechas. Para solucionar este problema, se considera un 15% de material reciclado, una presión de moldeo de  $1.55 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.152 \text{ MPa}$ ) y una temperatura de  $115 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Bonilla & Rujel, 2005).

El objetivo principal fue describir el diseño de una máquina de moldeo para producir bloques de EPS.

La metodología empleada fue cuantitativa y de alcance descriptivo, el tratamiento teórico se respalda en la revisión documentaria académica, así como la revisión de documento de investigación científica.

El diseño siguió la norma VDI 2221, elaborándose la lista de exigencias, la matriz morfológica y la evaluación técnico-económica, con lo cual se obtuvo el concepto de solución óptima. Posteriormente, se diseñaron sus componentes y se dimensionaron los elementos hidráulicos de la unidad de potencia hidráulica.

En el análisis térmico se seleccionó una caldera pirotubular de 100 BHP. El sistema incluye transporte neumático en fase diluida, un ventilador centrífugo de 1.5 kW, enfriamiento por vacío a 200 mbar y un mezclador cónico vertical con tornillo sin fin.

Se realizaron simulaciones para ver el comportamiento del flujo y estructura, obteniéndose factores de seguridad de 6.03 para la puerta cerrada y 26.9 para la puerta abierta, confirmando la confiabilidad del diseño.

**Palabras clave:** Máquina de Moldeo, Reciclado de EPS, Poliestireno Expandido, Mezclado de EPS.

## ABSTRACT

This research addresses the design of a molding machine, given the large quantities of expanded polystyrene waste generated, which are currently produced using makeshift machines. To solve this problem, a 15% recycled material content, a molding pressure of 1.55 kg/cm<sup>2</sup> (0.152 MPa), and a temperature of 115 °C are considered (Bonilla & Rujel, 2005).

The main objective was to describe the design of a molding machine for producing EPS blocks.

The methodology employed was quantitative and descriptive in scope. The theoretical framework is supported by a review of academic literature and scientific research documents.

The design followed the VDI 2221 standard, developing the list of requirements, the morphological matrix, and the technical-economic evaluation, which led to the optimal solution. Subsequently, the machine's components were designed, and the hydraulic elements of the hydraulic power unit were dimensioned.

A 100 BHP fire-tube boiler was selected for the thermal analysis. The system includes dilute-phase pneumatic conveying, a 1.5 kW centrifugal fan, vacuum cooling at 200 mbar, and a vertical conical mixer with a finless screw.

Simulations were performed to assess flow and structural behavior, yielding safety factors of 6.03 for the door closed and 26.9 for the door open, confirming the design's reliability.

**Keywords:** Molding Machine, EPS Recycling, Expanded Polystyrene, EPS Mixing.



## INDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general .....	3
1.2.2 Problemas específicos .....	3
1.3 Justificación .....	4
1.3.1 Implicancias prácticas .....	4
1.3.2 Relevancia social .....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
1.5 Hipótesis .....	6
1.6 Alcances.....	6
1.7 Limitaciones .....	6
1.8 Variables .....	7
1.8.1 Variable independiente .....	7
1.8.2 Variable dependiente .....	7
1.9 Metodología.....	7
1.9.1 Alcances del estudio .....	7
1.9.2 Enfoque.....	8
1.9.3 Diseño de la investigación.....	8
1.9.4 Población .....	8

1.9.5	Muestra .....	8
1.9.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	8
1.9.7	Validez y confiabilidad de datos .....	8
1.9.8	Plan de análisis de datos .....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....		10
2.1	Antecedentes de estudios .....	10
2.1.1	Antecedentes internacionales .....	10
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	11
2.2	Bases teóricas .....	11
2.2.1	Materia de EPS .....	11
2.2.2	Polímeros .....	13
2.2.3	Poliestireno .....	13
2.2.4	Tipos de poliestireno .....	14
2.2.4.1	Poliestireno de propósito general (GPPS).....	14
2.2.4.2	Poliestireno de alto impacto (HIPS).....	14
2.2.5	Poliestireno expandido (EPS).....	15
2.2.6	Procesos de fabricación .....	16
2.2.6.1	Almacenamiento.....	17
2.2.6.2	Pre – expansión .....	17
2.2.6.3	Reposo intermedio y estabilización.....	18
2.2.6.4	Expansión y moldeo final.....	18
2.2.6.5	Corte de bloques de poliestireno .....	19
2.2.7	Máquina de moldeo .....	20

2.2.7.1	Placas delgadas.....	21
2.2.7.2	Flexión de una placa rectangular de gran longitud cargada uniformemente .....	21
2.2.7.2.1	Placas con bordes simplemente apoyadas.....	22
2.2.7.2.2	Placas con bordes empotrados .....	23
2.2.7.3	Componentes oleo hidráulico para la máquina de moldeo .....	24
2.2.8	Deposito.....	25
2.2.9	Sistema de filtración .....	25
2.2.10	Bomba hidrostática.....	26
2.2.11	Componentes de regulación y control .....	26
2.2.12	Válvulas direccionales .....	26
2.2.13	Válvulas reguladoras de caudal .....	27
2.2.14	Cilindros .....	27
2.2.14.1	Cilindro estándar de doble efecto.....	27
2.2.15	Motores hidráulicos .....	28
2.3	Conceptos termodinámicos.....	28
2.3.1	Equilibrio térmico.....	28
2.3.2	Balance energético.....	29
2.4	Mecanismos de transferencia de calor .....	30
2.5	Calderas de vapor .....	30
2.5.1	Eficiencia de la caldera.....	30
2.5.2	Tipos de caldera.....	31
2.5.2.1	Parámetros de selección de caldera .....	31

2.6	Cálculo de tubería de vapor .....	31
2.6.1	Cálculo de tuberías para transporte de vapor .....	31
2.6.1.1	Cálculo de diámetro de tubería.....	32
2.6.1.2	Cálculo de numero de Reynolds.....	32
2.6.1.3	Cálculo de coeficiente de fricción .....	32
2.6.1.4	Cálculo de caída de presión en tubería.....	33
2.7	Sistema de enfriamiento por vacío .....	33
2.7.1	Principio de funcionamiento.....	33
2.7.1.1	Rangos de vacío para equipos de vacío.....	35
2.7.2	Bombas de vacío.....	36
2.7.3	Tipos de bombas de vacío .....	36
2.7.3.1	Bomba de vacío de anillo líquido (bajo vacío) .....	37
2.8	Sistema de mezclado de solidos .....	37
2.8.1	Tipos de mezclas .....	38
2.8.1.1	Componentes del sistema de mezclado .....	38
2.8.1.2	Criterios de diseño y control en el sistema de mezclado.....	39
2.8.1.3	Tipos de máquinas mezcladoras de sólidos.....	39
2.8.1.3.1	Mezclador de tambor rotatorio.....	39
2.8.1.3.2	Mezcladores convectivos .....	40
2.9	Sistema de transporte neumático .....	41
2.9.1	Clasificación de los sistemas de transporte neumático.....	42
2.9.1.1	Tipo de fase de transporte neumático.....	43
2.9.1.1.1	Fase diluida. ....	43

2.9.1.1.2 Fase densa. ....	44
2.9.2 Factores para el dimensionamiento de un mezclador.....	45
2.9.2.1 Densidad aparente .....	45
2.9.2.2 Tamaño de partícula, fluidez y agresividad .....	45
CAPÍTULO III DISEÑO CONCEPTUAL.....	47
3.1 Análisis y selección de la máquina de moldeo .....	47
3.1.1 Estado de la tecnología de la máquina de moldeo.....	47
3.1.1.1 Máquina de moldeo horizontal.....	47
3.1.1.2 Máquina de moldeo vertical .....	48
3.1.2 Descripción general de la máquina de moldeo.....	49
3.1.2.1 Ingreso del vapor .....	49
3.1.2.2 Drenaje del condensado en el molde.....	50
3.1.2.3 Sistema hidráulico .....	50
3.1.2.4 Soporte de la máquina de moldeo .....	50
3.2 Compresión de la solicitud: .....	52
3.2.1 Lista de exigencias .....	52
3.3 Elaboración del concepto.....	54
3.3.1 Abstracción.....	55
3.3.2 Estructura de funciones .....	56
3.3.2.1 Matriz morfológica.....	58
3.3.3 Disposición básica.....	59
3.3.3.1 Concepto solución .....	59
3.3.3.1.1 Concepto solución N°1 .....	59

3.3.3.1.2	Concepto solución N°2 .....	60
3.3.3.1.3	Concepto solución N°3 .....	61
3.3.3.1.4	Concepto solución N°4 .....	62
3.3.3.1.5	Concepto solución N°5 .....	63
3.3.4	Evaluación del concepto de solución .....	64
3.3.4.1	Descripción del peso ponderado para los criterios técnicos.....	64
3.3.4.2	Descripción del peso ponderado para los criterios económicos..	64
3.3.5	Selección de la máquina de moldeo optima .....	68
3.3.6	Descripción de operación de la solución óptima: Solución N°4. ....	69
CAPÍTULO IV PARÁMETROS, DISEÑO MECÁNICO, HIDRÁULICO Y TÉRMICO .....		70
4.1	Parámetros de diseño .....	70
4.1.1	Obtención de datos .....	70
4.1.2	Especificación de los parámetros involucrados.....	72
4.1.2.1	Temperatura de fusión del EPS .....	72
4.1.2.2	Temperatura de moldeo.....	73
4.1.2.3	Temperatura del molde.....	73
4.1.2.4	Presión de vapor saturado .....	74
4.1.2.5	Presión de moldeo .....	75
4.1.2.6	Tiempo de moldeo.....	75
4.1.2.7	Tiempo de vaporización .....	75
4.1.2.8	Tiempo de enfriamiento .....	75
4.1.2.9	Temperatura de enfriamiento del bloque de EPS .....	76



4.1.2.10	Tiempo de apertura y cierre de la puerta de la máquina de moldeo	76
4.1.2.11	Tiempo de expulsión del bloque de EPS.....	77
4.1.2.12	Tiempo de asegurado de la puerta.....	77
4.1.2.13	Características del material reciclado.....	78
4.1.2.14	Resumen de los parámetros de diseño.....	78
4.2	Diseño mecánico.....	79
4.2.1	Elementos mecánicos de la máquina de moldeo .....	79
4.2.1.1	Detallado de los elementos mecánicos.....	80
4.2.1.2	Diseño de la plancha de pared.....	82
4.2.1.3	Cálculo de las reacciones en la puerta.....	92
4.2.2	Diseño del soporte o bisagra de la puerta.....	95
4.2.2.1	Diseño del eje de bisagra.....	95
4.2.2.1.1	Cálculo de las reacciones en el eje de la bisagra.....	96
4.2.2.1.2	Cálculo del diámetro tentativo del eje de la bisagra .....	98
4.2.2.1.3	Cálculo del esfuerzo de Von Mises.....	100
4.2.2.2	Diseño de la oreja de articulación de la bisagra .....	101
4.2.2.3	Cálculo de ajuste y tolerancia dimensional .....	104
4.2.3	Diseño del seguro de la puerta.....	105
4.2.4	Diseño de la estructura base de la máquina de moldeo .....	106
4.2.4.1	Cálculo de reacciones en la viga .....	108
4.2.4.2	Selección del perfil de la viga .....	117
4.2.4.3	Selección del perfil de la columna .....	119

4.2.5	Cálculo para dimensionar el cilindro hidráulico. ....	124
4.2.5.1	Selección del cilindro hidráulico .....	127
4.2.5.2	Verificación de la capacidad de carga del cilindro hidráulico ..	128
4.2.5.2.1	Verificación por pandeo .....	128
4.2.6	Análisis del mecanismo de apertura y cierre de la puerta .....	130
4.2.6.1	Ecuación de posicionamiento .....	130
4.2.6.2	Ecuación de velocidades .....	131
4.2.6.3	Ecuación de aceleraciones .....	131
4.2.6.4	Resultados del análisis del mecanismo .....	131
4.2.7	Cálculo de uniones soldadas .....	134
4.2.7.1	Cálculo de la unión soldada de la bisagra .....	134
4.2.7.1.1	Cálculo de la unión soldada de la bisagra parte fija....	134
4.2.7.1.2	Cálculo por resistencia a la soldadura de la bisagra parte fija .....	135
4.2.7.2	Cálculo de la unión soldada de la bisagra parte articulada .....	139
4.2.7.2.1	Cálculo por resistencia a la soldadura de la bisagra parte articulada .....	139
4.2.8	Cálculo de la unión soldada del soporte del cilindro hidráulico .....	142
4.2.8.1	Cálculo por resistencia de la soldadura en el soporte inferior y superior .....	143
4.2.9	Cálculo de la unión soldada de la parte lateral de la máquina de moldeo	148
4.2.9.1	Cálculo por resistencia de la soldadura de la parte lateral de la puerta .....	150

4.3	Diseño hidráulico.....	154
4.3.1	Cálculo oleo hidráulicos .....	154
4.3.1.1	Selección del cilindro hidráulico.....	154
4.3.1.2	Reajuste de los tiempos en movimiento de la puerta .....	155
4.3.1.3	Tiempos de funcionamiento del cilindro hidráulico.....	157
4.3.2	Cálculo de la presión hidráulica .....	158
4.3.3	Selección de aceite hidráulico .....	158
4.3.4	Cálculo de caudal en cilindros.....	159
4.3.5	Selección de tuberías .....	162
4.3.5.1	Velocidad de circulación .....	162
4.3.5.2	Diámetro de la tubería flexible.....	162
4.3.5.3	Selección de la manguera hidráulica .....	163
4.3.5.4	Selección de accesorios .....	165
4.3.6	Cálculo de pérdidas de presión.....	166
4.3.6.1	Cálculo de pérdidas de presión de la línea de apertura y cierre de la puerta.....	166
4.3.6.2	Cálculo de perdidas por longitud de tubería flexible .....	168
4.3.6.3	Perdidas en los accesorios de la línea de presión 1 .....	174
4.3.6.4	Perdidas en los accesorios de la línea 2.....	177
4.3.6.5	Perdidas en los accesorios de la línea 3.....	178
4.3.6.6	Cálculo de pérdidas totales en la máquina de moldeo de EPS..	179
4.3.7	Calibración de válvula limitadora de presión .....	180
4.3.8	Cálculo y selección de bomba hidráulica .....	180

4.3.9	Cálculo y selección de motor eléctrico.....	182
4.3.10	tanque de aceite .....	183
4.3.10.1	Selección de tanque de aceite.....	184
4.3.11	Dimensionamiento del filtro.....	185
4.3.12	Selección de filtro de retorno .....	186
4.3.13	Selección de filtro de succión para UPH.....	189
4.3.14	Selección del filtro de llenado .....	189
4.4	Calculo térmico.....	189
4.4.1	Cálculo y selección de caldera de vapor.....	189
4.4.2	Procesos de formación de bloque .....	189
4.4.3	Parámetros de cálculo.....	190
4.4.4	Cálculo de demanda de energía .....	190
4.4.4.1	Balance energético .....	190
4.4.4.2	Variación de la energía interna del sistema .....	191
4.4.5	Perdidas por convección natural.....	194
4.4.5.1	Parámetros de cálculo para perdidas por convección.....	194
4.4.5.2	Cálculo de pérdidas de calor en paredes verticales .....	197
4.4.5.3	Área de transferencia de calor pared frontal y posterior .....	199
4.4.5.4	Perdida de calor en pared vertical frontal y posterior .....	200
4.4.5.5	Área de transferencia de calor pared lateral izquierda y derecha	200
4.4.5.6	Perdida de calor en la pared lateral derecha e izquierda .....	200
4.4.5.7	Cálculo de perdida de calor en la pared horizontal .....	201
4.4.5.8	Área de transferencia de calor pared superior .....	204

4.4.5.9	Perdida de calor en la pared superior .....	204
4.4.5.10	Cálculo de perdida de calor pared inferior .....	205
4.4.5.11	Área de trasferencia de calor pared inferior .....	205
4.4.5.12	Perdida de calor en la pared inferior .....	206
4.4.6	Cálculo de la energía necesaria para el moldeo.....	206
4.4.6.1	Determinar el flujo de vapor requerido .....	207
4.4.6.2	Cálculo de la potencia de la caldera de vapor .....	208
4.4.7	Selección de caldera de vapor .....	209
4.5	Cálculo de diámetro de tubería.....	210
4.5.1	Caída de presión en la tubería de suministro de vapor .....	211
4.5.2	Calculamos la caída de presión en codos .....	214
4.5.2.1	Calculamos la caída de presión en válvulas .....	216
4.5.2.2	Cálculo de la caída de presión total.....	218
4.5.3	Selección de la válvula reductora de presión .....	218
4.5.4	Cálculo de tubería de vapor de distribución en molde .....	221
4.6	Cálculo de sistema de transporte neumático EPS.....	222
4.6.1	Cálculo de caudal requerido .....	222
4.6.2	Cálculo de diámetro de tubo para transporte de EPS .....	223
4.6.3	Cálculo del diámetro de la línea de transporte. ....	224
4.6.4	Cálculo de la velocidad de transporte.....	225
4.6.5	Cálculo de velocidad mínima de transporte .....	225
4.6.5.1	Cálculo de la velocidad final. ....	225
4.6.5.2	Cálculo de caudal de aire. ....	228

4.6.5.3	Cálculo de flujo masico del aire.....	228
4.6.5.4	Cálculo de la concentración .....	228
4.6.6	Cálculo de pérdidas de presión.....	229
4.6.6.1	Cálculo de la perdida de carga por aceleración.....	229
4.6.6.2	Cálculo de la perdida de carga en tubería vertical.....	230
4.6.6.3	Cálculo de pérdidas de carga horizontal .....	230
4.6.6.3.1	Número de Reynolds.....	230
4.6.6.4	Factor de fricción del aire.....	231
4.6.6.5	Factor de fricción de la partícula.....	231
4.6.6.6	Cálculo de pérdidas de carga en codo .....	233
4.6.6.7	Pérdida en el ciclón .....	234
4.6.6.8	Cálculo de perdidas total en toda la línea de suministro .....	235
4.6.6.9	Selección de ventilador .....	235
4.7	Sistema de enfriamiento de molde de EPS .....	237
4.7.1	Parámetros de cálculo de sistema enfriamiento por vacío.....	237
4.7.2	Cálculo de calor extraído del bloque de EPS .....	238
4.7.3	Cálculo de cantidad de agua a extraer. ....	239
4.7.4	Cálculo de volumen de vapor .....	240
4.7.5	Cálculo de volumen de aire .....	240
4.7.6	Caudal de succión de la bomba de vacío.....	241
4.7.7	Cálculo de la tubería de vacío .....	242
4.7.8	Selección de bomba de vacío .....	243
CAPÍTULO V SELECCIÓN DE MEZCLADOR.....		249



5.1	Capacidad del mezclador .....	249
5.1.1	Característica del material a mezclar .....	249
5.1.2	Parámetros de cálculo del mezclador .....	249
5.1.3	Dimensionamiento de tornillo sin fin .....	250
5.1.3.1	Características del material .....	250
5.2	Capacidad de diseño del mezclador .....	251
5.2.1	Revoluciones del tornillo sin fin .....	252
5.2.2	Longitud de eje del tornillo sin fin .....	252
5.2.3	Cálculo de capacidad equivalente .....	252
5.2.4	Diámetro del helicoidal .....	255
5.2.5	Espesor de hélice y diámetro de eje .....	255
5.2.6	Dimensiones del tornillo sin fin .....	255
5.3	Mezclador de tornillo sin fin vertical .....	256
5.3.1	Geometría del recipiente .....	257
5.3.2	Dimensiones de mezclador cónico .....	257
5.3.3	Volumen de mezclado .....	258
5.3.3.1	Cálculo del número de Froude .....	259
5.3.3.1.1	Numero de Froude en el brazo planetario .....	261
5.3.3.1.2	Numero de Froude en el tornillo sin fin .....	261
5.3.4	Selección de mezclador cónico .....	262
5.3.4.1	Características del sistema de mezcla seleccionado .....	263
5.3.4.2	Alta eficiencia con volúmenes grandes .....	265
5.4	Potencia de tornillo sin fin .....	265

5.4.1	Potencia necesaria para impulsar al tornillo en vacío ( $HP_f$ ).....	267
5.4.2	Potencia para mover el EPS .....	267
5.4.3	Potencia debido a la inclinación del tornillo .....	268
5.4.3.1	Factor de sobrecarga y eficiencia de transmisión.....	268
5.4.3.2	Potencia necesaria para el brazo orbital .....	270
CAPÍTULO VI SIMULACIÓN COMPUTACIONAL.....		272
6.1	Simulación de la Dinámica de Fluido Computacional (CFD).....	272
6.1.1	Dominio Computacional .....	273
6.2	Condiciones iniciales.....	274
6.3	Propiedades del fluido .....	274
6.4	Condiciones de Borde.....	275
6.5	Mallado.....	276
6.6	Convergencia de malla .....	280
6.6.1	Análisis .....	281
6.7	Modelos, Esquemas y Solver.....	281
6.8	Procesamiento.....	282
6.9	Resultados (Post Procesamiento).....	284
6.10	Simulación por el Método de los Elementos Finitos .....	299
6.10.1	Simulación de la Estructura Soporte del Molde .....	299
6.10.1.1	Modelamiento Y Simplificación Geométrica .....	300
6.10.1.2	Definición del Material Empleado .....	301
6.10.1.3	Condiciones de Borde y Cargas Sometidas.....	302
6.10.1.4	Mallado.....	304

6.10.1.5 Resultados .....	305
6.10.2 Simulación de la Plancha Ranurada de Molde .....	310
6.10.2.1 Modelamiento Y Simplificación Geométrica .....	311
6.10.2.2 Definición del Material Empleado .....	311
6.10.2.3 Condiciones de Borde .....	312
6.10.2.4 Cargas Sometidas .....	314
6.10.2.5 Mallado.....	315
6.10.2.6 Resultados .....	317
6.10.3 Simulación del Eje Slider .....	318
6.10.3.1 Modelamiento.....	319
6.10.3.2 Condiciones de Borde .....	320
6.10.3.3 Cargas Sometidas .....	321
6.10.3.4 Mallado.....	322
6.10.3.5 Resultados .....	324
6.11 Simulación por el Método de los Elementos Discretos (DEM) .....	326
6.11.1 Simulación del Mezclado .....	326
6.11.1.1 Modelo 3D e Importación de Geometría.....	327
6.11.1.2 Configuración del Modelo DEM.....	327
6.11.1.3 Resultados .....	333
CAPÍTULO VII ANÁLISIS DE COSTOS .....	336
7.1 Costos directos de la máquina de moldeo .....	336
7.1.1 Costo de materiales en la construcción de la máquina de moldeo .....	336
7.2 Costo Indirecto .....	340

7.3	Costo total de la máquina de moldeo.....	341
7.4	Rentabilidad de la máquina de moldeo.....	342
7.5	Cálculo de ingresos.....	344
7.6	Cálculo de egresos .....	345
7.7	Cálculo del TIR (tasa interna de retorno) .....	346
7.8	Cálculo del flujo de caja .....	347
7.9	Cálculo de VAN (Valor Actual Neto) .....	348
7.10	Cálculo de TIR (tasa interna de retorno) .....	349
CONCLUSIONES .....		350
RECOMENDACIONES.....		354
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		355
ANEXOS .....		362
PLANOS.....		425

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Proceso de producción de bloques de poliestireno expandido. ....	2
<b>Figura 2</b> Saco de 25kg de materia prima de EPS. ....	12
<b>Figura 3</b> Pre – Expansión de pellet de poliestireno expandido. ....	17
<b>Figura 4</b> Reposo intermedio de las perlas pre – expandidas. ....	18
<b>Figura 5</b> Procesos de obtención de bloques de poliestireno expandido con materia virgen. ....	19
<b>Figura 6</b> "Styromatic", la primera máquina de moldeo EPS completamente automática. ....	20
<b>Figura 7</b> Depósito de aceite. ....	25
<b>Figura 8</b> Cilindro normalizado de doble efecto tiene dos carreras. ....	28
<b>Figura 9</b> Principio de enfriamiento por vacío con evaporación. ....	34
<b>Figura 10</b> Energía de evaporación necesaria en función de la presión. ....	35
<b>Figura 11</b> Tipo de bombas de vacío según rangos de presión de vacío. ....	36
<b>Figura 12</b> Bombas de vacío anillo líquido. (Valverde & Martinez, 2009). ....	37
<b>Figura 13</b> Tipo de mezclas. ....	38
<b>Figura 14</b> Mezclador tambor: a) cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono en V, d) cono en Y. ....	40
<b>Figura 15</b> Mezclador de cintas helicoidal. ....	40
<b>Figura 16</b> Mezclador cónico vertical tornillo sin fin. ....	41
<b>Figura 17</b> Transporte de material en fase diluida. ....	44
<b>Figura 18</b> Transporte de material en fase densa. ....	44
<b>Figura 19</b> Máquina de moldeo horizontal. ....	48
<b>Figura 20</b> Máquinas de moldeo de vertical. ....	48
<b>Figura 21</b> Sistema de ingreso de vapor. ....	49
<b>Figura 22</b> Soporte de la máquina de moldeo. ....	51

<b>Figura 23</b> Diagrama de flujo VDI 2221 (Barriga, 1995). .....	51
<b>Figura 24</b> Matriz morfológica de la máquina de moldeo.....	58
<b>Figura 25</b> Solución N°1: Máquina vertical con puerta lateral y llenado por ducto. ....	59
<b>Figura 26</b> Solución N°2: Máquina horizontal con puerta superior y llenado manual. ....	60
<b>Figura 27</b> Solución N°3: Máquina horizontal con puerta superior y llenado por gravedad. ....	61
<b>Figura 28</b> Solución N°4: Máquina horizontal con puerta frontal y llenado por ductos.....	62
<b>Figura 29</b> Solución N°5: Máquina horizontal con puerta lateral y llenado por ductos. ....	63
<b>Figura 30</b> Análisis técnico – económica. ....	68
<b>Figura 31</b> Variación del volumen específico en función de la temperatura. ....	72
<b>Figura 32</b> Lectura del termómetro infrarrojo. ....	73
<b>Figura 33</b> Medición de la presión de ingreso de vapor a la cámara de moldeo. ....	74
<b>Figura 34</b> Cilindro de apertura y cierre de puerta. ....	76
<b>Figura 35</b> Cilindro de expulsión del bloque de EPS.....	77
<b>Figura 36</b> Cilindro hidráulico de seguro de la puerta. ....	77
<b>Figura 37</b> Material reciclado de EPS en forma de picado. ....	78
<b>Figura 38</b> Elementos mecánicos de la máquina de moldeo se muestra en la vista isométrica. ...	80
<b>Figura 39</b> Elementos mecánicos de la máquina de moldeo se muestra la parte interna de la máquina de moldeo. ....	81
<b>Figura 40</b> Elementos hidráulicos se observa la parte trasera de la máquina de moldeo.....	81
<b>Figura 41</b> Dimensiones de la plancha de acero para desarrollar el cálculo. ....	83
<b>Figura 42</b> Diagrama de cuerpo libre de la puerta.....	93
<b>Figura 43</b> Fuerza resultante de la reacción en el punto O.....	94
<b>Figura 44</b> Soporte o bisagra de puerta. ....	95
<b>Figura 45</b> Cantidad de bisagras.....	96



<b>Figura 46</b> Diagrama de cuerpo libre del eje de la bisagra. ....	96
<b>Figura 47</b> D. C. L del tramo A – B. ....	97
<b>Figura 48</b> Diagrama de fuerza cortante.....	97
<b>Figura 49</b> Diagrama de momentos.....	98
<b>Figura 50</b> Soporte móvil de la bisagra. ....	101
<b>Figura 51</b> Área de aplastamiento en el soporte móvil de la bisagra. ....	102
<b>Figura 52</b> Soporte fijo de bisagra de la puerta del molde. ....	103
<b>Figura 53</b> Área de aplastamiento del soporte fijo de la puerta. ....	103
<b>Figura 54</b> Seguro de puerta.....	105
<b>Figura 55</b> Especificaciones aplicables de la ASTM a diversos perfiles estructurales. ....	107
<b>Figura 56</b> Estructura base de la máquina de moldeo. ....	108
<b>Figura 57</b> Carga distribuida sobre la estructura base de la máquina de moldeo.....	109
<b>Figura 58</b> Reacciones en los apoyos.....	109
<b>Figura 59</b> D.C.L. de la viga. ....	110
<b>Figura 60</b> Configuración para el método de la superposición. ....	111
<b>Figura 61</b> Tramo A – B.....	113
<b>Figura 62</b> Tramo 2: A – C.....	114
<b>Figura 63</b> Tramo A – D.....	115
<b>Figura 64</b> Diagrama de fuerza cortante.....	116
<b>Figura 65</b> Diagrama del momento flector.....	116
<b>Figura 66</b> Perfil HSS.....	118
<b>Figura 67</b> Estructura base de la máquina de moldeo (columna).....	120
<b>Figura 68</b> Representación de la columna o pata de la estructura base.....	120

<b>Figura 69</b> Configuración de columnas.....	121
<b>Figura 70</b> Perfil de estructura base para la columna.....	122
<b>Figura 71</b> D.C.L en la posición crítica de la puerta de máquina de moldeo.....	124
<b>Figura 72</b> Tipo de sujeción. ....	128
<b>Figura 73</b> Trazo del lazo vectorial. ....	130
<b>Figura 74</b> Lazo vectorial del mecanismo de apertura y cierre de la puerta. ....	130
<b>Figura 75</b> Posicionamiento del cilindro hidráulico.....	133
<b>Figura 76</b> Velocidades angulares del cilindro hidráulico .....	133
<b>Figura 77</b> Aceleraciones angulares .....	134
<b>Figura 78</b> DCL de fuerzas sobre la bisagra parte fija. ....	135
<b>Figura 79</b> Cargas en el cordón de la soldadura de parte fija de la bisagra.....	137
<b>Figura 80</b> DCL de las fuerzas que actúan sobre la bisagra parte articulada. ....	139
<b>Figura 81</b> Cargas en el cordón de la soldadura de parte articulada de la bisagra. ....	141
<b>Figura 82</b> DCL de las fuerzas que actúan sobre el (a) soporte inferior y (b) soporte superior..	142
<b>Figura 83</b> Cargas en el cordón de la soldadura de parte articulada de la bisagra. ....	144
<b>Figura 84</b> Representación didáctica del cordón de soldadura.....	148
<b>Figura 85</b> Ubicación del centro de masa del ducto cuadrado de 150mmX1500mmX4mm. ....	148
<b>Figura 86</b> Centro de masa del cordón de soldadura.....	149
<b>Figura 87</b> Centro de gravedad del cordón de soldadura y ducto cuadrado.....	149
<b>Figura 88</b> Cargas en el cordón de la soldadura.....	152
<b>Figura 89</b> Muestra el dibujo básico del cilindro hidráulico. ....	155
<b>Figura 90</b> Contracción de ducto (Moot, 2006). ....	172
<b>Figura 91</b> Coeficiente K para contracción del ducto. ....	172

<b>Figura 92</b> Ampliación de ducto. ....	173
<b>Figura 93</b> Coeficiente K para ampliación del ducto. ....	174
<b>Figura 94</b> Grafica para la selección de bomba.....	181
<b>Figura 95</b> Grafica para selección de motor.....	183
<b>Figura 96</b> Molde de acero para EPS. ....	192
<b>Figura 97</b> Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficie vertical. ....	198
<b>Figura 98</b> Numero de Nusselt para la convección natural. ....	202
<b>Figura 99</b> Herramienta cálculo de flujo de vapor según coeficiente de flujo de válvula reductora. ....	220
<b>Figura 100</b> Dispositivos de alimentación.....	223
<b>Figura 101</b> Sistema de transporte neumático con alimentador de material mediante inyector. ..	224
<b>Figura 102</b> Coeficiente de arrastre para esferas.....	227
<b>Figura 103</b> Herramienta de selección de ventilador. ....	236
<b>Figura 104</b> Curva de operación del ventilador centrifugo modelo KM 251 R1A. ....	236
<b>Figura 105</b> Clasificación de bombas de vacío según la presión de vacío.....	243
<b>Figura 106</b> Clasificación de bombas de vacío según su rango de trabajo .....	244
<b>Figura 107</b> Diagrama coeficiente de caudal vs presión absoluta.....	246
<b>Figura 108</b> Curva de rendimiento de bomba de anillo liquido MODELO TRVX 1003. ....	247
<b>Figura 109</b> Curva potencia absoluta vs presión absoluta.....	248
<b>Figura 110</b> Carga de artesa recomendado para el EPS. ....	251
<b>Figura 111</b> Dimensiones del tornillo sin fin. ....	256
<b>Figura 112</b> Movimientos que del material dentro del mezclador cónico. ....	257
<b>Figura 113</b> Dimensiones del mezclador cónico.....	258

<b>Figura 114</b> Dimensiones de brazo planetario y longitud de tornillo sin fin del mezclador cónico. ....	260
<b>Figura 115</b> Dimensiones del mezclador cónico comercial. ....	262
<b>Figura 116</b> Movimiento de las partículas dentro de la mezcladora. ....	264
<b>Figura 117</b> Factor de sobrecarga de potencia. ....	269
<b>Figura 118</b> Preparación del dominio computacional para CFD. (a) Modelo 3D del sistema de Moldeo, (b) Dominio ocupado por el fluido en el sistema de moldeo.....	273
<b>Figura 119</b> Condiciones de contorno. ....	275
<b>Figura 120</b> Calidad de la métrica: a) ortogonalidad y b) oblicuidad. ....	279
<b>Figura 121</b> Convergencia de la interacción de la presión y temperatura vs los números de elementos.....	281
<b>Figura 122</b> Convergencia de residuales por iteración.....	283
<b>Figura 123</b> Convergencia de variables de monitoreo: a) Reporte de flujo de masa de ingreso y b) temperatura de los 6 bloques.....	283
<b>Figura 124</b> Convergencia de variables de monitoreo: a) Reporte de la y b) temperatura de la pared ranurada.....	284
<b>Figura 125</b> Campo las velocidades en el sistema de moldeo.....	285
<b>Figura 126</b> Distribución de la temperatura en el sistema de moldeo.....	285
<b>Figura 127</b> Distribución de las presiones en el sistema de moldeo. ....	286
<b>Figura 128</b> Planos de contorno de la velocidad de fluido en los 6 bloques de distribución de vapor. ....	287
<b>Figura 129</b> Velocidad del fluido definida en contornos en el plano frontal. a) Bloque delantero, b) Bloque trasero. ....	288
<b>Figura 130</b> Velocidad del fluido definida en contornos en plano planta. a) Bloque superior, b) Bloque inferior. ....	288
<b>Figura 131</b> Velocidad del fluido definida en contornos en el plano lateral. a) Bloque derecho, b) Bloque izquierdo. ....	289

<b>Figura 132</b> Distribución de temperatura en el plano medio de la cámara de moldeo.....	290
<b>Figura 133</b> Distribución de velocidades de flujo en el plano medio de la cámara de moldeo. .	290
<b>Figura 134</b> Distribución de las presiones totales en el plano medio de la cámara de moldeo...	291
<b>Figura 135</b> Corriente de línea de velocidad de flujo a través del bloque delantero en plano frontal. .....	292
<b>Figura 136</b> Detalles de la corriente de línea de velocidad de flujo a través del bloque delantero en plano frontal: a) Ubicada cerca al final de flujo del bloque, b) Ubicada en uno de los ductos del bloque y c) Ubicada cerca al ingreso de flujo. ....	292
<b>Figura 137</b> Distribución de los vectores de velocidad de flujo a través de las rejillas (ranuras) del bloque delantero en plano frontal.....	293
<b>Figura 138</b> Detalles de los vectores de velocidad del flujo en las ranuras del bloque delante. a) Campo de vectores de velocidad situada en medio y b) Campo de vectores de velocidad situada cerca al extremo derecho.....	294
<b>Figura 139</b> Esquema de la posición de las líneas de captación de datos de temperatura dentro de la cámara de molde.....	295
<b>Figura 140</b> Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de +45cm desde el eje Z origen.....	295
<b>Figura 141</b> Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de 0cm desde el eje Z origen.....	296
<b>Figura 142</b> Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de -45cm desde el eje Z origen.....	297
<b>Figura 143</b> Distribución de la presión en la placa (pared) frontal de la cámara de molde. ....	298
<b>Figura 144</b> Distribución de temperatura en la placa (pared) frontal de la cámara de molde. ....	299
<b>Figura 145</b> Primer caso de análisis con puerta cerrada, a) vista isométrica y b) vista lateral. ..	300
<b>Figura 146</b> Segundo caso de análisis con apertura de la puerta, a) vista isométrica y b) vista lateral. .....	300
<b>Figura 147</b> Simplificación del modelo 3D a modelo 1D (líneas) .....	301
<b>Figura 148</b> Flujo de trabajo en la plataforma del Workbench. ....	302

<b>Figura 149</b> Condiciones de borde y las cargas sometidas del primer caso de análisis. ....	303
<b>Figura 150</b> Condiciones de borde y las cargas sometidas del segundo caso de análisis. ....	303
<b>Figura 151</b> Condiciones de borde y las cargas sometidas del segundo caso de análisis. ....	304
<b>Figura 152</b> Mallado de la estructura soporte. ....	305
<b>Figura 153</b> Estado de deformación general de toda la estructura soporte. ....	305
<b>Figura 154</b> Estado de esfuerzos en Von Mises de toda la estructura soporte. ....	306
<b>Figura 155</b> Path generado del miembro estructural superior de apoyo directo de la máquina de moldeo. ....	307
<b>Figura 156</b> Diagrama total de Fuerzas Cortantes, Momento Flector y Deformación en Path de miembro superior. ....	307
<b>Figura 157</b> Estado de deformación general de toda la estructura soporte. ....	308
<b>Figura 158</b> Estado de esfuerzos en Von Mises de toda la estructura soporte. ....	308
<b>Figura 159</b> Path generado del miembro estructural superior de apoyo directo de la máquina de moldeo. ....	309
<b>Figura 160</b> Diagrama total de Fuerzas Cortantes, Momento Flector y Deformación en Path de miembro superior. ....	309
<b>Figura 161</b> Parte seleccionada del bloque solicitado para su posterior simplificación. ....	310
<b>Figura 162</b> Proceso de simplificación de la geometría 3D a la conversión de superficies 2D terminando en una única superficie 2D con los contornos de borde proyectados. ....	311
<b>Figura 163</b> Contacto de tipo joint sobre los apoyos fijos. ....	312
<b>Figura 164</b> Contacto de tipo joint sobre los apoyos extremos. ....	313
<b>Figura 165</b> Contacto de tipo joint sobre los apoyos cilíndricos. ....	313
<b>Figura 166</b> Condiciones de carga sobre la plancha. ....	314
<b>Figura 167</b> Vista del mallado sobre la plancha. ....	315
<b>Figura 168</b> Vista del mallado en el entorno de su calidad de malla. ....	316

<b>Figura 169</b> Configuración de la malla general.....	317
<b>Figura 170</b> Estado de esfuerzos de Von Mises de la plancha. ....	317
<b>Figura 171</b> Estado de deformaciones de la plancha.....	318
<b>Figura 172</b> Eje Slider con sus soportes .....	319
<b>Figura 173</b> Partes del conjunto del Eje Slider.....	319
<b>Figura 174</b> Tipo de contacto “No Separation” entre los Sliders y el soporte de Seguro. ....	320
<b>Figura 175</b> Tipo de contacto “No Separation” entre los soportes de Seguro y el eje Slider. ....	320
<b>Figura 176</b> Aplicación del soporte fijo “Fixed” en las planchas de soporte.....	321
<b>Figura 177</b> Aplicación de la carga sobre las caras posteriores en los Sliders.....	321
<b>Figura 178</b> Vista cerca de la aplicación de la carga en el Slider .....	322
<b>Figura 179</b> Vista del mallado parte No 01 del eje slider. ....	323
<b>Figura 180</b> Vista del mallado parte No 02 del eje slider. ....	323
<b>Figura 181</b> Vista del mallado parte No 03 del eje slider. ....	324
<b>Figura 182</b> Vista del estado de deformación del eje slider.....	324
<b>Figura 183</b> Vista del estado de esfuerzo del eje slider.....	325
<b>Figura 184</b> Vista de los niveles de esfuerzos del soporte de seguro y plancha de soporte.....	325
<b>Figura 185</b> Vista de los niveles de esfuerzos del eje slider y la slider.....	326
<b>Figura 186</b> Modelo 3D del mezclador: a) Vista isométrica y b) vista de corte en plano frontal. .....	327
<b>Figura 187</b> Flujo de trabajo de configuración del modelo DEM en Rocky DEM.....	328
<b>Figura 188</b> Ubicación de las entradas de partículas. a) Perlas EPS virgen y b) perlas EPS recicladas.....	329
<b>Figura 189</b> Movimiento previo de los componentes del mezclador: a) Tiempo 0s y b) tiempo 5s. .....	330
<b>Figura 190</b> Vista previa de la forma y tamaño de la partícula para las perlas virgen de EPS. ..	332

<b>Figura 191</b> Vista previa de la forma y tamaño de la partícula para las perlas recicladas de EPS. .....	332
<b>Figura 192</b> Perlas durante el ingreso. a) Perlas EPS virgen y b) perlas EPS recicladas.....	334
<b>Figura 193</b> Perlas de EPS Virgen y Reciclado mezcladas luego de 20 segundos. ....	334
<b>Figura 194</b> Masa total de perlas de EPS Virgen y Reciclado. ....	335
<b>Figura 195</b> Evaluación financiera. ....	347



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tamaño de pellet de EPS. ....	12
<b>Tabla 2</b> Rango de presión de vacío. ....	35
<b>Tabla 3</b> Clasificación de material.....	45
<b>Tabla 4</b> Lista de exigencias. ....	53
<b>Tabla 5</b> Caja negra. ....	55
<b>Tabla 6</b> Estructura de funciones.....	57
<b>Tabla 7</b> Evaluación técnico. ....	66
<b>Tabla 8</b> Evaluación económica. ....	67
<b>Tabla 9</b> Evaluación técnico – económica.....	68
<b>Tabla 10</b> Resumen de parámetros de diseño.....	79
<b>Tabla 11</b> Propiedades del acero ASTM A36. ....	82
<b>Tabla 12</b> Constantes para determinar momentos flectores máximos.....	84
<b>Tabla 13</b> Longitud critica de la plancha.....	87
<b>Tabla 14</b> Resumen de cálculos de $L = 120\text{cm}$ de bordes simplemente apoyados. ....	88
<b>Tabla 15</b> Resumen de cálculos para $L = 120\text{cm}$ de bordes empotrados. ....	88
<b>Tabla 16</b> Resumen del cálculo para $L = 58\text{cm}$ para bordes simplemente apoyados.....	90
<b>Tabla 17</b> Resumen del cálculo para $L = 58\text{cm}$ para bordes empotrados. ....	90
<b>Tabla 18</b> Resumen del cálculo para $L = 45\text{cm}$ para bordes simplemente apoyados.....	91
<b>Tabla 19</b> Resumen del cálculo para $L = 45\text{cm}$ para bordes empotrados. ....	91
<b>Tabla 20</b> Resumen del cálculo para $L = 43.646\text{cm}$ para bordes simplemente apoyados.....	91
<b>Tabla 21</b> Resumen del cálculo para $L = 43.646\text{cm}$ para bordes empotrados.....	92
<b>Tabla 22</b> Propiedades del AISI 4140. ....	98

<b>Tabla 23</b> Las propiedades para el material seleccionado acero ASTM A500 Grado B.....	108
<b>Tabla 24</b> Perfil seleccionado para la estructura base de la máquina de moldeo. ....	119
<b>Tabla 25</b> Resumen del perfil tentativo a seleccionar. ....	123
<b>Tabla 26</b> Especificaciones técnicas del cilindro hidráulico. ....	127
<b>Tabla 27</b> Valores de posición, velocidad y aceleraciones al inicio y final. ....	132
<b>Tabla 28</b> Tamaño de soldadura mínima. ....	138
<b>Tabla 29</b> Soldadura intermitente. ....	153
<b>Tabla 30</b> Tiempos de accionamiento del cilindro hidráulico. ....	157
<b>Tabla 31</b> Clase de viscosidad. ....	158
<b>Tabla 32</b> Clasificación según su aplicación. ....	159
<b>Tabla 33</b> Velocidades sugeridas para fluidos. ....	162
<b>Tabla 34</b> Lista de accesorios. ....	165
<b>Tabla 35</b> Accesorios en la línea de presión. ....	167
<b>Tabla 36</b> Accesorios en la línea de retorno. ....	167
<b>Tabla 37</b> Rugosidad en la manguera. ....	169
<b>Tabla 38</b> Factor K para el divisor de caudal. ....	171
<b>Tabla 39</b> Perdidas de presión según catálogo. ....	175
<b>Tabla 40</b> Perdidas de presión en la línea de retorno. ....	175
<b>Tabla 41</b> Extracto de especificaciones técnicas ....	182
<b>Tabla 42</b> Valores recomendados de p. ....	184
<b>Tabla 43</b> Grado de filtración. ....	185
<b>Tabla 44</b> Código de contaminación. ....	186
<b>Tabla 45</b> Parámetros de cálculo de distribución de vapor. ....	190

<b>Tabla 46</b> Resulta de cálculo de caída de presión en tubería.....	214
<b>Tabla 47</b> Coeficientes de resistencia locales (K1). .....	215
<b>Tabla 48</b> Coeficientes de resistencia locales (K1). .....	217
<b>Tabla 49</b> Coeficientes de flujo de válvula de reducción de presión.....	219
<b>Tabla 50</b> Velocidad de transporte neumático para EPS. ....	225
<b>Tabla 51</b> Factor de fricción para codo de 90°. ....	233
<b>Tabla 52</b> Características de los ciclones de alta eficiencia. ....	234
<b>Tabla 53</b> Parámetros para el cálculo de sistema de enfriamiento por vacío. ....	238
<b>Tabla 54</b> Potencia de las bombas (valores empíricos). ....	245
<b>Tabla 55</b> Clasificación del material. ....	250
<b>Tabla 56</b> Características de material de EPS. ....	251
<b>Tabla 57</b> Capacidad d transportadores de tornillo a 1 RPM y Max RPM. ....	251
<b>Tabla 58</b> Carga de capacidad para transportador. ....	253
<b>Tabla 59</b> Carga de capacidad para transportador con helicoidal especial.....	254
<b>Tabla 60</b> Carga de capacidad para transportador con helicoidal especial.....	254
<b>Tabla 61</b> Grupo de componentes de la helicoidal. ....	255
<b>Tabla 62</b> Dimensiones del tornillo sin fin.....	256
<b>Tabla 63</b> Tipos de equipos para el mezclado de sólidos.....	260
<b>Tabla 64</b> Dimensiones del mezclador cónico comercial.....	263
<b>Tabla 65</b> Factor de buje.....	266
<b>Tabla 66</b> Factor de porcentaje de carga de mezclador. ....	266
<b>Tabla 67</b> Factor de porcentaje de carga de mezclador. ....	266
<b>Tabla 68</b> Factor de paletas. ....	267

<b>Tabla 69</b> Eficiencia de transmisión de potencias. ....	269
<b>Tabla 70</b> Características del fluido.....	274
<b>Tabla 71</b> Malla general del modelo.....	276
<b>Tabla 72</b> Malla de control para el subdominio de la tubería.....	277
<b>Tabla 73</b> Malla de control para el subdominio de los cajones. ....	277
<b>Tabla 74</b> Malla de control para el subdominio de los interiores incluyendo a la cámara de molde. .....	278
<b>Tabla 75</b> Métricas de calidad de malla generada .....	279
<b>Tabla 76</b> Interacción de las variables de temperatura, presión y la malla. ....	280
<b>Tabla 77</b> Propiedades mecánicas del material empleado para la estructura soporte. ....	302
<b>Tabla 78</b> Propiedades mecánicas del material empleado para la plancha ranurada.....	312
<b>Tabla 79</b> Métricas de calidad de malla generada .....	316
<b>Tabla 80</b> Controles de malla a componentes .....	322
<b>Tabla 81</b> Configuración de movimiento de los componentes de la mezcladora.....	329
<b>Tabla 82</b> Materiales configurados.....	331
<b>Tabla 83</b> Interacción de los materiales configurados.....	331
<b>Tabla 84</b> Configuración de entrada para las partículas de Perlas de EPS.....	333
<b>Tabla 85</b> Costo de elementos diseñados de la máquina de moldeo. ....	336
<b>Tabla 86</b> Costos de sistema hidráulico.....	339
<b>Tabla 87</b> Costos del control eléctrico de la máquina .....	339
<b>Tabla 88</b> Costos de la instalación de la máquina .....	340
<b>Tabla 89</b> Costos totales directos de la máquina de moldeo de bloques de EPS .....	340
<b>Tabla 90</b> Costos ingenieriles .....	341
<b>Tabla 91</b> Costo ingenieriles y la utilidad .....	341

<b>Tabla 92</b> Costo total de la máquina de moldeo .....	341
<b>Tabla 93</b> Depreciación a 10 años. ....	343
<b>Tabla 94</b> Costo por operación de la máquina de moldeo al mes.....	346
<b>Tabla 95</b> Resumen de costos de la máquina de moldeo.....	348
<b>Tabla 96</b> Flujo de caja. ....	348

## ÍNDICE DE SIMBOLOS

Símbolo	Descripción	Unidad
$\Delta P$	Caída de presión para tubería de vapor	mca, bar
$C_p$	Calor específico	kJ/kg·°C
$Q$	Calor transferido	J
$Q_{EPS}$	Capacidad requerida	ft³/h
$P_{cr}$	Carga crítica	N
$Q_{eff}$	Caudal de vacío	m³/h
$\dot{Q}_V$	Caudal volumétrico	m³/s, L/min
$\delta$	Coeficiente de caudal	adimensional
$h$	Coeficiente de convección	W/m²·K
$\alpha$	Coeficiente de dilatación térmica	1/°C
$\beta$	Coeficiente de expansión volumétrica	1/K
$K$	Coeficiente de pérdidas locales	adimensional
$k$	Conductividad térmica	W/m·K
$u, \psi 1, \psi 2$	Constantes para flexión de placas	adimensional
$\Delta T$	Diferencia de temperatura	°C
$E_{entrada}$	Energía de entrada	kW
$E_{sale}$	Energía de salida	kW
$\lambda$	Esbeltez mecánica	adimensional
$\tau$	Esfuerzo cortante	Pa
$f$	Factor de fricción de tubería	adimensional

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
$n$	Factor de seguridad	adimensional
$\dot{G}_a$	Flujo del aire	m <sup>3</sup> /h
$\dot{m}$	Flujo másico	kg/s
$\dot{M}_{EPS}$	Flujo másico de EPS para sistema de mezclado	kg/h
$\dot{G}_{EPS}$	Flujo másico de EPS para transporte neumático	m <sup>3</sup> /h
$\dot{m}_{vapor}$	Flujo másico de vapor	kg/s
$V$	Fuerza cortante	N
$F_{es}$	Fuerza de asegurado	N
$F_e$	Fuerza de expulsión	N
$F_p$	Fuerza del pistón	N, kN
$L_D$	Lado del ducto cuadrado	m
$L_p$	Longitud de la plancha	m
$L_{e, R}$	Longitud entre rigidizadores	m
$W_o$	Masa del brazo orbital y tornillo sin fin	kg
$I$	Momento de inercia	kg/m <sup>2</sup>
$M$	Momento flector	N·m
$M_{max}$	Momento máximo	N·m
$Fr_B$	Número de Froude	adimensional
$Gr$	Número de Grashof	adimensional
$Nu$	Número de Nusselt	adimensional
$Pr$	Número de Prandtl	adimensional
$Ra$	Número de Rayleigh	adimensional

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
$Re$	Número de Reynolds	adimensional
$N^{\bullet}_R$	Número de rigidizadores	adimensional
$h_f$	Pérdidas de presión para	mca, bar
$W$	Peso	N
$P$	Presión	Pa
$r_t$	Radio del tornillo sin fin	m
$R_A, R_B$	Reacciones en apoyos	N
$N_{Tornillo}$	Revoluciones del tornillo sin fin	RPM
$\epsilon$	rugosidad absoluta	adimensional
$\frac{\epsilon}{D}$	Rugosidad relativa	adimensional
$T$	Temperatura	°C
$T_s$	Temperatura de superficie	°C
$t_r$	Tiempo de retracción	s
$T_b$	Torque en el brazo orbital	J
$\Delta\mu_{EPS}$	Variación de energía del EPS	kW
$\Delta\mu_{Molde}$	Variación de energía del molde	kW
$\Delta E_{sistema}$	Variación de energía del sistema	kW
$V_f$	Velocidad del fluido	m/s
$\nu$	Viscosidad cinemática	m <sup>2</sup> /s
$\mu$	Viscosidad dinámica	Pa·s
$V_m$	Volumen de material a mezclar	m <sup>3</sup>
$V_{mezclador}$	Volumen del mezclador	m <sup>3</sup>



Símbolo	Descripción	Unidad
$\nu$	Volumen específico	$\text{m}^3/\text{kg}$

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

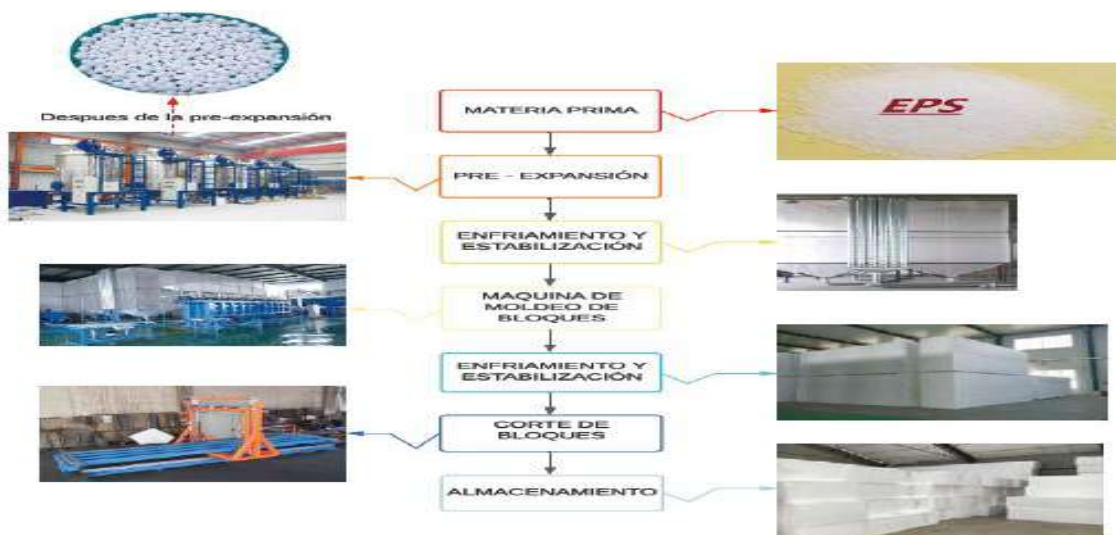
#### **1.1 Planteamiento del problema**

Actualmente la máquina de moldeo común mete conocido acá en Perú como bloquera se utilizan para la elaboración de bloques de EPS (poliestireno expandido) son fabricadas en países como China, México, España, Suecia, etc. Los cuales son diseñados para trabajar con materia virgen, al introducir mezcla de materia virgen y reciclado estas causan nuevas condiciones de trabajo en la máquina de moldeo, en Perú la gran parte de estos equipos son de fabricación hechiza (producción de componentes, equipos o sistemas mecánicos que se realizan al margen de estándares, normas y mejores prácticas de ingeniería) donde al tener estas nuevas condiciones de trabajo producirán posibles daños futuros. Al tener estas nuevas condiciones de trabajo la máquina de moldeo de fabricación hechizas se verá comprometida en su integridad con, posibles rajaduras en cordones de soldadura, posibles daños físicos al personal y maquinas aledañas por el incremento de presión en la máquina de moldeo, deformaciones permanentes de la máquina, así como también, grandes cantidades de desperdicio de material de EPS, razón por la cual es necesario realizar el diseño de la máquina de moldeo.

En la Figura 1 se muestra el proceso para la obtención de bloques de EPS (poliestireno expandido) que viene desarrollado por las etapas de pre – expansión, reposo intermedio, moldeo, reposo del bloque, corte y almacenamiento ver Figura 1.

**Figura 1**

*Proceso de producción de bloques de poliestireno expandido.*



Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, la construcción de viviendas está en aumento y con ello la necesidad de bloques de EPS para losas aligeradas y otros. Con la producción de EPS para estos fines, trae la generación de cantidades volumétricas de residuos EPS, que son segregados en proceso de corte.

Las máquinas de moldeo son construidas para trabajar con materia virgen, donde las perlas pre expandidas liberan el agente expansor contenidas en ellas y dando así la forma del bloque, el material reciclado libera menos agente expansor el cual dificulta el sinterizado de las perlas es por esta razón que se requiere incrementar la presión en la máquina.

Se pretende diseñar la máquina de moldeo para fabricar bloques de EPS utilizando un 15% de material reciclado ya que en investigaciones realizadas por diferente autores sugieren que el material reciclado de EPS se encuentre entre 15 y 20 % en peso del material virgen, así como en la investigación realizada ( Barrera et al., 2017) donde hace pruebas sobre este tipo de mezcla y obtiene que a mayor porción de reciclaje disminuye las propiedades mecánicas del material, para casetones utilizados en el sector de la construcción y según Ley 30884 de MINAM (Ministerio

del Ambiente) donde indica que se debe usar material reciclado de 15% de plástico PET (tereftalato de polietileno) asemejamos esta ley para este trabajo, donde los bloques de EPS, para la construcción tienen una densidad de  $15 \text{ kg/m}^3$  según el MANUAL DE INSTALACIÓN DE TECHO ALIGERADO CON VIGUETAS PREFABRICADAS DE ACERO de la SENCICO (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción), ya que las empresas del sector de la construcción creció en 4.75% en el segundo bimestre del 2019 respecto al 2018, también, el 31% de empresas entrevistadas considera que la infraestructura privada es el rubro de construcción con mayor dinamismo en el 2019, mientras que el 19% les concede esa condición a viviendas informal.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general***

¿Cómo utilizar el 15% de material reciclado de EPS en la fabricación de bloques?

### ***1.2.2 Problemas específicos***

1. ¿Cómo se definirá el tipo de máquina de moldeo adecuada para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de  $2,4 \text{ m}^3$  utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022?
2. ¿Cuáles son los parámetros para el diseño mecánico, hidráulico y térmico para el diseño de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de  $2,4 \text{ m}^3$  utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022?
3. ¿Cómo seleccionar mezclador de materia virgen y reciclado de poliestireno expandido para el diseño de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques

de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.?

4. ¿Cuál será la simulación del diseño de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022?
5. ¿Cuál será el costo del diseño de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022?

### **1.3 Justificación**

#### ***1.3.1 Implicancias prácticas***

La presente investigación pretende dar a conocer los parámetros para el diseño de la máquina de moldeo de EPS y su posterior construcción, esta máquina utilizara materia prima virgen y materia reciclado proveniente del corte de los bloques de EPS. Este diseño ayudará a que las diferentes empresas realicen un adecuado uso del material reciclado ya que con esta se tendrá menos material contaminante de EPS (poliestireno expandido).

#### ***1.3.2 Relevancia social***

Los resultados de este estudio beneficiaran al personal encargado de la operación de la máquina como a la persona a cargo, pues garantizara la seguridad durante la operación de la máquina.

Con este estudio se reutiliza el EPS garantizando su mezcla donde no se altere las propiedades mecánicas del bloque de EPS, con el cual se reduce la contaminación ambiental.

Este estudio ayudara en la disminución del costo de fabricación de la máquina en Cusco – Perú, en comparación con la adquisición de la máquina del extranjero.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar una máquina de moldeo para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.

### 1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Analizar las configuraciones más utilizadas de las máquinas de moldeo empleadas en la industria de fabricación de bloques EPS (poliestireno expandido), y efectuar una evaluación técnico-económica aplicando la metodología VDI 2221 con el propósito de identificar y seleccionar el diseño óptimo de la máquina de moldeo.
2. Recopilar y analizar información técnica para definir los parámetros que permitan realizar el diseño mecánico, hidráulico y térmico de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.
3. Seleccionar la máquina de mezclado de poliestireno expandido para el diseño de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.
4. Realizar la simulación con el software ANSYS de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.
5. Realizar el análisis de costos del diseño de la máquina de moldeo, para la fabricación de bloques de EPS (poliestireno expandido) de 2,4 m<sup>3</sup> utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.

## **1.5 Hipótesis**

El diseño de una máquina de moldeo con capacidad de 2.4 m<sup>3</sup>, permitirá fabricar bloques de poliestireno expandido con 15% de material reciclado.

## **1.6 Alcances**

- La máquina de moldeo está diseñada bajo la metodología VDI 2221.
- Se determina los parámetros de operación de temperatura, presión, tiempos del ciclo.
- Se desarrollan los planos, cálculos de componentes estructurales, térmicos y hidráulicos necesarios para el funcionamiento del sistema.
- Se realiza la simulación computacional estructural y termica de la máquina de moldeo.

## **1.7 Limitaciones**

- No se realiza el diseño experimental para determinar las propiedades mecánicas del bloque de EPS.
- No se realizará la construcción o fabricación de la máquina.
- La máquina de moldeo es semiautomática.
- El análisis se realizará con el 15% de material reciclado.
- El estudio se limita a la disponibilidad de materiales locales para la fabricación del molde.
- No se realiza el balance energético del consumo de vapor.
- Los datos se determinan mediante mediciones puntuales y revisión bibliográfica.
- No se realiza el diseño eléctrico y electrónico del sistema de control.

- Para el diseño de la máquina de moldeo se tendrá en cuenta que el bloque de EPS tendrá una densidad del  $15 \text{ kg/m}^3$  según el MANUAL DE INSTALACIÓN DE TECHO ALIGERADO CON VIGUETAS PREFABRICADAS DE ACERO de la SENCICO.
- Se realiza la simulación se realiza en régimen estacionario, monofásica, y se usara las métricas de calidad de malla de ANSYS.
- Este trabajo está orientado a la obtención de bloques para losas aligeradas.
- No se evaluará la influencia social – ambiental de la máquina.

## 1.8 Variables

### 1.8.1 Variable independiente

- 15% de materia reciclada de Poliestireno Expandido.
- Volumen de  $2.4 \text{ m}^3$ .
- Densidad del bloque de EPS  $15 \text{ kg/m}^3$ .
- Parámetro de operación (temperatura de moldeo, temperatura de vapor, presión de moldeo, presión de vapor, tiempo del ciclo).

### 1.8.2 Variable dependiente

- Resistencia estructural de máquina de moldeo.
- Configuración geométrica de la máquina de moldeo

## 1.9 Metodología

### 1.9.1 Alcances del estudio

El alcance de esta investigación es **descriptivo** cuyo objetivo es describir el funcionamiento, características, parámetro y componentes de la máquina de moldeo.



El alcance es descriptivo, porque se busca describir las características en función al fenómeno que se somete. Hernández, Fernández y Baptista, (2014).

### ***1.9.2 Enfoque***

El enfoque es **cuantitativo**, ya que se utiliza medidas numéricas como presión, temperatura, etc. Para obtener resultados numéricos.

### ***1.9.3 Diseño de la investigación***

El diseño de la investigación es **no experimental** porque se observa la operación de la máquina sin alterar alguna variable, es **transeccional o transversal** por que la recolección de datos se realiza en un instante determinado.

Es no experimental, porque no habrá manipulación de variables (Hernández et al., 2014).

### ***1.9.4 Población***

Para determinar el tipo de máquina de moldeo que se pretende estudiar, se realizará un estudio comparativo de las diferentes máquinas de moldeo para fabricar bloques en la industria del EPS.

### ***1.9.5 Muestra***

Con el propósito de tener la máquina específica que se utilizará, se pretende realizar una comparación de las máquinas de moldeo para fabricar bloques de EPS.

### ***1.9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos***

Datos documentales: se realizará la revisión de la literatura de fuentes confiables como son tesis, artículos científicos, libros, sitios webs, etc.

### ***1.9.7 Validez y confiabilidad de datos***

Una vez realizado la revisión de la literatura referidos a tema de tesis, se evaluarán los datos obtenidos con la finalidad de garantizar la veracidad de estos.

### ***1.9.8 Plan de análisis de datos***

Los datos serán procesados en hojas de cálculos y un paquete de diseño.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de estudios

##### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Foronda & Palacios (2017) en su tesis "Diseño de un proceso de fabricación de láminas de poliestireno expandido en la provincia de Santa Elena." tuvo como objetivo generar el desarrollo industrial del sector y proveer el mercado de láminas de poliestireno para la construcción. El plan inicio con elegir el terreno ubicar los equipos, adaptando el área de almacenamiento. Se encontró que la calidad del poliestireno obtenida por la planta, la cual se basó en las normas mexicanas referidas a la "Industria de la construcción para espuma rígida de poliestireno, EPS especificaciones y métodos de ensayo" es mayor a los valores mínimos dados por la norma.

Pazmiño (2014) en su tesis "Rediseño e implementación de la máquina bloquera variando la estructura del molde para reciclar el material de desechos en la empresa Panecons." tuvo como objetivo producir la presión que requería la máquina para poder usar hasta el 50% de reciclado. El programa de SolidWorks, entrega los elementos críticos y lugares a reforzar. Posteriormente, se ha diseñado la pared móvil de compresión para trabajar con ciertas densidades. Al realizar los ensayos en la fabricación de bloques, se logró obtener bloques con el 100% de reciclado despolvado y con el 50% de reciclado sin despolvar.

Bermúdez (2017) en su tesis "Diseño y simulación de una máquina automatizada de pre-expansión por lotes del poliestireno expandido (EPS)." tuvo como objetivo diseñar una máquina automatizada para la pre expansión de perlas de poliestireno expandido, por medio de la agitación y el agente expansor pentano genera un crecimiento uniforme de las perlas. Según el tipo de estudio, la automatización, se desarrolló con el programa metodológico "programming industrial

automation system" con la finalidad de no depender de la marca Allen-Bradley en el uso del PLC. El desarrollo del proyecto se tiene diseñando la máquina estructuralmente sólida. La simulación que se realizó con Petri muestra errores que genera el proceso.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Bonilla & Rujel (2005) en su tesis "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO Y CONTENIDO DEL MATERIAL DE RECICLO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y TÉRMICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO" tuvo como objetivo evaluar la influencia del tamaño de grano y contenido de material de reciclaje en las propiedades mecánicas y térmicas del poliestireno expandido. Se concluyó que a menor porcentaje de material de reciclaje las propiedades mecánicas son mejores, considerando el 20% de material reciclado para obtener una resistencia aceptable. Los resultados mostraron que la presión de moldeo y la presión de vapor influyen en la temperatura de la máquina teniendo así los valores máximo de presión de moldeo de  $1.55 \text{ kg/cm}^2$ , presión de vapor de  $1.22 \text{ kg/cm}^2$  una temperatura de  $118^\circ\text{C}$ .

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Materia de EPS**

Para la fabricación de bloques de poliestireno expandido se requiere de la materia prima de EPS el cual se tiene que importar de los proveedores internacionales como China, México, entre otros. En la Figura 2 se muestra la materia prima de EPS el cual viene en sacos de 25 kilogramos de diferentes tamaños de grano del pellet como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1***Tamaño de pellet de EPS.*

GREDE		BEAD SIZE (mm)	PRE-EXPENSION RATE	APPLICATION
EZKF	201	1.40 - 2.00	50 - 70	block and sheets
EZKF	301	1.00 - 1.60	45 - 65	block, sheets and large packing
EZKF	302	0.85 - 1.25	40 - 65	block, sheets and middle packing
EZKF	303	0.70 - 1.00	40 - 60	block, sheets and middle packing
EZKF	401	0.50 - 0.80	30 - 50	high density block, sheets and special products
EZKF	501	0.40 - 0.60	25 - 40	high density block, sheets and special products

Fuente: Adaptado de [https://es.made-in-china.com/co\\_epsmachine/product\\_EPS-Raw-Material-Fire-Retardent-Grade\\_osugysgig.html](https://es.made-in-china.com/co_epsmachine/product_EPS-Raw-Material-Fire-Retardent-Grade_osugysgig.html)

**Figura 2***Saco de 25kg de materia prima de EPS.*

Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.2 Polímeros**

Existen diferentes conceptos de polímeros como las que se tienen:

Odian (2004) en su libro “Principles of Polymerization” afirma lo siguiente: los polímeros están formadas por la unión de grandes cantidades de moléculas mucho más pequeñas. Las pequeñas moléculas que se combinan entre sí para formar moléculas de polímero se denominan monómeros, y las reacciones por las cuales se combinan se conoce como polimerizaciones. Puede haber cientos, miles, decenas de miles o más moléculas de monómero unidas en una molécula de polímero. Cuando se habla de polímeros, se trata de materiales cuyos pesos moleculares pueden alcanzar los cientos de miles o millones.

También Billmeyer (1978) indica que un polímero es una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. en algunos casos la repetición en lineal, de forma semejante a como una cadena la forma sus eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. la unidad repetitiva del polímero es usualmente el equivalente o casi equivalente al monómero o material de partida del que se forma el polímero.

### **2.2.3 Poliestireno**

Hernández (2018) menciona que el monómero de estireno fue descubierto por Newman en 1786. La formación inicial de poliestireno (PS) fue hecha por Simón en 1839. Mientras que el PS se formó hace casi 175 años, el mecanismo de formación no se descubrió hasta principios del siglo XX. El PS se produce comercialmente utilizando polimerización por radicales libres, pero también puede producirse mediante las cuatro técnicas principales: aniónica, catiónica, de radicales libres y sistemas de coordinación. Todas las formas tácticas se pueden formar empleando estos sistemas. La más importante de las formas tácticas es PS sindi táctica.

También Billmeyer (1978) indica que: el poliestireno es un termoplástico con muchas propiedades deseables. Es diáfano, transparente, fácilmente de colorear y fácil de fabricar. La familia de los polímeros de estireno incluye poliestireno, los copolímeros de estireno, con otros monómeros de vinilo, los polímeros de derivados del estireno, y las mezclas de poliestireno y copolímeros de estireno con elastómeros. El uso de poliestireno en el empaquetado (incluidas espumas y películas) es del 40%; componentes 20%; juguetes y artículos domésticos 10% cada uno y mobiliario doméstico, instalaciones de iluminación, materiales de construcción y otros diversos 5% cada uno de ellos.

#### **2.2.4 Tipos de poliestireno**

Existe una variedad de tipos de poliestireno que se vienen utilizando con diferentes propósitos, los más utilizados se describen a continuación:

##### **2.2.4.1 Poliestireno de propósito general (GPPS)**

Es llamado también poliestireno cristal, y se trata del polímero puro. Se caracteriza por su transparencia y fragilidad. A estas resinas se le pueden adicionar fácilmente color. Es fácil de moldear, tiene buenas propiedades eléctricas y excelente resistencia a la radiación gamma. Tienen baja resistencia química, es susceptible a la radiación UV y es inflamable. (López, 2016)

##### **2.2.4.2 Poliestireno de alto impacto (HIPS)**

Este poliestireno fue desarrollado para superar la desventaja del GPPS; su fragilidad. El HIPS es una mezcla entre poliestireno y un elastómero. La presencia del elastómero mejora su resistencia al impacto (Harper, 2003), Un método de producción es mezclar 94% p/p de PS con 6% de estireno-1,3-butadieno, el cual tiene un 30% de estireno. La mezcla se produce disolviendo 4% de polibutadieno en estireno, y enseguida hacer la polimerización en solución. El HIPS es una matriz de poliestireno conteniendo partículas esféricas de polibutadieno de 0,1 a 10  $\mu\text{m}$ , dependiendo del

método de polimerización, (Bower, 2002), Entre sus propiedades generales se encuentra que pueden tener siete veces más resistencia al impacto que el poliestireno ordinario, pero aproximadamente la mitad de la resistencia a la tracción, una menor dureza y un punto de reblandecimiento alrededor de 15 ° C más baja.

### **2.2.5 Poliestireno expandido (EPS)**

Este poliestireno es utilizado como aislante y se caracteriza por tener densidades bajas (16 kg/m<sup>3</sup>). Es fabricado por diferentes métodos, en los que es utilizado un agente de expansión, como un hidrocarburo de bajo punto de ebullición (n-pentano). El proceso de polimerización es llevado principalmente por suspensión en el que se producen perlas pre- espumadas impregnadas por el agente de expansión. Estas perlas son sometidas a un proceso de post - polimerización: por moldeo por vapor o por moldeo por inyección o extrusión, en los cuales se incrementa la temperatura y se da la expansión por la volatilización del hidrocarburo y por procesos de osmosis del vapor de agua, que logra una mayor expansión del polímero. El proceso global tiene dos etapas más, refrigeración y calentamiento, que acondicionan el producto y evitan el colapso de las burbujas creadas. (López, 2016)

Esta materia prima se presenta en forma de pequeñas perlas de poliestireno que contienen en su interior un agente expansor homogéneamente distribuido que permite su expansión durante el proceso de transformación. El agente expansor es un hidrocarburo de bajo punto de ebullición (habitualmente pentano). En la fabricación del poliestireno expandible no se utiliza ni se ha utilizado nunca gases expansores de la familia de los CFCs (CloroFluoroCarbonos), HCFCs (HidroCloroFluoroCarbonados), o HFCs (HidroFluoroCarbonados) agentes causantes de la degradación de la Capa de Ozono. Las perlas de poliestireno expandible se presentan en forma esférica con un diámetro que oscila en el intervalo 0,2-3,0 mm y se tratan con diferentes aditivos



para influir en las propiedades del material expandido, los productos más finos, con diámetros comprendidos entre 0,2 y 1,0 mm se destinan principalmente a la fabricación de embalajes. Los productos más gruesos (1,0 a 3,0 mm) se utilizan para la producción de placas de aislamiento térmico.

La fabricación del material se realiza partiendo de compuestos de poliestireno en forma de perlititas que contienen un agente expansor (habitualmente pentano). Después de una pre - expansión, las perlititas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo. Dentro de dichas máquinas se aplica energía térmica para que el agente expansor que contienen las perlititas se caliente y éstas aumenten su volumen a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen. En construcción lo habitual es comercializarlo en planchas de distintos grosores y densidades. Los casetones se fabrican con poliestireno expandido EPS tipo F y en densidad:  $15 \text{ kg/m}^3$ .

#### **2.2.6 *Procesos de fabricación***

El proceso de fabricación de bloques de EPS parte desde la recepción de la materia prima hasta su almacenamiento, el procedimiento que se considera para es la siguiente:

- Recepción de la materia prima
- Almacenamiento
- Pre - expansión
- Reposo intermedio de las partículas pre - expandidas
- Expansión a bloque de poliestireno expandido.
- Almacenamiento de bloque o láminas de poliestireno expandido.

### 2.2.6.1 Almacenamiento

El lugar en el que se almacena la materia prima debe fresco y bien ventilado para no generar acumulación del gas pentano, el material de poliestireno expandido no debe tener mucho tiempo de almacenado pues este material desprende su gas expansor de la perla el cual disminuye la calidad en el proceso.

### 2.2.6.2 Pre – expansión

Anape en su revista proceso de transformación del EPS determina que, para este proceso la materia prima se calienta en unas instalaciones especiales denominadas pre expansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aprox. 80 y 110°C. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m<sup>3</sup> a densidades que oscilan, normalmente, entre los 10 - 30 kg/m<sup>3</sup>

La Figura 3 muestra como las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

El proceso de pre-expansión puede proseguir una vez transcurrido un determinado periodo de reposo intermedio cuando se desea obtener una densidad aparente menor y no es viable conseguirlo en una única pre expansión.

### Figura 3

*Pre – Expansión de pellet de poliestireno expandido.*



Fuente: <https://anape.es/pdf/eco-eps.pdf>

### 2.2.6.3 Reposo intermedio y estabilización

Al enfriarse las perlas pre – expandidas se genera un vacío en el interior de la materia esta se compensa con aire, la estabilización mecánica tendrá durara aproximadamente 2 días esto depende de la densidad y características del lugar donde se realiza dicho proceso, este periodo en el cual se estabilizan las perlas en los silos como se muestra en la Figura 4 ayuda a que mejoren la expansión en la siguiente etapa del proceso. En el caso de que el tiempo de estabilización se menor a las 6 horas, en el proceso de moldeo las perlas no tendrán una suficiente capacidad de sinterizado (soldado) el cual llevara a errores en el moldeo.

**Figura 4**

*Reposo intermedio de las perlas pre – expandidas.*



Fuente: <https://anape.es/pdf/eco-eps.pdf>

### 2.2.6.4 Expansión y moldeo final

En esta etapa las perlas pre – expandidas entran a una máquina de moldeo donde se inyecta vapor saturado que actúa como un medio ablandador el cual permitirá que nuevamente el gas pentano se

expanda y se tenga el aumento en el volumen de la materia pre – expandida dando como resultado el sinterizado de las perlas y el llenado por completo del moldeo con las que se podrán obtener bloques de una determinada dimensión o productos conformados con un acabado definido

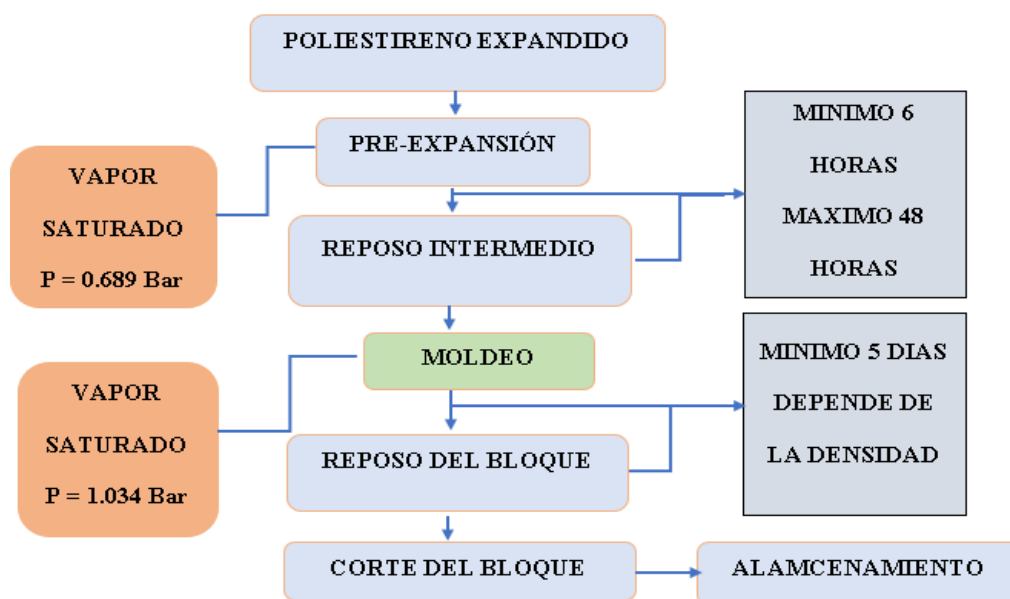
### 2.2.6.5 Corte de bloques de poliestireno

Según Foronda & Palacios (2017) el bloque de poliestireno expandido se corta con hilo caliente (en nuestro caso hilo compuesto de una aleación de Níquel-Cromo (niquelina) # 27), el cual corta el material por radiación. Se producen por rotura y reconstitución de la cadena del polímero, formando desde fracciones más pequeñas hasta la sustancia de partida. Debido a la temperatura del alambre de corte, estas partes desdobladas se evaporan con el agente de expansión residual, de manera que las emisiones que se producen están compuestas principalmente de fracciones de bajo peso molecular, estireno y pentano.

En la Figura 5, se tiene el esquema del proceso de fabricación según (Foronda & Palacios, 2017).

**Figura 5**

*Procesos de obtención de bloques de poliestireno expandido con materia virgen.*



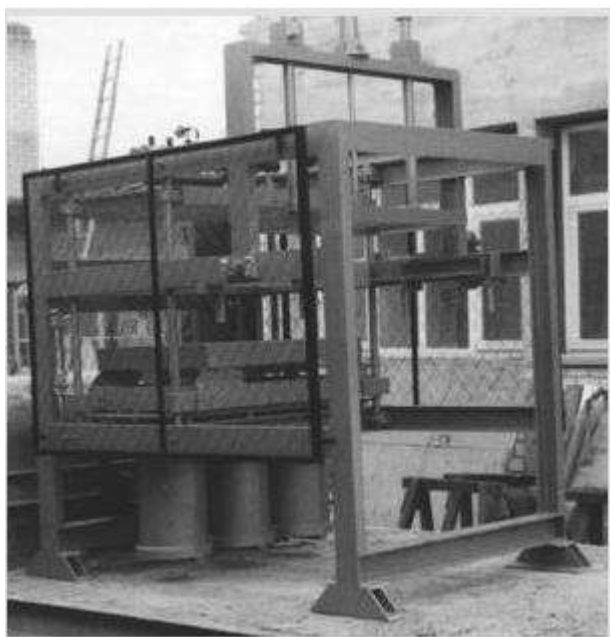
Fuente: (Foronda & Palacios, 2017).

### 2.2.7 Máquina de moldeo

A principios de los años 50 cuando se introdujo el poliestireno expandido (EPS) de BASF HEITZ que era una de los fabricantes de moldes y suministros de fundición en todo el mundo paso a convertir su campo de actividad en máquinas, moldes y equipos auxiliares para EPS. Durante ese tiempo, HEITZ adquirió su posición de pionero en el desarrollo de EPS. En 1957 HEITZ construye la primera máquina de moldeo completamente automática del mundo el cual se muestra en la Figura 6 de esta manera HEITZ paso a convertirse en un fabricante de máquinas y sistemas para el procesamiento del plástico.

**Figura 6**

*"Styromatic", la primera máquina de moldeo EPS completamente automática.*



Fuente: <https://www.heitz.de/index.php?id=27&L=1>

Según Pazmiño (2014) para producir bloques de EPS existe: Moldeadoras para contenedores, Pre expansor, Bloqueras. Para elaborar de bloques de EPS se tiene: pantógrafos, Cortadoras, Escuadradoras, Fresadoras, excavadoras, Líneas de corte, Instalaciones de reciclado. Con el avance de la tecnología se ha ganado productividad y se aprovecha al máximo la materia

prima. ahora se tienen plantas de producción totalmente automatizadas, donde casi ya no interviene la mano del hombre, existen líneas de producción continua, se producen bloques de longitud indefinida, se transportan automáticamente, se cortan y se almacenan.

También Pazmiño (2014) indica que la fabricación de productos de EPS de baja densidad son las más difíciles de producir ya que se necesitan maquinas con mejor tecnología y materia prima especial, en el ciclo XXI ya se tienen máquinas que pueden producir bloques de densidad 6 g/l y en el mercado sudamericano se venden casetones o bloques de aligerado de densidad 8 g/l.

#### **2.2.7.1 Placas delgadas**

Las placas delgadas son elementos estructurales que están sometidos a una carga distribuida o presión, estas placas tienen un espesor mucho menor que las dimensiones de la placa. Para la solución de placas, Timoshenko hace una analogía con la flexión de vigas.

En el estudio de placas planas se tiene la rigidez a la flexión de la placa el cual está determinada por la ecuación (1)

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (1)$$

Donde

D: rigidez a la flexión

E: módulo de Young

$\nu$ : coeficiente de Poisson

#### **2.2.7.2 Flexión de una placa rectangular de gran longitud cargada uniformemente**

Para el análisis de una placa rectangular se tiene en cuenta que la longitud es grande en comparación con el espesor de la plancha. El análisis se desarrolla para las condiciones de:

- Bordes simplemente apoyados

- Bordes empotrados

#### 2.2.7.2.1 Placas con bordes simplemente apoyadas

En las placas con bordes simplemente apoyadas no existe deflexión en los bordes y no se restringe la rotación en los bordes.

La deflexión máxima ocurre en el centro de la placa esta se determina con la ecuación (2)

$$\delta_0 = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{D} \quad (2)$$

Donde:

q: carga distribuida sobre la placa

l: longitud más larga de la placa

Para determinar el momento flector máximo se requiere obtener la constante las cuales nos permitirá ingresar a la tabla III del libro de resistencia de materiales de Timoshenko y obtener la constante  $\psi_1$  para ello se determina las cantidades de:

$$\alpha(1 + \alpha)^2 = \frac{3\delta_0^2}{h^2} \quad (3)$$

$$u = \frac{\pi}{2} \sqrt{\alpha} \quad (4)$$

El esfuerzo de extensión se determina mediante la siguiente expresión

$$\sigma'_x = \frac{\alpha\pi^2 D}{hl^2} \quad (5)$$

El momento flector máximo en el centro está dado por:

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \psi_1(u) \quad (6)$$

El esfuerzo máximo respecto a la flexión es:

$$\sigma_x'' = \frac{6M_{max}}{h^2} \quad (7)$$

Cuando se superponen los esfuerzos se obtiene el esfuerzo máximo total

$$\sigma_{max} = \sigma_x' + \sigma_x'' \quad (8)$$

#### 2.2.7.2.2 Placas con bordes empotrados

Las placas con bordes empotrados impiden tanta rotación como el desplazamiento, la ecuación determinada para placas con bordes simplemente apoyados se mantiene la rigidez a la flexión. Para determinar el momento flector en el borde empotrado se debe determinar la constante  $\psi_2$  ingresando a la tabla III del libro de resistencia de materiales de Timosheko para lo cual se debe obtener las cantidades de:

$$\alpha_{emp} \left(1 + \frac{\alpha_{emp}}{4}\right)^2 = \frac{3\delta_0^2}{h^2} \quad (9)$$

Donde el esfuerzo de extensión para borde empotrado es:

$$\sigma_{x,emp}' = \frac{\alpha_{emp}}{\alpha_{apo}} \sigma_x' \quad (10)$$

Para obtener la constante de  $\psi_2$  se determina la cantidad de

$$u = \frac{\pi}{2} \sqrt{\alpha_{emp}} \quad (11)$$



Con la cantidad de  $u$  ingresamos a la tabla III pág. 45 de la segunda parte de resistencia de materiales del libro de S. Timoshenko de donde se obtiene la constante de  $\psi_2$ . Por lo tanto, el momento flector en el borde empotrado es:

$$M = \frac{ql^2}{12} \psi_2(u) \quad (12)$$

El esfuerzo máximo por flexión será:

$$\sigma''_{x,emp} = \frac{6M}{h^2} \quad (13)$$

El esfuerzo máximo total es

$$\sigma_{max} = \sigma'_{x,emp} + \sigma''_{x,emp} \quad (14)$$

### 2.2.7.3 Componentes oleo hidráulico para la máquina de moldeo

Los sistemas oleo hidráulicos vienen siendo utilizados en diferentes sectores de la industria pueden ser estacionarios o móviles estas utilizan fluidos bajo presión para realizar determinados trabajos el cual está controlado por diferentes elementos como:

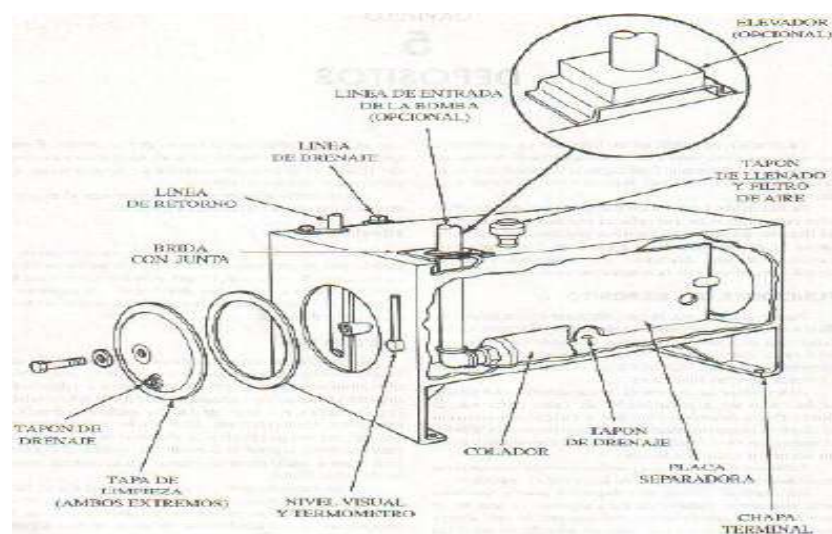
- Deposito
- filtro
- Bomba
- válvulas
- actuadores
- motores hidráulicos

### 2.2.8 Depósito

La Figura 7 muestra el depósito de un sistema hidráulico el cual es inicialmente el recipiente destinado a almacenar el fluido necesario para el funcionamiento normal del sistema; sin embargo, el depósito, debe también realizar otras funciones como la de facilitar la disipación del calor fluido, o la separación del aire que este pueda contener.

**Figura 7**

*Depósito de aceite.*



Fuente: <https://es.scribd.com/document/356101904/Manual-de-Hidraulica-Industrial-Vickers>

### 2.2.9 Sistema de filtración

En la industria se tienen diferentes tipos de filtro, las cuales son utilizadas en circuitos hidráulicos estas dependen del grado de filtración y volumen de aceite a filtrar.

- Filtro de aspiración
- Filtro de pre carga
- Filtro de presión
- Filtro aire
- Filtro de retorno

### **2.2.10 Bomba hidrostática**

También conocida como de desplazamiento positivo es aquella que bombea una cantidad definida en cada revolución que se genera en el bombeo.

- Bombas oscilantes
- Bombas rotativas

### **2.2.11 Componentes de regulación y control**

Una vez que el fluido está circulando por los ductos del circuito hidráulico, se verá la forma de darle cierto uso a esta energía hidráulica y convertirla en energía mecánica para ello se tendrá que dirigir, regular y controlar el flujo del fluido mediante componentes usuales en dicho circuito.

Para controlar los parámetros de presión y caudal se utiliza válvulas reguladoras de presión, la dirección del fluido y el caudal, es así que se tienen:

- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas direccionales
- Válvulas reguladoras de caudal

### **2.2.12 Válvulas direccionales**

Estas válvulas son usadas para dirigir en uno u otro sentido a través de los distintos ductos de la línea de conducción mediante la apertura y cierre del paso en la válvula.

Su clasificación se da por la cantidad de pasos que tiene, cantidad de entradas y salidas y el número de posiciones que pueda actuar.

- Válvulas unidireccionales
- Válvulas direccionales de dos vías
- Válvulas direccionales de varias vías

### **2.2.13 Válvulas reguladoras de caudal**

La función de la válvula de regulación es delimitar el caudal del fluido haciendo que esta aumente o disminuya su volumen, el ejemplo más sencillo es grifo (caño) en cual según se abra proporcionara mayor cantidad de fluido y lo contrario ocurre si se cierra.

La retención de fluido se convierte en calor y por lo general son poco utilizadas por el incremento en la temperatura.

### **2.2.14 Cilindros**

Son elementos considerados como actuadores lineales, ya que el trabajo que realiza es en línea recta.

Los cilindros se clasifican como:

- a) cilindros de simple o de doble efecto
- b) cilindros diferenciales y no diferenciales.

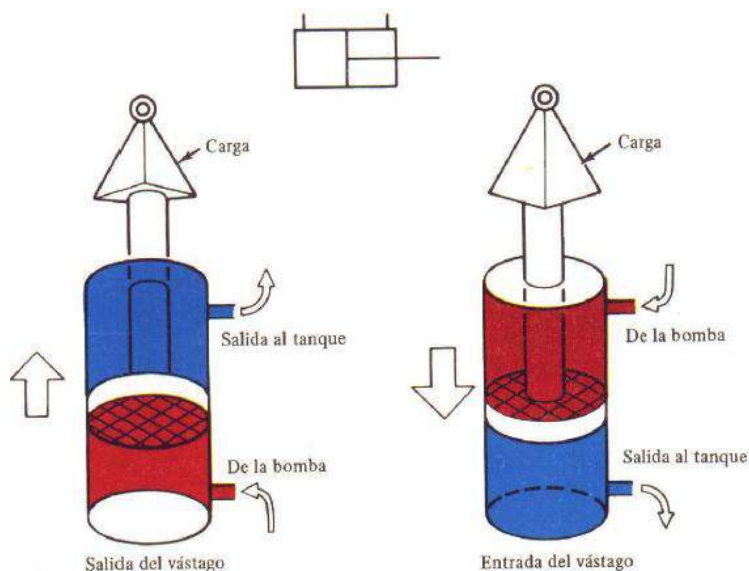
#### **2.2.14.1 Cilindro estándar de doble efecto**

Se caracteriza porque el fluido acciona al cilindro en ambos sentidos, esto hace que se pueda ejercer fuerza en cualquier sentido del movimiento. También es clasificada como un cilindro diferencial ya que posee volúmenes diferentes en cada cámara esto debido al vástago. En este tipo de cilindro el avance es más lento que el de retorno y son usadas para ejercer mayor fuerza.

La Figura 8 muestra la forma como realiza trabajo el cilindro.

**Figura 8**

*Cilindro normalizado de doble efecto tiene dos carreras.*



Fuente: <https://es.scribd.com/document/356101904/Manual-de-Hidraulica-Industrial-Vickers>

### **2.2.15 Motores hidráulicos**

Tienen un parecido a las bombas, donde esta no impulsa el fluido por el contrario son impulsados por este para generar un par continuo. El nombre que comúnmente se conoce al actuador hidráulico rotativo es motor, como por ambos orificios del motor se puede presurizar, gran parte de ellas tienen un drenaje externo.

Se tienen tipos de motores hidráulicos:

- Motores de engranajes
- Motores de paletas
- Motores de pistones

## **2.3 Conceptos termodinámicos**

### **2.3.1 Equilibrio térmico**

Se dice equilibrio térmico cuando dos objetos con diferente temperatura han estado mucho en contacto térmico hasta alcanzar una temperatura de equilibrio después de un tiempo.

Para lograr el equilibrio térmico consideraremos dos objetos de masa  $m_1$  y  $m_2$ ,  $C_{e1}$  y  $C_{e2}$  sus calores específicos (J/kg K.).

Si se tiene dos objetos con Temperatura  $T_1$  y  $T_2$  sin interactuar y en recipientes adiabáticos, y luego de un tiempo  $t=0$  se ponen en contacto ambos objetos, estas al interactuar se iniciará con la transferencia de energía que después de un tiempo determinado alcanzaran el equilibrio  $T_{eq}$ , puesto que el calor se transfiere del de mayor temperatura a l de menor temperatura.

Y se presenta en las siguientes ecuaciones:

$$Q = m_1 * C_{e1} * (T_{eq} - T_1) \quad (15)$$

$$Q = m_2 * C_{e2} * (T_{eq} - T_2) \quad (16)$$

$$T_{eq} = \frac{m_1 * C_{e1} * T_1 + m_2 * C_{e2} * T_2}{m_1 * C_{e1} + m_2 * C_{e2}} \quad (17)$$

### 2.3.2 Balance energético

El balance energético es un principio fundamental en la termodinámica, ciencia que estudia la energía, sus transformaciones y su capacidad para realizar trabajo. Este principio se basa en la primera ley de la termodinámica, también conocida como el principio de conservación de la energía, la cual establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de una forma a otra. Mecanismos de transferencia de calor.

#### Primera ley de la termodinámica

Es un principio básico donde la energía del sistema es igual a la que entra al sistema es menos la energía que sale, esto es para un volumen de control cerrado y se expresa así:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (18)$$

## 2.4 Mecanismos de transferencia de calor

Para que exista transferencia de calor se debe tener un gradiente de temperatura en este caso entre sólidos donde el calor se transferirá de molécula a molécula del lado de mayor temperatura al lado de menor temperatura, este proceso también se produce en líquidos y gases.

La temperatura en un cuerpo que tiene en un lado mayor temperatura se transferirá hacia otro lado del cuerpo con menor temperatura, con la excitación de las moléculas. En un sólido las moléculas están más próximas y con ello se realiza la transferencia de calor con mayor facilidad lo contrario ocurre con los líquidos y gases donde esta transferencia será menor.

La razón de transferencia por conducción a través de un medio estará sujeta a la disposición geométrica, el tipo de material, como también el gradiente de temperatura.

## 2.5 Calderas de vapor

El vapor como fluido de trabajo se utiliza comúnmente como fluido térmico en la industria, ya que posee una elevada capacidad calorífica y capacidad de transporte y regulación de temperatura y presión. El fluido que posee energía que puede utilizarse en calderas posee diversas aplicaciones, como calefacción, cocción, esterilización, moldeado de plásticos y secado, entre otros.

### 2.5.1 Eficiencia de la caldera

La eficiencia de la caldera depende de:

- Calidad del vapor: Relación masa vapor/masa total (ideal: 100% seco).
- Propiedades termodinámicas: Presión, temperatura y entalpía (definidas por tablas de vapor, *e. g.*, ASME Steam Tables).
- Conservación de energía: Primera ley de la termodinámica:  $Q = m \cdot (h_2 - h_1)$  donde  $Q$  es calor transferido,  $m$  flujo másico y  $h$  entalpía.

### 2.5.2 Tipos de caldera

- Acuotubulares: Estas calderas trabajan a alta presión mayores a 20 bar y flujos de vapor de hasta 500 ton/h. Ideales para procesos industriales.
- Piro tubulares: Estas calderas trabajan a baja/media presión menores a 20 bar y flujos de vapor menores 30 ton/h. Usadas en calefacción, moldeado de plásticos (Poliestireno expandido EPS) y procesos alimentarios.

#### 2.5.2.1 Parámetros de selección de caldera

Para calcular la potencia de una caldera necesitamos los siguientes parámetros:

$$Q_{\text{total}} = m_{\text{vapor}}[(h_{\text{vapor a 8bar}} - h_{\text{liquido a 8bar}}) + C_p(T_2 - T_1)] \quad (19)$$

Donde:

$m_{\text{vapor}}$ : Flujo másico (kg/s).

$C_p = 4.184 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ : Calor específico.

$T_1$ : Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ).

$T_2$ : Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ).

$h_g$ : Entalpía de Vapor Saturado (kJ/kg).

$h_f$ : Entalpía de Líquido Saturado (kJ /kg).

## 2.6 Cálculo de tubería de vapor

### 2.6.1 Cálculo de tuberías para transporte de vapor

El sistema de tubería debe tener en cuenta la entrega de vapor a las presiones y temperatura adecuadas, no prematura caída de presión con pérdida de presión mínima, y sin condensación.

Factores para considerar:

- Caudal de vapor (kg/h).
- Velocidad recomendada para vapor saturado: 25 - 40 m/s (LÓPEZ, 2020).



- Caídas de presión permisibles (usualmente <10% de la presión total).
- Longitud y accesorios (codos, válvulas).

### 2.6.1.1 Cálculo de diámetro de tubería

El cálculo del diámetro de tubería está relacionado con la velocidad de vapor recomendado, a partir de esa información remplazamos en la siguiente formula:

$$D = \sqrt{\frac{4 * \dot{V}}{\pi * C}} \quad (20)$$

Donde:

$\dot{V} = \dot{m} * v$  Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

v: volumen específico (m<sup>3</sup>/kg).

C: Velocidad del flujo (m/s) recomendado según (LÓPEZ, 2020).

$\dot{m}$  : Flujo másico (kg/s).

### 2.6.1.2 Cálculo de numero de Reynolds

Cálculo del número de Reynolds utilizaremos la siguiente formula:

$$Re = \frac{\rho * C * D}{\mu} \quad (21)$$

Donde:

$\mu$  : viscosidad dinámica a 8 bar (obtenidas de tablas de vapor) (Pa. s)

$\rho$  : densidad de vapor a una presión obtenidas de tablas de vapor) (kg/m<sup>3</sup>)

Re > 4000: Flujo turbulento.

### 2.6.1.3 Cálculo de coeficiente de fricción

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left[ \frac{1}{3.7 * \frac{D}{e}} + \frac{5.74}{(Re)^{0.9}} \right] \right\}^2} \quad (22)$$

e: rugosidad absoluta de tubo de acero sin costura.

#### **2.6.1.4 Cálculo de caída de presión en tubería**

La pérdida de presión se calcula comúnmente mediante el método de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = \frac{f * L * \rho * C^2}{2 * D} \quad (23)$$

Donde:

f el coeficiente de fricción (depende de la rugosidad).

L es la longitud de la tubería.

D es el diámetro interno.

$\rho$  es la densidad del vapor.

V es la velocidad del vapor.

### **2.7 Sistema de enfriamiento por vacío**

Un sistema de enfriamiento es una técnica utilizada para bajar la temperatura rápidamente de un producto húmedo o caliente, al reducir la presión en la cámara de vacío provoca la evaporación súbita del agua (pérdida de valor latente). Tiene una amplia aplicación en el sector industrial como son en proceso de envasado, el embotellado, el secado, la extracción de gases (vapor), entre otros. El principal componente de este sistema de enfriamiento por vacío son las bombas y como función principal mantener, crear y mejorara el vacío.

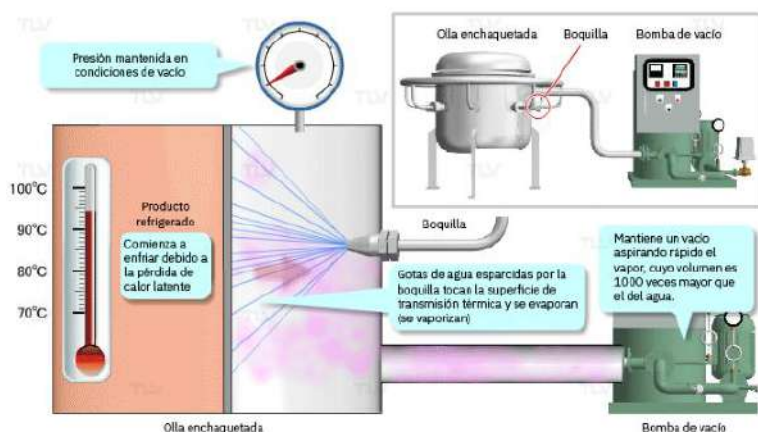
#### **2.7.1 Principio de funcionamiento**

Independientemente de la tecnología utilizada, en la Figura 9 se tiene el principio de funcionamiento básico de una bomba de vacío industrial el cual es el mismo siempre. Una bomba de vacío es una máquina o equipo mecánico diseñado para extraer el aire y las moléculas de otros gases de un espacio o volumen cerrado como un recipiente, una red de tuberías o cualquier espacio

donde se necesite reducir la presión, y así crear un vacío parcial o completo en el sistema. (Valverde & Martinez, 2009).

### Figura 9

*Principio de enfriamiento por vacío con evaporación.*



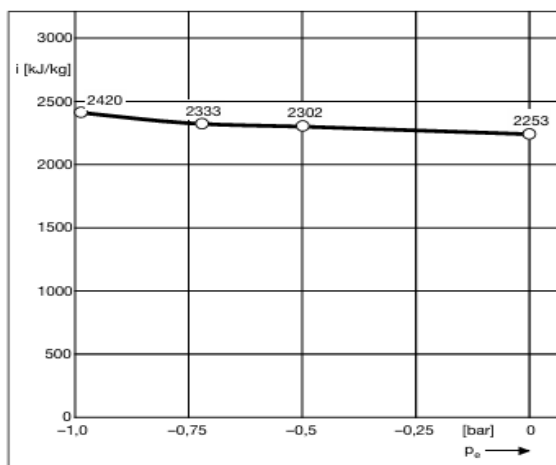
Fuente: <https://www.tlv.com/es-mx/steam-info/steam-theory/steam-control/vacuum-cooling>.

Del mismo modo que la aportación de energía en forma de vapor saturado constituyó un importante avance en la producción de espumas rígidas de Styropor, el empleo del vacío durante el proceso de enfriamiento subsiguiente, es decir, para la evacuación de energía, es un paso adelante de importancia similar según indica la información técnica de BASF.

- Enfriamiento rápido por evaporación.
- Con un pequeño volumen de agua se puede extraer mucha energía del molde por evaporación.
- Cuanto menor sea la presión absoluta, tanto mayor será la energía de evaporación, y por tanto la energía evacuarle (kJ/kg). Ver Figura 10.

**Figura 10**

*Energía de evaporación necesaria en función de la presión.*



Fuente: [https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF\\_E\\_NEW.pdf](https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF_E_NEW.pdf)

### 2.7.1.1 Rangos de vacío para equipos de vacío

La presión de vacío que requiere la industria se puede dividir en grupos y en distintos rangos de presión y esto podemos ver en la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2**

*Rango de presión de vacío.*

Tipo de vacío	mbar	moléculas por cm
Bajo vacío	300 – 1	$10^{19} - 10^{16}$
Medio vacío	$1 - 10^{-3}$	$10^{16} - 10^{13}$
Alto vacío	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{13} - 10^9$
Ultra alto vacío	$10^{-7} - 10^{-12}$	$10^9 - 10^4$
Alto vacío extremo	$< 10^{-12}$	$< 10^4$

Fuente: <https://marpavacuum.com/tipos-bombas-vacio/>

Y para lograr estos rangos se usan diferentes tipos de bombas a presión, cubriendo cada uno una proporción del rango de presión y operando, a veces, en serie.

### 2.7.2 Bombas de vacío

Son equipos que son requeridas para generar vacío, impulsadas por un motor eléctrico, usualmente son empleadas para aspirar caudal de un gas (aire/ vapor).

Existen variedad de tecnologías destinadas para diferente tipo de aplicación en la industria por ejemplo en máquinas de embazado, inyección de plástico, conservación de alimentos y enfriamiento de bloques de EPS.

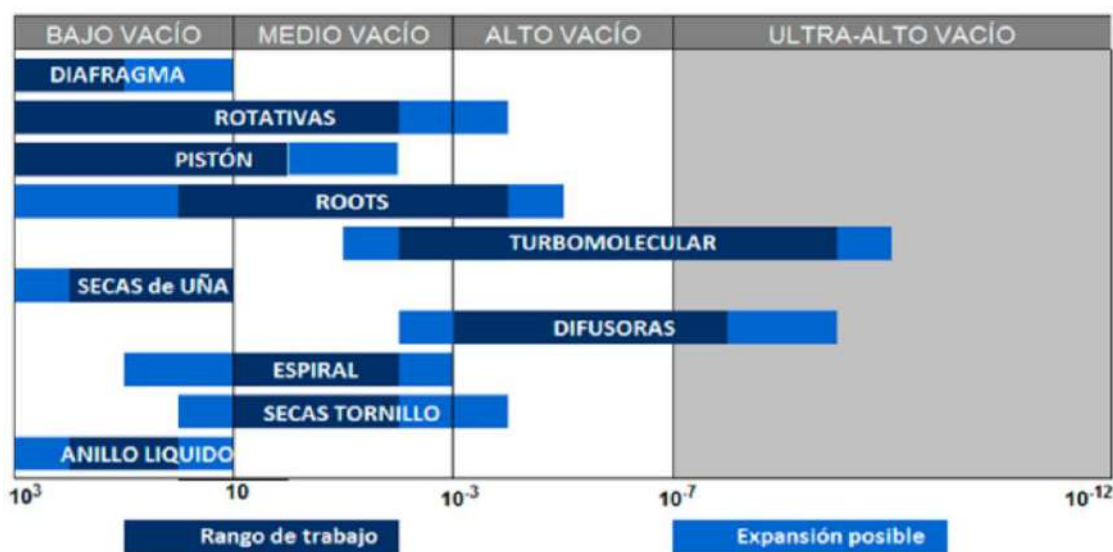
### 2.7.3 Tipos de bombas de vacío

Cada tipo de tecnología de vacío se clasifica según el rango de vacío y poseen características, ventajas distintas y limitaciones según ala aplicación en la industria.

Existen como mínimo 7 tipos de bombas de vacío de las veremos en la Figura 11 la clasificación del tipo de bomba de vacío según al rango de vacío que genera.

**Figura 11**

*Tipo de bombas de vacío según rangos de presión de vacío.*



Fuente: <https://marpavacuum.com/tipos-bombas-vacio/>

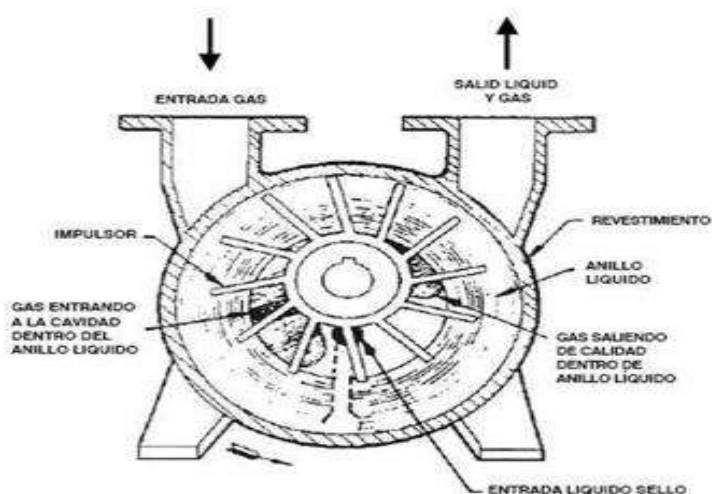
A continuación, explicaremos los tipos de bombas de vacío.

### 2.7.3.1 Bomba de vacío de anillo líquido (bajo vacío)

Las bombas de anillo líquido se utilizan como bombas de vacío, pero también se pueden utilizar como compresores de gas. Su función es similar a la de una bomba de paletas rotativas, con la diferencia de que las paletas constituyen una parte integral del rotor y agitan un anillo rotatorio de líquido para conformar el sello de la cámara de compresión. Por su diseño son inherentemente de baja fricción, ya que el rotor es la única parte móvil se puede ver en la siguiente Figura 12.

**Figura 12**

*Bombas de vacío anillo líquido. (Valverde & Martinez, 2009).*



Fuente: (Valverde & Martinez, 2009).

Del mismo modo que las que usan otras tecnologías, las bombillas de vacío de anillo líquido pueden ser de una o dos etapas.

## 2.8 Sistema de mezclado de sólidos

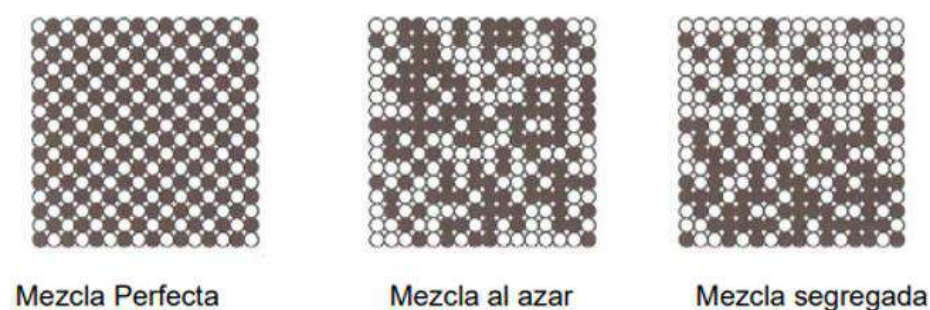
Un sistema de mezclado es un conjunto de dispositivos encargados de realizar la combinación de los componentes en distintas proporciones ya sea líquido, sólido o gaseosos para obtener una mezcla uniforme con características muy variadas, como densidad, tamaño, etc.

### 2.8.1 Tipos de mezclas

Una mezcla equilibrada de partículas del mismo tamaño, pero de varios colores no importa donde tomemos la muestra el patrón de partículas negras y blancas es constante, sin embargo, esta mezcla perfecta no es posible obtenerla en una mezcla real, lo que se quiere es obtener una mezcla al azar y no una mezcla segregada (ver Figura 13).

**Figura 13**

*Tipo de mezclas.*



Fuente: <https://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo10.pdf>

#### 2.8.1.1 Componentes del sistema de mezclado

El sistema empleado regularmente para producción de mezclas de material incluye:

- Recipiente de mezclado: Donde se introduce y combina los componentes de dos o más materiales, en algunos tipos de mezcla incluyen los reactivos y otras sustancias.
- Mezcladores: los equipos mecánicos (ya sean mezcladores estáticos o dinámicos) afectados para proporcionar el movimiento necesario generando desde corrientes laminar hasta turbulencias de alta cizalladura para lograr la homogenización de la mezcla. El mezclador ayuda en la generación de la distribución óptima dentro de la ecuación.
- Dispositivos de dosificación: sistemas que sirven para el suministro y alimentación de cada uno de los componentes en las cantidades provocadas de acuerdo a la mezcla deseada.

- Controladores y monitoreo: la instrumentación necesaria para supervisar todas las variables de proceso, como la temperatura, intensidad de mezcla y el tiempo.

### **2.8.1.2 Criterios de diseño y control en el sistema de mezclado**

Para realizar un sistema de mezclado eficiente para la producción de diferentes mezclas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

**Uniformidad de la mezcla:** Evaluada a través de análisis de muestra o mediante técnicas de muestreo in situ.

**Tiempo de mezcla:** El tiempo determina que tan homogénea es la mezcla, pero sin aproximarse para generar separación de fases provocar reacciones no deseadas.

**Parámetros operativos:** Para obtener la mezcla deseado se debe regular y ser precisos en la temperatura (muy importante en procesos de polimerización o expansión de plásticos), velocidad de rotación del mezclador y la proporción de los materiales a mezclar.

**Escalabilidad y reproducibilidad:** El diseño de la máquina de mezclado debe ser capaz de adaptarse a incrementos en la producción sin afectar la calidad del producto final.

### **2.8.1.3 Tipos de máquinas mezcladoras de sólidos**

Un buen mezclador es aquel que mezcle todo el lote del producto en forma suave, además de ser fácil de limpiar, descargar, tener poca fricción, buena hermeticidad, alta movilidad, fácil mantenimiento y bajo consumo de energía.

#### **2.8.1.3.1 Mezclador de tambor rotatorio**

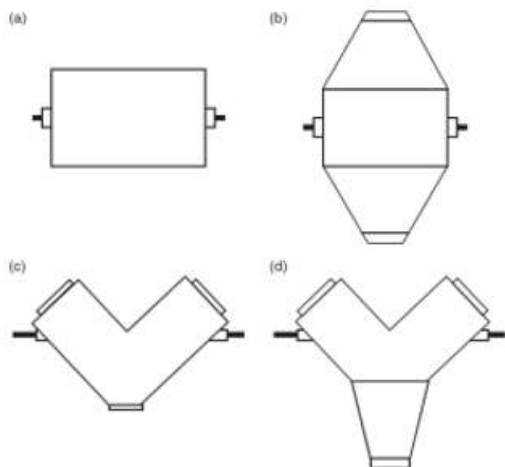
El principio de caída y rebote del material es un mecanismo de mezclado convectivo pero el mecanismo predominante es el difusivo, puede ocurrir segregación.

En la Figura 14 se muestra los tipos de mezclador de tambor.



**Figura 14**

*Mezclador tambor: a) cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono en V, d) cono en Y.*



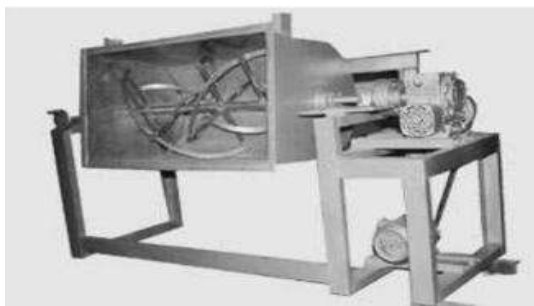
Fuente: (Ortegas Rivas, 2005).

### **2.8.1.3.2 Mezcladores convectivos**

En este tipo de mezcladore el movimiento de los sólidos se logra en un recipiente estático, donde se disponen de paletas o tornillo sin fin que rotan, el mecanismo principal es de convección, pero también se producen movimiento de difusión y movimientos de corte. En la Figura 15 se tiene el mezclador más común el cual es la mezcladora de cintas, donde paletas helicoidales rotan dentro de un cilindro estático y la figura 16 muestra el tipo cónico vertical donde el tornillo sin fin tiene un movimiento planetario dentro del mezclador.

**Figura 15**

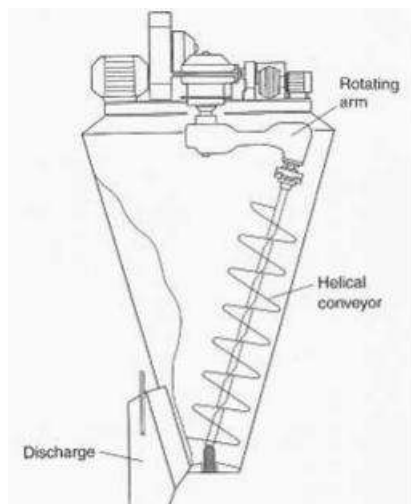
*Mezclador de cintas helicoidal.*



Fuente: [https://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec\\_far/mezclado\\_solidos.pdf](https://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/mezclado_solidos.pdf)

**Figura 16**

*Mezclador cónico vertical tornillo sin fin.*



Fuente: [https://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec\\_far/mezclado\\_solidos.pdf](https://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/mezclado_solidos.pdf)

## **2.9 Sistema de transporte neumático**

El transporte neumático es una de las operaciones industriales más importantes para transportar material a granel mediante gas, generalmente aire, a través de una tubería. En aquellas ocasiones en que los materiales sean explosivos, se utiliza nitrógeno como gas de transporte. Es sorprendente la amplia variedad de productos que pueden desplazarse de este modo de un lugar a otro, por ejemplo, azúcar, granos de café, pellets de polietileno, polvo de PVC, granos de cereal, carbón pulverizado, cenizas, biomasa, cemento, etc. De ahí que este tipo de transporte sea usado en multitud de industrias, entre ellas, el sector alimentario, agrícola, la industria química, la del petróleo y la de la energía eléctrica. Se clasifica en fase diluida y fase densa en función de la concentración de sólidos presente en la corriente de gas. Según el catálogo de manejo de materiales de Martin.

Las técnicas para transportar materiales en la industria es el desplazamiento del material suspendido en un flujo de aire entre distancias horizontales y verticales que varían de longitud

según el requerimiento. El transporte neumático es ampliamente usado en la industria para transportar sólidos que tengan un diámetro en un intervalo de micras hasta 60mm.

Usando sistemas neumáticos, hay un mínimo riesgo de generación de polvo, e incluso pueden ser transportados con seguridad materiales peligrosos por medio de aire presurizado. El sistema es totalmente cerrado y si fuera necesario, pueden operar enteramente sin partes móviles que hagan contacto con el material a transportar. Para transportar materiales se puede utilizar, alta presión, baja presión e incluso presión negativa. Para materiales higroscópicos se puede utilizar aire previamente tratado y para materiales potencialmente explosivos, se puede utilizar un gas inerte, tal como el nitrógeno. En general, instalar este tipo de sistema de transporte no requiere de mucho espacio, y las tuberías pueden atravesar paredes, cruzar techos o hasta ubicarse bajo tierra para evitar equipos o estructuras existentes, mientras que un transportador de tornillo sin-fin, un elevador de cangilones, o la mayoría de los sistemas mecánicos difícilmente cuentan con estas características. (Mills, 2004).

### ***2.9.1 Clasificación de los sistemas de transporte neumático***

Los sistemas de transporte neumático se pueden clasificar según el factor de concentración de material a transportar. Existe un parámetro que relaciona los flujos de masa del sólido y el flujo de masa del aire es el siguiente.

$$\mu = \frac{\dot{G}_S}{\dot{G}_a} \quad (24)$$

Donde:

$\mu$ : Concentración.

$\dot{G}_S$  : Flujo masico del solido

$\dot{G}_a$  : Flujo masico del aire

Con este criterio, el sistema de transporte neumático se clasifica en dos y son las siguientes:

- Sistemas de baja concentración  $\mu < 15$
- Sistemas de alta concentración  $\mu > 15$

Una vez conocida las relaciones de flujo masicos entre el sólido y el aire, se puede saber qué sistema utilizar, es decir, un sistema de “fase diluida” o baja concentración o un sistema de “fase densa” o alta concentración. A continuación, se haremos las diferencias del tipo de transporte entre ellas.

### **2.9.1.1 Tipo de fase de transporte neumático**

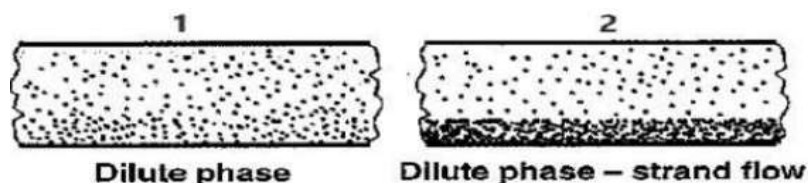
Existe mucha confusión sobre como los materiales se comportan dentro de la tubería o ducto de transporte y la terminología utilizada dado el modo de flujo. En primer lugar, se debe reconocer que los materiales pueden ser transportados dentro de la tubería por lotes o bien de forma continua. De esta forma se pueden reconocer dos tipos o formas de transporte; en el caso que el material transportado fluya a lo largo de la tubería suspendido en el flujo de aire a alta velocidad y la concentración de material sea baja, hablaremos de transporte en fase diluida. Por el contrario, si el material es transportado dentro de la tubería en una concentración elevada a baja velocidad y no fluye suspendido en el gas, hablaremos de transporte en fase densa.

#### **2.9.1.1.1 Fase diluida.**

Este sistema de transporte neumático desplaza las partículas de material en cual actúan fuerzas de arrastre y de suspensión donde interactúa la partícula con el fluido (Aire), por lo tanto, se recomienda que el fluido tenga la suficiente velocidad como para mantener suspendida a la partícula, en la siguiente Figura 17 se puede ver en 1 y 2, el transporte de fase diluida se caracteriza por las altas de velocidades, bajas concentración de partículas y bajas perdida de carga en su trayecto.

**Figura 17**

*Transporte de material en fase diluida.*



Fuente: [https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/1\\_manejo%20de%20materiales/seccion%20h.pdf](https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/1_manejo%20de%20materiales/seccion%20h.pdf)

#### **2.9.1.1.2 Fase densa.**

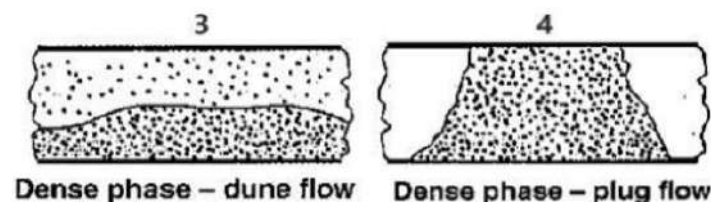
En este modo de transporte neumático la partícula no se encuentra suspendida, la Figura 18 muestra que existen dos tipos de flujo de material en fase densa.

Flujo de cama: Se denomina de esta manera, debido que una parte de las partículas se depositan en la base de la tubería, produciéndose sobre ellas un flujo de desplazamiento. Es posible lograr este tipo de flujo, solo si el material a transportar pueda retener el aire y haga posible su desplazamiento y está limitado para partículas finas que se encuentren con un tamaño de partícula promedio entre 40-70  $\mu\text{m}$ .

Sistema de alta concentración o sistema de fase densa: Es un tipo de flujo en donde el material es transportado dentro de la tubería se encuentra en modo de no-suspensión, es decir, el material es movido en forma de oleadas o dunas a alta presión del gas y/o aire.

**Figura 18**

*Transporte de material en fase densa.*



Fuente: [https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/1\\_manejo%20de%20materiales/seccion%20h.pdf](https://es.martinsprocket.com/docs/catalogs/material%20handling/1_manejo%20de%20materiales/seccion%20h.pdf)

## 2.9.2 Factores para el dimensionamiento de un mezclador

Se debe conocer todas las características físicas del material, la densidad aparente, el tamaño y la forma de las partículas, la temperatura, la susceptibilidad a la humedad, la corrosividad, la naturaleza del material, la agresividad y la resistencia.

### 2.9.2.1 Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre la unidad de masa y la unidad de volumen, este valor está bajo tres condiciones, es decir, al momento de estar almacenadas en contenedores y cuando están bajo la influencia de la aireación. Antes de ingresar el material puede estar en estado vertido, pero cuando sale por la descarga puede estar en un estado aireado, lo que significa que en el estado aireado hay un incremento de volumen que, en la entrada, este fenómeno afecta a la capacidad volumétrica y también la fluidez.

### 2.9.2.2 Tamaño de partícula, fluidez y agresividad

Antes de realizar el diseño de un sistema de transporte neumático la partícula se puede clasificar según su tamaño de partícula, fluidez y agresividad en la Tabla 3 podemos ver:

**Tabla 3**

*Clasificación de material.*

Clase mayor		Características de material
Densidad	Muy fino	Densidad de volumen, suelto Malla No. 200 (0.0029") y por debajo Malla No. 100 (0.0059") y por debajo Malla No. 40 (0.0016") y por debajo
	Fino	Malla No. 6 (0.132") y por debajo
Tamaño	Granular	1/2" y por debajo (6 a 1/2") 3" y por debajo (malla 1/2" a 3") 7" y por debajo (3" a 7")

Clase mayor	Características de material	
Fluidez	Trozos	16" y por debajo (7" a 16")
		Arriba de 16" a ser especificado
	Irregular	Fibroso, cilindro, etc.
	Fluido muy libre	
	Fluido libre	
	Fluido promedio	
Abrasibilidad	Fluido lento	
	Abrasibilidad media	
	Abrasibilidad moderada	
	Abrasibilidad extrema	

Fuente: (Gonsales, 2011).

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

#### **3.1 Análisis y selección de la máquina de moldeo**

##### ***3.1.1 Estado de la tecnología de la máquina de moldeo***

Entre las tecnologías disponibles en los procesos de fabricación y reciclaje de EPS, se emplean diversas máquinas para la fabricación de bloques de EPS. La industria del poliestireno expandido utiliza máquinas de moldeo para bloques de EPS, estas tecnologías están disponibles en nuestro estudio.

##### **3.1.1.1 Máquina de moldeo horizontal**

Esta máquina de moldeo horizontal posee una pared frontal como puerta, el expulsor del bloque se dispone en la pared posterior, estas son accionadas por cilindros hidráulicos, el bloqueo de la puerta se realiza por pestillos de cierre integrados, el cierre también se realiza por un sistema envolvente que garantiza la hermeticidad para garantizar la forma del bloque, se utiliza una cinta transportadora para retirar el bloque como se puede observar en la patente DE19809250A1.

Este tipo de máquinas vienen siendo usadas en las industrias de la fabricación de bloques de EPS, la empresa Hirsch Groppe presenta la máquina de moldeo horizontal mostrada en la Figura 19 donde la apertura de la puerta es por la parte lateral, tiene seguros tipo grapa, accionamiento de la puerta y expulsión de bloques por cilindros hidráulicos, electroválvulas para el control de los cilindros hidráulicos, así como para el control de ingreso de vapor a la cámara de moldeo.



**Figura 19**

*Máquina de moldeo horizontal.*



Fuente: <https://hetech-group.com/de/produkte/blockformmaschinen/horizontale-blockformanlage/>

### **3.1.1.2 Máquina de moldeo vertical**

La producción de bloques de EPS se realiza mediante el uso de una máquina de moldeo vertical.

La empresa Hirsch Groppe muestra el modelo ME3-10 esta se puede observar en la Figura 20 el cual es automatizado esta es accionada por cilindros hidráulicos, seguro es del tipo grapa, electroválvulas, tamaño de la cámara de moldeo ajustable, sistema de distribución de vapor, el cual permite obtener bloques de mayor calidad.

**Figura 20**

*Máquinas de moldeo de vertical.*



Fuente: <https://www.hirsch-gruppe.com/en/hirsch-technology/eps-block-molding-machine.html>

En este tipo de máquinas se lleva a cabo el proceso de moldeo de los bloques de EPS el cual es una caja hueca como se mostró en la Figura 19 y Figura 20, esta máquina de moldeo tiene paredes que están conformadas con ductos cuadrados de vapor, planchas el cual esta perforado para el ingreso del vapor a la cámara de moldeo, estas perforaciones son de 1 a 5mm.

### ***3.1.2 Descripción general de la máquina de moldeo***

La máquina de moldeo requiere del ingreso de un sistema de vapor y el sistema de drenaje para poder hacer bloques de poliestireno expandido (EPS) dentro de la máquina hay muchos orificios en las paredes del molde, el vapor puede ingresar al molde a través de estos orificios y hacer que las perlas se ablanden y se expandan. Debido al límite de la cavidad del molde, las perlas expandidas se conectan y rellenan todo el molde y se unen para convertirse en una pieza completa.

#### **3.1.2.1 Ingreso del vapor**

El vapor en el molde es necesario para ablandar las perlas y posteriormente obtener el bloque de poliestireno expandido. En la Figura 21 se puede observar que el vapor ingresa al molde por tubos de sección circular para luego ser distribuido en tuberías de sección cuadrada por todo el molde y de esta forma obtener los bloques de poliestireno expandido (EPS). El vapor es controlado por accesorios como válvulas e instrumentos de medición el cual permitirá ver la cantidad necesaria de presión requerida para la obtención de bloques de EPS.

### **Figura 21**

*Sistema de ingreso de vapor.*



Fuente: NORTHER ALLIEANCE HEAVY MACHINERY GROUP

### **3.1.2.2 Drenaje del condensado en el molde**

Este sistema está diseñado para poder evacuar los líquidos generados por el vapor al condensarse dentro de las tuberías producidos en el proceso de moldeo. Durante el proceso de enfriamiento o estabilización del bloque de EPS se genera condensado el cual podría generar problemas en el proceso de sinterizado de las perlas de poliestireno expandido en el siguiente ciclo, teniéndose así una diferencia de temperaturas dentro de la máquina de moldeo el cual generara bloque con un mal sinterizado en diferentes partes del producto.

### **3.1.2.3 Sistema hidráulico**

El sistema hidráulico es utilizado para la apertura y cierre de la perta, expulsión del bloque de EPS y para desplazar el eje del seguro tipo slider de la puerta.

El sistema hidráulico está conformado por:

- Unidad de potencia hidráulica (UPH)
- Válvulas direccionales
- Mangueras hidráulicas
- Divisor de caudal
- Cilindro hidráulico

### **3.1.2.4 Soporte de la máquina de moldeo**

El soporte de la máquina de moldeo está constituido por tubos cuadrados de diferentes medidas y cartelas que ayudan a tener mayor estabilidad, existen diferentes tipos de soportes que se vienen utilizando en esta industria para el soporte de estas, un ejemplo de estas se muestra en la Figura 22.

**Figura 22**

*Soporte de la máquina de moldeo.*

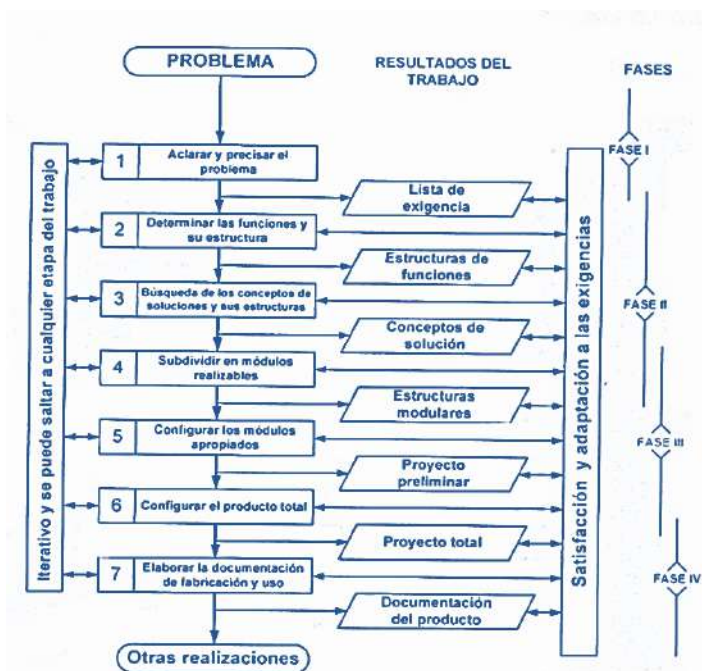


Fuente: Qingdao Simingrui Precision Technology Co., Ltd.

Teniendo en conocimiento la tecnología de la máquina de moldeo para el desarrollo del presente trabajo se utilizó la metodología VDI 2221 titulada “Métodos para el desarrollo y diseño de sistemas técnicos y productos” cuyo diagrama de flujo se especifica en la Figura 23.

**Figura 23**

*Diagrama de flujo VDI 2221 (Barriga, 1995).*



Fuente: Métodos de diseño en ingeniería mecánica (Barriga, 1995).

Este método se divide en cuatro fases: Fase I - Información, Fase II - Creación, Fase III - Desarrollo, Fase IV - Elaboración de la ingeniería de detalle. En cada una de sus fases se siguieron criterios de evaluación para optimizar el diseño, por lo tanto, la solución adecuada tiene mejor rendimiento.

Los métodos de diseño tienen 4 partes básicas según (Barriga, 1995), métodos de diseño e ingeniería mecánica:

- Comprensión de la solicitud
- Concepción de la solución
- Elaboración del proyecto
- Elaboración de detalles

### **3.2 Compresión de la solicitud:**

Se debe primero obtener una descripción de las exigencias clasificadas y cuantificadas a partir del sistema técnico que se solicita. Entonces debemos comprender el problema, recopilamos información para cumplir con el pedido. En nuestro caso debemos averiguar cuál es el estado de la tecnología actual empleada para el desarrollo de la máquina de moldeo de bloques.

#### **3.2.1 *Lista de exigencias***

Ya teniendo la investigación y la búsqueda del estado de la tecnología, se define la lista de exigencia de nuestra máquina. En una tabla ordenamos E para Exigencia y D para Deseo tal como se muestra en la Tabla 4. La metodología a emplear será métodos de diseño e ingeniería mecánica (Barriga, 1995).

Las exigencias más importantes son:

Tabla 4

Lista de exigencias.

LISTA DE EXIGENCIAS			Edición: Rev. 1
Proyecto:	“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m <sup>3</sup> UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”		Fecha: 23/06/23
			Revisado: Ing. A. Macedo
Cliente:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC		Elaborado: L. G. Morocco W. R. Aima
Prioridad	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable:
1	E	<b>FUNCIÓN PRINCIPAL:</b> Formar bloques de EPS compactados de 2.4 metros cúbicos con 15 kg/m <sup>3</sup> de densidad.	L. G. Morocco W. R. Aima
2	E	<b>MATERIA PRIMA:</b> Pellets de EPS mezclado con 15% de material EPS reciclado.	L. G. Morocco W. R. Aima
3	E	<b>PRESIÓN:</b> El equipo generará la presión necesaria en la cámara de moldeo para obtener la densidad y cohesión adecuada.	L. G. Morocco W. R. Aima
4	E	<b>INYECCIÓN DE VAPOR:</b> El equipo controla la cantidad de vapor que ingresa a la cámara de moldeo para obtener la densidad y cohesión adecuada.	L. G. Morocco W. R. Aima
5	E	<b>HERMETICIDAD:</b> El equipo asegura que no haya fugas de vapor y garantiza la presión dentro de la cámara de moldeo.	L. G. Morocco W. R. Aima
6	E	<b>SEGURIDAD:</b> Se diseñará teniendo en cuenta la seguridad de los operarios, protección de los elementos móviles.	L. G. Morocco W. R. Aima
7	E	<b>ERGONOMÍA:</b> Los dispositivos de operación del equipo serán diseñados para ofrecer la facilidad del uso.	L. G. Morocco W. R. Aima
8	E	<b>FABRICACIÓN:</b> La máquina se deberá poder fabricar en talleres locales y se usarán materiales de fácil adquisición.	L. G. Morocco W. R. Aima
9	E	<b>CONTROL DE CALIDAD:</b> Cumplirá con normas internacionales de calidad.	L. G. Morocco W. R. Aima

LISTA DE EXIGENCIAS			Edición: Rev. 1
Proyecto:	“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m <sup>3</sup> UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”		Fecha: 23/06/23
			Revisado: Ing. A. Macedo
Cliente:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC		Elaborado: L. G. Morocco W. R. Aima
Prioridad	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable:
10	E	<b>MONTAJE:</b> La máquina será fabricada, para un fácil montaje e instalación, desmontaje y desinstalación.	L. G. Morocco W. R. Aima
11	E	<b>TRANSPORTE:</b> estará provista de soportes para su transporte y se requerirá maquinaria para su transporte.	
12	E	<b>CONTROL DEL PROCESO:</b> Tendrá la capacidad para poder medir el flujo de ingreso de vapor y presión en la cámara de moldeo.	L. G. Morocco W. R. Aima
13	D	<b>USO:</b> La forma de las piezas constructivas es sencilla.	L. G. Morocco W. R. Aima
14	E	<b>MANTENIMIENTO:</b> Fácil acceso a los componentes de las máquina y protección de las partes lubricadas.	L. G. Morocco W. R. Aima
15	E	<b>COSTOS:</b> El costo de la máquina será cercano al costo que tienen las máquinas en el mercado actual.	L. G. Morocco W. R. Aima
16	D	<b>RECICLAJE:</b> Cumplida la vida útil de la máquina sus piezas podrán ser recicladas.	L. G. Morocco W. R. Aima

Nota: Leyenda.

E= Exigencia.

D= Deseo.

### 3.3 Elaboración del concepto

En la etapa de elaboración del concepto de solución se formula la estructura de funciones y la búsqueda de principios de solución para cada una de las funciones, acto seguido se realizó el proceso de combinación de los medios de solución para obtener un concepto óptimo.

La elaboración del concepto se divide en dos partes:

- a) La estructura de funciones: Se buscan todas las funciones que la máquina a diseñar debe cumplir para llevar a cabo su función principal.
- b) El concepto de solución: Es la evaluación de la variedad de las soluciones para obtener una solución definitiva.

### 3.3.1 Abstracción

Se representaron las funciones a través de una caja negra "Black box", en esta se tiene en cuenta tres magnitudes básicas de entrada y salida: materia, energía y señales. La Tabla 5 muestra el "Black Box" para nuestro diseño de la máquina de moldeo.

**Tabla 5**

*Caja negra.*

<b>CAJA NEGRA</b>		<b>Pag 1/1</b>
		<b>Edición: Rev. 1</b>
<b>PROYECTO:</b>	<b><i>“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m<sup>3</sup> UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”</i></b>	<b><i>Fecha: 21/04/23</i></b>
		<b><i>Revisado por: Ing. A. Macedo</i></b>
<b>CLIENTE:</b>	<b><i>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC</i></b>	<b><i>Elaborado: L. G. Morocco W. R. Aima</i></b>
<div> <div> <div>Señal</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>La máquina tiene la cantidad de masa de perlas necesaria.</li> </ul> </div> </div> <div> <div>Energía</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Humana: El operador abre el deposito de mezclado.</li> <li>Eléctrica: Para activar las bombas de inyección de vapor y vacío. Bombeo de perlas preexpandidas.</li> <li>Calor: en forma de vapor saturado</li> </ul> </div> </div> <div> <div>Materia</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Perlas de poliestireno preexpandido y 15% de poliestireno reciclado.</li> <li>Vapor de agua saturado.</li> </ul> </div> </div> </div> <div>CAJA NEGRA</div> <div> <div>Señal</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Valores de presión y temperatura estables</li> </ul> </div> <div> <div>Energía</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eléctrica: expulsado y traslado del bloque.</li> <li>Humana: Retirado del bloque de la máquina.</li> <li>Ruido.</li> <li>Calor</li> </ul> </div> </div> <div> <div>Materia</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bloques de poliestireno expandido.</li> <li>Vapor de agua saturado.</li> </ul> </div> </div> </div>		



### 3.3.2 Estructura de funciones

La estructura de funciones está compuesta por una serie de operaciones, esta serie de operaciones es la lista de funciones de manera que el material será transformado.

Función principal.

Es representado por la caja negra donde ocurre la transformación llamada proceso técnico, en este estudio la función principal es:

- Moldeo material de EPS en forma de bloques de EPS de  $3 \times 0.64 \times 1.25 \text{ m}^3$ .

Funciones parciales.

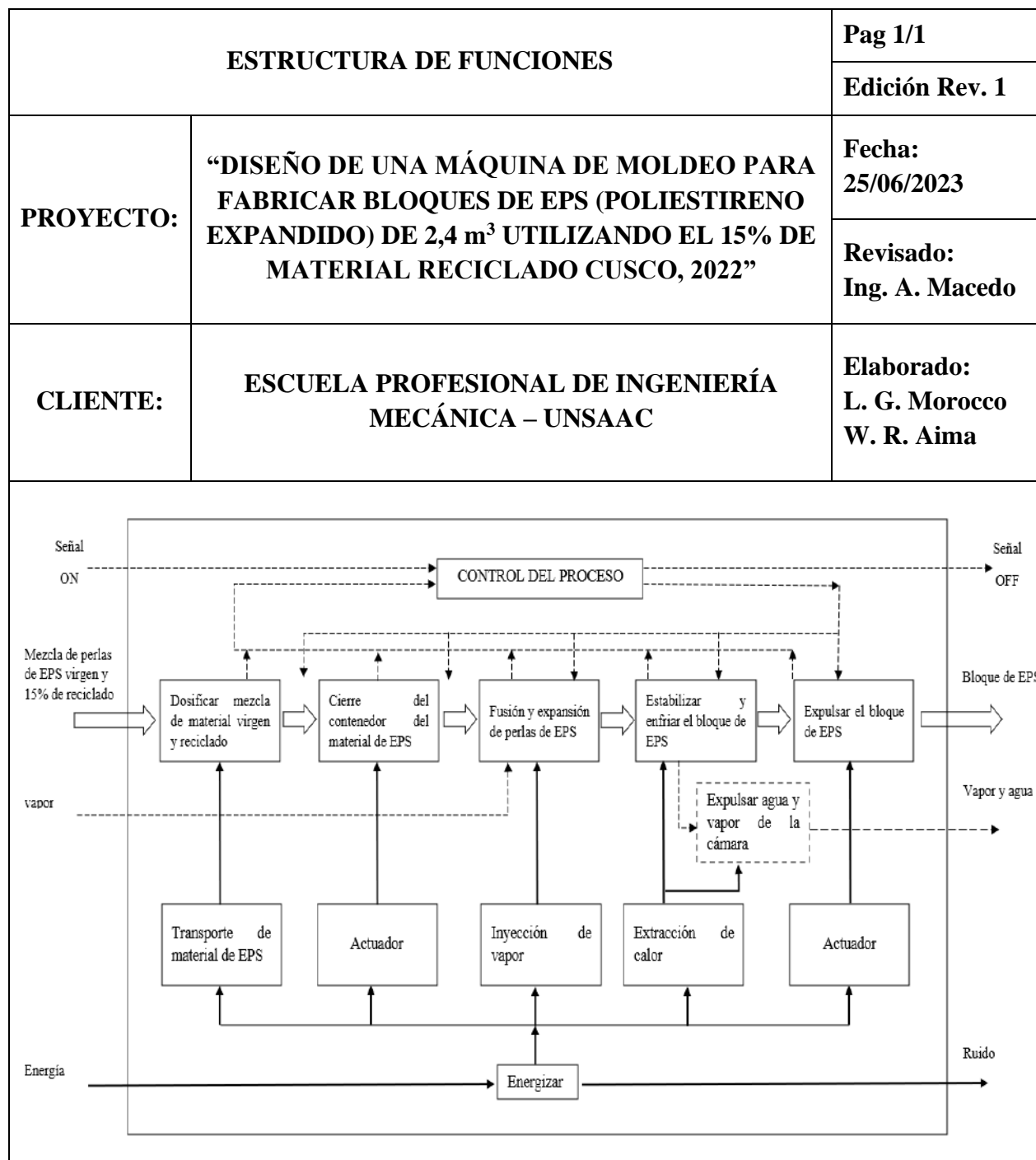
Las funciones parciales realizan una tarea específica para cumplir con el proceso requerido y son parte de la función principal. La diferencia entre cada uno son principalmente las funciones principales, evaluando cada alternativa las funciones que mejor representan los objetivos y alcances de la máquina son:

1. Disposición: En qué dirección estará instalada la máquina y por ende en qué posición saldrá el bloque.
2. Dosificar mezcla de materia virgen y reciclado: cual será el método para el llenado de la cámara de moldeo de la máquina.
3. Cierre del contenedor del material de EPS: Como se va realizar el sistema de cerrado y aseguramiento de la puerta.
4. Fusión y expansión de las perlas de EPS: Como se aplicará la inyección de vapor de agua saturada hacia la cámara de compactado.
5. Estabilizar y enfriar el bloque de EPS: Que mecanismo se empleara para drenar el agua y vapor sobrantes.
6. Expulsar el bloque de EPS: Apertura del molde y extraer el bloque de EPS.

La estructura de funciones se muestra en la Tabla 6 para la obtención de bloques de EPS.

**Tabla 6**


















*Estructura de funciones.*



### 3.3.2.1 Matriz morfológica

**Figura 24**

*Matriz morfológica de la máquina de moldeo.*

ESTRUCTURA DE FUNCIONES				Pag 1/1
				Edición Rev 1
PROYECTO:	"DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m <sup>3</sup> UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022"			Fecha: 25/06/2025
				Revisado: Ing. A. Macedo
CLIENTE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC			Elaborado por: L. G. Morocco W. R. Alma
Funciones	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
1 Disposición del bloque de EPS	 Vertical	 Horizontal I	 Horizontal II	 Lateral
2 Dosificar mezcla de materia virgen y reciclado	 Manual	 Silo, gravedad	 soplador de EPS	
3 Cierre del contenedor de material de EPS	 Hidráulico grapas	 Manual accionamiento mecánico	 Hidráulica slider	
4 Fusión y expansión de las perlas de EPS	 Core vent tipo 1	 Core vent tipo 2	 Orificios en paredes internas	
5 Estabilizar y enfriar el bloque de EPS	 Recolección líquidos por gravedad	 Recolección por cámara de vacío		
6 Expulsar el bloque de EPS	 Hidráulico	 Mecánico		
				CONCEPTO SOLUCION N° 5
				CONCEPTO SOLUCION N° 4
				CONCEPTO SOLUCION N° 3
				CONCEPTO SOLUCION N° 2
				CONCEPTO SOLUCION N° 1

### 3.3.3 Disposición básica

Se presentará a manera de esquemas la solución cualitativa obtenida de la matriz morfológica para cada una de las cuatro soluciones obtenidas. Estas soluciones son llamadas como concepto solución, es un primer acercamiento para obtener finalmente la solución óptima.

#### 3.3.3.1 Concepto solución

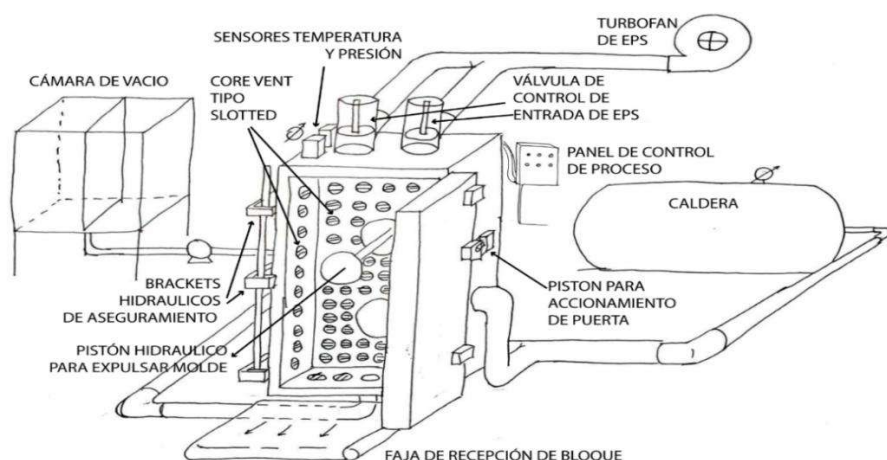
##### 3.3.3.1.1 Concepto solución N°1

La Figura 25 muestra el concepto solución N°1 cuyas características son:

La disposición de máquina es vertical con una puerta lateral, el llenado de las perlas de poliestireno pre expandido se realiza por la parte superior de la compactadora a través de ductos que se cierran con válvulas tipo pistón. Las puertas se aseguran con mecanismos de grapa accionados por cilindros hidráulicos. La inyección de vapor se realiza a través de Core Vent con orificios horizontales y una vez terminado el proceso de moldeo se extrae el agua y vapor restantes con una cámara en vacío. El accionamiento de puertas se hace a través de mecanismos de cilindro hidráulico tanto para apertura completa y parcial. Para expulsar al bloque de EPS del molde se hace uso de un pistón hidráulico.

**Figura 25**

*Solución N°1: Máquina vertical con puerta lateral y llenado por ducto.*



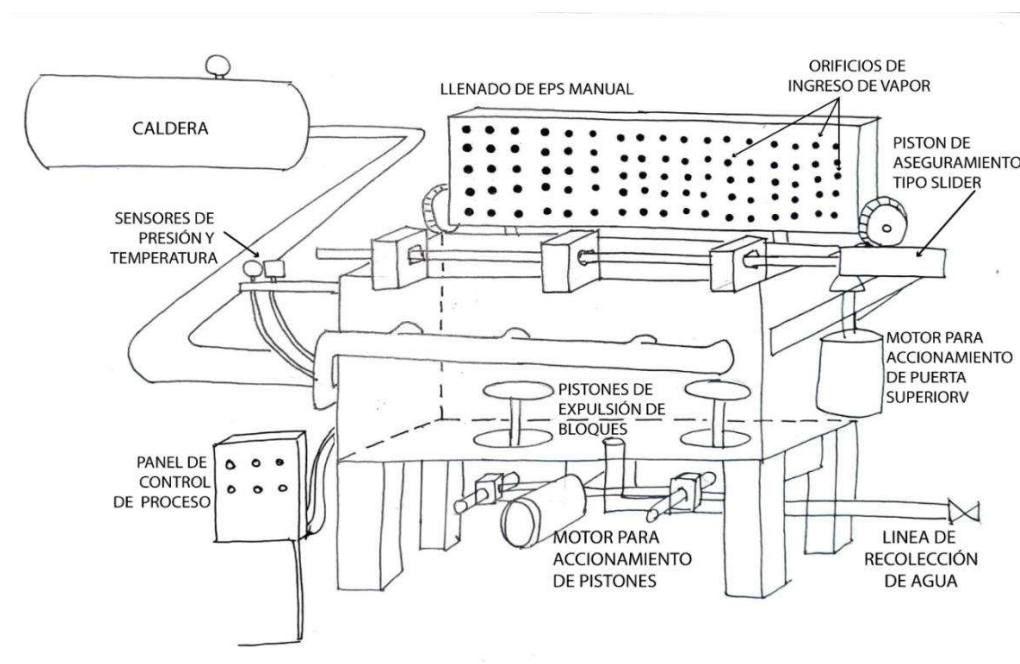
### 3.3.3.1.2 Concepto solución N°2

La Figura 26 muestra el concepto solución N°2 cuyas características son:

La máquina está dispuesta de manera horizontal con puerta superior, el llenado de las perlas de poliestireno pre expandido se hace manualmente con la ayuda de recipientes por la puerta superior que se abre completamente. La puerta se asegura con el mecanismo de slider controlado por un pistón hidráulico. La inyección de vapor se hace a través de orificios circulares en las paredes del equipo. Se deja enfriar el bloque y se recolecta a través de un sumidero en la parte baja de la compactadora. El accionamiento de las puertas se hace a través de un sistema de engranajes y/o fajas con un motor eléctrico. La presión y temperatura dentro de la cámara compactadora se mide con un manómetro simple y sensores de temperatura. Para expulsar al bloque se utiliza un sistema de engranajes que acciona un eje axial que empuja al bloque. Una vez fuera de la máquina se saca completamente el molde manualmente entre 2 personas.

**Figura 26**

*Solución N°2: Máquina horizontal con puerta superior y llenado manual.*



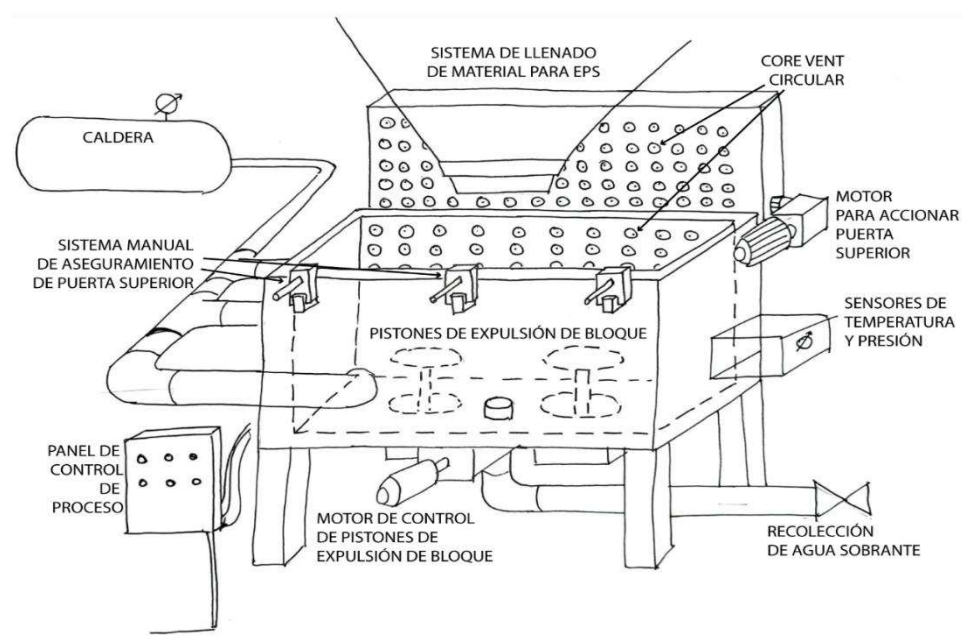
### 3.3.3.1.3 Concepto solución N°3

La Figura 27 muestra el concepto solución N°3 cuyas características son:

La disposición de la máquina es horizontal con la puerta de entrada en la parte superior, la máquina se llena por gravedad con un silo que se posiciona en la parte superior y la puerta se abre completamente. El aseguramiento será accionado manualmente con mecanismo de aseguramiento mecánico. Para la inyección de vapor se utilizarán Core vent circulares, una vez terminado el proceso de moldeo y enfriado se recolectará el agua sobrante por gravedad a través de un sumidero. El accionamiento de las puertas es mecánico a través de reducción por engranajes y/o fajas conectadas a un motor. Para medir la presión y temperatura utilizamos sensores especializado tipo transductor. Para expulsar al bloque de la máquina se utiliza un motor eléctrico con reducciones conectados a una cremallera que acciona un eje axial y este empuja al bloque. Por último, el bloque se remueve manualmente del equipo para su traslado.

**Figura 27**

*Solución N°3: Máquina horizontal con puerta superior y llenado por gravedad.*



### 3.3.3.1.4 Concepto solución N°4

La Figura 28 muestra el concepto solución N°4 cuyas características son:

La máquina tiene una disposición horizontal con la puerta de acceso en la parte frontal. El llenado de las perlas de poliestireno pre - expandidas se realiza por la parte superior de la compactadora, a través de ductos que se cierran con válvulas tipo pistón. Las puertas se aseguran mediante un mecanismo de deslizamiento (slider) controlado por un pistón hidráulico.

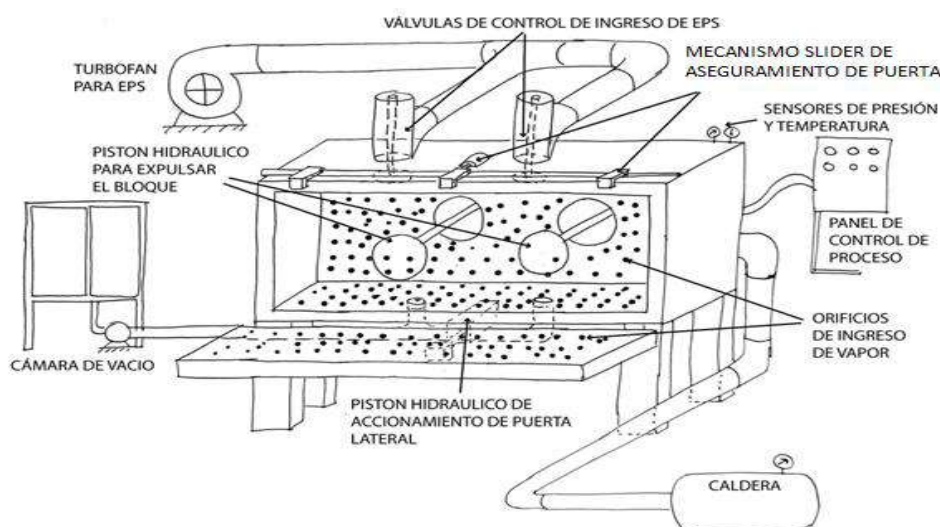
La inyección de vapor se efectúa por orificios circulares u horizontales ubicados en las paredes del equipo. Una vez concluido el proceso de moldeo, el agua y el vapor remanentes se extraen mediante una cámara de vacío.

El accionamiento de las puertas se realiza con cilindros hidráulicos, que permiten la apertura tanto parcial como total. La presión y la temperatura son registradas con sensores especializados.

La expulsión del bloque de EPS se efectúa con pistones hidráulicos que lo empujan hacia la plataforma formada por la puerta frontal completamente abierta. Finalmente, el bloque se retira manualmente del equipo para su traslado.

**Figura 28**

*Solución N°4: Máquina horizontal con puerta frontal y llenado por ductos.*





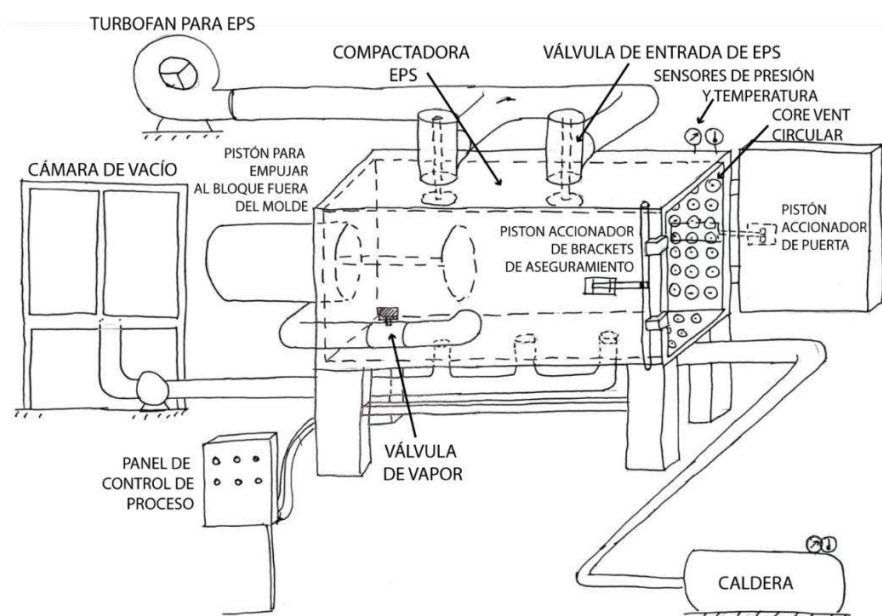
### 3.3.3.1.5 Concepto solución N°5

La Figura 29 muestra el concepto solución N°5 cuyas características son:

La máquina está dispuesta en forma horizontal con una puerta lateral de salida y las perlas de poliestireno pre expandida ingresan a la máquina con el accionar de un ventilador centrífugo y se controla el ingreso de las perlas con ductos que tienen un cierre tipo válvula, las puertas se aseguran con grapas accionadas hidráulicamente. Para el ingreso del vapor se controla y se dosifica el flujo con Core vents tipo circular. Una vez realizado el proceso de moldeo, el vapor y agua restantes se extraen de la cámara compactadora con una cámara de vacío. Las puertas laterales se accionan con pistones hidráulicos. La presión y temperatura dentro de la cámara compactadora se mide con un manómetro simple y sensores de temperatura. Para expulsar al bloque del molde se utiliza un pistón hidráulico que empuja al bloque fuera del molde. Una vez fuera de la máquina se saca completamente el molde manualmente entre 2 personas.

**Figura 29**

*Solución N°5: Máquina horizontal con puerta lateral y llenado por ductos.*





### **3.3.4 Evaluación del concepto de solución**

En esta primera etapa se evalúa el valor técnico – económico de las soluciones propuestas.

Los criterios para a la evaluación técnica – económica para el diseño en esta fase de concepción, no se les asignara un peso ponderado.

#### **3.3.4.1 Descripción del peso ponderado para los criterios técnicos**

- a) Función: Tiene un peso de 18 pues el objetivo de este documento es de diseñar una máquina que satisfaga la función principal.
- b) Forma: Tiene un peso de 12 porque el material de EPS tendrá una forma de un prisma rectangular.
- c) Seguridad: tiene un peso de 15 ya que es importante garantizar que la máquina no presente peligros para los operarios.
- d) Geometría: Tiene un peso de 11 porque las dimensiones son las adecuadas para la fabricación de bloques de EPS.
- e) Fabricación: Tiene un peso de 15 pues la elaboración de la máquina de moldeo se podrá realizar en taller o campo con poco uso de maquinado.
- f) Operación: Tiene un peso 6 por la facilidad que el operador puede manipular la máquina.
- g) Montaje: Tiene un peso de 10 porque se garantiza un ensamble con buenos productos.
- h) Mantenimiento: Tiene un peso de 13 porque se llegará a diferentes partes de la máquina.

En la Tabla 7 se muestra el criterio técnico para las máquinas del concepto solución.

#### **3.3.4.2 Descripción del peso ponderado para los criterios económicos**

Número de piezas: Tiene un peso 30, porque se tiene una cantidad de piezas las cuales pueden incrementar el costo de adquisición

- a) Costo de piezas: Tiene un peso 12, porque se evitará la variedad de materiales y proveedores
- b) Costo de operación: Tiene un peso 15, porque se disminuye la cantidad de operarios en la para la manipulación de la máquina.
- c) Fácil adquisición de material: Tiene un peso 12 ya que se refiere al stock de materiales de fabricación para poder realizar el diseño
- d) Fácil montaje: Tiene un peso 18, porque se refiere al tiempo que se requiere para el ensamblado de las partes de la maquina
- e) Fácil mantenimiento: Tiene un peso 13, referido a la frecuencia de mantenimiento que se debe realizar para garantizar un buen funcionamiento.

Este criterio económico se muestra en la Tabla 8 para las máquinas del concepto solución.

En la Tabla 9 se muestra la evaluación técnica – económico de las máquinas para los conceptos solución que se presentaron anteriormente.

**Tabla**

**7**

*Evaluación técnico.*

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m³ UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”													Área de diseño	
Valor técnico (Xi)														
Proyecto														
P: puntaje de 0 a 4 (escala de valores VDI 2225)														
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy Bien (Ideal)														
g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación														
Variante de concepto/ Proyecto		g	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5		Ideal	
Nº	Criterios Técnicos	%	p	g p	p	g p	p	g p	p	g p	p	g p	p	g p
1	Función	18	3	54	2	36	2	36	3	54	2	36	4	72
2	Forma	12	2	24	2	24	3	36	3	36	2	24	4	48
3	Seguridad	15	2	30	2	30	1	15	2	30	2	30	4	60
4	Diseño	11	3	33	2	22	2	22	3	33	2	22	4	44
5	Fabricación	15	3	45	3	45	3	45	3	45	3	45	4	60
6	Montaje	10	2	20	2	20	2	20	3	30	3	30	4	40
7	Operación	6	3	18	2	12	2	12	3	18	3	18	4	24
8	Mantenimiento	13	2	26	2	26	2	26	2	26	2	26	4	52
	Puntaje Total	10	250		215		212		272		231		400	
	Valor Técnico	0	0.625		0.538		0.53		0.68		0.578		1	

Tabla 8

Evaluación económica.

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO PARA FABRICAR BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m³ UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022”													Área de diseño	
Valor económico (Yi)														
Proyecto														
P: puntaje de 0 a 4 (escala de valores VDI 2225)														
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy Bien (Ideal)														
g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación														
Variante de concepto/ Proyecto			Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5		Ideal	
N °	Criterios Económico	g %	p	g p	p	g p	p	g p	p	g p	p	g p	p	g p
1	Número de piezas	30	3	90	2	60	2	60	3	90	3	90	4	120
2	Costo de piezas	12	2	24	2	24	3	36	3	36	2	24	4	48
3	Costo de operación	15	2	30	2	30	1	15	2	30	2	30	4	60
4	Fácil adquisición de material	2	3	36	2	24	2	24	2	24	2	24	4	48
5	Fácil montaje	18	3	54	3	54	3	54	3	54	3	54	4	72
6	Fácil mantenimiento	3	2	26	2	26	2	26	2	26	2	26	4	52
	Puntaje total	100	260		218		215		260		248		400	
	Valor económico		0.65		0.545		0.538		0.65		0.62		1	

**Tabla 9***Evaluación técnico – económica.*

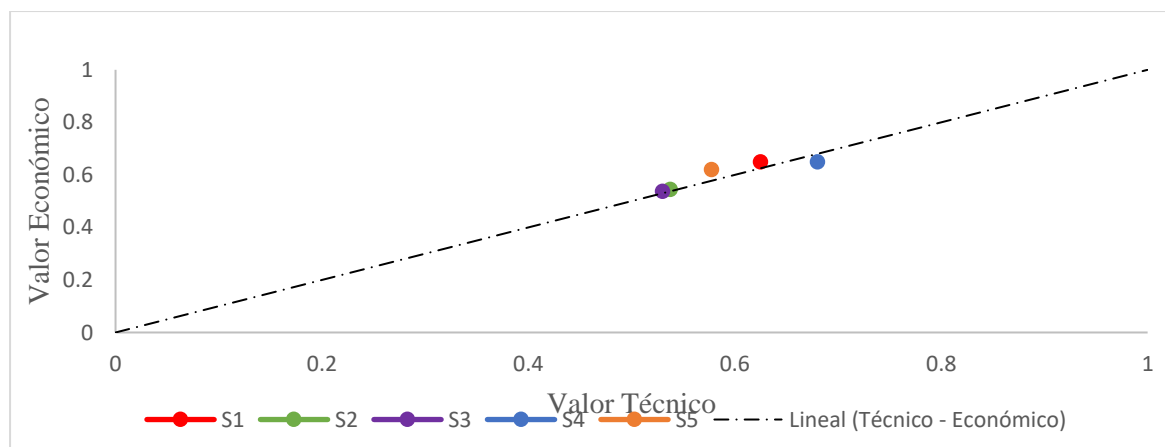
N°	Criterios	Soluciones					
		1	2	3	4	5	Ideal
1	Criterios Técnicos	22	19	20	26	24	32
2	Criterios Económicos	17	15	16	19	19	24
	SUMA TOTAL	39	34	36	45	43	56

**3.3.5 Selección de la máquina de moldeo óptima**

Al obtener los valores técnicos ( $X_i$ ) y Valor económicas ( $Y_i$ ) se procede a realizar la gráfica de toma de decisiones donde solo se tendrá en cuenta valores mayores a 0.6 y que se aproximen a la línea diagonal.

La solución óptima es aquella que se encuentra más próximo a la coordenada (1;1) y la más próxima a la línea diagonal ya que esta representa el mejor balance técnico – económica.

Después de realizar la Figura 30 y el análisis técnico – económica, se concluye que la solución preliminar óptima es la solución 4.

**Figura 30***Análisis técnico – económica.*

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.6 Descripción de operación de la solución óptima: Solución N°4.**

Una vez que la máquina de moldeo entra en funcionamiento esta se calienta por medio de vapor ya que inicialmente esta se encuentra fría una vez pre calentada se cierra la puerta frontal mediante un seguro slider el cual es controlado por cilindro hidráulico, dando inicio así al siguiente paso el cual es el llenado de la máquina con la materia prima esta se realiza por la parte superior de la máquina el cual es controlado por una pistola de llenado esta se abre para dar ingreso a la materia de EPS el cual es impulsado por un soplador, una vez que se llene la máquina con material de EPS la pistola de llenado se cierra el siguiente paso es la apertura de la válvula de vapor para dar inicio al ingreso de vapor el cual circula mediante ductos de sección cuadrada y una cámara por donde pasara el vapor a la cámara de moldeo por unos agujeros tipo circulares o ranuras de 1 a 5mm, el vapor se encuentra a una temperatura moldeo del EPS esta temperatura es la de transición vítrea el cual se encuentra aproximado entre 100°C a 110°C y a una presión de aproximada de 0.7 a 0.9 psi según BASF (2001) esta se mantendrá durante un tiempo de aproximado de 8 min durante este tiempo las perlas de EPS se expanden teniéndose el sinterizado de las perlas estas a su vez generan una presión de expansión en el interior de la máquina luego se cierra la válvula de vapor con el cual se da inicio al enfriamiento y/o estabilización de bloque de EPS, durante este periodo de estabilización se realiza la extracción del condensado realizada con la cámara de vacío una vez terminada este proceso se retira el seguro tipo slider controlado mediante un cilindro hidráulico o neumático una vez retirado el seguro se procede a la apertura de la puerta frontal mediante cilindros hidráulicos, con la puerta frontal abierta se expulsa el bloque de EPS mediante cilindros hidráulicos el cual se aloja en la pared posterior de la cámara de moldeo terminada todo este proceso se da inicio nuevamente al ciclo de producción del bloque de EPS.

## CAPÍTULO IV

### PARÁMETROS, DISEÑO MECÁNICO, HIDRÁULICO Y TÉRMICO

#### 4.1 Parámetros de diseño

##### 4.1.1 *Obtención de datos*

Para la recolección de datos se procedió a realizar un estudio detallado del proceso de obtención de bloque de EPS, así como también, se procedió a realizar las mediciones de las dimensiones, presión, temperatura, tiempo de apertura y cierre de la máquina de moldeo.

Los datos recolectados serán usados en el proceso de la elaboración del diseño de la máquina de moldeo.

- Los datos de la presión de moldeo se obtienen de la revisión de documentos como tesis y artículos científicos.
- La presión de vapor que ingresa a la cámara de moldeo se obtiene por la revisión de documentos de investigación científica y de forma visual por medio de un manómetro.
- La temperatura a la cual las perlas de EPS se fusionan es la temperatura de transición vítrea esta se obtiene de documentos de investigación científica como tesis y artículos científicos.
- La temperatura a la cual se encuentra la máquina de moldeo se obtiene de forma manual con instrumento de medición laser.
- Las dimensiones de la máquina se obtienen de forma manual mediante el uso del flexómetro.
- Los tiempos de apertura y cierre de la puerta de la máquina de moldeo se determina de forma manual con un cronometro.

- El tiempo de expulsión del bloque de EPS se obtiene manualmente con ayuda de un cronometro.
- El tiempo de asegurado de la puerta se determina manualmente con ayuda de cronometro.
- Es necesario controlar, dirección tiempo y presión de vapor pues estas variables impactan en la distorsión, esfuerzos residuales, encogimiento y fusión de las partículas de EPS.
- Para el diseño del molde se debe evitar que el grueso de las paredes sea variable

Los esfuerzos no son el diseño sino las deformaciones permitidas en el componente, donde se debe tener especial cuidado.

Las superficies de las paredes deben estar diseñadas para soportar cargas de presión interna de aproximadamente  $1.55 \text{ kg/cm}^2$  (0.152 MPa) debido a la presión del vapor y de la espuma. Las paredes interiores, que están en contacto con la espuma y a través de las cuales se introduce el vapor en la espuma, solo absorben las fuerzas de la presión de la espuma y están compuestas por rejillas con orificios y placas ranuradas.

Utilizando los diferentes parámetros de vaporización como dirección, presión y tiempo, se debe alcanzar una fusión lo más homogénea posible de las partículas de espuma.

La introducción del 15% de material reciclado busca promover la sostenibilidad y reducir la cantidad de reciclado en la planta de fabricación de bloques de EPS.

El reciclaje y la integración de materiales reciclados pueden influir en las propiedades térmicas y mecánicas del bloque final, lo que debe ser considerado en el diseño térmico y estructural del bloque de EPS.



## 4.1.2 Especificación de los parámetros involucrados

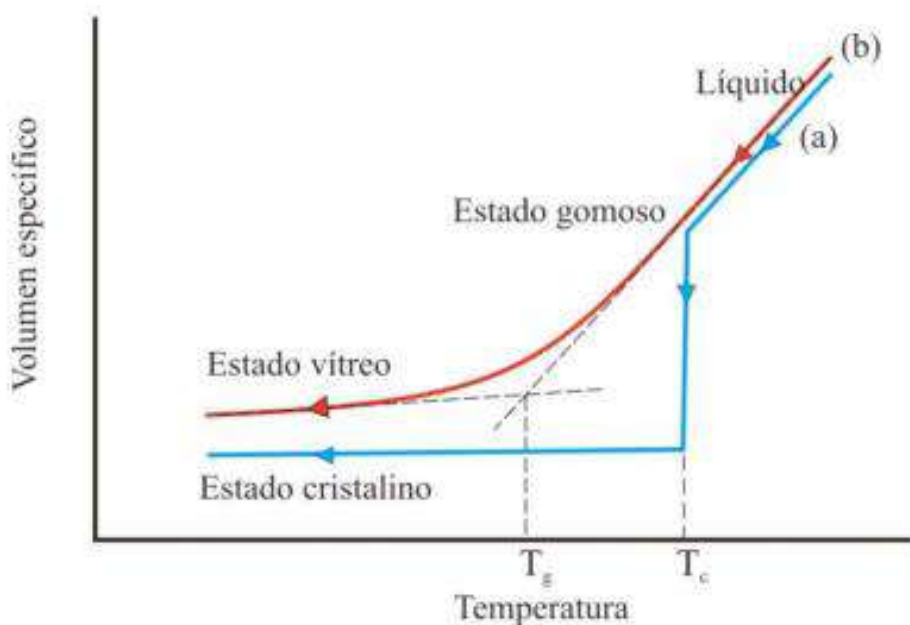
### 4.1.2.1 Temperatura de fusión del EPS

En la Figura 31 se presenta el cambio que sufre el polímero con la temperatura donde se tiene que “Los polímeros amorfos, a temperaturas por encima de la Temperatura de transición vítrea las cadenas adquieren mayor movilidad, llegando a hacerse fluidas, si bien realmente no hay fusión, por lo que se habla de intervalo de reblandecimiento y estrictamente hablando no se puede decir que el polímero se encuentra fundido”. (Beltrán & Marcilla, 2012)

Temperatura a la cual el polímero amorfo se encuentran en un estado gomoso y se vuelven maleables. El valor típico se encuentra entre: 80 – 110 °C. Para el caso del poliestireno la temperatura de transición vítrea es aproximadamente: 100 °C.

**Figura 31**

*Variación del volumen específico en función de la temperatura.*



Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2012).

#### 4.1.2.2 Temperatura de moldeo

Esta temperatura permite analizar hasta qué punto se debe llegar para garantizar la fusión o soldeo de las perlas de poliestireno expandido.

La temperatura de moldeo según valores experimentales obtenidos en la investigación que se realizó en la autoclave (máquina de moldeo) para el poliestireno expandido es 115 °C. (Bonilla & Rujel, 2005).

#### 4.1.2.3 Temperatura del molde

La temperatura del moldeo se obtiene de la lectura de la medición del termómetro infrarrojo el cual se muestra en la Figura 32 el valor de 99.5 °C.

#### Figura 32

*Lectura del termómetro infrarrojo.*



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.4 Presión de vapor saturado

La presión de ingreso de vapor a la cámara del molde se obtiene de la medición del manómetro de la máquina de moldeo mostrado en la Figura 33 de la lectura del manómetro se tiene el valor de 1 bar.

**Figura 33**

*Medición de la presión de ingreso de vapor a la cámara de moldeo.*



Fuente: Elaboración propia

La investigación realizada en la autoclave (máquina de moldeo) obtuvo resultados de que la presión de ingreso de vapor a la cámara del molde es  $1.22 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.120 \text{ MPa}$ ) (Bonilla & Rujel, 2005).

Por lo tanto, se toma la cantidad de  $1.22 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.120 \text{ MPa}$ ) con el cual se procede a realizar el diseño.

#### **4.1.2.5 Presión de moldeo**

Esta presión de moldeo se requiere para dimensionar los componentes en contacto con el EPS y así garantizar la seguridad y un buen producto.

En la investigación experimental realizada en la autoclave (máquina de moldeo) se obtuvo resultados para la etapa de moldeo siendo en este caso la presión de moldeo de  $1.55 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.152 \text{ MPa}$ ) (Bonilla & Rujel, 2005).

#### **4.1.2.6 Tiempo de moldeo**

Duración del proceso de moldeo desde el ingreso de vapor hasta los instantes antes de la apertura de la puerta, durante el cual las perlas de poliestireno expandido virgen y reciclado se fusionan hasta el momento de estabilización térmica.

Este tiempo de moldeo permite la expansión y moldeo de bloques de EPS, la duración de este proceso es de 8 minutos.

#### **4.1.2.7 Tiempo de vaporización**

El tiempo de vaporización comienza con la apertura de la válvula de vapor hasta el cierre de esta válvula. La duración del ingreso de vapor a la cámara de moldeo es de aproximadamente 5 minutos.

#### **4.1.2.8 Tiempo de enfriamiento**

Duración durante la cual se permite que el bloque de EPS se enfríe y solidifique. Valor típico: 60-180 segundos.

Según mediciones realizadas después de cerrar la válvula de ingreso de vapor a la cámara de moldeo se obtuvo el valor aproximado de 3 minutos o 180 segundos.

#### **4.1.2.9 Temperatura de enfriamiento del bloque de EPS**

Temperatura ambiente o controlada a la que se enfría el bloque después de la etapa de moldeo. Valor típico: 7 - 22 °C.

#### **4.1.2.10 Tiempo de apertura y cierre de la puerta de la máquina de moldeo**

En la Figura 34 se presenta el cilindro hidráulico para la apertura y cerrado de la puerta de la máquina de moldeo, esto movimiento lo realiza en aproximadamente 8 segundos para el cerrado de la puerta e igualmente otros 8 segundos para la apertura de la puerta.

**Figura 34**

*Cilindro de apertura y cierre de puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.11 Tiempo de expulsión del bloque de EPS

En la Figura 35 se muestra que para la expulsión de bloques de EPS se utiliza cilindros hidráulicos, esta expulsión dura un tiempo de 10 segundos.

**Figura 35**

*Cilindro de expulsión del bloque de EPS.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.12 Tiempo de asegurado de la puerta

De igual forma que la apertura y cierre de la puerta como también la expulsión del bloque de EPS, para este caso la Figura 36 muestra que se utiliza un cilindro hidráulico el cual nos permite deslizar el eje de los seguros garantizando que los seguros estén en su posición y no permita que la puerta se abra durante el proceso de moldeo. Este tiempo de asegura de puerta es de 3 segundos.

**Figura 36**

*Cilindro hidráulico de seguro de la puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.13 Características del material reciclado

El material reciclado se presenta en la Figura 37, al utilizar este reciclado las propiedades mecánicas de bloques de EPS se ven afectados. El porcentaje máximo de material reciclado es 20% el cual permite tener una resistencia aceptable a la flexión, corte y compresión (Bonilla & Rujel, 2005).

Se considera un porcentaje de reciclado del 15% según Ley 30884 de MINAM (Ministerio del Ambiente) donde indica que se debe usar material reciclado de 15% de plástico, de acuerdo a lo señalado en el párrafo anterior con este 15% de material reciclado se garantiza la resistencia a la flexión, corte y compresión.

**Figura 37**

*Material reciclado de EPS en forma de picado.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.14 Resumen de los parámetros de diseño

A continuación, se presenta la Tabla 10 donde se muestra los datos los cuales servirán para realizar el diseño de la máquina de moldeo.

**Tabla 10***Resumen de parámetros de diseño.*

Ítems	Etapa para el proceso de moldeo	Valor obtenido
1	Temperatura de transición vítrea	100 °C
2	Temperatura de moldeo	115 °C
3	Temperatura del molde	99.5 °C
4	Presión de vapor	1.22 kg/cm <sup>2</sup> (0.12MPa)
5	Presión de moldeo	1.55 kg/cm <sup>2</sup> (0.152MPa)
6	Tiempo de moldeo	8 minutos
7	Tiempo de vaporización	5 minutos
8	Tiempo de enfriamiento	3 minutos
9	Temperatura de enfriamiento del bloque de EPS	7 – 22 °C
10	Tiempo de apertura y cierre de la puerta	8 segundos
11	Tiempo de expulsión del bloque de EPS	10 segundos
12	Tiempo de asegurado de la puerta	3 segundos
13	Porcentaje de reciclado de EPS	15 %

Fuente: Elaboración propia.

## **4.2 Diseño mecánico**

### **4.2.1 Elementos mecánicos de la máquina de moldeo**

Los cálculos y diseño de los elementos de la máquina de moldeo serán aplicadas a un elemento de un grupo que tenga las mismas características, ya que estas tienen la similitud de soportar cargas.

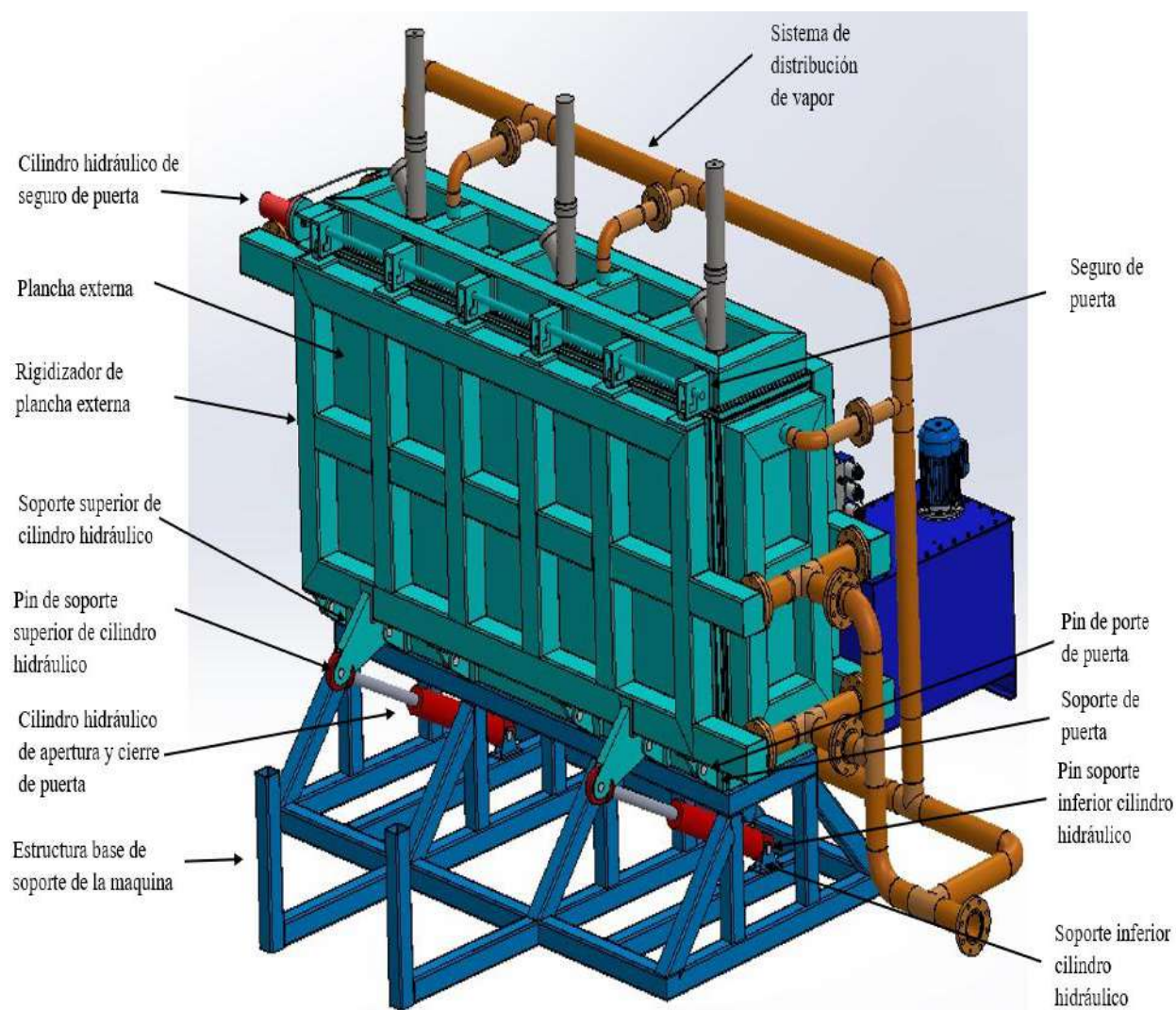


#### 4.2.1.1 Detallado de los elementos mecánicos

En la Figura 38, Figura 39 y Figura 40 se presenta los componentes mecánicos, hidráulicos y el sistema de vapor de la máquina de moldeo.

**Figura 38**

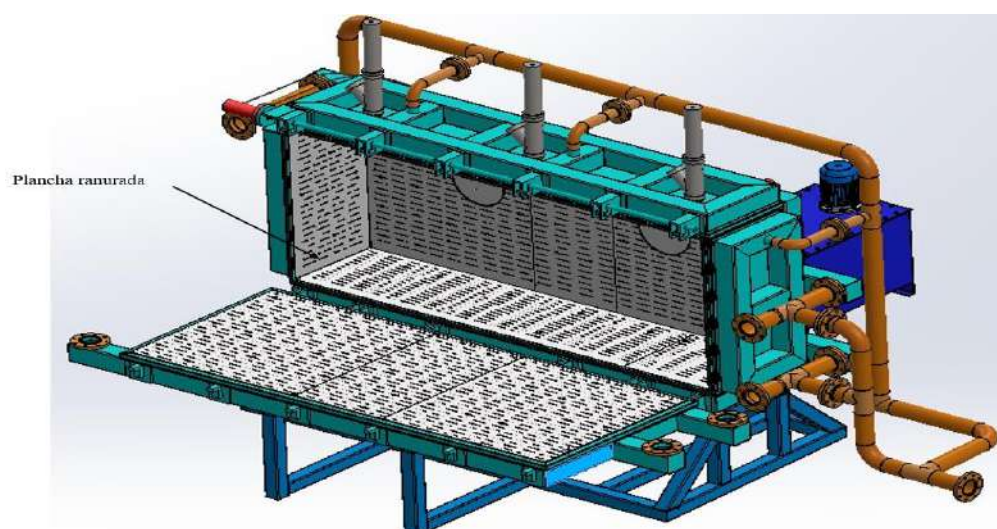
*Elementos mecánicos de la máquina de moldeo se muestra en la vista isométrica.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39**

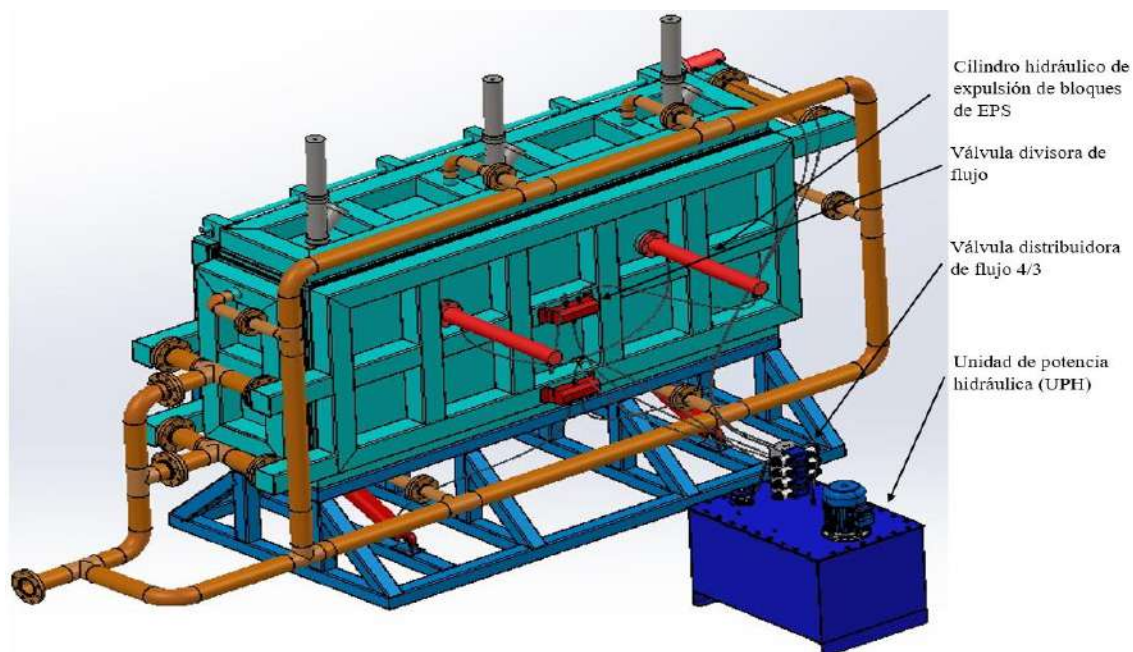
*Elementos mecánicos de la máquina de moldeo se muestra la parte interna de la máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 40**

*Elementos hidráulicos se observa la parte trasera de la máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1.2 Diseño de la plancha de pared

La plancha exterior de la máquina de moldeo debe tener la capacidad de soportar cargas sin que se generen deformaciones durante la etapa de moldeo de EPS.

Se considere un material acero ASTM A36 cuyas propiedades físicas se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Propiedades del acero ASTM A36.*

<b>PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A 36</b>	
Esfuerzo de fluencia	2530 kg/cm <sup>2</sup> (250 MPa)
Resistencia a la tracción	400 – 550 MPa
Módulo de elasticidad (E)	2000000 kg/cm <sup>2</sup> (196.13 GPa)
Relación de Poisson (ν)	0.26

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo se asume que la presión es uniformemente distribuida en toda la plancha, se debe tener en cuenta que los cálculos de realizaran en el lado critico esta será el lado de mayor longitud.

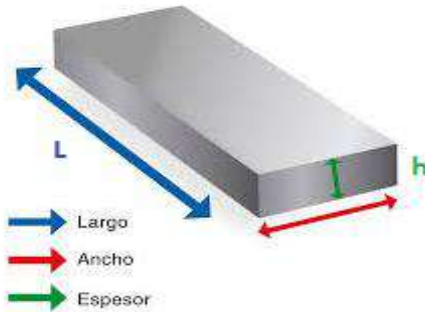
Para este cálculo se utilizará la teoría de placas y envolventes delgadas el cual menciona dos casos:

- Bordes simplemente apoyados
- Bordes empotrados

Este cálculo se desarrollará de manera iterativa con datos como el espesor y la longitud critica tal como se muestra en la Figura 41. Para determinar el esfuerzo de trabajo el cual deberá ser menor al esfuerzo limite o esfuerzo de fluencia.

**Figura 41**

*Dimensiones de la plancha de acero para desarrollar el cálculo.*



Fuente: Elaboración propia.

Comenzaremos el cálculo para una longitud de  $L = 120\text{cm}$  y un espesor de  $h = 1/4''$  para BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS tenemos la rigidez a la flexión en la plancha, para ello se utiliza la ecuación 1.

$$D = \frac{2000000 \text{ kg/cm}^2 * (0.635\text{cm})^3}{12(1 - 0.26^2)} = 45768.603 \text{ kg.cm}$$

La flecha máxima tenemos con la ecuación 2.

$$\delta_0 = \frac{5}{384} \frac{(1.55\text{kg/cm}^2)(120\text{ cm})^4}{45768.603} = 91.438\text{cm}$$

Para determinar los valores de la fatiga de extensión y el momento flector máximo se deben calcular las cantidades de “ $\alpha$ ” y “ $u$ ” para así utilizar la Tabla 12.

Determinamos la cantidad de  $\alpha$  con la ecuación 3.

$$\alpha(1 + \alpha)^2 = \frac{3 * (91.438\text{cm})^2}{(120\text{cm})^2}$$

Al resolver esta ecuación tenemos la cantidad de  $\alpha = 38.958$ , la cantidad del valor de  $u$  se calcula con la ecuación 4.

$$u = \frac{\pi}{2} \sqrt{38.958} = 9.804$$

Con esta cantidad del valor de “ $u$ ” utilizamos la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Constantes para determinar momentos flectores máximos.*

<b>u</b>	<b>ψ1</b>	<b>ψ2</b>
0	1	1
0.5	0.905	0.984
1	0.704	0.939
1.5	0.511	0.876
2	0.367	0.806
2.5	0.268	0.736
3	0.2	0.672
3.5	0.153	0.614
4	0.12	0.563
4.5	0.097	0.519
5	0.079	0.48
5.5	0.066	0.446
6	0.055	0.417
6.5	0.047	0.391
7	0.041	0.367
7.5	0.036	0.347
8	0.031	0.328
8.5	0.028	0.311
9	0.025	0.296
9.5	0.022	0.283
10	0.02	0.27
10.5	0.018	0.259
11	0.017	0.248
11.5	0.015	0.238
12	0.014	0.229

Fuente: Adaptado de (Timoshenko, 1957).

Donde el valor “u” se encuentra entre los valores de 9.5 y 10 con estos datos interpolamos para encontrar el valor de  $\psi_1$  el cual es usado para bordes simplemente apoyados con la ecuación 25.

$$\frac{(\psi_1 - d)}{(u - b)} = \frac{(c - d)}{(a - b)} \quad (25)$$

$$\frac{(\psi_1 - 0.02)}{(9.8 - 10)} = \frac{(0.022 - 0.02)}{(9.5 - 10)}$$

De este modo tenemos que  $\psi_1=0.021$

Determinamos en momento flector máximo con la ecuación 6.

$$M_{max} = \frac{(1.55kg/cm^2)(120cm)^2}{8}(0.021) = 57.98 kg$$

El esfuerzo de extensión la calculamos usando la ecuación 5

$$\sigma'_x = \frac{38.958 * \pi^2 * (45768.6kg - cm)}{(0.635cm)(120cm)^2} = 1924.468 kg/cm^2 (188.726 MPa)$$

La fatiga máxima a la flexión la calculamos con la ecuación 7.

$$\sigma''_x = \frac{6 * (39.06kg)}{(0.635cm)^2} = 862.829 kg/cm^2 (84.614 MPa)$$

Superponemos las dos clases de fatiga, obtenemos la fatiga máxima empleando la ecuación 8.

$$\sigma_{max} = 1924.468 + 862.829 = 2787.298 kg/cm^2 (273.34 MPa)$$

El valor calculado de la fatiga máxima se realizó para bordes simplemente apoyados el cual es mayor que el esfuerzo límite de  $2530kg/cm^2$  (248.108MPa).

Ahora determinamos la fatiga máxima para BORDES EMPOTRADOS donde la rigidez a la flexión D es la misma para bordes empotrados.

La flecha máxima para bordes empotrado se determina con la ecuación 30.

$$\delta_{0, empo} = \frac{1}{384} \times \frac{q \times l^4}{D} \quad (26)$$

$$\delta_{0, empo} = \frac{1}{384} \times \frac{(2000000kg/cm^2) \times (120cm)^4}{45768.603 kg - cm} = 18.287 cm$$

Ahora para determinar el momento flector máximo y la fatiga máxima a la flexión se necesita determinar las cantidades de “ $\alpha$ ” y “ $u$ ” para posteriormente utilizar la Tabla 12. La cantidad de “ $\alpha$ ” la determinamos con la ecuación 9.

$$\alpha \left(1 + \frac{\alpha}{4}\right)^2 = \frac{3 * (18.287cm)^2}{(0.635cm)^2}$$

De donde se obtiene el valor de  $\alpha=31.532$ , con esta cantidad podemos obtener el valor de “u” con la ecuación 11.

$$u = \frac{\pi}{2} \sqrt{31.532} = 8.82$$

Con la cantidad de  $u= 8.82$ , se utiliza la Tabla 12 para determinar  $\psi_2$  este valor se obtiene interpolando de igual forma que para bordes simplemente apoyados.

$$\frac{(\psi_2 - 0.296)}{(8.82 - 9)} = \frac{(0.311 - 0.296)}{(8.5 - 9)}$$

Al realizar la operación se obtiene el valor de  $\psi_2 = 0.301$ , con esta cantidad calculamos el momento flector máximo con la ecuación 12.

$$M_{max} = -\frac{\left(\frac{1.55kg}{cm^2}\right)(120cm)^2}{12} * (0.301) = 560.58 kg$$

La fatiga de extensión se determina con la ecuación 10.

$$\sigma'_{x,emp} = \frac{31.532}{38.958} * \left(\frac{1924.468kg}{cm^2}\right) = 1557.628 kg/cm^2 (152.751 MPa)$$

La fatiga máxima a la flexión se determina con la ecuación 13 obteniéndose:

$$\sigma''_{x,emp} = \frac{6 * (560.58kg)}{(0.635cm)^2} = 8341.507 kg/cm^2 (818.022 MPa)$$

Por lo tanto, la superposición de los dos esfuerzos calculados para bordes empotrados es determinado por la ecuación 14.

$$\sigma_{max,emp} = 1557.628 + 8341.507 = 9899.136 kg/cm^2 (970.774 MPa)$$

Para determinar la fatiga por origen térmico de igual forma se tiene para bordes simplemente apoyados y bordes empotrados, teniendo en cuenta la literatura del RESISTENCIA DE MATERIALES de TIMOSHEKO SEGUNDA PARTE, donde menciona que la flexión de la



placa no genera fatiga de origen térmico siempre en cuando el borde de la placa este libre lo contrario ocurre si el borde esta empotrado.

La fatiga de origen térmico se obtiene para bordes empotrados el cual no varía en los cálculos solo depende del módulo de elasticidad, la diferencia de temperatura, relación de Poisson y el coeficiente de dilatación térmica esta se determina con la ecuación 34.

$$\sigma_{\max,T} = \frac{6M}{h^2} = \frac{\alpha_1 t}{2} \frac{E}{1 - \nu} \quad (27)$$

Donde:

$\alpha_1$ : coeficiente de dilatación térmica es  $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

t: diferencia de temperaturas entre la parte interna y externa de la plancha (110-80)  $^\circ\text{C}$ .

E: módulo de elasticidad es  $2000000 \text{ kg/cm}^2$  (196133 MPa).

$\nu$ : relación de Poisson 0.26.

$$\sigma_{\max,T} = \frac{(11.5 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(30 \text{ } ^\circ\text{C})}{2} \frac{2000000 \text{ kg/cm}^2}{1 - 0.26} = 509.54 \text{ kg/cm}^2 \text{ (49.97 MPa)}$$

Observamos que el mayor esfuerzo máximo se presenta por bordes empotrados teniendo un valor de:

$$\sigma_{\max,emp} = 9899.136 \text{ kg/cm}^2 \text{ (970.774 MPa)}$$

Teniendo en cuenta el procedimiento que se realizó procedemos a realizar iteraciones para diferentes espesores de plancha y longitudes críticas para encontrar un valor que satisfaga nuestra necesidad. A continuación, se presenta la Tabla 13 con los espesores y longitudes que se trabajara,

**Tabla 13**

*Longitud critica de la plancha.*

Espeor de plancha h (cm)	Longitud critica L (cm)
1/4" (0.635)	120
5/16" (0.8)	50



Espesor de plancha h (cm)	Longitud critica L (cm)
3/8" (0.95)	45
1/2" (1.27)	43

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de la Tabla 13 se procede a realizar las iteraciones para determinar un espesor de plancha y una la longitud donde no se presente grandes deformaciones, en la Tabla 14 y Tabla 15 se presenta un resumen de los calculo para  $L = 120$  cm y espesores respectivos tanto para bordes simplemente apoyados como para bordes empotrados.

**Tabla 14**

*Resumen de cálculos de  $L = 120$ cm de bordes simplemente apoyados.*

L = 120	BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS								
	D	$\delta_0$	$\alpha$	u	$\psi 1$	$M_{max}$	$\sigma'_x$	$\sigma''_x$	$\sigma_{max}$
h = 0.635	45768.6	91.44	38.95	9.8	0.021	57.9	1924.4	862.8	2787.3
h = 0.8	91520.1	45.73	20-74	7.15	0.039	110.1	1626.1	1032.	2658.3
h = 0.95	153256	27.31	12.87	5.64	0.063	175.7	1423.5	1168.	2592.1
h = 1.27	366148	11-43	5.59	3.71	0.138	387.4	1104.9	1441.	2546

Fuente: Elaboración propia.

Para bordes empotrados se tiene que la rigidez a la flexión de la plancha D es la misma para bordes empotrados.

**Tabla 15**

*Resumen de cálculos para  $L = 120$ cm de bordes empotrados.*

L = 120	BORDES EMPOTRADOS								
	D	$\delta_{0,emp}$	$\alpha_{emp}$	$u_{emp}$	$\psi 2$	$M_{max,}$	$\sigma'_{x,emp}$	$\sigma''_{x,emp}$	$\sigma_{max,em}$
h = 0.635	45768.6	18.28	31.53	8.82	0.301	560.58	1557.6	8341.	9899.1
h = 0.8	91520.0	9.14	15.87	6.25	0.403	750.58	1244.8	7036.	8281.6
h = 0.95	153255.	5.46	9.16	4.75	0.499	928.49	1012.7	6172.	7185.6
h = 1.27	366148.	2.28	3.01	2.76	0.702	1306.5	610.94	4860.	5471.4

Fuente: Elaboración propia.

Su observa que los valores de la fatiga máxima son mayores que el  $2530 \text{ kg/cm}^2$  ( $248.108 \text{ MPa}$ ) razón por la cual seguimos realizando las iteraciones.

Para determinar la qué distancia que estarán ubicados los rigidizadores o en este caso los ductos cuadrados los cuales sirven para el transporte de vapor hacia la cámara de moldeo estos ductos son de dimensiones  $150 \times 150 \times 4 \text{ mm}$  con este valor se puede determinar la separación a la que se encontraran los rigidizadores. La separación de los rigidizadores se obtiene con la ecuación 35.

$$L_p = (N^{\circ}_R - 1) * L_{e,R} + N^{\circ}_R * L_D \quad (28)$$

Donde:

$L_p$ : longitud de la plancha  $3082.32 \text{ mm}$ .

$N^{\circ}_R$ : número de rigidizadores.

$L_{e,R}$ : longitud entre rigidizadores.

$L_D$ : lado del ducto cuadrado  $150 \text{ mm}$ .

Si asumimos 5 rigidizadores se obtiene la longitud entre rigidizadores con la ecuación 28.

$$3082.32 = (4) * L_{e,R} + 5 * 150$$

Donde la longitud entre rigidizadores es  $L_{e,R} = 583.08 \text{ mm}$ , de las tablas anteriores tanto para bordes simplemente apoyado como para bordes empotrados se obtiene valores de la fatiga máxima de los cuales solo satisface para un espesor de plancha de  $1.27 \text{ cm}$  o  $1/2''$  de espesor.

Ahora si se considere 6 rigidizadores se tiene:

$$3082.32 = (5) * L_{e,R} + 6 * 150$$

La cantidad que se obtiene de esta ecuación es  $L_{e,R} = 436.46 \text{ mm}$ , con estas cantidades podemos realizar las iteraciones para analizar y determinar el espesor y longitud entre rigidizadores que se utiliza en este diseño.

En la Tabla 16 y Tabla 17 se presenta el resumen de la para  $L = 58$  cm y espesores respectivos. Tanto para bordes simplemente apoyados como para bordes empotrados.

**Tabla 16**

*Resumen del cálculo para  $L = 58$  cm para bordes simplemente apoyados.*

L = 58	BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS								
	D	$\delta_0$	$\alpha$	u	$\psi_1$	$M_{max}$	$\sigma'_x$	$\sigma''_x$	$\sigma_{max}$
h = 0.635	45768.6	4.99	5.05	3.53	0.15	109.36	1068.76	1463.79	2532.55
h = 0.8	91520	2.49	2.45	2.46	0.276	191.52	822.63	1686.98	2509.62
h = 0.95	153255.9	1.49	1.34	1.82	0.418	274.98	636	1813.78	2449.79
h = 1.27	366148.8	0.62	0.38	0.97	0.717	412.05	321.44	1737.79	2059.23

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17**

*Resumen del cálculo para  $L = 58$  cm para bordes empotrados.*

L = 58	BORDES EMPOTRADOS								
	D	$\delta_{0,emp}$	$\alpha_{emp}$	$u_{emp}$	$\psi_2$	$M_{max,}$	$\sigma'_{x,emp}$	$\sigma''_{x,emp}$	$\sigma_{max,em}$
h = 0.635	45768.6	0.998	3.092	2.76	0.7	305.23	653.8	4541.86	5195.66
h = 0.8	91520	0.499	0.986	1.56	0.87	377.01	330.84	3534.51	3865.35
h = 0.95	153255.9	0.298	0.33	0.9	0.95	411.8	156.4	2737.76	2894.17
h = 1.27	366148.8	0.124	0.037	0.3	0.99	430.3	31.55	1600.71	1632.26

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 16 y Tabla 17 muestran que la mayor fatiga se presenta en bordes empotrados, en la Tabla 19 se tienen valores inferiores a 2530 kg/cm<sup>2</sup> (248.108 MPa) para espesores de 1.27 cm, esto nos indica que se puede trabajar con  $L = 58$  cm y un espesor de 1.27 cm o mayor a esta.

Procedemos a realizar el cálculo para una longitud crítica de  $L = 45$  cm teniéndose así la Tabla 18 y Tabla 19

**Tabla 18**

*Resumen del cálculo para  $L = 45\text{cm}$  para bordes simplemente apoyados.*

<b>L = 45cm</b>		<b>BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS</b>							
	D	$\delta_0$	$\alpha$	u	$\psi 1$	$M_{max}$	$\sigma'_x$	$\sigma''_x$	$\sigma_{max}$
h = 0.635	45768.6	1.808	2.27	2.36	0.294	115.43	798.13	1717.56	2515.69
h = 0.8	91520	0.904	0.97	1.55	0.495	194.38	545.76	1822.29	2368.05
h = 0.95	153255.9	0.54	0.45	1.06	0.68	266.88	359.13	1774.27	2133.41
h = 1.27	366148.8	0.226	0.08	0.44	0.915	358.91	114.53	1335.16	1449.69

**Tabla 19**

*Resumen del cálculo para  $L = 45\text{cm}$  para bordes empotrados.*

<b>L= 45cm</b>		<b>BORDES EMPOTRADOS</b>							
	D	$\delta_{0,emp}$	$\alpha_{emp}$	$u_{emp}$	$\psi 2$	$M_{max,}$	$\sigma'_{x,emp}$	$\sigma''_{x,emp}$	$\sigma_{max,em}$
h = 0.635	45768.6	0.362	0.704	1.32	0.89	235.14	247.19	3498.86	3746.05
h = 0.8	91520	0.181	0.143	0.59	0.97	255.17	79.68	2392.2	<b>2471.89</b>
h = 0.95	153255.9	0.108	0.038	0.31	0.99	258.99	29.95	1721.86	1751-81
h = 1.27	366148.8	0.045	0.004	0.09	0.99	260.75	5.33	970	975.33

Fuente: Elaboración propia.

De la Tablas 18 y Tabla 19 concluimos que para la longitud  $L = 45\text{ cm}$  y espesor  $h = 0.8\text{ cm}$  se obtiene la fatiga máxima de  $2417.89\text{ kg/cm}^2$  ( $237.114\text{ MPa}$ ) el cual es inferior al límite elástico  $2530\text{ kg/cm}^2$  ( $248.108\text{ MPa}$ ), con el cual se concluye que la longitud de separación entre rigidizadores será de  $436.46\text{ mm}$ , espesor de plancha de  $8\text{ mm}$  teniendo así el resumen en la Tabla 20 y Tabla 21.

**Tabla 20**

*Resumen del cálculo para  $L = 43.646\text{cm}$  para bordes simplemente apoyados.*

<b>L= 43.646cm</b>		<b>BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS</b>							
	D	$\delta_0$	$\alpha$	u	$\psi 1$	$M_{max}$	$\sigma'_x$	$\sigma''_x$	$\sigma_{max}$
h= 0.635	45768.6	1.6	2.04	2.25	0.317	117.29	765.16	1745.35	2510.51
h= 0.8	91520	0.8	0.86	1.46	0.526	206.53	512.07	1936.31	<b>2448.37</b>

h= 0.95	153255.9	0.48	0.39	0.98	0.71	278.8	327.73	1853.48	2181.21
h= 1.27	366148.8	0.2	0.07	0.4	0.923	362.2	98.96	1347.4	1446.36

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21**

*Resumen del cálculo para  $L = 43.646\text{cm}$  para bordes empotrados.*

<b>L = 43.646cm</b>		<b>BORDES EMPOTRADOS</b>							
	D	$\delta_{0,emp}$	$\alpha_{emp}$	$u_{emp}$	$\psi_2$	$M_{max}$	$\sigma'_{x,emp}$	$\sigma''_{x,emp}$	$\sigma_{max,em}$
h = 0.635	45768.6	0.32	0.581	1.19	0.91	239.1	216.95	3557.88	3774.84
h = 0.8	91520	0.16	0.114	0.53	0.98	256.68	67.29	2406.45	<b>2473.89</b>
h = 0.95	153255.9	0.096	0.029	0.27	0.99	259.29	25	1723.8	1748.8
h = 1.27	366148.8	0.04	0.003	0.09	0.99	260.83	4.53	970.32	974.85

Fuente: Elaboración propia.

Se observa del resumen de los cálculos que la mayor fatiga se presenta en bordes empotrados, de esta tenemos que para una longitud de 43.646cm se tiene la fatiga de 2473.89 kg/cm<sup>2</sup> (242.606 MPa) el cual es menor que el límite elástico del material ASTM A36. Los espesores que se pueden utilizarse para el diseño de la máquina de moldeo a esta longitud de 43.6464 cm será 0.8cm, 0.95 cm y 1.27 cm, consideramos un espesor de 0.8 cm o 8mm.

De los cálculos realizados anteriormente se concluye que los valores a utilizar serán:

$L_e, R=436.46\text{mm}$ .

h= 8mm.

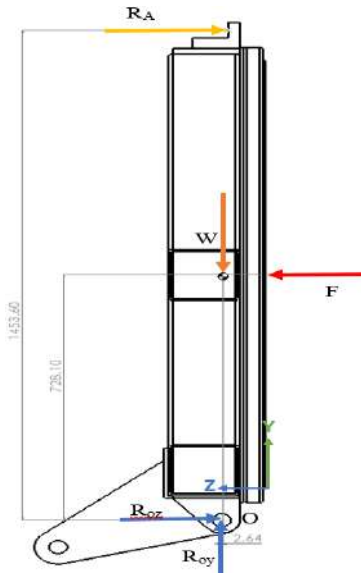
Rigidizador ducto 150x150x4mm.

#### **4.2.1.3 Cálculo de las reacciones en la puerta**

Para el cálculo de las reacciones se desarrolla del D.C.L donde se muestra las fuerzas que están involucradas como la presión, la masa y las reacciones en los puntos donde se muestra en la Figura 42.

**Figura 42**

*Diagrama de cuerpo libre de la puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el punto donde se está aplicando el peso de la puerta utilizamos la herramienta computacional de SOLIDWORKS, obteniendo las coordenadas siguientes:

$$X = 1529.694$$

$$Y = 629.519$$

$$Z = 83.460$$

De igual forma determinamos la masa de la puerta con la herramienta computacional de SOLIDWORKS, la cual es:

$$m = 1080.859 \text{ kg.}$$

Con las ecuaciones de equilibrio determinamos las reacciones en los puntos A y O. Para determinar la reacción en el punto A utilizamos la ecuación 29.

$$\sum M_O = 0 \quad (29)$$

Con esta ecuación tenemos:

$$-R_A(OA) - W(OBz) + F(OBy) = 0$$

Obteniendo la reacción en el punto A.

$$R_A = 294.064 \text{ kN}$$

Con la ecuación 30 podemos obtener la reacción  $R_{OY}$ .

$$\sum F_Y = 0 \quad (30)$$

De esta ecuación se obtiene la siguiente:

$$R_{OY} - W = 0$$

$$R_{OY} = 10.406 \text{ kN}$$

De la ecuación de equilibrio 31 en el eje Z tenemos:

$$\sum F_Z = 0 \quad (31)$$

Se tiene la formulación de la siguiente manera:

$$-R_A - R_{OZ} + F = 0$$

$$R_{OZ} = 293.052 \text{ kN}$$

La reacción total en el punto O se obtiene con la siguiente ecuación 32.

$$R_o = \sqrt{R_{OY}^2 + R_{OZ}^2} \quad (32)$$

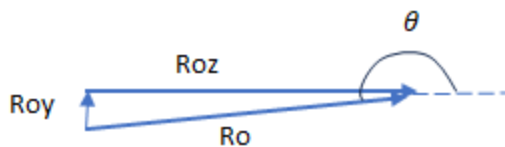
Entonces la cantidad de  $R_o$  es:

$$R_o = 293.236 \text{ kN @ } 181.57^\circ$$

En Figura 43 se muestra la fuerza resultante de  $R_o$ .

### Figura 43

*Fuerza resultante de la reacción en el punto O.*



Fuente: Elaboración propia.

Según CASO (2018), se considera un 20% (se agrega 0.2) de exceso de carga. para el cálculo del eje de la bisagra. Por lo tanto, se obtiene:

$$R_o * 1.2 = 351.88 \text{ kN}$$

#### **4.2.2 Diseño del soporte o bisagra de la puerta**

Para el diseño del soporte de la puerta tenemos la Figura 44 donde se observa los siguientes componentes:

- Soporte fijo.
- Soporte móvil de articulación.
- Eje de la bisagra.

**Figura 44**

*Soporte o bisagra de puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

##### **4.2.2.1 Diseño del eje de bisagra**

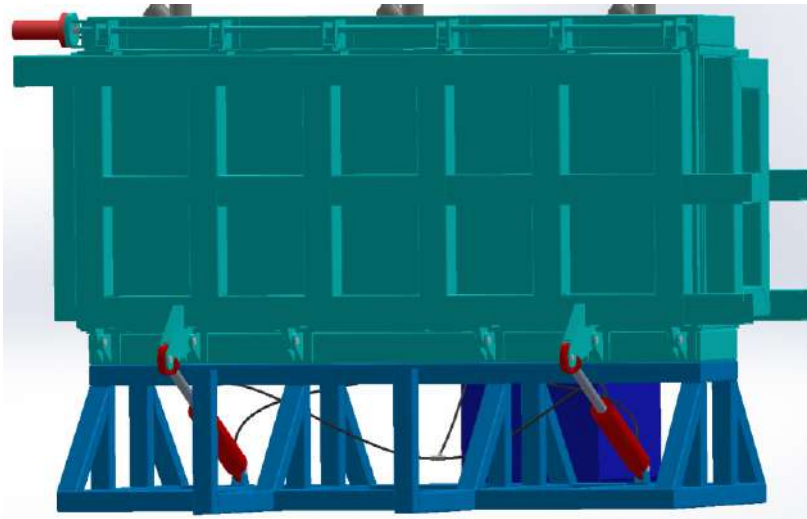
En la Figura 45 se observa 6 Bisagras razón por la cual la reacción en el punto O se dividirá entre este número de bisagras de la siguiente manera.

$$R_{o'} = R_o * \frac{1.2}{6} = 58.65 \text{ kN}$$



**Figura 45**

*Cantidad de bisagras.*



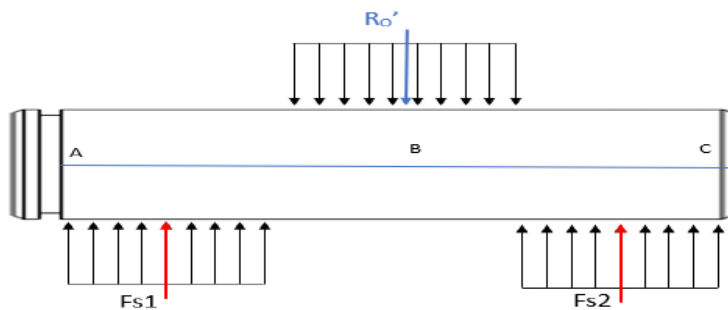
Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.2.1.1 Cálculo de las reacciones en el eje de la bisagra**

A continuación, se muestra el D.C.L en la Figura 46 del eje de la bisagra.

**Figura 46**

*Diagrama de cuerpo libre del eje de la bisagra.*



Fuente: Elaboración propia.

Donde las reacciones  $F_{S1}$  y  $F_{S2}$  son iguales, para ello se plantea la ecuación de equilibrio para determinar estas reacciones. Con la ecuación 31 se obtiene:

$$-R_O' + 2F_{S1} = 0$$

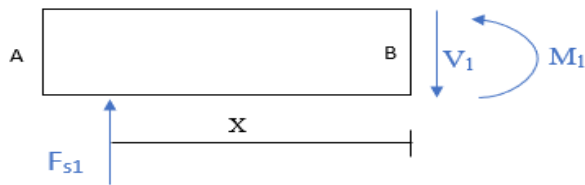
$$F_{S1} = 29.324 \text{ kN}$$

Para obtener el diagrama de fuerza cortante y diagrama de momentos procedemos a realizar los siguientes cálculos.

Realizamos un corte en el tramo A – B, ver Figura 47.

**Figura 47**

*D. C. L del tramo A – B.*



Fuente: Elaboración propia.

Determinamos la fuerza cortante  $V_1$  con la ecuación 31.

$$-v_1 + F_{S1} = 0$$

$$v_1 = \frac{R'_O}{2} = 29.324 \text{ kN}$$

Con la ecuación 33 obtenemos en momento  $M_1$  respecto al punto B.

$$\sum M_B = 0 \quad (33)$$

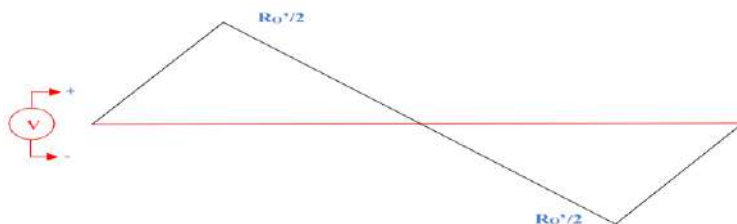
$$M_1 - F_{S1} * X = 0$$

$$M_1 = M_{max} = 774.14 \text{ kN m}$$

El momento  $M_1$  representa el momento máximo en el punto B. los diagramas de fuerza cortante y momento se presentan a continuación en la Figura 48 y Figura 49.

**Figura 48**

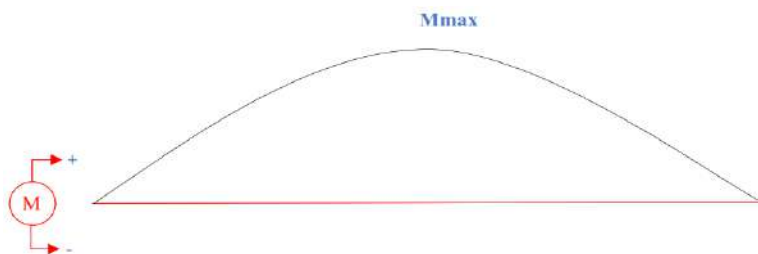
*Diagrama de fuerza cortante.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 49**

*Diagrama de momentos.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2.1.2 Cálculo del diámetro tentativo del eje de la bisagra

El material a utilizar para el eje de la bisagra se selecciona el AISI 4140 el cual posee características una alta resistencia y durabilidad, las propiedades del material se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Propiedades del AISI 4140.*

Resistencia en estado Recocido		CARACTERISITCAS MECANICAS EN ESTADO BONIFICADO						
Max. N/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell Max.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Elongación (L <sub>0</sub> = 5d) % min.	Estricción % min.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
		0	16	835	1030 – 1250	10	40	34
770	241	16	40	715	930 – 1130	11	45	41
		40	100	595	830 – 1030	12	50	41
		100	160	530	730 – 900	13	55	41
		160	250	490	690 – 840	14	55	41

Fuente: Adaptado de Propiedades del AISI 4140.

Para el diseño del eje de la bisagra se determina por:

- Esfuerzo cortante directo
- Momento máximo

De estos dos métodos se va a utilizar el diámetro de mayor valor, es así que se comienza con el diseño por esfuerzo cortante directo.

La ecuación 34 representa al esfuerzo cortante directo de donde se puede deducir la ecuación 36 el cual permite calcular el diámetro tentativo del eje de bisagra de la puerta.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (34)$$

También el esfuerzo cortante está relacionado con el límite de fluencia.

$$\tau \leq \frac{S_{SY}}{N} \quad (35)$$

Donde:

$$S_{SY} = 0.5 * S_Y$$

$$S_Y = 715 \text{ MPa}$$

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

n: fator de seguridad 5 según (Caso, 2008)

Para determinar el diámetro de eje de la bisagra se presenta la ecuación 36.

$$d \geq \sqrt{\frac{4 * V * n}{\pi * S_{SY}}} \quad (36)$$

Reemplazando las cantidades para calcular el diámetro del eje de la bisagra se tiene:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 * 29,324 \text{ kN} * 5}{\pi * 0.5 * 715 \text{ MPa}}} = 28.575 \text{ mm} = 1 \frac{1}{8}''$$

La ecuación 37 representa al esfuerzo máximo por momento en una viga.

$$\sigma_{max} = \frac{32 * M_{max}}{\pi * d^3} \quad (37)$$

Donde el esfuerzo admisible esta dado por la ecuación 38.

$$\sigma_{adm} = \frac{s_t}{n} \quad (38)$$

Donde:

$$s_t = 1000 \text{ MPa}$$

También sabemos que:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$$

De donde se deduce la ecuación 39.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{max}}{\pi * \sigma_{adm}}} \quad (39)$$

$$d \geq 34.04 \text{ mm}$$

Esta cantidad aproximamos a un diámetro comercial mayor a la cantidad que se determinó, teniendo así el valor de:

$$d = 38.1 \text{ mm o } 1 \frac{1}{2}''$$

Al comparar los valores determinados en ambos diseños se observa que el mayor valor es:

$$d = 38.1 \text{ mm}$$

#### **4.2.2.1.3 Cálculo del esfuerzo de Von Mises**

La ecuación 40 permite determinar el esfuerzo de Von Mises.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{adm}^2 + 3 * \tau_{max}^2} \quad (40)$$

Donde:

$$\tau_{max} = \frac{4 * V}{3 * A} = \frac{4 * 29.324 \text{ kN}}{3 * 1140.092 \text{ mm}^2} = 34.294 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sqrt{200^2 + 3 * 34.294^2} = 208.634 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad con la ecuación 41.

$$N_b = \frac{S_Y}{\sigma'} \quad (41)$$

$$N_b = \frac{715 \text{ MPa}}{208.634 \text{ MPa}} = 3.43$$

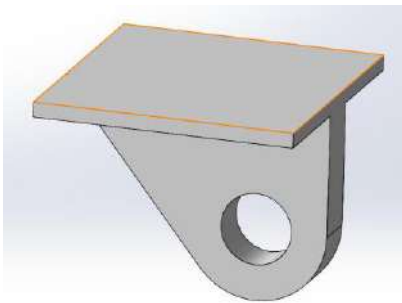
De donde se concluye que eje de la bisagra no falla.

#### 4.2.2.2 Diseño de la oreja de articulación de la bisagra

En la Figura 44 se muestra de qué manera está dispuesto la bisagra, se determina el espesor de la plancha del soporte móvil de la bisagra el cual se muestra en la Figura 50.

**Figura 50**

*Soporte móvil de la bisagra.*



Fuente: Elaboración propia.

Determinamos el espesor de la plancha con la fuerza máxima, para ello el esfuerzo por aplastamiento esta dado en la ecuación 42.

$$\sigma_{ap} = \frac{F}{A} \quad (42)$$

También se sabe que:

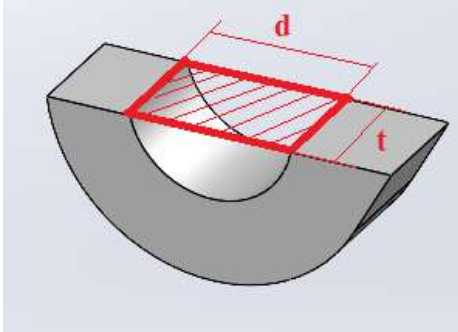
$$\sigma_{ap} \leq \sigma_{adm, A36}$$

$$n_{ap} = \frac{S_{Y \text{ plancha}}}{\sigma_{ap \text{ plancha}}}$$

Donde el área de aplastamiento es como se muestra en la Figura 51.

**Figura 51**

*Área de aplastamiento en el soporte móvil de la bisagra.*



Fuente: Elaboración propia.

El material que se utiliza para este diseño es el acero ASTM A36 con esto se deduce la ecuación 43.

$$\frac{R'_O}{d * \sigma_{adm}} \leq t \quad (43)$$

$$t \geq 19.24 \text{ mm}$$

Se considera un espesor comercial.

$$t = 25 \text{ mm}$$

Una vez determinado el espesor de la plancha se calcula el esfuerzo por aplastamiento de la siguiente forma.

$$\sigma_{ap} = \frac{58.647 \text{ kN}}{25\text{mm} * 38.1\text{mm}} = 61.572 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene de la siguiente manera:

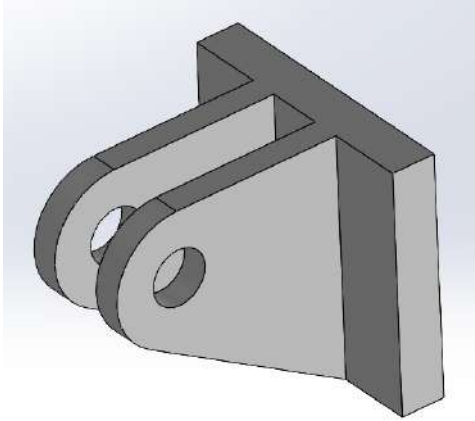
$$n_{ap} = \frac{250 \text{ MPa}}{61.572 \text{ MPa}} = 4.06$$

Se concluye que la plancha de ASTM A36 no falla o no se deforma por aplastamiento.

De igual manera se procede a calcular el espesor de la plancha del soporte fijo de la bisagra de la puerta el cual se muestra en le Figura 52.

**Figura 52**

*Soporte fijo de bisagra de la puerta del molde.*

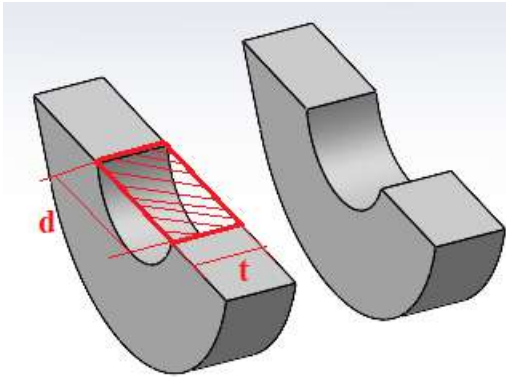


Fuente: Elaboración propia.

Con la ecuación 43 determinamos el espesor de plancha a utilizar, para este análisis el área de la sección se muestra en la Figura 53.

**Figura 53**

*Área de aplastamiento del soporte fijo de la puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa el área de aplastamiento es de las dos planchas razón por la cual se utiliza la fuerza  $F_{S1}$  o  $F_{S2}$  ya que son iguales.

$$t \geq \frac{29.324 \text{ kN}}{38.1 \text{ mm} * 80 \text{ MPa}} \geq 9.62 \text{ mm}$$

Consideramos un valor comercial de 12.7mm.



$$t = 12.7 \text{ mm}$$

Con este valor se calcula el esfuerzo por aplastamiento como sigue:

$$\sigma_{ap} = \frac{29.324 \text{ kN}}{12.7 \text{ mm} * 38.1 \text{ mm}} = 60.602 \text{ MPa}$$

El valor del factor de seguridad para este espesor de plancha es:

$$n_{ap} = \frac{250 \text{ MPa}}{60.602 \text{ MPa}} = 4.13$$

Con el cual se concluye que no falla por aplastamiento.

#### 4.2.2.3 Cálculo de ajuste y tolerancia dimensional

En esta sección se plantea para la bisagra con el pin, soporte inferior y superior con el pin del cilindro hidráulico las tolerancias admisibles para la fabricación de estas. Se calcula los ajustes para cumplir la finalidad del diseño de estos elementos.

Para la bisagra y el pin, soporte inferior y superior con el pin del cilindro hidráulico cuyos diámetros del eje son:

- bisagra y el pin (38.1mm).
- soporte superior (30mm).
- soporte inferior (25mm).

Se propone un ajuste según catálogo de Fluidtek H7 y se propone una posición de tolerancia f7 teniendo así para la bisagra y el pin 38.1 H7/f7:

##### Agujero 38.1 H7.

- Magnitud de tolerancia según ISO 286: (MT)<sub>agujero</sub> = 25μm
- Posición de tolerancia según ISO 286: (PT)<sub>agujero</sub> = 0μm

$$\varnothing_{\min; \text{agujero}} = 38.1 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\max; \text{agujero}} = 38.1 + 0.025 = 38.125 \text{ mm}$$

##### Eje 38.1 f7.

- Magnitud de tolerancia según ISO 286:  $(MT)_{\text{eje}} = -25\mu\text{m}$
- Posición de tolerancia según ISO 286:  $(PT)_{\text{eje}} = -50\mu\text{m}$

$$\varnothing_{\text{max; eje}} = 38.1 - 0.025 = 38.075\text{mm}$$

$$\varnothing_{\text{min; eje}} = 38.1 - 0.05 = 38.05\text{mm}$$

Se puede observar que  $(PT)_{\text{eje}} < (PT)_{\text{agujero}}$ : el ajuste es de juego limitado.

$$\text{Juego mínimo: } J_{\text{min}} = \varnothing_{\text{min; agujero}} - \varnothing_{\text{max; eje}} = 38.1\text{mm} - 38.075\text{mm} = 0.025\text{mm}.$$

$$\text{Juego máximo: } J_{\text{max}} = \varnothing_{\text{max; agujero}} - \varnothing_{\text{min; eje}} = 38.125\text{mm} - 38.05\text{mm} = 0.075\text{mm}.$$

Por lo tanto, la tolerancia de ajuste es:

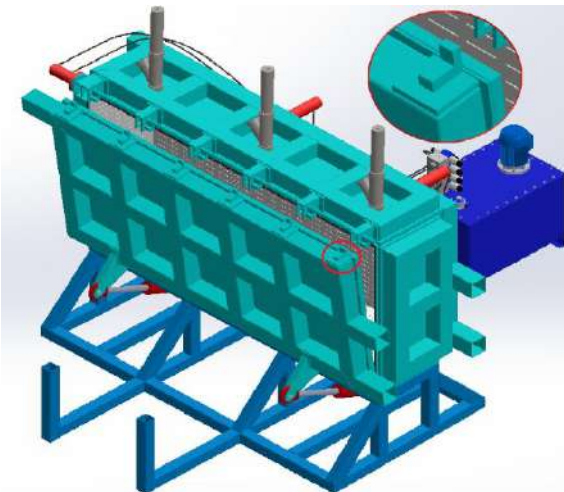
$$T_{\text{juego}} = J_{\text{max}} - J_{\text{min}} = 0.075\text{mm} - 0.025\text{mm} = 0.050\text{mm} = 50\mu\text{m}.$$

#### 4.2.3 Diseño del seguro de la puerta

El seguro de la puerta se muestra en la Figura 54 para esta se determina el área del seguro con la reacción en ese punto  $R_A$ , esta será dividida por los seis seguros. La reacción  $R_A$  estará afectada por un factor de sobre carga del 20%.

**Figura 54**

*Seguro de puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la fuerza que va ejercer sobre un seguro será:

$$F = \frac{R_A}{6} = \frac{294.064 * 1.2}{6} = 58.81 \text{ kN}$$

Para determinar el área donde se aplica la fuerza se debe verificar que cumpla la condición de:

$$\sigma_{ap} \leq \sigma_{adm,A36}$$

De donde se tiene la ecuación 44.

$$\frac{F}{\sigma_{adm,A36}} \leq A \quad (44)$$

$$A \geq \frac{58.81 \text{ kN}}{50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1176.256 \text{ mm}^2$$

Consideramos una sección cuadrada  $A = a \times a$ , con el valor de  $a$  es:

$$a \geq 34.29 \text{ mm.}$$

Por lo tanto, el valor de “a” debe ser mayor al calculado, en este caso será

$$a = 35 \text{ mm.}$$

#### **4.2.4 Diseño de la estructura base de la máquina de moldeo**

Para el diseño de la estructura base se considera un perfil estructural según la siguiente

Figura 55.

**Figura 55**

*Especificaciones aplicables de la ASTM a diversos perfiles estructurales.*

Tipo de acero	Designación de la ASTM	Esfuerzo mínimo de fluencia $F_y$ (klb/plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo <sup>a</sup> de tensión $F_u$ (klb/plg <sup>2</sup> )	Serie de perfiles aplicables									HSS		Tubo
				W	M	S	HP	C	MC	L	Rect.	Redondo			
Al carbono	A36	36	58–80 <sup>b</sup>												
	A53 Gr. B	35	60												
	A500	Gr. B	42	58											
			46	58											
		Gr. C	46	62											
	50		62												
	A501	Gr. A	36	58											
		Gr. B	50	70											
	A529 <sup>c</sup>	Gr. 50	50	65–100											
Gr. 55		55	70–100												
Baja aleación alta resistencia	A572	Gr. 42	42	60											
		Gr. 50	50	65 <sup>d</sup>											
		Gr. 55	55	55											
		Gr. 60 <sup>e</sup>	60	60											
		Gr. 65 <sup>e</sup>	65	65											
	A618 <sup>f</sup>	Gr. I & II	50 <sup>g</sup>	70 <sup>g</sup>											
		Gr. III	50	50											
	A913	50	50 <sup>h</sup>	60 <sup>h</sup>											
		60	60	75											
		65	65	80											
		70	70	90											
	A992	50	65 <sup>i</sup>												
	Baja aleación alta resistencia resistente a la corrosión	A242	42 <sup>j</sup>	63 <sup>j</sup>											
46 <sup>k</sup>			67 <sup>k</sup>												
50 <sup>l</sup>			70 <sup>l</sup>												
A588		50	70												
A847		50	70												

■ = Especificación recomendada para el material

■ = Otra especificación de material aplicable, cuya disponibilidad deberá confirmarse antes de la especificación

□ = La especificación de material no aplica

Fuente: (McCormac & Csernak, 2012).

Donde se considera para este cálculo un material cuya designación es ASTM A500 Grado B (ver ANEXO A) cuya especificación recomendada para el material es un HSS según la Figura 55.

Las propiedades para el material seleccionado de acero ASTM A500 Grado B se presentan en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Las propiedades para el material seleccionado acero ASTM A500 Grado B.*

<b>Esfuerzo de fluencia (MPa)</b>	<b>Esfuerzo a la tensión o esfuerzo ultimo (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (GPa)</b>	<b>Coefficiente de Poisson</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>
315	400	210	0.3	7.85

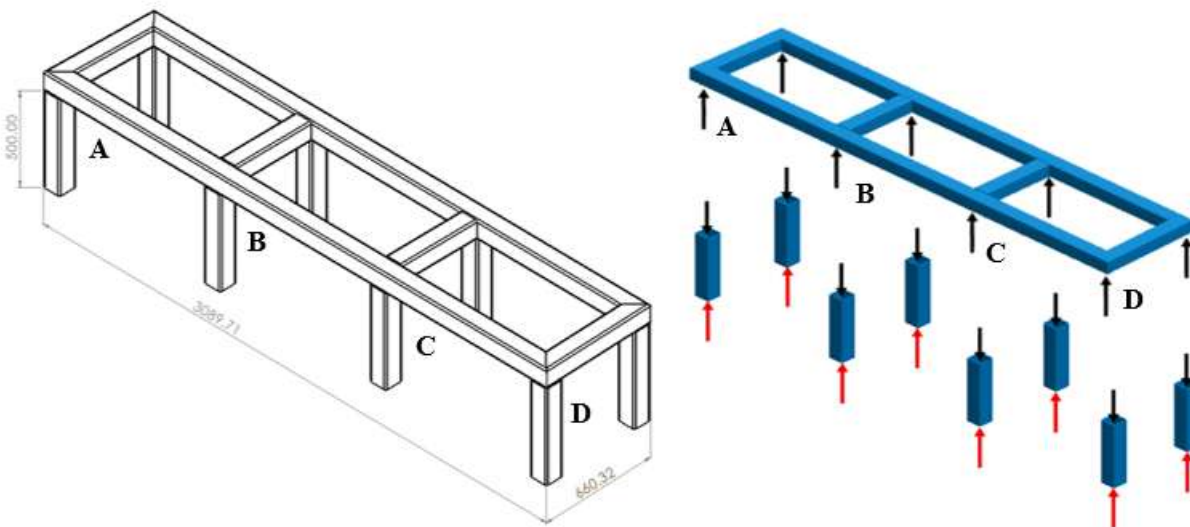
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4.1 Cálculo de reacciones en la viga

En la Figura 56 se muestra la configuración de la estructura base de la máquina de moldeo.

**Figura 56**

*Estructura base de la máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración propia.

La carga de la máquina de moldeo en los 3089.71 mm de la estructura base se encuentra encima de ella, teniendo una masa de 3520.98 kg cuyo peso es:

$$\text{Peso de la máquina de moldeo: } (9.81\text{m/s}^2) (3520.98\text{kg}) = 34540.81 \text{ N}$$

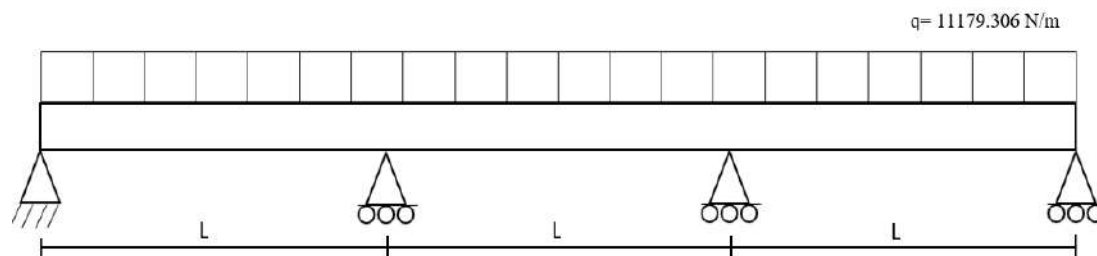
La carga distribuida que soporta la estructura base generada por el peso de la máquina de moldeo es:

$$q = \frac{34540.81 \text{ N}}{3.089 \text{ m}} = 11179.306 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

La carga distribuida se muestra en la Figura 57.

**Figura 57**

*Carga distribuida sobre la estructura base de la máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración propia.

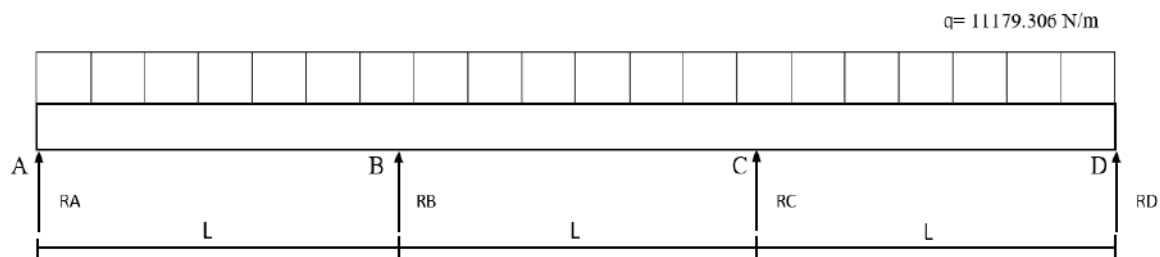
Donde:

$$L = \frac{3.08971 \text{ m}}{3} = 1.029 \text{ m}$$

Al realizar el análisis de la figura 56 y como las separaciones o claros de los apoyos son de la misma longitud concluimos que son simétricos, donde las reacciones  $R_A = R_D$  y  $R_B = R_C$  es así que se tiene la Figura 58.

**Figura 58**

*Reacciones en los apoyos.*



Fuente: Elaboración propia.

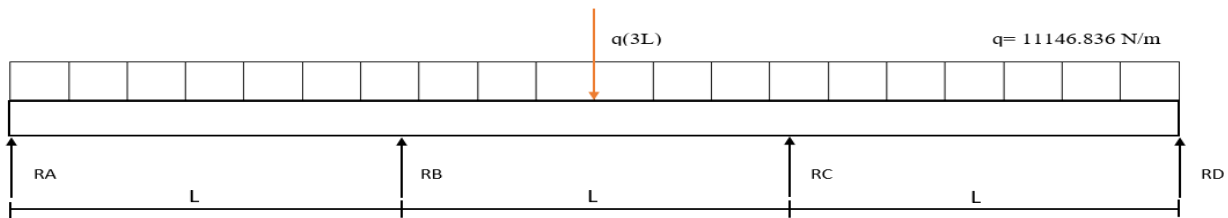
Por la simetría que guardan con respecto al centro de la viga en distancia y carga tenemos que

$$R_A = R_D \text{ y } R_B = R_C$$

Se determina las reacciones de los apoyos con las ecuaciones de equilibrio de la siguiente Figura 59.

### Figura 59

*D.C.L. de la viga.*



Fuente: Elaboración propia.

Mediante la ecuación 31 se tiene:

$$R_B(L) + R_C(2L) + R_D(3L) - q(3L)\left(\frac{3L}{2}\right) = 0 \quad (45)$$

Al reemplazar las reacciones que son iguales en la ecuación 45 se tiene:

$$R_D = \frac{3qL}{2} - R_B \quad (46)$$

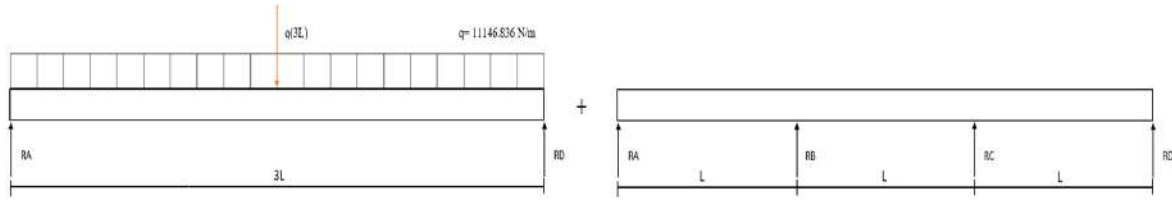
Como se observa la Figura 59 es una viga hiperestática el cual manifiesta que con las ecuaciones de equilibrio no se obtendrá el valor de las reacciones. Para obtener el valor de las reacciones se utiliza el método de superposición en vigas.

Al emplear el método de la superposición, el DCL principal mostrada en la Figura 59 se divide en dos configuraciones como la mostrada en la Figura 60 siguiente a la derecha se presenta la primera configuración y a la izquierda la segunda configuración las cuales podemos encontrar en tabla de libros de resistencia de materiales.

- En esta primera suposición se toma como redundante a las reacciones  $R_B$  y  $R_C$
- Ambas configuraciones las podemos encontrar en las tablas de resistencia de materiales

**Figura 60**

*Configuración para el método de la superposición.*



Fuente: Elaboración propia.

Como la reacción  $R_B$  es la redundante entonces calculamos la deflexión en el punto B para ambas configuraciones.

Con respecto al punto B y al eje coordenado vemos que la deflexión de la primera configuración sería hacia abajo y la deflexión sería negativa mientras que en la segunda configuración la deflexión sería positiva.

Por lo tanto, se concluye que la deflexión en el punto B no sube ni baja teniéndose así la siguiente ecuación 47.

$$(\delta_0)_q + (\delta_0)_{R_B} = 0 \quad (47)$$

Para determinar las deflexiones producidas por la carga distribuida y cargas puntuales se utiliza las tablas de deflexión de vigas del libro de resistencia de materiales (Gere & Goodno, 2009).

- Tabla G2 (1) para la primera configuración (Gere & Goodno, 2009).
- Tabla G2 (6) para la segunda configuración (Gere & Goodno, 2009).

Para la primera configuración con carga distribuida se tiene que la deflexión en el punto B, se tiene la ecuación 48.

$$(\delta_0)_q = V = -\frac{qx}{24EI}(L^3 + 2LX^2 + X^3) \quad (48)$$

Reemplazando los valores de  $x$  y  $L$  en la ecuación 48 se tiene:



$$(\delta_0)_q = V = -\frac{qx}{24EI}((3L)^3 + 2(3L)(L)^2 + L^3)$$

Y para la segunda configuración con cargas puntuales se tiene la deflexión en el punto B, se tiene la ecuación 49.

$$(\delta_0)_{R_B} = V = -\frac{PX}{6EI}(3aL - 3a^2 - X^2) \quad (49)$$

Reemplazando los valores de x y L en la ecuación 49, se obtiene.

$$(\delta_0)_{R_B} = V = -\frac{(-R_B)L}{6EI}(3(L)(3L) - 3L^2 - L^2)$$

Se reemplaza en la ecuación 47, se tiene:

$$-\frac{qx}{24EI}((3L)^3 + 2(3L)(L)^2 + L^3) - \frac{(-R_B)L}{6EI}(3(L)(3L) - 3L^2 - L^2) = 0$$

Al resolver se obtiene el valor de  $R_B$  mostrado en la ecuación 50.

$$R_B = \frac{11}{10}qL \quad (50)$$

Reemplazando la ecuación 50 en 46 se obtiene el valor de  $R_A$ .

$$R_A = \frac{2}{5}qL \quad (51)$$

Obteniéndose las siguientes cantidades.

$$R_A = 4605.44 \text{ N}$$

$$R_B = 12664.96 \text{ N}$$

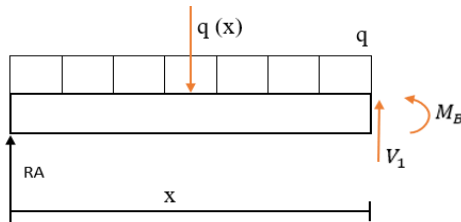
Se grafica el diagrama de fuerza cortante y momento flexionante, para lo cual se determina mediante tramos.

- Tramo 1: A – B;  $0 < X < L$
- Tramo 2: A – C;  $L < X < 2L$
- Tramo 3: A – D;  $2L < X < 3L$

Tramo 1, realizamos los cálculos de fuerzas internas en el punto B como se muestra en la Figura 61.

**Figura 61**

*Tramo A – B.*



Fuente: Elaboración propia.

Se aplica las ecuaciones de equilibrio ya mencionadas, de la ecuación 31 se tiene:

$$V_1 + R_A - qx = 0$$

$$V_1 = qx - \frac{2}{5}qL$$

Se observa que cuando  $V_1=0$  la pendiente es cero, donde el valor de  $x$  indica el lugar donde la pendiente será cero.

$$x = \frac{2}{5}L$$

Con la ecuación de equilibrio respecto al punto B como la ecuación 29 se tiene:

$$-R_A(x) + qx(x) + M_B = 0$$

$$M_B = \frac{2}{5}qLx - \frac{qx^2}{2}$$

Para  $x = L$  se tiene:

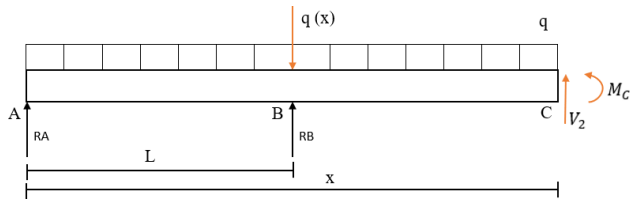
$$V_1 = \frac{3}{5}qL = \frac{3}{5}\left(11179.306\frac{N}{m}\right)(1.029m) = 6908.16\text{ N}$$

$$M_B = \frac{qL^2}{10} = \frac{(11179.306\frac{N}{m})(1.029m)^2}{10} = 1185.78\text{ N} - m$$

Tramo 2 se muestra en la Figura 62, para este tramo los cálculos lo realizamos en el punto C con el cual se determina la fuerza cortante y momento flexionante con las ecuaciones de equilibrio.

**Figura 62**

Tramo 2: A – C.



Fuente: Elaboración propia.

Con la ecuación 31 se tiene para la fuerza cortante en el punto C.

$$V_2 + R_A + R_B - qx = 0$$

$$V_2 = qx - \frac{2}{5}qL - \frac{11}{10}qL$$

Como en el caso anterior la pendiente es cero cuando  $V_2 = 0$  con la cual la posición a la cual la pendiente es cero está dada por:

$$0 = qx - \frac{2}{5}qL - \frac{11}{10}qL$$

$$x = \frac{3}{2}L$$

Con la ecuación de equilibrio respecto al punto C como la ecuación 29 se obtiene:

$$-R_A(x) - R_B(x - L) + qx\left(\frac{x}{2}\right) + M_C = 0$$

$$M_C = \frac{2}{5}qLx + \frac{11}{10}qL(x - L) - \frac{qx^2}{2}$$

Para  $x = 2L$  en el extremo del tramo 2 se tiene:

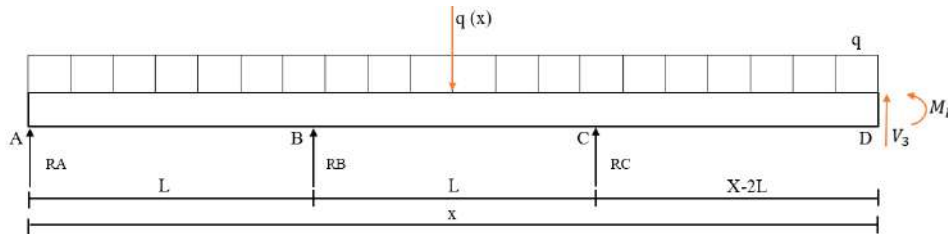
$$V_2 = \frac{qL}{2} = \frac{(11179.306 \frac{N}{m})(1.029m)}{2} = 5756.802 \text{ N}$$

$$M_C = \frac{qL^2}{10} = \frac{(11179.306 \frac{N}{m})(1.029m)^2}{10} = 1185.78 \text{ N} \cdot m$$

Tramo 3 se muestra en la Figura 63, el cálculo se realiza en el extremo D para determinar la fuerza cortante y momento flexionante.

**Figura 63**

*Tramo A – D.*



Fuente: Elaboración propia.

Con la ecuación 31 se tiene la fuerza cortante  $V_3$ .

$$V_3 + R_A + R_B + R_C - qx = 0$$

$$V_3 = qx - \frac{26}{10}qL$$

Cuando  $V_3=0$  la pendiente es cero, este punto es

$$0 = qx - \frac{26}{10}qL$$

$$x = \frac{13}{5}L$$

Con la ecuación de equilibrio respecto al punto D como la ecuación 29 se obtiene:

$$-R_A(x) - R_B(x - L) - R_C(x - 2L) + qx\left(\frac{x}{2}\right) + M_D = 0$$

$$M_C = \frac{13}{5}qLx - \frac{33}{10}qL^2 - \frac{qx^2}{2}$$

Donde:

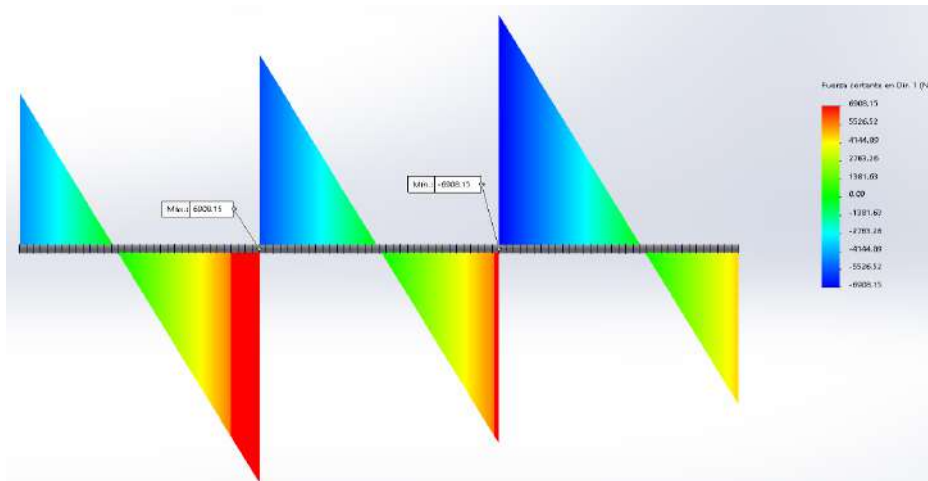
$$V_3 = \frac{2}{5}qL = \frac{2}{5}\left(11179.306\frac{N}{m}\right)(1.029m) = 4605.44\text{ N}$$

$$M_D = 0$$

Por lo tanto, el diagrama de fuerza cortante se presenta en la Figura 64.

**Figura 64**

*Diagrama de fuerza cortante.*

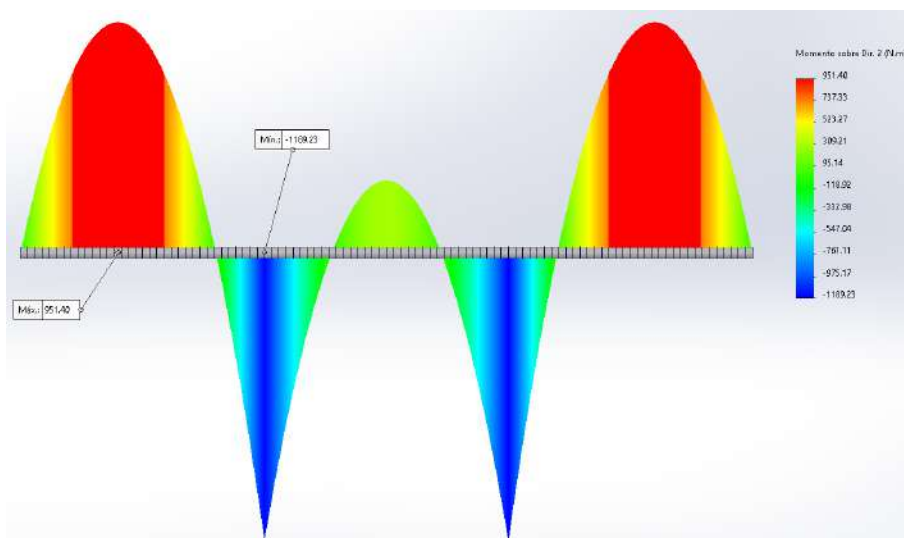


Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de momento flexionante se muestra en la Figura 65.

**Figura 65**

*Diagrama del momento flector.*



Fuente: Elaboración propia.

Donde el momento máximo esta dado por:

$$M_{max} = \frac{qL^2}{10} = \frac{(11179.306 \frac{N}{m})(1.029m)^2}{10} = 1185.78 N - m$$

#### 4.2.4.2 Selección del perfil de la viga

Una vez determinado los esfuerzos y diagramas de fuerza cortante y momento flector procedemos a determinar el módulo de sección, para lo cual se usa la ecuación 52:

$$\sigma_d = \frac{S_Y}{N} \quad (52)$$

La ecuación 52 representa al esfuerzo del material, donde:

$S_Y$ = Esfuerzo de fluencia del material: 315 MPa

$n$ = factor de seguridad: 3

$$\sigma_f = \frac{M_F C}{I} = \frac{M_f}{W_X} \quad (53)$$

La ecuación 53 representa el esfuerzo de diseño, donde:

$M_f$ = Momento máximo

$W_X$ = Modulo de sección

Se sabe que el esfuerzo del material es mayor que el esfuerzo de diseño, para evitar que falle el perfil seleccionado, el cual está dado por la ecuación 54.

$$\sigma_d \geq \sigma_f \quad (54)$$

Al reemplazar el esfuerzo de diseño y el esfuerzo del material en la ecuación 54 se tiene:

$$W_X = \frac{M_f n}{S_Y} \quad (55)$$

La ecuación 54 representa el módulo de sección, esta debe estar en unidades de  $\text{cm}^3$ , al reemplazar las cantidades del momento máximo, factor de seguridad y el fuerza de fluencia del material se tiene:

$$W_x = 11.30 \text{ cm}^3$$

Para seleccionar el perfil adecuado entramos a tablas de perfiles estructurales como la que se muestra en la Figura 66 y buscamos un módulo de sección ( $W_x$ ) mayor al valor calculado del catálogo de aceros Arequipa para obtener perfiles comerciales se selecciona un perfil HSS 75x75x2mm.

**Figura 66**

*Perfil HSS.*

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
50	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
60	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
70	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
75	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87

Fuente: Catálogo IPAC

Se muestra un resumen del perfil seleccionado en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Perfil seleccionado para la estructura base de la máquina de moldeo.*

DIMENSION ESPECIFICA	ESPESOR (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	MOMENTO DE INERCIA	MÓDULO ELASTICO
			I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )
75 x 75	2	5.74	50.50	13.47

Fuente: Elaboración propia.

Se verifica la fluencia en la viga con la ecuación 56.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} \quad (56)$$

Donde:

$$\tau = \frac{V_{max}}{A}$$

V<sub>max</sub>; fuerza cortante máxima: 6908.162 N

Al reemplazar los valores en la ecuación 56 se tiene el esfuerzo equivalente.

$$\sigma_{eq} = 88.03 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad para el perfil seleccionado.

$$n = \frac{S_Y}{\sigma_{eq}} = \frac{315 \text{ MPa}}{88.03} = 3.57$$

El factor de seguridad garantiza que no fallara el perfil seleccionado

#### 4.2.4.3 Selección del perfil de la columna

Para realizar la selección del perfil de la columna de la estructura base de la máquina de moldeo se recurre a la mayor reacción hallada en la anterior sección el cual es:

$$R_B = 12664.96 \text{ N}$$



En la Figura 67 se muestran la representación de la estructura base, donde se observa cuatro patas o columnas de la estructura, razón por la cual la fuerza que se utilizara para realizar los cálculos y seleccionar el perfil está dado por:

$$F_{eq} = R_B = 12664.96N$$

**Figura 67**

*Estructura base de la máquina de moldeo (columna).*



Fuente: Elaboración propia.

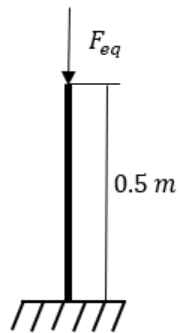
Una vez determinado la fuerza que se aplica a la columna procedemos a realizar el cálculo por pandeo para lo cual se requiere la longitud de la columna de la estructura base esta es:

$$L_{column} = 0.5 m$$

Figura 68 es una representación de la columna o pata de la estructura base de la máquina de moldeo.

**Figura 68**

*Representación de la columna o pata de la estructura base.*



Fuente: Elaboración propia.

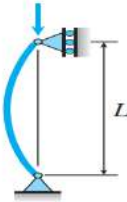
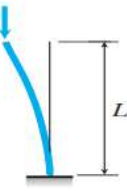
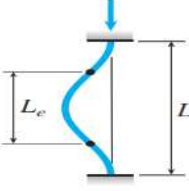
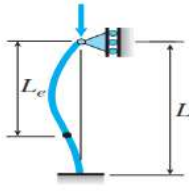
Para cálculo por pandeo se requiere determinar la longitud equivalente, el cual se determina con la ecuación 57.

$$L_{efe} = K * L \quad (57)$$

Donde K está relacionado con la configuración de la columna como se muestra en la Figura 69.

**Figura 69**

*Configuración de columnas.*

(a) Columna articulada-articulada	(b) Columna empotrada-libre	(c) Columna empotrada-empotrada	(d) Columna empotrada-articulada
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{L^2}$
			
$L_e = L$	$L_e = 2L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 0.699L$
$K = 1$	$K = 2$	$K = 0.5$	$K = 0.699$

Fuente: (Gere & Goodno, 2009).

Para nuestro caso se tendrá una configuración de la columna con un extremo empotrado y el otro extremo libre como el caso b de la Figura 69, donde el factor  $K=2$ , por la simetría que guarda.

Reemplazando valores se tiene.

$$L_{efe} = 100 \text{ cm}$$

Para encontrar la sección del perfil analizamos la esbeltez mecánica de una pieza simple de sección constante. La esbeltez mecánica  $\lambda$  en el plano perpendicular a un eje de inercia de la sección se presenta en la ecuación 58.

$$\lambda = \frac{L_{efe}}{r} \quad (58)$$

Donde:

r: radio de giro

Según (Gere & Goodno, 2009) en su libro Mecánica de Materiales cuando un elemento en compresión es muy corto esta puede fallar por fluencia o aplastamiento, por lo tanto, no implica consideraciones de pandeo o estabilidad.

$$\lambda \leq \lambda_c ; \lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 * E}{S_y}} = 81.12$$

Para la condición donde la esbeltez real sea menor a la esbeltez critica se tendrá una radio de giro mayor a 1.45 cm ( $r = 1.45\text{cm}$ ), de la Figura 70 el perfil se selecciona de acuerdo al radio de giro para este caso se utiliza el catálogo de IPAC de donde se tiene el perfil para este radio de giro 40x40x4mm.

**Figura 70**

*Perfil de estructura base para la columna.*

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
B	e	A	P	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
50	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
60	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
70	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
75	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
90	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,06	2,87
	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53

Fuente: Catálogo IPAC

En la Tabla 25 se muestra el resumen del perfil tentativos a seleccionar los cuales deben encontrarse en el mercado local.

**Tabla 25**

*Resumen del perfil tentativo a seleccionar.*

DIMENSION ESPECIFICA	ESPESOR (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	MOMENTO DE INERCIA	MÓDULO ELASTICO	RADIO DE GIRO
			Ixx (cm <sup>4</sup> )	Wx (cm <sup>3</sup> )	r (cm)
40x40	3	4.21	9.36	4.68	1.49
40x40	2	2.94	6.95	3.47	1.54
75x75	2	5.74	50.50	13.47	2.97

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa la Tabla 25, el perfil que se puede utilizar es el de 40x40 para espesores de 2 y 3mm cuyo radio de giro es mayor al calculado. En la sección anterior donde se seleccionó el perfil de la viga de 75x75x2mm, se puede utilizar este perfil con la finalidad de uniformizar los perfiles tanto para la viga como para la columna, es así que se selecciona el perfil de 75x75x2mm.

Procedemos a calcular el esfuerzo crítico con la ecuación 59 ecuación de Johnson para la condición anterior.

$$\sigma_{cr} = \left( 1 - \frac{\lambda^2}{(2 * \lambda_c)^2} \right) * S_y \quad (59)$$

$$\lambda = 33.67$$

$$\sigma_{cr} = 301.433 \text{ MPa}$$

Se determina se fallará por aplastamiento con la ecuación 60.

$$\sigma_{ap} = \frac{P}{A} \quad (60)$$

$$\sigma_{ap} = 22.064 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado no corre peligro de aplastamiento ya que es menor al esfuerzo de fluencia del material.

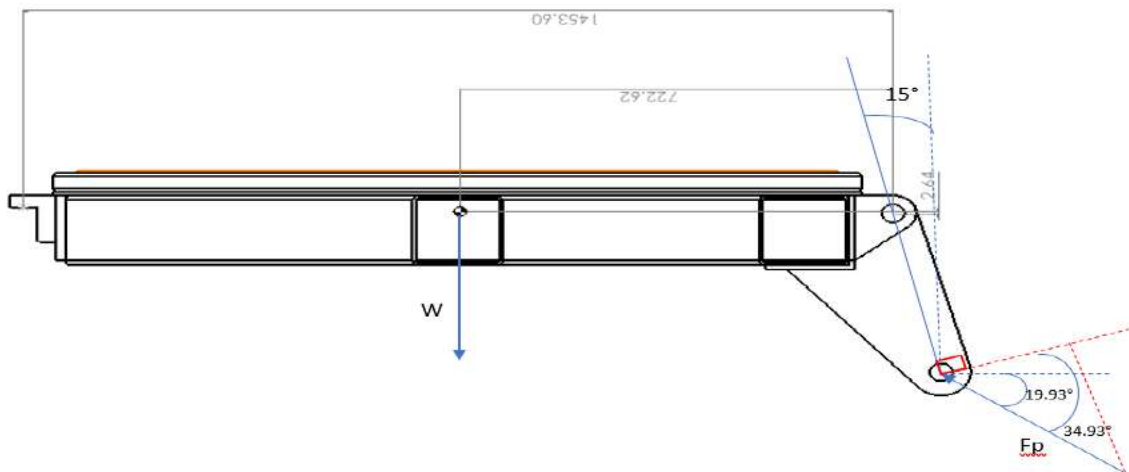
#### 4.2.5 Cálculo para dimensionar el cilindro hidráulico.

El cilindro hidráulico debe tener la capacidad de mantener la carga en la posición crítica, esta se genera cuando la puerta de la máquina de moldeo está abierta y se encuentra a  $90^\circ$  respecto a la posición en la cual se encontraba cerrada, en la Figura 71 se presenta el diagrama de cuerpo libre en la posición crítica.

El peso de la puerta de la máquina de moldeo se obtiene mediante el instrumento computacional del software SOLIDWORKS 2022.

**Figura 71**

*D.C.L en la posición crítica de la puerta de máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración propia.

Para encontrar el valor de la fuerza  $F_p$  el sistema debe encontrarse en equilibrio, para lo cual, la ecuación 29 indica que la sumatoria de fuerzas en el punto O es cero, donde se considera el sentido antihorario como positivo.

$$-F_p * \cos(34.93^\circ) * (OC) + W * (OB) = 0$$

$$F_p = 26.702 \text{ kN}$$

Como se tienen dos cilindros hidráulicos para la apertura y cierre de la puerta de la máquina de moldeo la fuerza del cilindro hidráulico se divide para cada uno como sigue:

$$F_p = \frac{26.702 \text{ kN}}{2} = 13.351 \text{ kN}$$

Se realiza un sobre carga del 20% según (CASO, 2008) a la carga hallada con lo cual se tiene:

$$F_p = 13.351 \text{ kN} * 1.2 = 16.02 \text{ kN}$$

Diámetro del vástago es:

$$I: \text{ momento de inercia } I = \frac{\pi * D^4}{64}$$

$$L_k = 1330 \text{ mm}$$

$$F_p = \frac{\pi^2 * E * I}{L_k^2 * n} \text{ por lo tanto; } D_v = \sqrt[4]{\frac{64 * n * F_p * L_k^2}{\pi^3 * E}} = 31.047 \text{ mm}$$

Diámetro del embolo es:

$$P_{\max} = 200 \text{ bar} = 20 \text{ MPa}$$

$$P_{\max} = \frac{F_p}{\frac{\pi * D_e^2}{4}} \text{ por lo tanto; } D_e = \sqrt{\frac{4 * F_p}{\pi * P_{\max}}} = 32.03 \text{ mm}$$

Para la expulsión de los bloques de EPS la fuerza de los cilindros hidráulicos se determina por la fricción del bloque con las paredes de la máquina de moldeo en este caso son 4, donde:

$$A_1 = A_2 = 3 * 0.64 = 1.92 \text{ m}^2$$

$$A_3 = A_4 = 1.25 * 0.64 = 0.88 \text{ m}^2$$

$$m = \rho * V = (15 \text{ kg/m}^3) * (2.4 \text{ m}^3) = 36 \text{ kg}$$

$$W_b = m * g = (36 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 353.16 \text{ N}$$

Para este caso se considera que el peso del bloque será la presión sobre cada cara de la máquina de moldeo teniéndose así:

$$p_e = \frac{W}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} = 64.919 \text{ Pa}$$

Determinamos la fuerza de fricción sobre las paredes de la máquina de moldeo, donde:

$$\mu = 0.35.$$

$$F_{f1} = F_{f2} = \mu * p * A_{1,2} = 43.627 \text{ N}$$

$$F_{f3} = F_{f4} = \mu * p * A_{3,4} = 18.177 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza necesaria para expulsar el bloque de EPS es:

$$F_e = W + F_{fT} = 476.766 \text{ N}$$

$$F_e = 238.383 \text{ N (fuerza de un solo cilindro).}$$

Se utiliza un factor de sobre carga del 20% siendo entonces la fuerza del cilindro.

$$F_{c,e} = 238.383 * 1.2 = 286.06 \text{ N}$$

$$D_v = \sqrt[4]{\frac{64 * n * F_e * L_k^2}{\pi^3 * E}} = 12.836 \text{ mm}$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * F_e}{\pi * P_{max}}} = 4.267 \text{ mm}$$

Para el cilindro hidráulico que accionara el seguro de la puerta se tiene:

$$A = 0.003125 \text{ m}^2$$

$$m_{\text{eje seguro}} = 30.85 \text{ kg}$$

$$W_{\text{eje seguro}} = m * g = 302.639 \text{ N}$$

$$p_{e,s} = \frac{W_{e,s}}{6 * A} = 16140.74 \text{ Pa}$$

Determinamos la fuerza de fricción entre metal y metal, donde  $\mu = 0.62$

$$F_{f; e,s} = \mu * p * A_1 = 187.636 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza necesaria para accionar el eje y seguros es:

$$F_{e,s} = W + F_{fT} = 490.276 \text{ N}$$

Se utiliza un factor de sobre carga del 20% siendo entonces la fuerza del cilindro.

$$F_{c; e,s} = 490.276 * 1.2 = 588.329 \text{ N}$$

$$D_v = \sqrt[4]{\frac{64 * n * F_e * L_k^2}{\pi^3 * E}} = 8.36 \text{ mm}$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * F_e}{\pi * P_{max}}} = 6.12 \text{ mm}$$

#### 4.2.5.1 Selección del cilindro hidráulico

Para la selección del cilindro hidráulico se debe considerar la longitud del vástago el cual es de 840mm, esta será articulada en ambos extremos esta debe soportar la carga de 16.02 kN manteniendo rigidez, para lo cual se dirige al catálogo de Fluidtek mostrado en el Anexo B, se selecciona un cilindro hidráulico adecuado.

El cilindro hidráulico para la apertura y cierre de la puerta, expulsión del bloque de EPS y accionamiento del eje y seguro seleccionados es N° 44828 56 – 62 – 490mm, N° 44824 55 – 60 – 650mm y N° 44801 55 – 60 – 65mm respectivamente, estas representan cilindros hidráulicos de 50mm x 32mm x 490mm, 40mm x 20mm x 650mm y 40mm x 20mm x 65mm (ver ANEXO B) con sujeción por rótula en el vástago para el cilindro hidráulico de apertura y cierre de la puerta, las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 26.

Según el fabricante Fluidtek el material del vástago es un acero AISI 1045 el cual se muestra en ANEXO C.

Del catálogo del fabricante se tiene que la rótula tiene un ajuste H7, una conexión hidráulica el pistón G1/2”.

**Tabla 26**

*Especificaciones técnicas del cilindro hidráulico.*

DESIGNACIÓN	DISPOSICIÓN
Tipo	Pistón de doble efecto
Tipo de apoyo	Pívot superior
Diámetro del embolo ( $D_e$ )	50mm
Diámetro del vástago ( $D_v$ )	32mm
Carrera del vástago ( $L_v$ )	490mm
Diámetro de la rótula	30mm
Presión máxima de trabajo	200 bar
Presión de prueba	300 bar
Material de vástago	AISI 1045 (CK45)

Fuente: Elaboración propia – Adaptada de Fluidtek.



La longitud efectiva del cilindro hidráulico está determinada por la longitud desde el punto de articulación hacia el otro extremo del cilindro hidráulico cuando el vástago está completamente extendido.

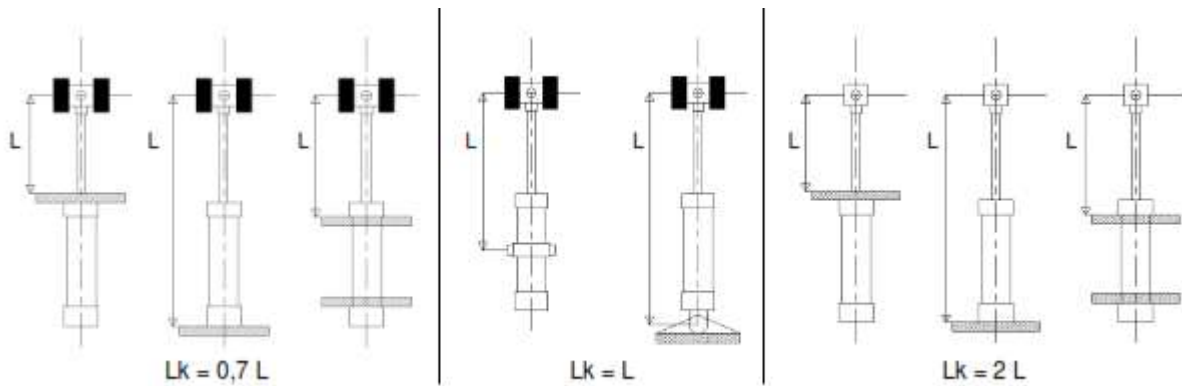
Para nuestro análisis la longitud efectiva es:

$$L_k = 840\text{mm} + 490\text{mm} = 1330$$

La Figura 72 muestra los tipos de sujeción que servirá para determinar el pandeo de columnas.

**Figura 72**

*Tipo de sujeción.*



Fuente: (Pospisil, 2007).

#### 4.2.5.2 Verificación de la capacidad de carga del cilindro hidráulico

##### 4.2.5.2.1 Verificación por pandeo

Una vez seleccionando el cilindro hidráulico comprobamos mediante pandeo con la ecuación 61 de Euler.

$$F = \frac{\pi^2 * E * I}{n * L_k^2} \quad (61)$$

Para un grado de esbeltez.

$$\lambda > \lambda_g$$

$$\lambda = 4 * L_K \quad (62)$$

$$\lambda_g = \sqrt{\frac{E}{0.8 * S_y}} \quad (63)$$

Donde:

F: fuerza de pandeo.

E: módulo de elasticidad para el acero AISI 1045 210 GPa.

I: momento de inercia del vástago.

n: factor de seguridad 3.5 según (Pospisil, 2007).

$\lambda$ : grado de esbeltez.

$\lambda_g$ : grado de esbeltez admisible.

$S_y$ : límite de fluencia del vástago AISI 1045: 340 MPa.

De la ecuación 62 se tiene el grado de esbeltez:

$$\lambda = 4 * L_K = 4 * 1330 = 5320mm$$

Se resuelve la ecuación 63 para obtener el grado de esbeltez admisible.

$$\lambda_g = \sqrt{\frac{210000MPa}{0.8 * 340MPa}} = 27.786$$

De la condición se cumple  $\lambda > \lambda_g$

Con la ecuación 61 se determina la fuerza de pandeo.

$$F = \frac{\pi^2 * 210000 MPa * \pi * 32^4 mm^4}{64 * 3.5 * 1330^2 mm^2} = 17.23 kN$$

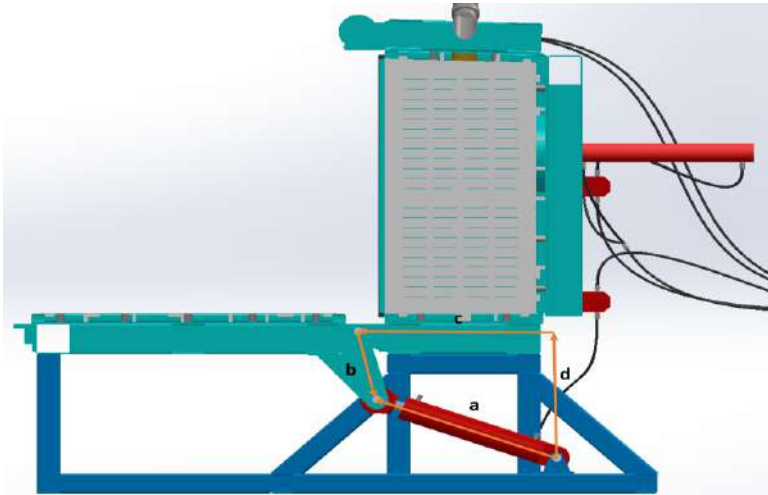
Donde se comprueba que  $F_P = 13.35 < 17.23 kN$ ; del cual se concluye que el cilindro hidráulico no fallara por pandeo.

#### 4.2.6 Análisis del mecanismo de apertura y cierre de la puerta

En la Figura 73 se realiza el trazo el lazo vectorial el cual nos permite determina el análisis cinemático de posicionamiento, velocidades y aceleración del cilindro hidráulico.

**Figura 73**

*Trazo del lazo vectorial.*



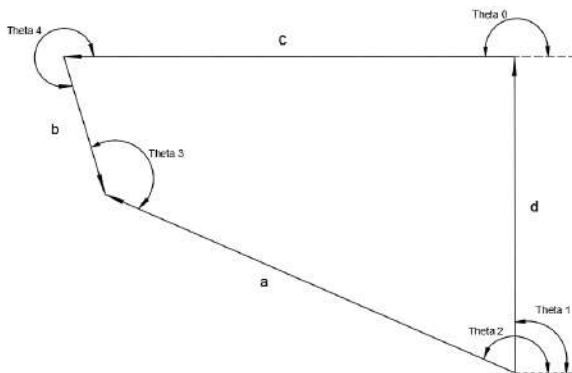
Fuente: Elaboración propia.

##### 4.2.6.1 Ecuación de posicionamiento

Para determinar la ecuación de posicionamiento se presenta el lazo vectorial de posicionamiento en la Figura 74.

**Figura 74**

*Lazo vectorial del mecanismo de apertura y cierre de la puerta.*



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Figura 74 se procede a escribir el lazo vectorial de posicionamiento, del cual se tiene la siguiente ecuación de lazo vectorial.

$$\vec{a} - \vec{b} - \vec{c} - \vec{d} = 0$$

La ecuación 64 presenta las funciones que se desprenden del lazo vectorial tanto para la parte real e imaginaria.

$$\begin{aligned} f_1 &= a \cos \theta_2 - b \cos \theta_4 + c = 0 \\ f_2 &= a \sin \theta_2 - b \sin \theta_4 - d = 0 \end{aligned} \quad (64)$$

El jacobiano se presenta como:

$$A_j = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_4} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_2}{\partial \theta_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a \sin \theta_2 & b \sin \theta_4 \\ a \cos \theta_2 & -b \cos \theta_4 \end{bmatrix} \quad (65)$$

#### 4.2.6.2 Ecuación de velocidades

Para obtener las ecuaciones de velocidades se deriva la ecuación 64, resultando la ecuación 66.

$$\begin{aligned} -aw_2 \sin \theta_2 + \dot{a} \cos \theta_2 + bw_4 \sin \theta_4 &= 0 \\ aw_2 \cos \theta_2 + \dot{a} \sin \theta_2 - bw_4 \cos \theta_4 &= 0 \end{aligned} \quad (66)$$

#### 4.2.6.3 Ecuación de aceleraciones

De igual forma que para la obtención de las velocidades se realiza la derivada de la ecuación 66, y se obtiene la ecuación 67.

$$\begin{aligned} -aw_2^2 \cos \theta_2 - w_2 \dot{a} \sin \theta_2 - a\alpha_2 \sin \theta_2 - w_2 \dot{a} \sin \theta_2 + \ddot{a} \cos \theta_2 + bw_4^2 \cos \theta_4 + b\alpha_4 \sin \theta_4 &= \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \\ -aw_2^2 \sin \theta_2 + w_2 \dot{a} \cos \theta_2 + a\alpha_2 \cos \theta_2 + w_2 \dot{a} \cos \theta_2 + \ddot{a} \sin \theta_2 + bw_4^2 \sin \theta_4 - b\alpha_4 \cos \theta_4 &= \begin{pmatrix} 6 \\ 7 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

#### 4.2.6.4 Resultados del análisis del mecanismo

Con las ecuaciones anteriores de posicionamiento, velocidad y aceleración. Se obtiene los resultados con el método de Newton Raphson mediante el software de Matlab, teniendo en cuenta que la variable “a” se encontrara en la posición de 840mm, el cual es cuando la puerta se encuentra

abierta y variara hasta la posición en la que la puerta se encuentre cerrada  $a= 1330\text{mm}$ . Los valores que se mantendrán fijo son:

$$b= 350\text{mm}$$

$$c= 903.28\text{mm}$$

$$d= 633.86\text{mm}$$

A continuación, se muestran la variación del mecanismo del cilindro hidráulico para las posiciones, velocidades angulares y aceleraciones angulares las cuales se muestran en la Figuras 75, Figura 76 y Figura 77 respectivamente. El código de Matlab se muestra en el Anexo D.

$$V_{cu} = \frac{\text{carrera del vástago}}{\text{tiempo de salida del vástago}} \quad (68)$$

$$V_{cu} = \frac{490\text{mm}}{9\text{s}} = 54.44 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 0.0544 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

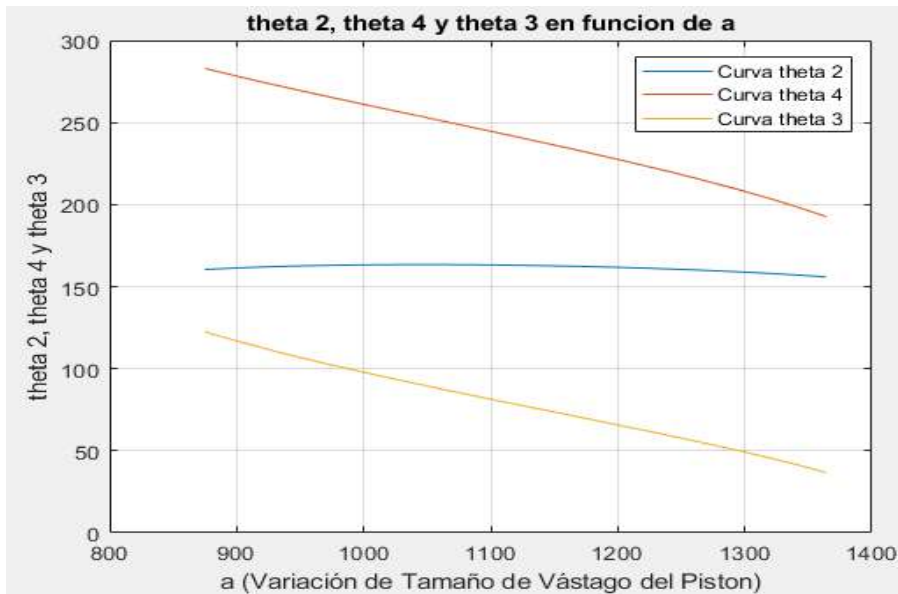
A continuación, se muestra la Tabla 27 donde se muestra los valores del análisis cinemático del mecanismo.

**Tabla 27**

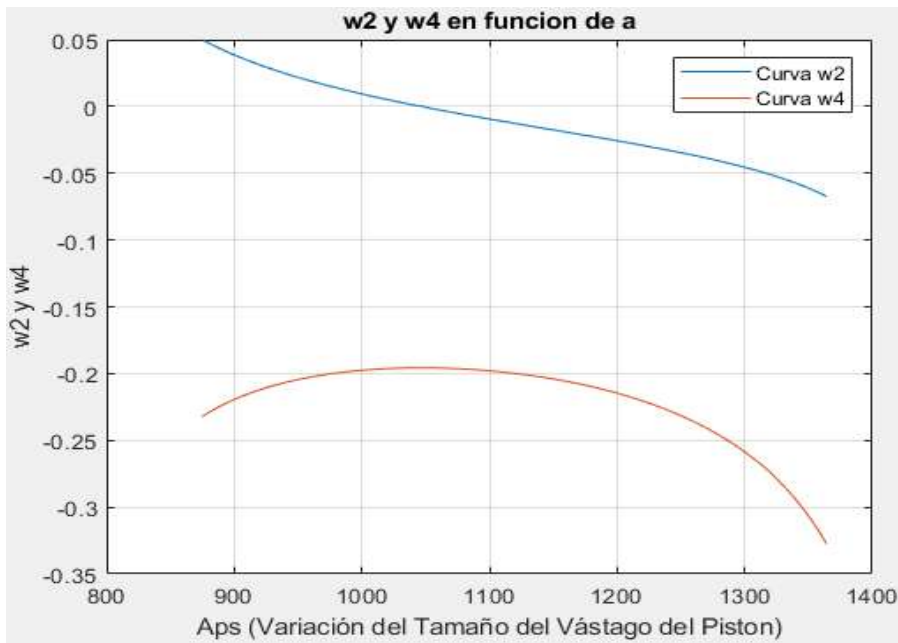
*Valores de posición, velocidad y aceleraciones al inicio y final.*

<b>a</b>	<b>02</b>	<b>04</b>	<b>03</b>	<b>W2</b>	<b>W4</b>	<b>α2</b>	<b>α4</b>
<b>(mm)</b>	<b>(°)</b>	<b>(°)</b>	<b>(°)</b>	<b>(rad/s)</b>	<b>(rad/s)</b>	<b>(rad/s<sup>2</sup>)</b>	<b>(rad/s<sup>2</sup>)</b>
840	160.1	285	124.9	0.0453	-0.1897	-0.0256	0.0311
1330	156.3	195	38.7	- 0.0511	- 0.2488	-0.0186	- 0.0614

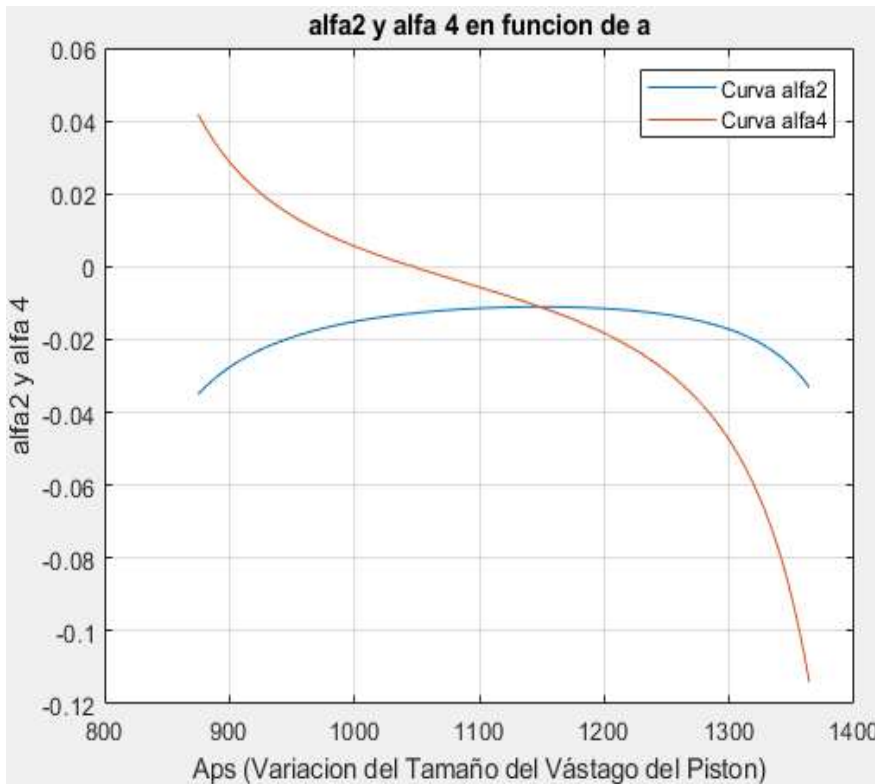
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 75***Posicionamiento del cilindro hidráulico*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 76***Velocidades angulares del cilindro hidráulico*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 77***Aceleraciones angulares*

Fuente: Elaboración propia.

De la graficas de aceleraciones y velocidades obtenidas mediante el uso del software Matlab son bajas, al ser bajas las velocidades y aceleraciones las cargas producidas durante el movimiento se concentran en las uniones de articulación razón por la cual según (CASO, 2008) se considera un 20% de exceso de carga.

#### **4.2.7 Cálculo de uniones soldadas**

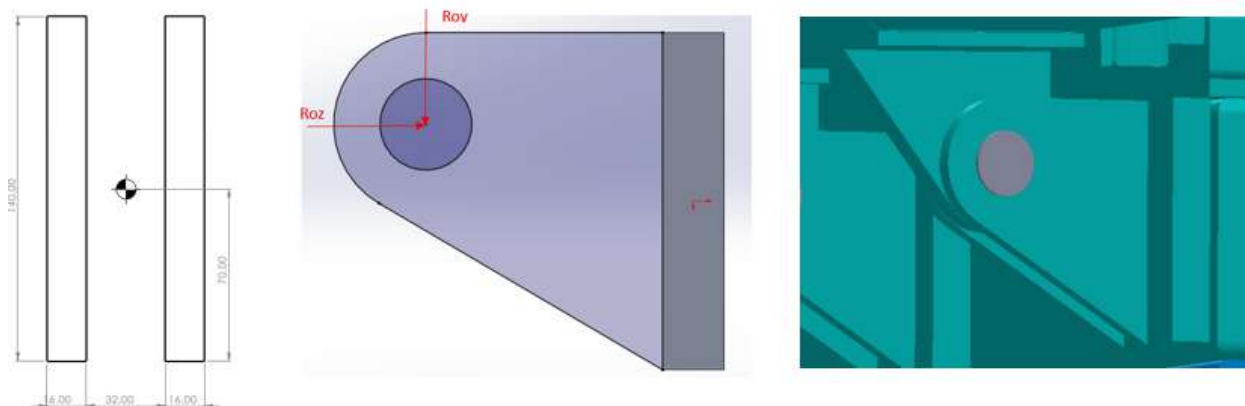
##### **4.2.7.1 Cálculo de la unión soldada de la bisagra**

##### **4.2.7.1.1 Cálculo de la unión soldada de la bisagra parte fija**

En la Figura 78 se muestra el DCL de las fuerzas que actúan sobre la bisagra en la parte fija.

**Figura 78**

*DCL de fuerzas sobre la bisagra parte fija.*



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.7.1.2 Cálculo por resistencia a la soldadura de la bisagra parte fija**

Para la unión de la bisagra con la base se elige el electrodo E70XX esta tiene una resistencia a la tensión de  $S_{ut} = 70ksi$  (482MPa) esfuerzo de fluencia de  $S_y = 57ksi$  (393MPa) y resistencia al corte  $S_s = 0.3S_{ut}$  para este análisis se considera un factor de seguridad de  $n \geq 3$ , el centroide se ubica en la mitad de la soldadura con las reacciones ya determinadas en la puerta de la bisagra se obtuvieron  $R_{oy} = 10.406$  kN y  $R_{oz} = 293.052$  kN se considera un 20% de exceso de carga. Siendo esta:

$$R'_{oy} = \frac{1.2 * R_{oy}}{6} = \frac{1.2 * 10.406}{6} = 2.08kN ; R'_{oz} = \frac{1.2 * R_{oz}}{6} = \frac{1.2 * 293.052}{6} = 58.61kN$$

Se determina las cargas en el cordón de la soldadura por lo tanto se tiene:

- Carga de corte directo.

$$f_s = \frac{R'_{oy}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oy}}{2 * espesor * long. sold} = \frac{2.08kN}{2 * 0.016m * 0.14m} = 0.465MPa$$

- Carga por compresión directa.

$$f'_w = \frac{R'_{oz}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oz}}{2 * espesor * long. sold} = \frac{58.61kN}{2 * 0.016m * 0.14m} = 13.083MPa$$



- Carga por flexión.

$$f_w'' = \frac{M * C}{I_{wx}}$$

$$M = R'_{oy} * (97.7mm) = 2.08kN * 97.7mm = 203.328kN - mm$$

$$C = 70 \text{ mm}$$

$$I_{wx} = \frac{1}{6} e * d^3 = \frac{16 * 140^3}{6} = 7317333.33 \text{ mm}^4$$

Determinamos la carga por flexión producto de  $R'_{oy}$

$$f_w'' = \frac{203.328kN - mm * 70mm}{7317333.33 \text{ mm}^4} = 1.945 \text{ MPa}$$

Determinamos la carga por flexión producto de  $R'_{oz}$ .

$$M = R'_{oz} * (70 - 38.1)mm = 58.61kN * 31.9mm = 1869.669kN - mm$$

$$f_{w1}'' = \frac{1869.669kN - mm * 70mm}{7317333.33 \text{ mm}^4} = 17.886 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura, el cual nos permitirá ver el punto más crítico.

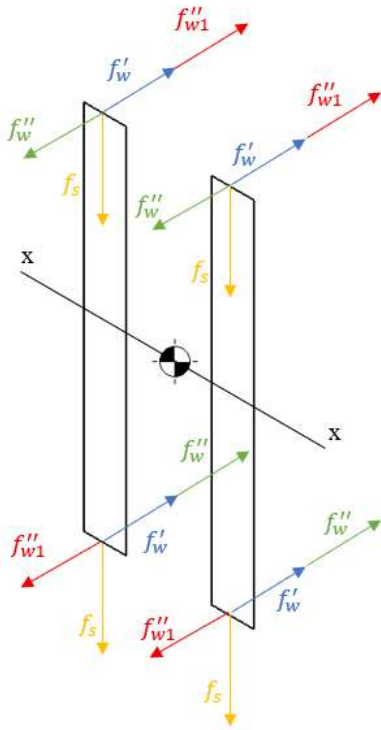
$$f'_w + f''_{w1} - f''_w = 13.083MPa + 17.886MPa - 1.945MPa = 29.023MPa$$

$$f'_w + f''_w - f''_{w1} = 13.083MPa + 1.945MPa - 17.886MPa = -2.858MPa$$

En la Figura 79 se observa que el punto crítico se encuentra en la parte superior del cordón de soldadura.

**Figura 79**

*Cargas en el cordón de la soldadura de parte fija de la bisagra.*



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la carga resultante aplicamos la teoría de falla de la energía de distorsión, esfuerzo de Von Mises.

$$f_W = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f'_W + f''_{W1} - f''_W)^2 + 3 * (f_s)^2}$$

$$f_W = \sqrt{(f'_W + f''_{W1} - f''_W)^2 + 3 * (f_s)^2} = \sqrt{(29.023MPa)^2 + 3 * (0.465MPa)^2} = 29.035MPa$$

- Tamaño del cordón de soldadura.

$$W = \frac{f_W}{S_W}; S_W = 0.3 * \cos(45^\circ) * S_{ut} = 102.248 MPa$$

Donde  $W = 29.035/102.248 = 4.54mm$ , en la Tabla 28 se tiene la recomendación de tamaño de cordón de soldadura mínima.

**Tabla 28***Tamaño de soldadura mínima.*

Espesor del material de la parte unida más gruesa, in	Tamaño de la soldadura, in
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive.	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$ Hasta $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
Mayor que $\frac{1}{2}$ Hasta $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
† Mayor que $\frac{3}{4}$ Hasta $1\frac{1}{2}$	$\frac{5}{16}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$ Hasta $2\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$ Hasta 6	$\frac{1}{2}$
Mayor que 6	$\frac{5}{8}$

Fuente: (Budynas &amp; Nisbett, 2021).

Como se tiene un espesor de plancha de 16mm el cual se encuentra entre 1/2" y 3/4" como se puede observar en la Tabla 28 para este intervalo de espesor de la plancha se tiene un tamaño mínimo de soldadura  $w=1/4''$  (6.35mm) el cual es mayor a la calculada por lo tanto tomamos un tamaño de  $W=1/4''$ .

Para el material base el cual es ASTM A36 (ver ANEXO E) se tiene el esfuerzo de fluencia  $S_y = 250MPa$ , con el cual podemos determinar el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250MPa}{29.035MPa} = 8.6$$

Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $8.6 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por resistencia del material base.

El material de aporte E70XX tiene un esfuerzo de fluencia  $S_y = 393MPa$ , para el cual se halla el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393MPa}{29.035MPa} = 13.54$$

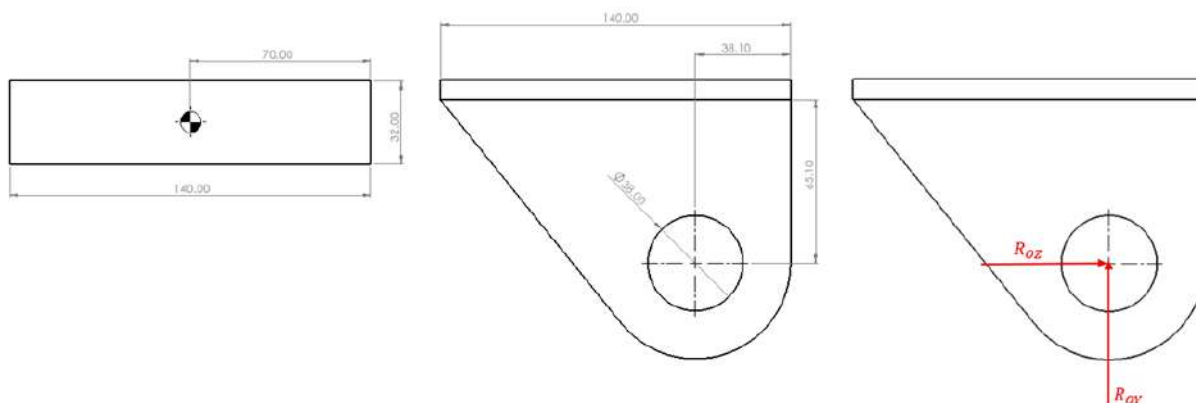
Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $13.54 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

#### 4.2.7.2 Cálculo de la unión soldada de la bisagra parte articulada

En la Figura 80 se muestra el DCL de las fuerzas que actúan sobre la bisagra parte articulada.

**Figura 80**

*DCL de las fuerzas que actúan sobre la bisagra parte articulada.*



Fuente: Elaboración propia.

##### 4.2.7.2.1 Cálculo por resistencia a la soldadura de la bisagra parte articulada

De igual forma se utiliza un electrodo E70XX cuyo esfuerzo y resistencias se mencionan en la sección 5.2.1.1.1, el centroide se ubica en la mitad de la soldadura. En la sección 5.1.3 se determina las reacciones en la puerta de la bisagra donde  $R_{oy} = 10.406 \text{ kN}$  y  $R_{oz} = 293.052 \text{ kN}$  se considera un 20% de exceso de carga. Siendo esta:

$$R'_{oy} = \frac{1.2 * R_{oy}}{6} = \frac{1.2 * 10.406}{6} = 2.08 \text{ kN} ; R'_{oz} = \frac{1.2 * R_{oz}}{6} = \frac{1.2 * 293.052}{6} = 58.61 \text{ kN}$$

Se determina las cargas en el cordón de la soldadura por lo tanto se tiene:

- Carga de corte directo.

$$f_s = \frac{R'_{oz}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oz}}{\text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{58.61 \text{ kN}}{0.032 \text{ m} * 0.14 \text{ m}} = 13.083 \text{ MPa}$$

- Carga por compresión directa.

$$f'_w = \frac{R'_{oy}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oy}}{espesor * long. sold} = \frac{2.08kN}{0.032m * 0.14m} = 0.465MPa$$

- Carga por flexión.

$$f''_w = \frac{M * C}{I_{wx}}$$

$$M = R'_{oy} * (70mm - 38.1mm) = 2.08kN * 31.9mm = 66.388kN - mm$$

$$C = 70 \text{ mm}$$

$$I_{wx} = \frac{1}{6} e * d^3 = \frac{32 * 140^3}{6} = 14634666.7 \text{ mm}^4$$

Determinamos la carga por flexión producto de  $R'_{oy}$ .

$$f''_w = \frac{66.388kN - mm * 70mm}{14634666.7 \text{ mm}^4} = 0.318 \text{ MPa}$$

Determinamos la carga por flexión producto de  $R'_{oz}$ .

$$M = R'_{oz} * (65.1)mm = 58.61kN * 65.1mm = 3815.533kN - mm$$

$$f''_{w1} = \frac{3815.533kN - mm * 70mm}{14634666.7 \text{ mm}^4} = 18.25 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura, el cual nos permitirá ver el punto más crítico.

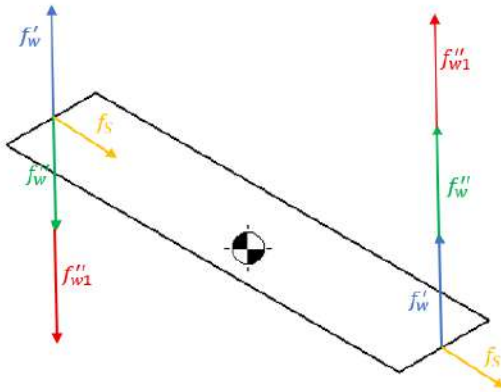
$$f'_w + f''_{w1} + f''_w = 0.465MPa + 0.318MPa + 18.25MPa = 19.032MPa$$

$$f''_w + f''_{w1} - f'_w = 18.25MPa + 0.318MPa - 0.465MPa = 18.103MPa$$

En la Figura 81 se observa que el punto crítico se encuentra en la parte derecha del cordón de soldadura.

**Figura 81**

*Cargas en el cordón de la soldadura de parte articulada de la bisagra.*



Fuente: Elaboración propia.

Se halla la carga resultante aplicando la teoría de falla de la energía de distorsión, esfuerzo de Von Mises.

$$f_W = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f'_W + f''_{W1} - f''_W)^2 + 3 * (f_s)^2}$$

$$f_W = \sqrt{(f'_W + f''_{W1} + f''_W)^2 + 3 * (f_s)^2} = \sqrt{(19.032MPa)^2 + 3 * (13.083MPa)^2} = 29.592MPa$$

- Tamaño del cordón de soldadura

$$W = \frac{f_W}{S_W}; S_W = 0.3 * \cos(45^\circ) * S_{ut} = 102.248 \text{ MPa}$$

Donde  $W = 29.592/102.248 = 9.26\text{mm}$ , según recomendación de tamaño de cordón de soldadura mínima. En la Tabla 28 se observa para un espesor de plancha de 32 mm el cual se encuentra entre 1 1/2" y 2 1/4" para este intervalo de espesor de la plancha se tiene un tamaño mínimo de soldadura  $w=3/8"$  (9.525mm) el cual es mayor a la calculada por lo tanto tomamos un tamaño de cordón de soldadura de  $W=3/8"$ .

Como se mencionó el material a emplear es un ASTM A-36 con el cual se determina el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250MPa}{29.592MPa} = 8.45$$

Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $8.45 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por resistencia del material base.

El material de aporte E70XX tiene un esfuerzo de fluencia  $S_y = 393MPa$ , para el cual se halla el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393MPa}{29.592MPa} = 13.28$$

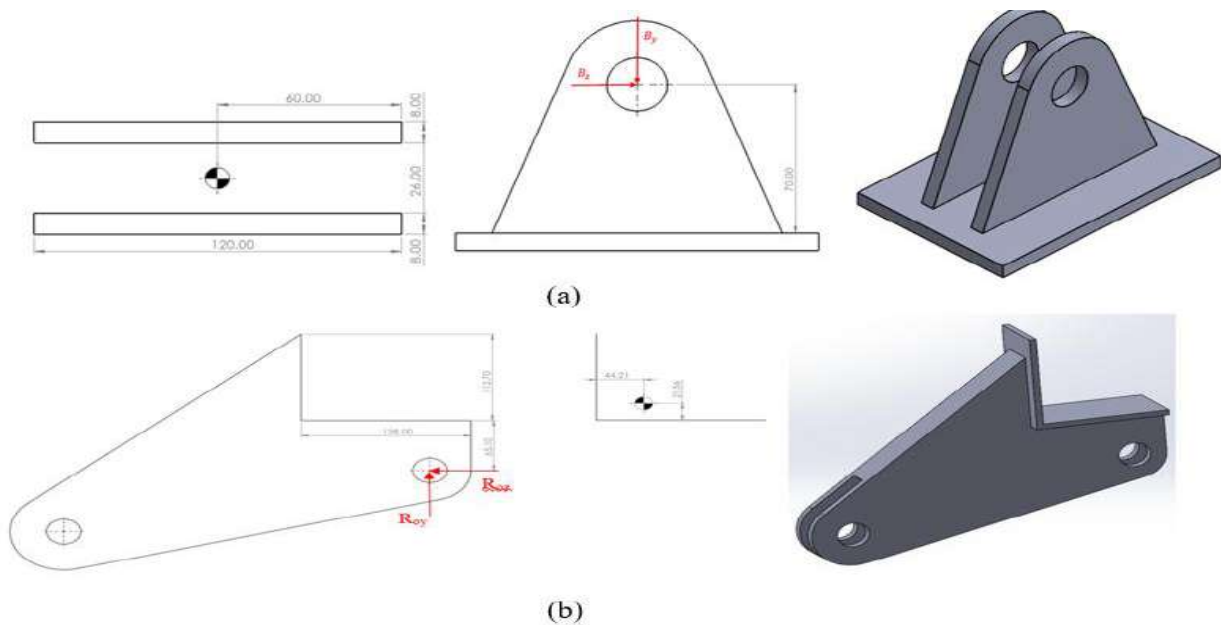
Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $13.28 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

#### 4.2.8 Cálculo de la unión soldada del soporte del cilindro hidráulico

En la Figura 82 se muestra el DCL de las fuerzas que actúan sobre el soporte inferior y superior.

**Figura 82**

*DCL de las fuerzas que actúan sobre el (a) soporte inferior y (b) soporte superior.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.8.1 Cálculo por resistencia de la soldadura en el soporte inferior y superior

De igual forma se utiliza un electrodo E70XX cuyo esfuerzo y resistencias se mencionan en la sección 5.2.1.1.1, el centroide se ubica en la mitad de la soldadura. En la sección 5.1.7 se determina las reacciones en la puerta de la bisagra donde la fuerza para un cilindro hidráulico afectado por factor de sobre carga es  $F_p = 16.12 \text{ kN}$ . Siendo esta:

$$B_y = F_p * \sin(19.93^\circ) = 5.49 \text{ kN} ; B_z = F_p * \cos(19.93^\circ) = 15.154 \text{ kN}$$

Se determina las cargas en el cordón de la soldadura por lo tanto se tiene:

- Carga de corte directo:

$$f_s = \frac{B_z}{A_{efectiva}} = \frac{B_z}{2 * espesor * long. sold} = \frac{15.154 \text{ kN}}{2 * 0.08 \text{ m} * 0.12 \text{ m}} = 7.893 \text{ MPa}$$

- Carga por compresión directa.

$$f'_w = \frac{B_y}{A_{efectiva}} = \frac{B_y}{2 * espesor * long. sold} = \frac{5.49 \text{ kN}}{2 * 0.08 \text{ m} * 0.12 \text{ m}} = 2.859 \text{ MPa}$$

- Carga por flexión:

$$f''_w = \frac{M * C}{I_{wx}}$$

$$M = B_z * (70 \text{ mm}) = 15.154 \text{ kN} * 70 \text{ mm} = 1060.78 \text{ kN} - \text{mm}$$

$$C = 60 \text{ mm}$$

$$I_{wx} = \frac{1}{6} e * d^3 = \frac{8 * 120^3}{6} = 2304000 \text{ mm}^4$$

Determinamos la carga por flexión producto de  $B_z$ .

$$f''_w = \frac{1060.78 \text{ kN} - \text{mm} * 60 \text{ mm}}{2304000 \text{ mm}^4} = 27.624 \text{ MPa}$$



A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura, el cual nos permitirá ver el punto más crítico.

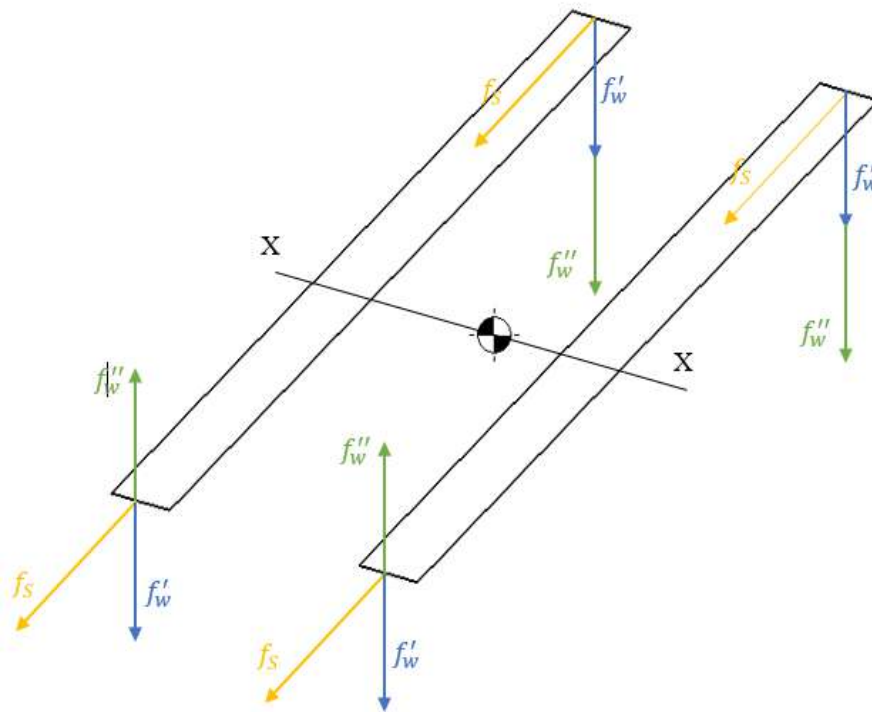
$$f'_w + f''_w = 2.859\text{MPa} + 27.624\text{MPa} = 30.483\text{MPa}$$

$$f'_w - f''_w = 2.859\text{MPa} - 27.624\text{MPa} = -24.765\text{MPa}$$

La Figura 83 muestra que el punto crítico se encuentra en la parte derecha del cordón de soldadura.

### Figura 83

*Cargas en el cordón de la soldadura de parte articulada de la bisagra.*



Fuente: Elaboración propia.

Se halla la carga resultante aplicando la teoría de falla de la energía de distorsión, esfuerzo de Von Mises.

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f'_w + f''_w)^2 + 3 * (f_s)^2}$$

$$f_w = \sqrt{(f'_w + f''_w)^2 + 3 * (f_s)^2} = 33.408\text{MPa}$$

- Tamaño del cordón de soldadura

$$W = \frac{f_w}{S_w}; S_w = 0.3 * \cos(45^\circ) * S_{ut} = 102.247 \text{ MPa}$$

Donde  $W = (33.408/102.248) * (8\text{mm}) = 2.608\text{mm}$ , según recomendación de tamaño de cordón de soldadura mínima. En la Tabla 28 se observa para un espesor de plancha de 8 mm el cual se encuentra entre 1/4" y 1/2" para este intervalo de espesor de la plancha se tiene un tamaño mínimo de soldadura  $W = 3/16''$  (4.763mm) el cual es mayor a la calculada por lo tanto tomamos un tamaño de cordón de soldadura de  $W = 3/16''$ .

Como se mencionó el material a emplear es un acero ASTM A-36 con el cual se determina el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250\text{MPa}}{33.408\text{MPa}} = 7.5$$

Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $7.5 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por resistencia del material base.

El material de aporte E70XX tiene un esfuerzo de fluencia  $S_y = 393\text{MPa}$ , para el cual se halla el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393\text{MPa}}{33.408\text{MPa}} = 11.76$$

Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $11.76 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

De igual forma para soporte inferior se utiliza un electrodo E70XX cuyo esfuerzo y resistencias se mencionaron anteriormente, el centroide se ubica en  $N_y$ ,  $N_x$ , donde:

$$b = 112,7\text{mm}$$

$$d = 158\text{mm}$$

$$N_y = \frac{b^2}{2(b+d)} = 21.56mm$$

$$N_x = \frac{d^2}{2(b+d)} = 44.21mm$$

Las reacciones en la puerta de la bisagra donde la fuerza es más crítica son cuando se encuentra en la posición cerrada teniendo:

$$R_{oy} = 1.04kN ; R_{oz} = 29.305kN$$

Se determina las cargas en el cordón de la soldadura por lo tanto se tiene:

- Carga de corte directo en la vertical:

$$f_{wv}' = \frac{R_{oy}}{A_{efectiva}} = \frac{1.04kN}{112.7 * 12.7} = 0.726MPa$$

- Carga por corte directo en la horizontal:

$$f_{wH}' = \frac{R_{oz}}{A_{efectiva}} = \frac{29.305kN}{158 * 12.7} = 14.604MPa$$

- Carga por torsión:

$$f_w'' = \frac{T * C_v}{J_w}$$

$$T = 29.305(65.1 + 21.56) + 1.04(158 - 44.21) = 2657.913kN - mm$$

$$C_v = 158 - 44.21mm$$

$$J_w = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)} = 1067383.043 mm^3$$

Determinamos la carga por torsión respecto a la horizontal.

$$f_w'' = \frac{2657.913kN - mm * (158 - 44.21)mm}{(1067383.043 mm^3)(12.7mm)} = 22.31MPa$$

Determinamos la carga por torsión respecto a la vertical.

$$f_w'' = \frac{2657.913kN - mm * (21.56)mm}{(1067383.043 mm^3)(12.7mm)} = 4.227MPa$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura en el punto más crítico:

$$f_w = \sqrt{(14.604 + 22.31)^2 + (0.726 + 4.227)^2} = 37.244MPa$$

- Tamaño del cordón de soldadura

$$W = \frac{f_w}{S_w} * t; S_w = 0.3 * \cos(45^\circ) * S_{ut} = 102.247 MPa$$

Donde  $W = (37.244/102.248) * 12.7mm = 4.626mm$ , según recomendación de tamaño de cordón de soldadura mínima. En la Tabla 28 se observa para un espesor de plancha de 8 mm el cual se encuentra entre 1/4" y 1/2" para este intervalo de espesor de la plancha se tiene un tamaño mínimo de soldadura  $W = 3/16"$  (4.763mm) el cual es mayor al calculado por lo tanto tomamos un tamaño de cordón de soldadura de  $W = 3/16"$ .

Como se mencionó el material a emplear es un acero ASTM A-36 con el cual se determina el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250MPa}{37.244MPa} = 6.71$$

Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $6.71 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por resistencia del material base.

El material de aporte E70XX tiene un esfuerzo de fluencia  $S_y = 393MPa$ , para el cual se halla el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393MPa}{37.244MPa} = 10.552$$

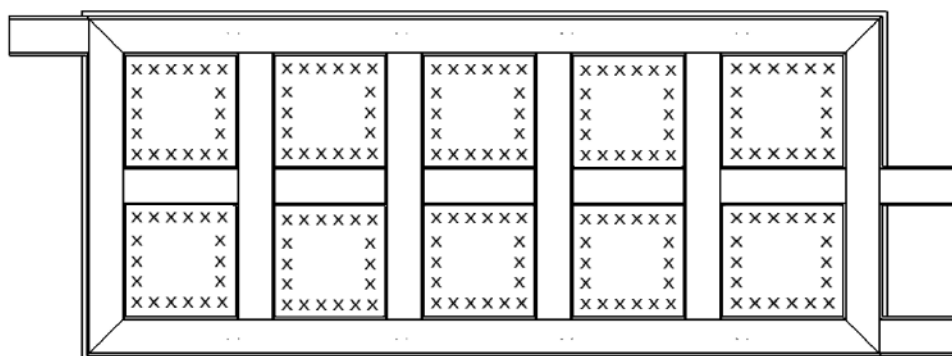
Podemos observar que  $n \geq n_d$ , es decir  $10.552 \geq 3$  el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

#### 4.2.9 Cálculo de la unión soldada de la parte lateral de la máquina de moldeo

En la Figura 84 se muestra la representación didáctica del cordón de soldadura de una cara de la máquina de moldeo.

**Figura 84**

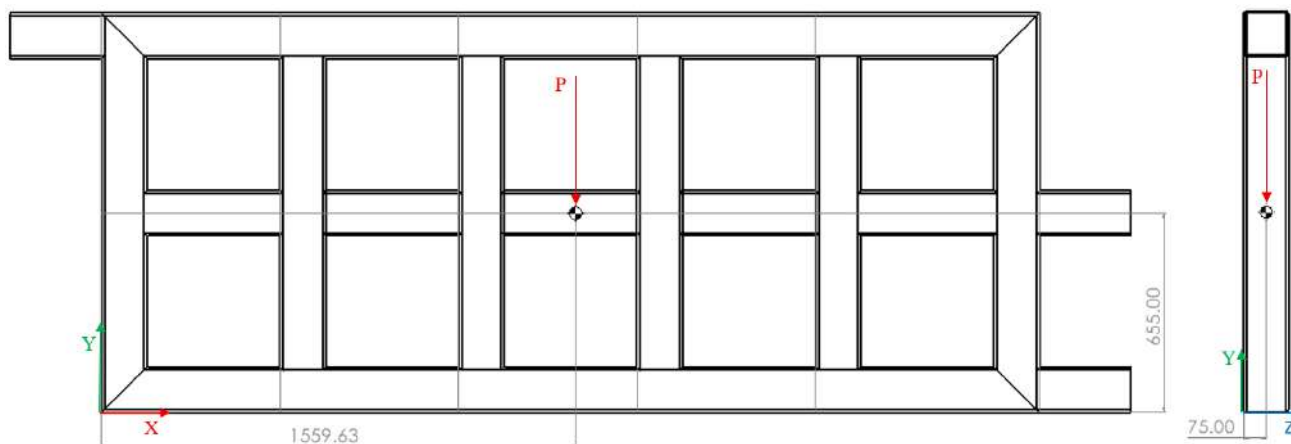
*Representación didáctica del cordón de soldadura.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 85**

*Ubicación del centro de masa del ducto cuadrado de 150mmX1500mmX4mm.*

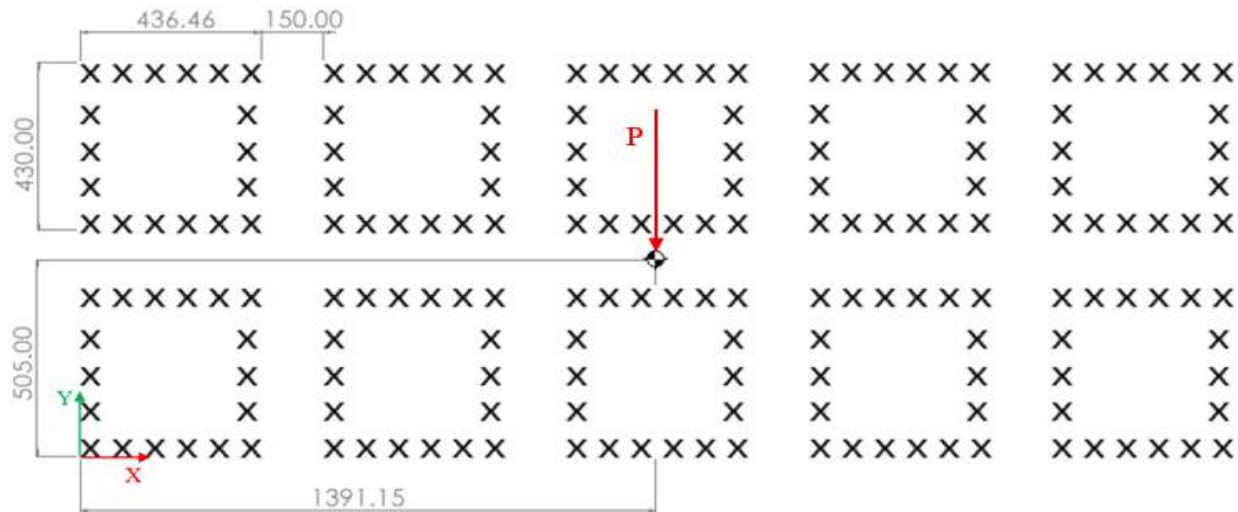


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 85 se observa la ubicación de la fuerza el cual es el peso del ducto cuadrado de 150mmX150mmX4mm que actúa en su centro de masa como se muestra.

**Figura 86**

*Centro de masa del cordón de soldadura.*



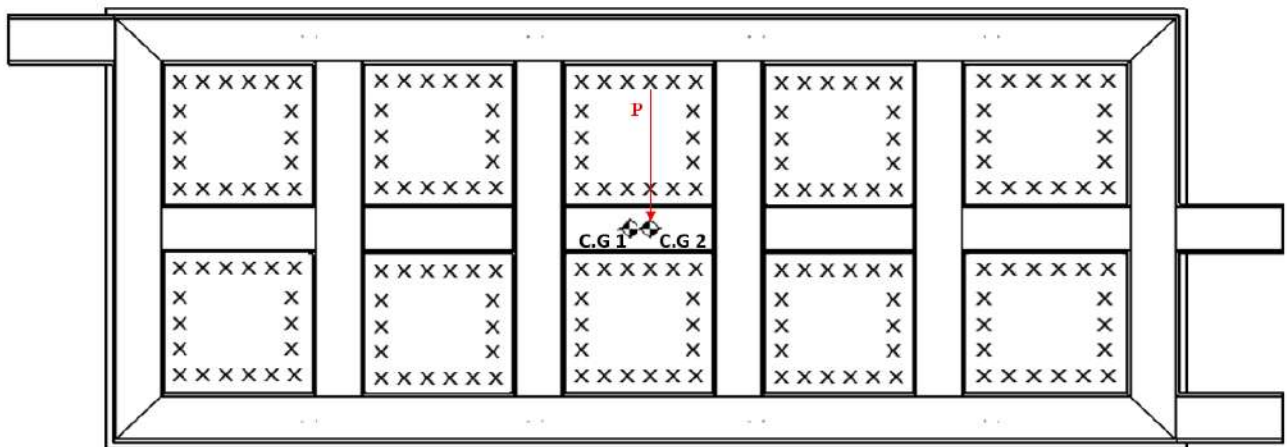
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 86 se ubica el centro de masa del ducto cuadrado y del cordón de soldadura se determinó con el software SOLIDWORKS.

A continuación, se muestra en la Figura 87 donde los centros de gravedad C.G1 y C.G2 los cuales corresponden al cordón de soldadura y ducto cuadrado respectivamente.

**Figura 87**

*Centro de gravedad del cordón de soldadura y ducto cuadrado.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.9.1 Cálculo por resistencia de la soldadura de la parte lateral de la puerta

De igual forma se utiliza un electrodo E70XX cuyo esfuerzo y resistencias se mencionan en la sección 5.2.1.1.1, el centro de gravedad se muestra en la Figura 87 tanto del cordón de soldadura y la del ducto cuadrado. La diferencia entre C.G1 y C.G2 es de 18.47mm, la masa del ducto es de 561.07 kg, la plancha tiene un espesor de 8mm, si se considera un factor de sobre carga de 20% se tiene:

$$P = 561.07kg * \frac{9.81m}{s^2} * 1.2 = 6604.92 N$$

Se determina las cargas en el cordón de la soldadura por lo tanto se tiene:

- Carga de corte directo: la longitud del cordón de soldadura se muestra en la figura 82 teniéndose en eje Y una longitud de 430mm en el eje X 436.46mm

$$f_s = \frac{P}{A_{efectiva}} = \frac{P}{\text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{6604.92 N}{8mm * (20 * 436.46 + 20 * 430)mm} = 0.048MPa$$

- Carga por torsión:

$$f'_w = \frac{T * C}{J_w}$$

$$T = P * (18.47) = 6604.92N * 18.47mm = 121992.8 N - mm$$

La distancia al punto crítico de soldadura

$$C = \sqrt{(1391.16mm)^2 + (505mm)^2} = 1479.98mm$$

Se halla el momento de inercia polar lineal:

$$J_w = I_{wx} + I_{wy}$$

Donde el momento de inercia de línea se determina con respecto al eje X e Y.

$$I_{wx} = e * \left[ \frac{5}{2} * [b * (2c + a)^2 + ba^2] + 5 * \left[ \frac{c^3}{3} + c(a + c)^2 \right] \right] mm^4$$

$$I_{wx} = 15947320661 mm^4$$

$$I_{wy} = \left[ 4 * \left[ 5 * \frac{b^3}{12} + 10b(a+b)^2 \right] + c * [(4a+5b)^2 + (4a+3b)^2 + (2a+3b)^2 + (2a+b)^2 + b^2] \right]$$

$$I_{wy} = 99748964982 \text{ mm}^4$$

$$J_w = 15947320661 \text{ mm}^4 + 99748964982 \text{ mm}^4 = 115696285643.66 \text{ mm}^4$$

Determinamos la carga por torsión

$$f'_w = \frac{121992.8 \text{ N} - \text{mm} * 1479.98 \text{ mm}}{115696285643.66 \text{ mm}^4} = 0.00156 \text{ MPa}$$

- Carga por flexión:

$$f''_w = \frac{M * C}{I_{wx}}$$

$$M = P * (75 \text{ mm}) = 6604.92 \text{ N} * 75 \text{ mm} = 495368.703 \text{ N} - \text{mm}$$

$$C = 505 \text{ mm}$$

Determinamos la carga por flexión producto de P

$$f''_w = \frac{495368.703 \text{ N} - \text{mm} * 505 \text{ mm}}{15947320661 \text{ mm}^4} = 0.0156 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura, el cual nos permitirá ver el punto más crítico.

$$f_s + f'_w * \cos(19.95) = 0.048 \text{ MPa} + 0.00156 * \cos(19.95) \text{ MPa} = 0.049 \text{ MPa}$$

$$f'_w * \sin(19.95) = 0.00156 * \sin(19.95) \text{ MPa} = 0.0005 \text{ MPa}$$

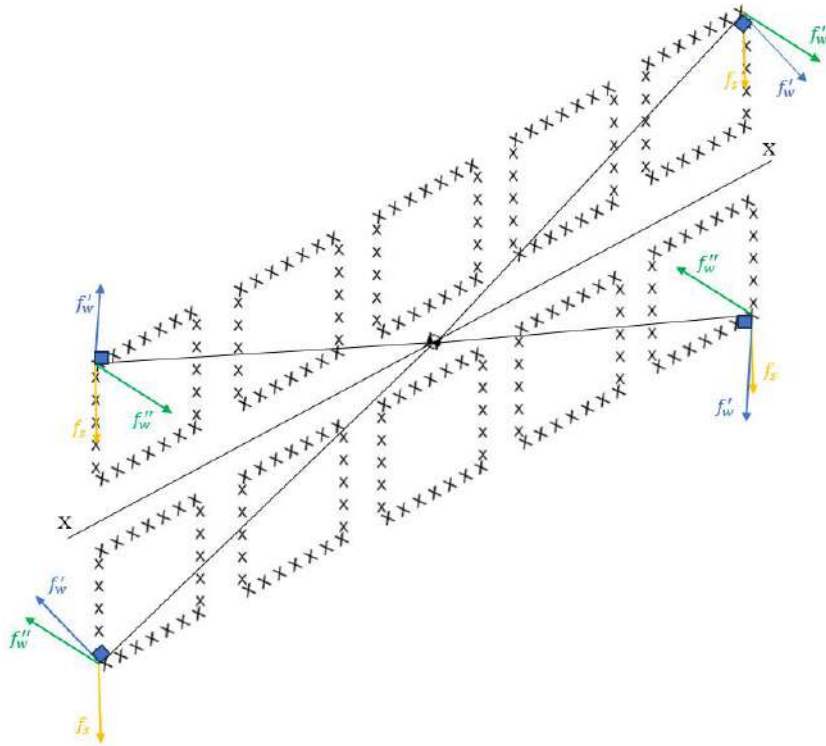
$$f_{s,total} = \sqrt{0.049^2 + 0.0005^2} = 0.0492 \text{ MPa}$$

Donde se observa que el punto crítico se encuentra en la parte derecha del cordón de soldadura en la Figura 88.



**Figura 88**

*Cargas en el cordón de la soldadura.*



Fuente: Elaboración propia.

Se halla la carga resultante aplicando la teoría de falla de la energía de distorsión, esfuerzo de Von Mises.

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f_w'')^2 + 3 * (f_{s,total})^2}$$

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(0.0156)^2 + 3 * (0.0492)^2} = 0.086 MPa$$

- Tamaño del cordón de soldadura

$$W = \frac{f_w}{S_w}; S_w = 0.3 * \cos(45^\circ) * S_{ut} = 102.248 MPa$$

Donde  $W=0.086/102.248=0.00084$ mm, según recomendación de tamaño de cordón de soldadura mínima. De las iteraciones realizadas se obtuvo un espesor de plancha de 8 mm el cual se encuentra

entre 1/4" y 1/2" para este intervalo de espesor de la plancha se tiene de la Tabla 28 un tamaño mínimo de soldadura  $w=3/16''$  (4.763mm) el cual es mayor al calculado por lo tanto tomamos un tamaño de cordón de soldadura de  $W=3/16''$ .

Como el tamaño del cordón de soldadura calculado es muy pequeño a comparación de tamaño mínimo recomendado, para este caso se utiliza la soldadura intermitente.

$$R = \frac{W_{\text{calculado}}}{W_{\text{a usar}}} \times 100\%$$

$$R = \frac{0.006}{4.7625} \times 100\% = 0.126\%$$

El valor calculado para seleccionar la soldadura intermitente no se encuentra y es pequeña se toma el valor inmediato superior según la Tabla 29 el cual es  $R= 16\%$  el cual corresponde a un cordón intermitente:

Cordón intermitente: 2" – 12" (50 - 300)

**Tabla 29**

*Soldadura intermitente.*

**SELECCIÓN DE LA LONGITUD Y EL PASO DEL CORDÓN  
DE SOLDADURA INTERMITENTE DE FILETE**

<b>R %</b>	<b>LONGITUD Y PASO ENTRE CORDONES (PULGS)</b>		
75	---	3 - 4	---
66	---	---	4 - 6
60	---	3 - 5	---
57	---	---	4 - 7
50	2 - 4	3 - 6	4 - 8
44	---	---	4 - 9
43	---	3 - 7	---
40	2 - 5	---	4 - 10
37	---	3 - 8	---
33	2 - 6	3 - 9	4 - 12
30	---	3 - 10	---
25	2 - 8	3 - 12	---
20	2 - 10	---	---
16	2 - 12	---	---

Fuente: (Alva, 2008).

### 4.3 Diseño hidráulico

#### 4.3.1 Cálculo oleo hidráulicos

En esta parte se detalla los cálculos para la selección del sistema hidráulico que utilizara la máquina de moldeo para la producción de bloques de EPS de  $2.4 \text{ m}^3$  con una densidad de  $15 \text{ kg/m}^3$ .

##### 4.3.1.1 Selección del cilindro hidráulico

Para realizar la selección del cilindro hidráulico de la máquina de moldeo, se obtuvo en el capítulo V anterior las fuerzas necesarias que el cilindro hidráulico debe transferir, las cuales son:

- Fuerza del cilindro para la apertura y cierre de la puerta:  $F_p=13.35 \text{ kN}$ .
- Fuerza de empuje para la expulsión del bloque de EPS:  $F_e=264.87 \text{ N}$ .
- Fuerza de empuje para el asegurado de la puerta:  $F_{e,s}=408.562 \text{ N}$ .

En el capítulo V anterior se comprobó para el cilindro  $50\text{mm} \times 32\text{mm} \times 490\text{mm}$  de apertura y cierre de la puerta de máquina que se seleccionó no fallara por pandeo. También se verificó que el pin del cilindro hidráulico no fallara por resistencia y cortante.

Para dimensionar la unidad del sistema hidráulico se considera un factor de seguridad de  $n=1.5$  según (Ccarita, 2020) indica que se encuentra entre (1.5 – 3.5) asegurando el buen funcionamiento ante cualquier eventualidad.

Al aplicar el factor de seguridad de 1.5 a la fuerza del pistón tendríamos:

- Fuerza del cilindro para la apertura y cierre de la puerta:  $F_p=13.35 \times 1.5=20.026 \text{ kN}$ .
- Fuerza de empuje para la expulsión del bloque de EPS:  $F_e=264.87 \times 1.5=397.305 \text{ N}$ .
- Fuerza de empuje para el asegurado de la puerta:  $F_{e,s}=408.562 \times 1.5=612.843 \text{ N}$ .

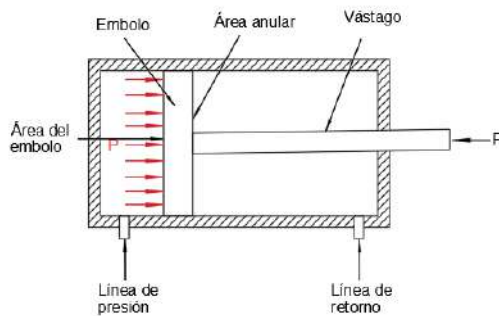
En el caso de la fuerza del cilindro hidráulico para la puerta y de expulsión del bloque de EPS se define una carga máxima individual, ya que podrá trabajar por encima de la carga nominal y por debajo del límite de diseño nominal.

En la sección IV Se determina los tiempos de movimiento; los cuales son: tiempo de apertura de la puerta 9s y tiempo de cierre de la puerta 9s, tiempo extensión del disco de expulsión del bloque de EPS 10s y tiempo de retracción del disco de expulsión de EPS es 10s y tiempo de asegurado de la puerta 3s y tiempo de desasegurado de la puerta 3s.

En la Figura 89 se observa las partes básicas del cilindro hidráulico.

### Figura 89

*Muestra el dibujo básico del cilindro hidráulico.*



Fuente: Elaboración propia.

$F_p$ ,  $F_e$ ,  $F_{e,s}$ : fuerza sobre el cilindro hidráulico.

$P$ : presión hidráulica en el cilindro.

#### 4.3.1.2 Reajuste de los tiempos en movimiento de la puerta

Usamos las dimensiones del embolo del cilindro hidráulico que se indican en la Tabla 26.

- Cilindro para apertura y cierre de puerta

Área del embolo

$$A_{emb} = \frac{\pi * d_{emb}^2}{4} = \frac{\pi * (50mm)^2}{4} = 1963.49mm^2$$

Área anular

$$A_a = \frac{\pi * (D_e^2 - D_v^2)}{4} = \frac{\pi * (50mm^2 - 32mm^2)}{4} = 1159.247mm^2$$

Se asume que la bomba hidráulica es de caudal constante para todos los casos, razón por la cual se tiene:

$$Q_{ext} = Q_{retrac}$$

$$\frac{A_e}{\text{tiempo de extension del cilindro}} = \frac{A_a}{\text{tiempo de retraccion del cilindro}}$$

$$\text{tiempo de extension del cilindro} = 1.69 \text{ tiempo de retraccion del cilindro}$$

Al reemplazar el valor del tiempo de extensión del cilindro es 9s, obtenemos un tiempo de retracción de 5.3s donde consideramos que el tiempo restante es de 3.7s se encontrara en la posición completamente retraída.

- Cilindro para la expulsión del bloque de EPS

Área del embolo

$$A_{emb} = \frac{\pi * d_{emb}^2}{4} = \frac{\pi * (40mm)^2}{4} = 1256.637mm^2$$

Área anular

$$A_a = \frac{\pi * (D_e^2 - D_v^2)}{4} = \frac{\pi * (40mm^2 - 20mm^2)}{4} = 942.478mm^2$$

$$\frac{A_e}{\text{tiempo de extension del cilindro}} = \frac{A_a}{\text{tiempo de retraccion del cilindro}}$$

$$\text{tiempo de extension del cilindro} = 1.333 \text{ tiempo de retraccion del cilindro}$$

Al reemplazar el valor del tiempo de extensión del cilindro es 10s, obtenemos un tiempo de retracción de 7.5s donde consideramos que el tiempo restante es de 2.5s se encontrara en la posición completamente retraída.

- Cilindro para el seguro de la puerta

Área del embolo

$$A_{emb} = \frac{\pi * d_{emb}^2}{4} = \frac{\pi * (40mm)^2}{4} = 1256.637mm^2$$

Área anular

$$A_a = \frac{\pi * (D_e^2 - D_v^2)}{4} = \frac{\pi * (40mm^2 - 20mm^2)}{4} = 942.478mm^2$$

$$\frac{A_e}{\text{tiempo de extension del cilindro}} = \frac{A_a}{\text{tiempo de retraccion del cilindro}}$$

$$\text{tiempo de extension del cilindro} = 1.333 \text{ tiempo de retraccion del cilindro}$$

Al reemplazar el valor del tiempo de extensión del cilindro es 3s, obtenemos un tiempo de retracción de 2.3s donde consideramos que el tiempo restante es de 0.7s se encontrara en la posición completamente retraída.

#### 4.3.1.3 Tiempos de funcionamiento del cilindro hidráulico

Los tiempos de accionamiento de los cilindros hidráulicos se muestran en la Tabla 30.

**Tabla 30**

*Tiempos de accionamiento del cilindro hidráulico.*

Función	Tiempo (segundos)
Apertura de la puerta desde el cierre (Tr)	5.3
Puerta completamente abierta	3.7
Cierre de puerta desde que se encuentra abierta completamente (Te)	9
Retracción del cilindro de expulsión de EPS	7.5
Cilindro de expulsión completamente retraída	2.5
Expulsión del bloque de EPS	10
Retracción del cilindro de seguro de puerta	2.3
Cilindro de seguro completamente retraído	0.7
Asegurado de puerta	3

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2 Cálculo de la presión hidráulica

El aceite debe tener la capacidad de mantener la carga de 40.053 kN como esta carga esta soportada por dos cilindros hidráulicos se tomará la mitad 20.026 kN, esta carga es requerida para poder desplazar la carga a la salida del vástago, de tal modo que, la presión debe ser capaz de conservar el equilibrio.

Se determina la presión como sigue:

$$P_1 = \frac{F_p}{A_e} = \frac{20026 \text{ N}}{1963.49 \text{ mm}^2} = 10.198 \text{ MPa} \approx 102 \text{ bar}$$

$$P_2 = \frac{F_e}{A_e} = \frac{397.305 \text{ N}}{1256.637 \text{ mm}^2} = 0.316 \text{ MPa} \approx 3.16 \text{ bar}$$

$$P_3 = \frac{F_{e,s}}{A_e} = \frac{612.843 \text{ N}}{1256.637 \text{ mm}^2} = 0.4877 \text{ MPa} \approx 4.88 \text{ bar}$$

Teniéndose así una presión total de aceite

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 = 102 \text{ bar} + 3.16 \text{ bar} + 4.88 \text{ bar} = 110.04 \text{ bar}$$

### 4.3.3 Selección de aceite hidráulico

En la Tabla 31 se muestra una clasificación de aceites en intervalos de viscosidad a una temperatura de 40°C según la norma ISO el cual se encuentra en la referencia de Almandós.

**Tabla 31**

*Clase de viscosidad.*

Clase de viscosidad ISO	Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s) a 40 °C	
	Máxima	Mínima
ISO VG 10	9	11
ISO VG 22	19,8	24,2
ISO VG 32	28,8	35,2
ISO VG 46	41,4	50,6
ISO VG 68	61,2	74,8
ISO VG 100	90	110

Fuente: (ALMANDOZ et al., 2007).

Para la selección del aceite usamos la siguiente Tabla 32 que nos presenta ALMANDOS donde realiza una clasificación de según su aplicación.

**Tabla 32**

*Clasificación según su aplicación.*

Clase SAE	ISO - VG	Area de aplicación
30		Instalaciones estacionarias en lugares cerrados y altas temperaturas
	100	
20 W		A temperaturas normales
	68	
10 W	46	
5 W	32	
		Para instalaciones al aire libre. Hidráulica móvil
	22	
		En lugares fríos
	(15)	
	10	

Fuente: (ALMANDOZ et al., 2007).

El sistema hidráulico trabajara en una fábrica donde la temperatura ambiente se encuentra aproximadamente a 30°C temperatura normal, por lo tanto, la selección es un aceite ISO - VG 32. Para equipos estacionarios se tiene el Aceite Móvil 10 DTE Excel 32, esta tiene una viscosidad cinemática de  $v = 32 \text{ cst} = 0.000032 \text{ m}^2/\text{s}$ .

#### 4.3.4 Cálculo de caudal en cilindros

Sabemos que el caudal es:

$$Q = V * A \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$Q = 0.06 * V(\text{m}/\text{s}) * A(\text{mm}^2) : (\text{l}/\text{min})$$



- Calculamos el caudal para la retracción del vástago del cilindro de la puerta.

Carrera del pistón: 490mm

Tiempo de retracción (tr): 5.3s

Área anular del embolo:  $1159.247 \text{ mm}^2$

$$V_r = \frac{\text{carrera}}{t_r} = \frac{0.490\text{m}}{5.3\text{s}} = 0.091 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{r1} = 0.06 * (0.091 \text{ m/s}) * (1159.247 \text{ mm}^2) = 6.329 \text{ l/min}$$

- Calculamos el caudal para la extensión del vástago del cilindro de la puerta.

Carrera del pistón: 490mm

Tiempo de extensión (te): 9s

Área embolo:  $1963.49 \text{ mm}^2$

$$V_e = \frac{\text{carrera}}{t_e} = \frac{0.490\text{m}}{9\text{s}} = 0.054 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{e1} = 0.06 * (0.054 \text{ m/s}) * (1963.49 \text{ mm}^2) = 6.36 \text{ l/min}$$

- Calculamos el caudal para la retracción del vástago del cilindro del disco de expulsión de EPS.

Carrera del pistón: 650mm

Tiempo de retracción (tr): 7.5s

Área anular del embolo:  $942.478 \text{ mm}^2$

$$V_r = \frac{\text{carrera}}{t_r} = \frac{0.650\text{m}}{7.5\text{s}} = 0.08667 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{r2} = 0.06 * (0.08667 \text{ m/s}) * (942.478 \text{ mm}^2) = 4.9 \text{ l/min}$$

- Calculamos el caudal para la extensión del vástago del cilindro del disco de expulsión de EPS.

Carrera del pistón: 650mm

Tiempo de retracción (tr): 10s

Área embolo:  $1256.637mm^2$

$$V_e = \frac{carrera}{t_e} = \frac{0.650m}{10s} = 0.065 \frac{m}{s}$$

$$Q_{e2} = 0.06 * (0.065 \frac{m}{s}) * (1256.637mm^2) = 4.9 \frac{l}{min}$$

- Calculamos el caudal para la retracción del vástago del cilindro del seguro de la puerta.

Carrera del pistón: 65mm

Tiempo de retracción (tr): 2.3s

Área anular del embolo:  $942.478 mm^2$

$$V_r = \frac{carrera}{t_r} = \frac{0.065m}{2.25s} = 0.02889 \frac{m}{s}$$

$$Q_{r3} = 0.06 * (0.02889 \frac{m}{s}) * (942.478 mm^2) = 1.6336 \frac{l}{min}$$

- Calculamos el caudal para la extensión del vástago del cilindro del seguro de la puerta.

Carrera del pistón: 65mm

Tiempo de retracción (tr): 3s

Área embolo:  $1256.637mm^2$

$$V_e = \frac{carrera}{t_e} = \frac{0.065m}{3s} = 0.02167 \frac{m}{s}$$

$$Q_{e3} = 0.06 * (0.02167 \frac{m}{s}) * (1256.637mm^2) = 1.6338 \frac{l}{min}$$

Se puede inferir de los calculos realizados que el mayor caudal calculado será la que proporcionara la bomba el cual es:

$$Q_T = 2 * Q_{e1} + 2 * Q_{e2} + Q_{e3} = 2 * 6.36 + 2 * 4.9 + 1.634 = 24.154 \frac{l}{min}$$

### 4.3.5 Selección de tuberías

#### 4.3.5.1 Velocidad de circulación

Las velocidades sugeridas para el desplazamiento del fluido en las líneas de presión se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Velocidades sugeridas para fluidos.*

<b>Para tuberías de presión</b>							
Presión (Bar)	0 a 10	10 a 25	25 a 50	50 a 100	100 a 150	150 a 200	< 200
Velocidad (m/s)	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6

Fuente: (Pospisil, 2007).

Con estas velocidades y el caudal que se calculó anteriormente, calculamos los diámetros.

Utilizamos la Tabla 33 para una presión de 102 bar el cual se encuentra en el rango de (100 – 150) bar cuya velocidad de circulación corresponde  $V = 5\text{m/s}$  el cual corresponde para la puerta.

De la misma manera tenemos para una presión de 3.16 bar y 4.87 bar se encuentran en el rango de (0 – 10) bar de donde se tiene una velocidad de  $V = 3\text{m/s}$  esta corresponde para la expulsión del bloque de EPS como para el seguro de la puerta.

#### 4.3.5.2 Diámetro de la tubería flexible

Con las velocidades ya conocidas de  $V = 5\text{m/s}$  y  $V = 3\text{m/s}$  podemos determinar los diámetros interiores tentativos con la ecuación 69.

$$d_i = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad (69)$$

Al reemplazar los datos en la ecuación 69 obtenemos los diámetros interiores correspondientes a cada velocidad.

$$d_{i1} = \sqrt{\frac{4 * 2 * 6.36 \frac{l}{min} * \frac{min}{60s} * \frac{m^3}{1000l}}{\pi * 5m/s}} = 0.00735m = 7.35mm$$

$$d_{i1,1} = \sqrt{\frac{4 * 6.36 \frac{l}{min} * \frac{min}{60s} * \frac{m^3}{1000l}}{\pi * 5m/s}} = 0.0052m = 5.2mm$$

$$d_{i2} = \sqrt{\frac{4 * 2 * 4.9 \frac{l}{min} * \frac{min}{60s} * \frac{m^3}{1000l}}{\pi * 3m/s}} = 0.00832m = 8.32mm$$

$$d_{i2} = \sqrt{\frac{4 * 4.9 \frac{l}{min} * \frac{min}{60s} * \frac{m^3}{1000l}}{\pi * 3m/s}} = 0.0059m = 5.9mm$$

$$d_{i3} = \sqrt{\frac{4 * 1.634 \frac{l}{min} * \frac{min}{60s} * \frac{m^3}{1000l}}{\pi * 3m/s}} = 0.0034m = 3.4mm$$

#### 4.3.5.3 Selección de la manguera hidráulica

La mayoría de las mangueras hidráulicas están normalizadas según la SAE J517 esta norma contiene números 100R los cuales garantizan los requisitos de construcción, temperatura, presión, así como la compatibilidad con aceites.

Para la selección de la manguera hidráulica usamos el catálogo de la marca BALFLEX el cual se rige según la norma SAE. (ver ANEXO F).

Con los cálculos realizados para el diámetro interior de la manguera procedemos a seleccionar un diámetro interior aproximado o mayor a  $d_{i1} = 7.35mm$ ;  $d_{i2} = 6.44mm$ ;  $d_{i3} = 3.4mm$  y que soporte una presión mayor a 102 bar, 3.16 bar y 4.88 bar respectivamente.

Seleccionamos la manguera de diámetro interior 3/8" SAE 100R16 para la línea de presión de apertura de la puerta, para la otra línea de expulsión del bloque de EPS tenemos una manguera de diámetro interior 3/8" SAE 100R16 y para el seguro de la puerta se tiene 1/4" SAE 100R16, La nomenclatura SAE 100R16 indica que está diseñada para soportar alta presión, tiene mayor flexibilidad y resistente al desgaste.

- **Recalculamos las velocidades**

Como los diámetros calculados difieren de los seleccionados razón por la cual recalculamos las velocidades con la ecuación 70 para estos diámetros.

$$V_1 = \frac{4 * Q}{\pi * d_1^2} \quad (70)$$

Para la apertura y cierre de la puerta de la máquina de moldeo la velocidad de desplazamiento del fluido es:

$$V_1 = \frac{4 * Q}{\pi * d_1^2} = \frac{4 * 6.36}{\pi * (1/4" * 0.0254)^2 * 60 * 1000} = 3.37 \text{ m/s}$$

$$V_{1,1} = \frac{4 * Q}{\pi * d_1^2} = \frac{4 * (2 * 6.36)}{\pi * (3/8" * 0.0254)^2 * 60 * 1000} = 3 \text{ m/s}$$

Para la expulsión de bloques de EPS la velocidad de desplazamiento del fluido es:

$$V_2 = \frac{4 * Q}{\pi * d_2^2} = \frac{4 * 4.9}{\pi * (3/8" * 0.0254)^2 * 60 * 1000} = 2.58 \text{ m/s}$$

$$V_{2,1} = \frac{4 * Q}{\pi * d_2^2} = \frac{4 * (2 * 4.9)}{\pi * (3/8" * 0.0254)^2 * 60 * 1000} = 2.29 \text{ m/s}$$

Para asegurar la puerta la velocidad de desplazamiento del fluido es:

$$V_3 = \frac{4 * Q}{\pi * d_2^2} = \frac{4 * 1.634}{\pi * (1/4" * 0.0254)^2 * 60 * 1000} = 0.86 \text{ m/s}$$

#### 4.3.5.4 Selección de accesorios

Para la selección de accesorios del circuito oleo hidráulico se tendrá en cuenta las consideraciones técnicas donde se observa la sincronización del movimiento de cierre y apertura de la puerta, expulsión del bloque de EPS, así como también el movimiento del seguro. Para ello se plantea una central hidráulica o UPH (Unidad de Potencia Hidráulica) el cual trabajara con una sola bomba hidráulica de flujo constante.

El criterio a tomar para la selección de accesorios para accionar los cilindros hidráulicos desde la central hidráulicas hacia los cilindros hidráulicos es que debe mantener una presión mayor a 110.02 bar y flujo mayor a 24.26 l/min o 6.41GLM

En la Tabla 34 se muestra accesorios seleccionados desde los catálogos de Hydromot, Vivoil, Parker, Balflex.

**Tabla 34**

*Lista de accesorios.*

N°	Cantidad	Descripción	Marca de fabricante	Máxima Presión de Operación	Máximo flujo de Operación
1	1	Válvula 4/3, 3C2 Size: CETOP 3	HYDROMOT	315 bar	20 l/min
2	3	Válvula 4/3, 2B2B Size: CETOP 3	HYDROMOT	315 bar	80 l/min
3	2	Válvula divisora de flujo 9RD-02-29	VIVOIL	220 bar	27 l/min

N°	Cantidad	Descripción	Marca de fabricante	Máxima Presión de Operación	Máximo flujo de Operación
4		Válvula divisora de flujo 9RD-02-36	VIVOIL	200 bar	41 l/min
5	2	Válvula estranguladora anti retorno, Size: SAE 1/4"	PARKER	350 bar	50 l/min
6	3	Válvula estranguladora anti retorno, Size: SAE 3/8"	PARKER	350 bar	60 l/min
7	2	Manómetro de presión de 0 – 250 bar, G 1/4"	REXROTH	(0 a 250) Bar	
8	1	Tee 3/8" de flujo directo	BALFLEX		
9	1	Tee 1/4" de flujo directo	BALFLEX		
10	6	Codos largos 3/8"	BALFLEX		
11	6	Codos largos 1/4"	BALFLEX		
12	6	Niples reducción de 1/2" a 3/8"	BALFLEX		
13	11	Niples reducción de 3/8" a 1/4"	BALFLEX		
14	5	Niples de 3/8"	BALFLEX		

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.6 Cálculo de pérdidas de presión**

Se comienza a realizar los cálculos de perdidas hidráulicas, así como el dimensionamiento de la Unidad de Potencia Hidráulica (UPH) para las líneas de conexión.

##### **4.3.6.1 Cálculo de pérdidas de presión de la línea de apertura y cierre de la puerta**

Para realizar el cálculo de perdidas hidráulicas se considerará la longitud de la tubería flexible en la línea de presión y retorno hacia el UPH con ayuda del software SOLIDWORKS según plano.

$L_{P,1,1}$ , manguera= 4053.45 mm

$L_{R,1,1}$ , manguera=4191.89 mm

En la línea de presión se tiene diferentes accesorios desde la salida del UPH hasta el punto de conexión del cilindro hidráulico, estos accesorios se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35**

*Accesorios en la línea de presión.*

N°	Cantidad	Descripción
1	1	Bloque de válvulas NG6
2	1	Válvula 4/2, 2B2B Size: CETOP 3
3	1	Válvula 4/3, 3C2 Size: CETOP 3
4	2	Válvula divisora de flujo 9RD-02-36
5	4	Codos 90° radio largos Size: 3/8"

Fuente: Elaboración propia.

En la línea de retorno desde la conexión del cilindro hidráulico hasta el bloque de válvulas NG6 el cual tiene incorporado la válvula limitadora de presión dentro de esta línea de retorno se tienen los accesorios mostrados en la Tabla 36.

**Tabla 36**

*Accesorios en la línea de retorno.*

N°	Cantidad	Descripción
1	2	Válvula estranguladora anti retorno, Size: SAE 3/8"
2	2	Codo 90° de radio largo Size: 3/8"
3	1	Tee 3/8" de flujo directo
4	1	Válvula 4/3, 3C2 Size: CETOP 3

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.3.6.2 Cálculo de pérdidas por longitud de tubería flexible

Para la línea de presión para los cilindros de apertura y cierre de la puerta tenemos:

- $v = 32 \text{ cst} = 0.000032 \text{ m}^2/\text{s}$ ; según consideraciones de selección de aceite
- $L_{P,1,1} = 1524 = 1.524 \text{ m}$
- $L_{P,1,2} = 1272 = 1.272 \text{ m}$
- $L_{P,1,3} = 1272 = 1.272 \text{ m}$
- $L_{P,2,1} = 1675 = 1.675 \text{ m}$
- $L_{P,2,2} = 1039 = 1.039 \text{ m}$
- $L_{P,2,3} = 1039 = 1.039 \text{ m}$
- $L_{P,3} = 3639 \text{ mm} = 3.639 \text{ m}$
- $V_{P,1} = 2.376 \text{ m/s}$
- $V_{P,2} = 2.578 \text{ m/s}$
- $V_{P,3} = 0.859 \text{ m/s}$
- $d_1 = 3/8" = 9.525 \text{ mm}$
- $d_2 = 1/4" = 6.35 \text{ mm}$
- $d_3 = 1/4" = 6.35 \text{ mm}$

Hallamos el número de Reynolds con la ecuación 71.

$$R_{e,1} = \frac{V * d_i}{v} \quad (71)$$

$$R_{e,1} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (9.525 \times 10^{-3} \text{ m})}{0.000032 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 893.12$$

$$R_{e,11} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{3.38 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (6.35 \times 10^{-3} \text{ m})}{0.000032 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 669.84$$

$$R_{e,2} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{2.29 \frac{m}{s} * (9.525 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 682.41$$

$$R_{e,21} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{2.58 \frac{m}{s} * (6.35 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 511.81$$

$$R_{e,3;3} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{0.859 \frac{m}{s} * (6.35 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 170.6$$

Obtenemos un flujo en estado laminar según (Moot, 2006).

La rugosidad absoluta para del material utilizado para el transporte del fluido desde el UPH hacia los cilindros hidráulicos se muestran en la Tabla 37.

**Tabla 37**

*Rugosidad en la manguera.*

Material	Rugosidad $\varepsilon$	
	ft	mm
Caucho pulido	0.000033	0.01

Fuente: (Cimbala, Yunus Cengel y John, 2006).

Por lo tanto, la rugosidad relativa es:

$$\frac{\varepsilon}{d_1} = \frac{0.01}{9.525} = 1.05 \times 10^{-3}$$

$$\frac{\varepsilon}{d_2} = \frac{0.01}{6.35} = 1.57 \times 10^{-3}$$

El factor de fricción según (Pospisil, 2007) para tubo flexible es calculado con la ecuación 72.

$$f = \frac{75}{R_e} \quad (72)$$

$$f_1 = 0.084$$

$$f_2 = 0.112$$

$$f_3=0.110$$

$$f_4=0.147$$

$$f_5=0.44$$

- cálculo de perdidas hidráulicas en tuberías flexibles

$$h_{f_{flexible,1}} = \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} \quad (73)$$

$$\begin{aligned} h_{f_{flexible,1}} &= \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} = \frac{0.084 * 1.53m * (3m/s)^2}{9.525 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 2 * \frac{0.112 * 1.28m * \left(\frac{3.38m}{s}\right)^2}{6.35 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \\ &= 32.40 mca = 3.24bar \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{f_{flexible,2}} &= \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} = \frac{0.11 * 1.68m * (2.29m/s)^2}{9.525 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 2 * \frac{0.147 * 1.04m * \left(\frac{2.58m}{s}\right)^2}{6.35 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \\ &= 21.47mca = 2.15bar \end{aligned}$$

$$h_{f_{flexible,3}} = \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} = \frac{0.44 * 2.75m * (0.86m/s)^2}{6.35 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 7.17mca = 0.717bar$$

- perdidas en el divisor de caudal

Las perdidas en el divisor de caudal según (Núñez, 2012) en su tesis “DISEÑO DE UN SISTEMA DE LUBRICACION PARA UN MOLINO SAG 32”X32” DE 621 DMTPH DE CAPACIDAD”

muestra que la perdida es:

$$h_f = k * \frac{V^2}{2 * g} \quad (74)$$

Donde el factor k se obtiene de la siguiente Tabla 38.

**Tabla 38**

*Factor K para el divisor de caudal.*

Type of Fitting	K Value
Disk or Wobble Meter	3.4 - 10
Rotary Meter (Star or Cog-Wheel Piston)	10
Reciprocating Piston Meter	15
Turbine Wheel (Double-Flow) Meter	5 - 7.5
Bends w/Corrugated Inner Radius	1.3 - 1.6 times value for smooth bend

**Example:** Determine L (friction loss in pipe fittings in terms of equivalent length in feet of straight pipe).  
Assume a 6" angle valve for Schedule 40 pipe size.  
Select the appropriate K value for such and select D and f for Schedule 40 pipe from the table below where K is the pipe diameter in feet.

Pipe Size Inches Sch. 40	D feet	f	Pipe Size Inches Sch. 40	D feet	f	Pipe Size Inches Sch. 40	D feet	f	Pipe Size Inches Sch. 40	D feet	f
½	0.0518	0.027	2½	0.2058	0.018	10	0.8350	0.014	24	1.8857	0.012
¾	0.0687	0.025	3	0.2557	0.018	12	0.9948	0.013	30	2.3333	0.011
1	0.0874	0.023	4	0.3355	0.017	14	1.0937	0.013	36	2.8333	0.011
1¼	0.1150	0.022	5	0.4206	0.016	16	1.250	0.013	42	3.3333	0.010
1½	0.1342	0.021	6	0.5054	0.015	18	1.4063	0.012	48	3.8333	0.010
2	0.1723	0.019	8	0.6651	0.014	20	1.5678	0.012			

Fuente: (Núñez, 2012).

Una vez obtenida el valor de K reemplazamos los valores en la ecuación 74 tenemos:

$$K1 = 10; hf_{Divisor\ 1} = 10 * \frac{\left(\frac{3m}{s}\right)^2}{2 * \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)} = 4.6mca = 0.46bar$$

$$K1 = 10; hf_{Divisor\ 2} = 10 * \frac{\left(\frac{2.29m}{s}\right)^2}{2 * \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)} = 2.68mca = 0.27bar$$

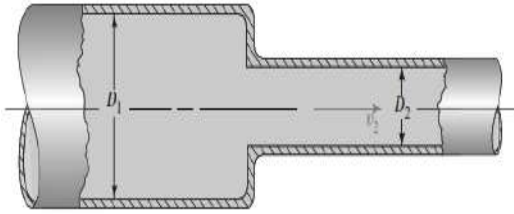
- Pérdidas en niples de reducción

En la Figura 90 para el cálculo de estas pérdidas en niples de reducción utilizaremos la metodología de contracción súbita según (Moot, 2006).

Para una contracción de 1/2" a 3/8" tenemos:

**Figura 90**

*Contracción de ducto (Moot, 2006).*



Donde:

$$D_1 = 3/8''$$

$$D_2 = 1/4''$$

Para determinar el coeficiente K debemos hallar la relación con la ecuación 75.

$$\frac{D_1}{D_2} \quad (75)$$

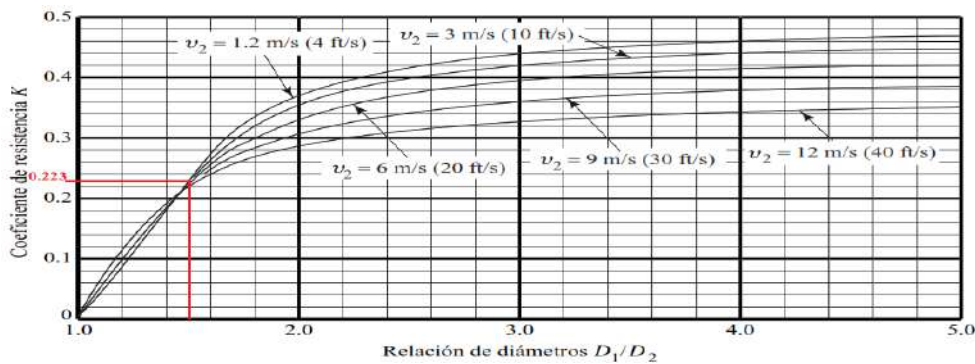
$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{3/8}{1/4} = 1.5$$

El valor del coeficiente K se obtiene con la Figura 91 el cual es:

$$K = 0.223$$

**Figura 91**

*Coeficiente K para contracción del ducto.*



Fuente: (Moot, 2006).

Reemplazamos los valores obtenidos en la ecuación 74.

$$h_{f,1} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.223 * \frac{3^2}{2 * 9.81} = 0.10mca = 0.01bar$$

$$h_{f,2} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.223 * \frac{2.29^2}{2 * 9.81} = 0.06mca = 0.006bar$$

$$h_{f,3} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.223 * \frac{0.86^2}{2 * 9.81} = 0.01mca = 0.001bar$$

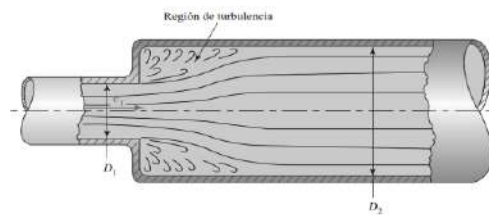
Para el análisis del niple de ampliación de súbita se muestra la Figura 92 según (Moot, 2006) tenemos:

$$D_1 = 3/8''$$

$$D_2 = 1/2''$$

### Figura 92

*Ampliación de ducto.*



Fuente: (Moot, 2006).

Para determinar el coeficiente K debemos hallar la relación siguiente:

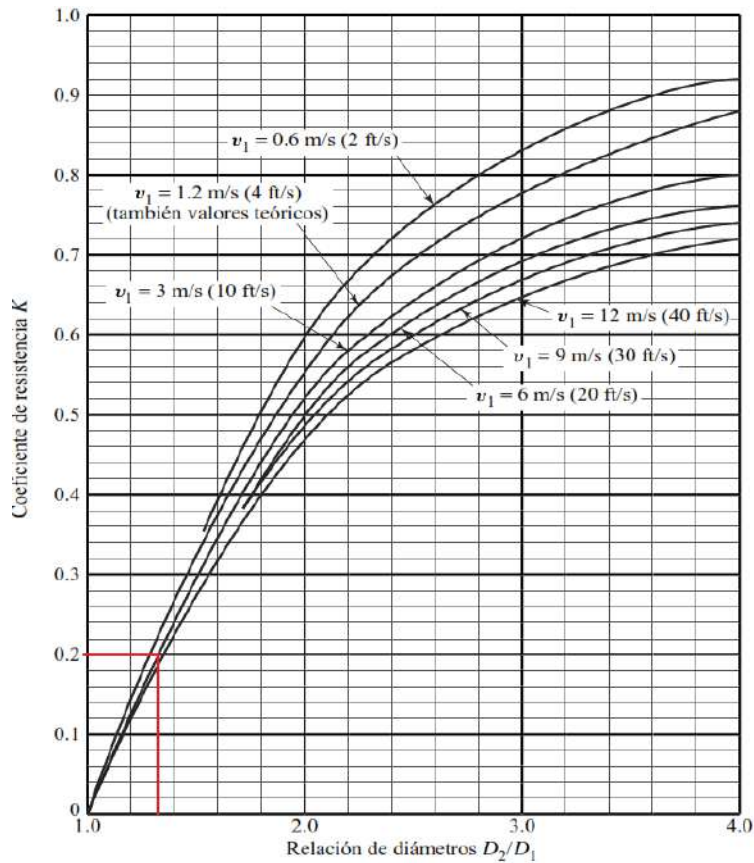
$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1/2}{3/8} = 1.333$$

El valor del coeficiente K se obtiene de la Figura 93 donde:

$$K=0.2$$

**Figura 93**

*Coeficiente  $K$  para ampliación del ducto.*



Fuente: (Moot, 2006).

Obtenemos la pérdida utilizando la ecuación 74 se tiene:

$$h_{f_{niple\ ampliacion}} = k * \frac{v^2}{2 * g} = 0.2 * \frac{3^2}{2 * 9.81} = 0.09 mca = 0.009 bar$$

#### 4.3.6.3 Pérdidas en los accesorios de la línea de presión 1

Para las pérdidas en los accesorios, se obtiene del catálogo y utilizando la relación  $(L/d_i)_{eq}$  equivalentes según (Moot, 2006). Las pérdidas de presión según catálogo de muestran en la Tabla 39.

**Tabla 39**

*Perdidas de presión según catálogo.*

N°	Descripción	$\Delta P$ MPa (Psi)
1	Válvula direccional 4/3, 3C2, Size: CETOP 3 P-A	0.12(17.405)
2	Válvula direccional 4/3, 3C2, Size: CETOP 3 B-T	0.07(10.153)
3	Válvula direccional 4/2, 2B2B, Size: CETOP 3 P-B	0.29(42.06)
4	Válvula direccional 4/2, 2B2B, Size: CETOP 3 A-T	0.26(37.71)

Fuente: Elaboración propia.

En la línea de retorno desde el cilindro hidráulico se verifican accesorios como las mostradas en la Tabla 40.

**Tabla 40**

*Perdidas de presión en la línea de retorno.*

N°	Descripción	(L/di) eq
1	Válvula estranguladora anti retorno Size: SAE 3/8"	1.1bar (159.542 psi)
2	Codo 90° radio largo Size: 3/8"	20
3	Tee de flujo directo Size: 3/8"	20

Fuente: Elaboración propia.

- Cálculo de pérdidas en accesorios en la línea de presión.

Utilizando las Tablas 39 y Tabla 40 se tiene el valor de:

$$hf_{ac, Línea 1} = 0.12MPa + 0.29MPa = 0.41MPa = 4.1bar$$

Para los accesorios que no cuentan la pérdida de presión es calculada con la ecuación 76. Esta es la suma de las longitudes equivalentes que corresponde a 2 codos largos de 90°:

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, codo} \quad (76)$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 20$$

Determinamos las pérdidas por accesorios con la ecuación 77.



$$hf_{ac,Linea\ 1.1} = f * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq,codo} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (77)$$

$$hf_{ac,Linea\ 1.1} = 0.084 * 20 * \frac{\left(\frac{3m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.77mca = 0.077bar$$

La pérdida de presión en la línea 1 es:

$$hf_{presion\ 1} = hf_{Flexible,1} + hf_{Divisor1} + hf_{ac,Linea\ 1} + 4 * hf_{ac,Linea\ 1,1} + 3 * hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{presion\ 1} = 3.24bar + 0.46bar + 4.1bar + 4 * 0.077bar + 3 * 0.009bar = 8.14\ bar$$

- Pérdidas en los accesorios en la línea 1 de retorno

Para determinar las pérdidas de presión en la línea 1 de retorno utilizamos las Tablas 39 y se obtiene:

$$hf_{ac,retorno\ 1} = 0.07MPa + 0.26MPa = 0.33MPa = 3.3bar$$

Para los accesorios que no tienen directamente perdidas de presión, obtendremos mediante la longitud equivalente con la ecuación 78.

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 2 * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, codo} + \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, tee} + 2 * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, válvula} \quad (78)$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 2 * 20 + 20 + 2 * 1.1 = 62.2$$

Las pérdidas de presión de accesorios la obtenemos con la ecuación 77.

$$hf_{ac,retorno\ 1.1} = 0.084 * 62.2 * \frac{\left(\frac{3m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 2.39mca = 0.24bar$$

La pérdida total en la línea de retorno es:

$$hf_{retorno1} = hf_{Flexible,1} + hf_{ac,retorno\ 1} + hf_{ac,retorno\ 1,1} + 2 * hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{retorno\ 1} = 3.24bar + 3.3bar + 0.24bar + 2 * 0.009bar = 6.8\ bar$$

Perdida de presión total en la línea 1.

$$hf_{linea\ 1} = hf_{presion\ 1} + hf_{retorno\ 1}$$

$$hf_{linea\ 1} = 8,14bar + 6.8bar = 14.94\ bar$$

#### 4.3.6.4 Pérdidas en los accesorios de la línea 2

- Cálculo de pérdidas en accesorios en la línea 2 de presión.

Utilizando la Tablas 39 y Tabla 40 se tiene el valor de:

$$hf_{ac,Linea\ 2} = 0.12MPa + 0.29MPa = 0.41MPa = 4.1bar$$

Para los accesorios que no cuentan la perdida de presión es calculada con la ecuación 79 Esta es la suma de las longitudes equivalentes que corresponde a 2 codos largos de 90°.

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, codo} \quad (79)$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 20$$

Determinamos las pérdidas por accesorios con la ecuación 80.

$$hf_{ac,Linea\ 2.2} = f * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq,codo} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (80)$$

$$hf_{ac,Linea\ 2.2} = 0.110 * 20 * \frac{\left(\frac{2.29m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.589mca = 0.059bar$$

La pérdida de presión en la línea 1 es:

$$hf_{presion\ 2} = hf_{Flexible,2} + hf_{Divisor\ 2} + hf_{ac,Linea\ 2} + 2 * hf_{ac,Linea\ 2,2} + hf_{niple,ampliacion} + 2 * hf_{niple,reduccion}$$

$$hf_{presion\ 2} = 2.15bar + 0.27bar + 4.1bar + 2 * 0.06bar + 0.009bar + 2 * 0.006bar$$

$$= 6.65\ bar$$

- Pérdidas en los accesorios en la línea 2 de retorno.

Para determinar las pérdidas de presión en la línea 2 de retorno utilizamos la Tabla 39 y se obtiene:

$$hf_{ac,retorno\ 2} = 0.07MPa + 0.26MPa = 0.33MPa = 3.3bar$$

Para los accesorios que no tienen directamente pérdidas de presión, obtendremos mediante la longitud equivalente con la ecuación 81.

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, tee\ de\ flujo\ directo} + 2 * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, válvula\ estrangulante} \quad (81)$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 20 + 2 * 20 = 60$$

Las pérdidas de presión de accesorios la obtenemos con la ecuación 80.

$$hf_{ac,retorno\ 2.2} = 0.147 * 60 * \frac{\left(\frac{2.58m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 2.98mca = 0.29bar$$

La pérdida total en la línea 2 de retorno es:

$$hf_{retorno\ 2} = hf_{Flexible,2} + hf_{ac,retorno\ 2} + hf_{ac,retorno\ 2,2} + 2 * hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{retorno\ 2} = 2.15bar + 3.3bar + 0.298bar + 2 * 0.009bar = 5.76 bar$$

Pérdida de presión total en la línea 2.

$$hf_{linea\ 2} = hf_{presion\ 2} + hf_{retorno\ 2}$$

$$hf_{linea\ 2} = 6.65bar + 5.76bar = 12.41 bar$$

#### 4.3.6.5 Pérdidas en los accesorios de la línea 3

- Cálculo de pérdidas en accesorios en la línea 3 de presión.

Utilizando la Tabla 39 y Tabla 40 se tiene el valor de:

$$hf_{ac,Linea\ 3} = 0.12MPa + 0.29MPa = 0.41MPa = 4.1bar$$

La pérdida de presión en la línea 3 es:

$$hf_{presion\ 3} = hf_{Flexible,3} + hf_{ac,Linea\ 3} + hf_{niple,reduccion}$$

$$hf_{presion\ 3} = 0.72bar + 4.1bar + 0.001bar = 4.82bar$$

- Pérdidas en los accesorios en la línea 3 de retorno.

Para determinar las pérdidas de presión en la línea 3 de retorno utilizamos la Tabla 40 y se obtiene:

$$hf_{ac,retorno\ 3} = 0.07MPa + 0.26MPa = 0.33MPa = 3.3bar$$

Para los accesorios que no tienen directamente pérdidas de presión, obtendremos mediante la longitud equivalente con la ecuación 81.

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, \text{ válvula estrangulante antirr}}$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 20 = 20$$

Las pérdidas de presión de accesorios la obtenemos con la ecuación 80.

$$hf_{ac,retorno\ 3.3} = 0.44 * 20 * \frac{\left(\frac{0.859m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.33mca = 0.033bar$$

La pérdida total en la línea 3 de retorno es:

$$hf_{retorno\ 3} = hf_{Flexible,3} + hf_{ac,retorno\ 3} + hf_{ac,retorno\ 3.3} + hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{retorno\ 3} = 0.72bar + 3.3bar + 0.033bar + 0.009bar = 4.06 bar$$

Pérdida de presión total en la línea 3.

$$hf_{linea\ 3} = hf_{presion\ 3} + hf_{retorno\ 3}$$

$$hf_{linea\ 3} = 4.82bar + 4.06bar = 8.88 bar$$

#### 4.3.6.6 Cálculo de pérdidas totales en la máquina de moldeo de EPS

Las pérdidas totales es la suma de las pérdidas de la línea 1, línea 2 y línea 3 siendo esta:

$$hf_{total} = hf_{linea\ 1} + hf_{linea\ 2} + hf_{linea\ 3}$$

$$hf_{total} = 14.93bar + 12.42bar + 8.88bar = 36.23 bar$$

#### 4.3.7 Calibración de válvula limitadora de presión

Para calibrar la válvula limitadora de presión se debe realizar la suma de la presión requerida para mantener la carga (110.02bar) más la pérdida total del sistema hidráulico (36.23 bar) teniendo así un total de 146.25 bar, el valor estándar entero es 150 bar. Donde la presión de la UPH debe ser mayor a 146.25bar.

#### 4.3.8 Cálculo y selección de bomba hidráulica

Para un primer cálculo asumiremos que la bomba hidráulica de caudal constante tendrá 1765 RPM; ya que este valor es el más comercial en los motores de la industria. Según (Ccarita, 2020) se considera una eficiencia volumétrica de 0.95 cuando la instalación es nueva.

El nuevo caudal demandado por los cilindros hidráulicos, considerando una eficiencia volumétrica de 0.95 es:

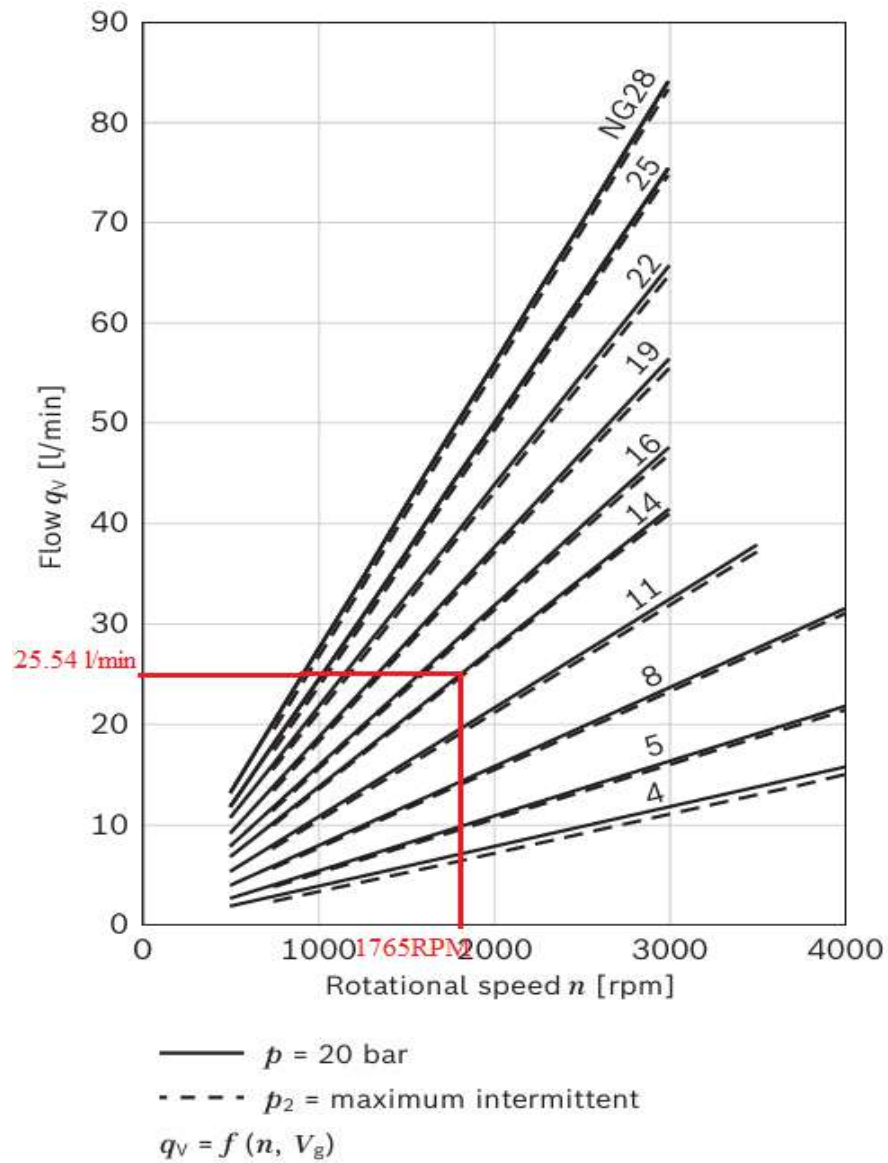
$$Q = \frac{Q_{total}}{\eta_v} = \frac{24,26 \text{ l/min}}{0.95} = 25.54 \text{ l/min}$$

Una vez calculado el nuevo caudal, procedemos a calcular el desplazamiento volumétrico con la ecuación 82.

$$Q_{1765RPM} = \frac{Q}{RPM} \tag{82}$$

$$Q_{1765RPM} = \frac{25.54 \text{ l/min}}{1765 \text{ rev/min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{l}} = 14.47 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

Con estos cálculos realizados considerando, con las revoluciones del motor de 1765RPM y el nuevo caudal Q=25.54 l/min podemos seleccionar con el catálogo la bomba hidráulica de engranajes de la serie F de REXROTH BOSCH GROUP la cual se encuentra en el ANEXO G, del cual también tenemos en desplazamiento volumétrico de 14 cm<sup>3</sup>/rev para una viscosidad de 32mm<sup>2</sup>/s (T=50°C) la cual es muy próxima a la viscosidad del aceite seleccionado MOBIL DTE 10 Excel 32 en Figura 94 se observa para la gráfica de selección de la bomba hidráulica.

**Figura 94***Grafica para la selección de bomba*

Fuente: REXROTH BOSCH GROUP.

De esta manera seleccionamos la bomba de engranajes: AZPF – 12 – 014 LRR – 12 – KB para una presión de trabajo de 150 bar, un extracto de las especificaciones técnicas se muestra en la Tabla 41.

**Tabla 41***Extracto de especificaciones técnicas*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
Presión máxima	200 bar
Serie	AZPF – 12
Caudal/Tamaño de (F)	014; 0.85 in <sup>3</sup> (14.45 cm <sup>3</sup> ) =014
Descripción de rotación	L: izquierda
Eje de transmisión	R: eje estriado de 15.456mm espesor de diente 2.357mm
Brida delantera	SAE J744 82-2 (A) – pernos (82.55”)
Conexión de líneas de tubería	Succión: 1 1/16 -12UN-2B descarga:7/8-14 UNF-2B
Sellos	K: NBR
Cubierta final	B: estándar

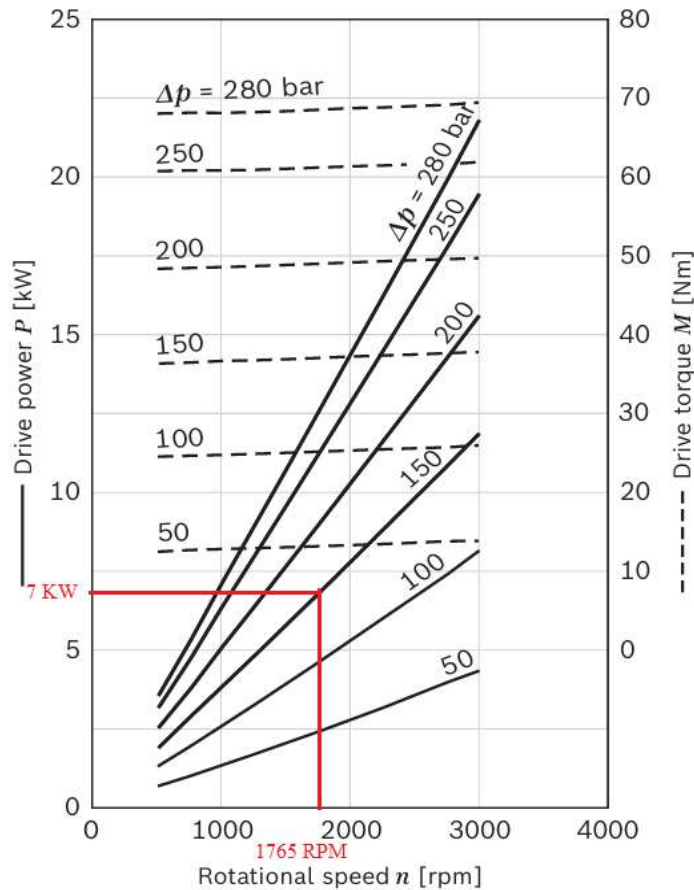
Fuente: Elaboración propia.

**4.3.9 Cálculo y selección de motor eléctrico**

Para la elección del motor eléctrico el cual accionara la bomba hidráulica de engranajes AZPF – 12 – 014 LRR – 12 – KB, para ello usamos el grafico para la selección de motores para la bomba de engranajes Rexroth Bosch de la serie F la cual se muestra en la Figura 95 para un desplazamiento volumétrico 14 cm<sup>3</sup>/rev y una viscosidad  $\nu = 32 \text{ mm}^2/\text{s}$  a  $T=50^\circ\text{C}$

Para determinar la capacidad del motor que accionara la bomba usamos la Figura 95 con los datos de 1765 RPM y una presión de 150 bar que es superior a la presión calculada para el sistema, con este dato se tiene del grafico una potencia de motor eléctrico de 7 kW el cual es equivalente a 9.4 HP aproximamos a un valor comercial de 10Hp.

El motor seleccionado según el catálogo WEG, se selecciona un motor trifásico de 10Hp de 220/380/440 V, 60 Hz, 1760 RPM 4.12 kg f-m cuyo método de arranque es de partida directa. Las especificaciones del motor seleccionado se detallan en el ANEXO H.

**Figura 95***Grafica para selección de motor*

Fuente: REXROTH BOSCH GROUP.

#### 4.3.10 tanque de aceite

El tanque de aceite es un recipiente que proporciona a la bomba hidráulica de aceite para enviar al sistema, una vez que el fluido hidráulico circule por circuito hidráulico esta se devolverá al tanque el cual cumple dos funciones principales las cuales son:

- Disminuir la temperatura del aceite que ocasionado por perdidas de energía el cual llega del circuito hidráulico al tanque.
- Entregar de forma continua aceite a la bomba hidráulica para evitar la cavitación producto de la succión de aire.



Para determinar el volumen del tanque empleamos la ecuación 83.

$$C_{TK} = p * Q \quad (83)$$

Donde:

p = tiempo de permanecía del aceite en el tanque.

Q = caudal medio del sistema.

En la siguiente Tabla 42 de muestra valores recomendados de p.

**Tabla 42**

*Valores recomendados de p.*

p (minutos)	Condición
0.5 – 1	Hidráulica de aviones
1 – 2	Hidráulica de equipos móviles
3 – 5	Instalaciones estacionarias

Fuente: (Julca, 2015).

Consideramos una instalación estacionaria puesto que la máquina de moldeo es una máquina industrial el cual corresponde a un “p” que se encuentra entre 3 a 5. Para fines de cálculo se toma un valor de 4.

Con los valores obtenidos reemplazamos en la ecuación 83 teniendo así:

$$v_{tanque} = C_{TK} = 4 * 24.26 \text{ l/min} = 97.05 \text{ l/min} = 25.64 \text{ galones}$$

Donde según Julca (2015) el volumen del tanque se encuentra entre:

$$110.4 < C_{TK} < 184$$

Podemos ver que para cumplir lo requerido el volumen del tanque sea 100 litros.

#### **4.3.10.1 Selección de tanque de aceite**

El tanque de aceite se puede fabricar para la capacidad calculada, en este caso seleccionaremos según catálogo WHYNCOOPERU E.I.R.L el UPH con las características mencionadas motor

10 Hp, bomba 10 GPM, presión de 2800 psi y un tanque de 40 GL el cual tiene número de parte de WPUH 20-10-40 el cual se muestra en el ANEXO I.

#### **4.3.11 Dimensionamiento del filtro**

Los filtros son utilizados en sistemas hidráulicos con el propósito de disminuir la contaminación del aceite producto del polvo, desgaste de componentes que generan partículas sólidas durante la operación del sistema, estas sustancias son filtradas para reducir el nivel de contaminación del aceite y así proteger los equipos del sistema.

Un sistema hidráulico requiere para su protección de contaminantes de aceite.

- Filtro de llenado
- Filtro de retorno
- Filtro de succión

Para la selección del filtro se debe tomar en cuenta el caudal y el grado de filtración. Para determinar el grado de filtración recurrimos a la guía de selección de filtro de IKRON. En la siguiente Tabla 43 se muestra el grado de filtración para componentes como es la bomba de engranajes y motor eléctrico.

**Tabla 43**

*Grado de filtración.*

<b>SELECCIÓN DEL GRADO DE FILTRACIÓN</b>					
Componente	Uso	Nivel de presión (BAR)	NAS 1638	ISO 4406: 1999	Grado de filtración IKRON
Bomba de engranajes y motor	Ocasional	X<140	11	22/20/17	RP/SP026-FB060
		140<X<210	10	21/19/16	RP/SP010-FG025
		X<210	10	21/19/16	RP/SP010-FG025
	Continuo	X<140	10	21/19/16	RP/SP010-FG025

---

**SELECCIÓN DEL GRADO DE FILTRACIÓN**


---

Bombas y motores de pistón de desplazamiento fijo y variable	Ocasional	140<X<210	9	20/18/15	FG010
		X<210	8	19/17/14	FG010
		X<140	9	20/18/15	RP/SP026-FB060
		140<X<210	9	20/18/15	RP/SP010-FG025
	Continuo	X<210	8	19/17/14	RP/SP010-FG025
		X<140	8	19/17/14	RP/SP010-FG025
		140<X<210	8	19/17/14	FG010
		X<210	7	18/16/13	FG010

---

Fuente: Adaptado de GUIA DE SELECCIÓN DE FILTROS IKRON

#### **4.3.12 Selección de filtro de retorno**

En caso del sistema oleo hidráulico tenemos para la selección del filtro de retorno una bomba de engranajes y motor de uso continuo con una presión de 200bar para la bomba de la máquina de moldeo. El grado de filtración para este caso es ISO 20/18/15, según la ISO 4406:1999 esta norma clasifica las partículas contaminantes en los fluidos hidráulicos, esta norma muestra una cantidad de partículas admisibles según la designación del grado de filtración, a continuación, se muestra en la Tabla 44 el código de contaminación.

**Tabla 44**

*Código de contaminación.*

---

<b>ISO 4406: 1999 CODIGO DE CONTAMINACION</b>		
<b>Numero de partículas por 1ml de fluido</b>		<b>Numero de escala</b>
<b>más que</b>	<b>hasta/ incluyendo</b>	
1300000	2500000	28
640000	1300000	27
320000	640000	26
160000	320000	25
80000	160000	24
40000	80000	23

---

---

**ISO 4406: 1999 CODIGO DE CONTAMINACION**

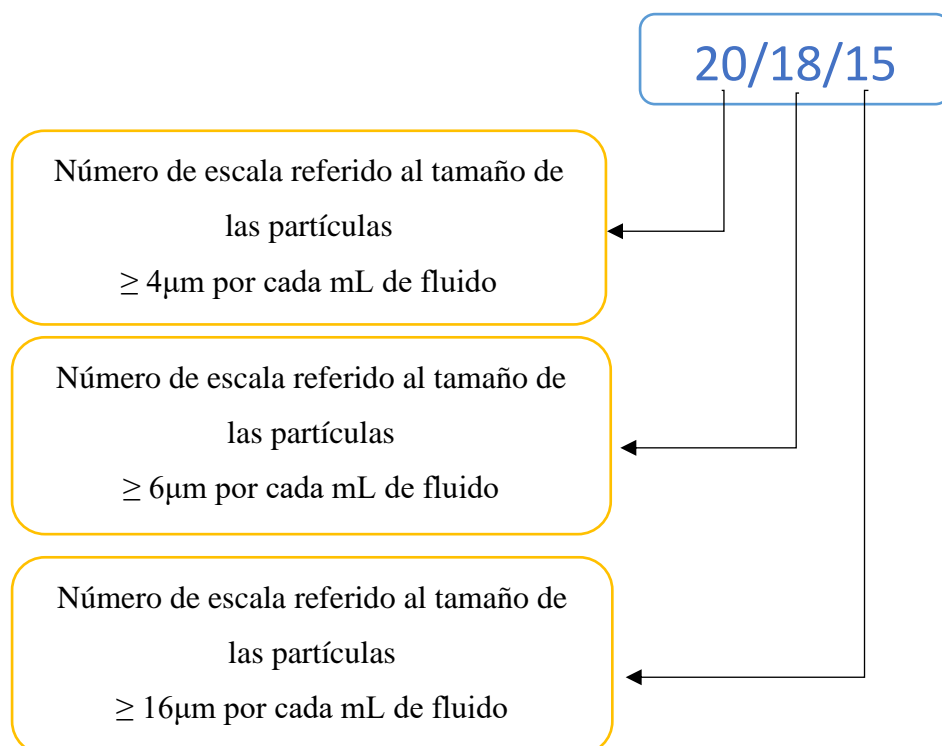
Numero de partículas por 1ml de fluido		Numero de escala
más que	hasta/ incluyendo	
20000	40000	22
10000	20000	21
<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>20</b>
2500	5000	19
<b>1300</b>	<b>2500</b>	<b>18</b>
640	1300	17
320	640	16
<b>160</b>	<b>320</b>	<b>15</b>
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1
0	0	0

---

Fuente: Adaptada de GUIA DE SELECCIÓN DE FILTROS IKRON

Para nuestro caso tenemos el grado de filtración ISO 20/18/15, el código de contaminación indica:

Código de contaminación 20/18/15.



Según la Tabla 44, el número de partículas por 1 mL de fluido está dado por el código de contaminación el cual se muestra a continuación:

- Código 20, se encuentra en el intervalo de 5000 – 10000.
- Código 18, se encuentra en el intervalo de 1300 – 2500.
- Código 15, se encuentra en el intervalo de 160 – 320.

Según la Tabla 43 se tiene para una presión de 200 bar y de uso continuo para una bomba de engranajes y motor se tiene un grado de filtración FG010, esta corresponde al elemento filtrante de microfibra de vidrio con una eficiencia del 99.5%, esta nos indica un grado de filtración de 10  $\mu\text{m}$ .

Con estos datos procedemos a seleccionar el filtro utilizando el catálogo de IKRON de donde se tiene **HF547 – 20.077 – AS – FG010 – B17 – GD – B – S – Z – XA – GA – M**, esta soporta 40 l/min. Las características se adjuntan en el ANEXO J.

#### ***4.3.13 Selección de filtro de succión para UPH***

Para la selección del filtro de succión se elige la serie HF 410 y se determinó un grado de filtración de 25  $\mu\text{m}$  el cual está hecho de una malla de acero. Utilizamos el catálogo IKRON, se selecciona el filtro **HF410 – 20.077 – AS – MI025 – GD – A02**, cuyas características se adjuntan en el ANEXO K.

#### ***4.3.14 Selección del filtro de llenado***

Del catálogo de IKRON seleccionamos la serie HB 70, ya que en esta se incluye dispositivos que evitan la contaminación de macro partículas así como también dispositivo anti salpicadura. Es así que se selecciona el filtro **HB 70 – A – 05 – E – 1**, las características técnicas se muestran en el ANEXO L.

### **4.4 Cálculo térmico**

#### ***4.4.1 Cálculo y selección de caldera de vapor***

Para el cálculo y selección de la caldera vapor para una máquina de moldeo de EPS (poliestireno expandido), el primer paso consiste en determinar energía necesaria para lograr un moldeo eficiente, este es un proceso fundamental, ya que el aporte de calor adecuado es clave para garantizar la correcta fusión de las perlas y, por ende, la calidad de la formación de bloques de EPS.

#### ***4.4.2 Procesos de formación de bloque***

EPS (Poliestireno Expandido): Se suministra la mezcla de material pre expandido y reciclado que contienen un agente expansor (pentano).

Expansión secundaria: Se suministra vapor a la máquina de moldeo a una presión determinada (0.7 - 0.9 bar), se calienta con vapor el material de EPS, se expande y se fusionan para formar un bloque.

#### 4.4.3 Parámetros de cálculo

Para iniciar el cálculo del sistema de distribución de vapor para la máquina de moldeo, en la Tabla 45 se tiene los parámetros claves como la presión, temperatura del vapor, las dimensiones del molde, así como las propiedades físicas del material a moldear y del vapor.

**Tabla 45**

*Parámetros de cálculo de distribución de vapor.*

PARÁMETROS	VALOR	
Longitud del bloque	3.000	m
Altura de bloque	1.250	m
Ancho de bloque	0.640	m
Masa de bloque de EPS	36.00	kg
Calor específico del EPS kJ/kg. °C	1.200	kJ/kg K
Calor específico del agua kJ/kg. °C	4.190	kJ/kg °C
Calor específico del acero kJ/kg. °C	0.486	kJ/kg K
$V_t$ = Incremento de temperatura, °C	100	°C
$T_0$ = temperatura inicial del EPS	15	°C
$T_F$ = temperatura final del EPS	115	°C

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.4 Cálculo de demanda de energía

##### 4.4.4.1 Balance energético

El principio básico de balance de energías mostrado en la ecuación 84 nos indica que la energía que entra a la máquina de moldeo menos la energía que sale de la máquina de moldeo es igual a la energía del sistema.

$$E_{\text{entrada}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}} \quad (84)$$

Para este análisis, se va a calcular la energía que entra, que en este caso es la energía que se necesita, para lograr expandir las perlas de EPS para formar bloques de 2.4m<sup>3</sup> de densidad 15 kg/m<sup>3</sup>.

Se calcularán dos parámetros: la variación de la energía interna del sistema y la energía transferida hacia el exterior.

#### 4.4.4.2 Variación de la energía interna del sistema.

La energía interna de un sistema es la suma de todas las energías del interior del sistema, por lo que no se incluye ni la energía cinética global, ya que no se encuentra a una determinada velocidad, ni la energía potencial gravitatoria global, ya que no está en determinadas posiciones unas respecto a otras, ni la energía potencial elástica global, ya que no existe vibraciones dentro del mismo.

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \Delta \mu_{\text{sistema}} \quad (85)$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \Delta \mu_{\text{EPS}} + \Delta \mu_{\text{molde de acero}} \quad (86)$$

$$\Delta \mu_{\text{sistema}} = m * C_p * \Delta T \quad (87)$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = (m * C_p * \Delta T)_{\text{EPS}} + (m * C_p * \Delta T)_{\text{molde de acero}} \quad (88)$$

Donde:

m: masa

C<sub>p</sub>: calor específico

ΔT: diferencia de temperaturas

DATOS:

#### Bloque de EPS

V<sub>EPS</sub> = 2.4m<sup>3</sup>      Volumen de bloque de EPS



$\rho = 15 \text{ kg/m}^3$	Densidad de EPS
$C_p = 1.2 \text{ kJ/kg K}$	Calor específico del EPS
$T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de inicial de EPS
$T_f = 115 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de final de EPS

Se calculo la masa del bloque de EPS.

$$\rho = m/V$$

$$m_{\text{EPS}} = 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2.4 \text{m}^3$$

$$m_{\text{EPS}} = 36 \text{ kg}$$

Con los datos obtenidos se realizó el cálculo la energía interna del bloque como sigue:

$$\Delta\mu_{\text{EPS}} = m * C_p * (T_f - T_o)$$

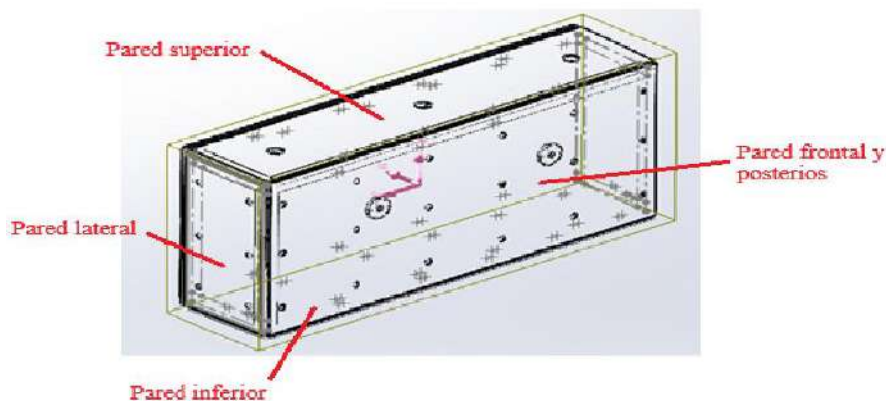
$$\Delta\mu_{\text{EPS}} = 36 \text{ kg} * 1.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (115 - 15) \text{ K}$$

$$\Delta\mu_{\text{EPS}} = 4320 \text{ kJ}$$

En la Figura 96 se muestra la máquina de moldeo del cual se determina la energía interna teniéndose así los datos siguientes:

**Figura 96**

*Molde de acero para EPS.*



Fuente: Elaboración Propia.

### Máquina de moldeo

$M_m = 1668.91 \text{ kg}$  Masa del molde de acero.

$C_p = 0.49 \text{ kJ/kg K}$  Calor específico del acero A36.

$T_0 = 15 \text{ °C}$  Temperatura de inicial de EPS.

$T_f = 115 \text{ °C}$  Temperatura de inicial de EPS.

Datos para el diseño térmico.

$$\Delta\mu_{\text{Molde}} = M_m * C_p * (T_f - T_0)$$

$$\Delta\mu_{\text{Molde}} = 1668.91 \text{ kg} * 0.486 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (115 - 15) \text{ K}$$

$$\Delta\mu_{\text{molde}} = 81,109.03 \text{ kJ}$$

Una vez ya determinadas las todas las variables se proceden a reemplazar los datos obtenidos como sigue:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = (m * C_p * \Delta T)_{\text{EPS}} + (m * C_p * \Delta T)_{\text{molde de acero}}$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = (4320 \text{ kJ})_{\text{EPS}} + (81,109.03 \text{ kJ})_{\text{molde de acero}}$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 86096.59 \text{ kJ}$$

Con el calor interno del sistema, se procede a realizar el cálculo de la energía interna necesaria para el tiempo que dura el proceso de vaporización para poder moldear el bloque de EPS.

Tiempo de vaporización:  $T = 110 \text{ s}$ .

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \frac{81,109.03 \text{ kJ}}{110 \text{ seg}}$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 776.63 \text{ kW}$$

#### 4.4.5 *Perdidas por convección natural*

##### 4.4.5.1 **Parámetros de cálculo para perdidas por convección**

La energía que sale de las paredes del molde hacia el medio ambiente está dada por la ecuación 89:

$$E_{\text{sale}} = Q_{\text{conv}} = h_s * A_{\text{transf}} * (T_s - T_{\alpha}) \quad (89)$$

Donde:

$h_s$  = coeficiente de transferencia de calor por convección.

$A_{\text{transf}}$  = Área de la superficie de transferencia de calor

La transferencia de calor de las paredes del molde al ambiente se considera convección libre o natural, suponemos que la velocidad del viento en planta es baja, nos dará una aproximación bastante aceptable para el cálculo del coeficiente convectivo de calor.

Iniciamos calculando la temperatura de película o temperatura promedio con la ecuación 90 para obtener las propiedades termodinámicas del aire.

$T_s = 99.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ : Temperatura de superficie del molde de acero

$T_{\alpha} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ : Temperatura de ambiente

$$T_F = \frac{T_s + T_{\alpha}}{2} \quad (90)$$

$$T_F = \frac{(99,5 + 15)}{2}$$

$$T_F = 57.3^{\circ}\text{C}$$

Se realizo la evaluación de todas las propiedades del fluido a la temperatura promedio, una vez obtenida esta temperatura se debe buscar en la tabla de propiedades del aire los valores de conductividad térmica ( $W/ m \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), viscosidad cinemática ( $m^2/s$ ) y el número de Prandtl. Estas propiedades del aire a  $T_F = 57.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  se muestra en el ANEXO M.

Los siguientes valores se obtienen por medio de una interpolación a 57.3 °C de la tabla A-15 del libro de Transferencia de Calor y masa (Cengel, 2007).

Calculo por interpolación de conductividad térmica del aire a 57.3 °C:

$T_1 = 50\text{ °C}$ : Temperatura.

$k_1 = 0.02735 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$ : Conductividad térmica del aire a 50 °C.

$T_2 = 57.3\text{ °C}$ : Temperatura.

$k_2 = X$ : Conductividad térmica del aire a 57.3 °C.

$T_3 = 60\text{ °C}$ : Temperatura.

$k_3 = 0.02808 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$ : Conductividad térmica del aire a 60 °C.

Con estos datos obtenidos se realiza la interpolación con la ecuación 91 para obtener la conductividad térmica.

$$k_2 = \left( \frac{k_3 - k_1}{T_3 - T_1} \right) * (T_2 - T_1) + k_1 \quad (91)$$

$$k_2 = \left( \frac{0.02808 - 0.02735}{60 - 50} \right) * (57.3 - 50) + 0.02735$$

$$k_2 = 0.02788 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Calculo por interpolación de viscosidad cinética del aire a 57.3 °C:

$T_1 = 50\text{ °C}$  Temperatura.

$\nu_1 = 1.798 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  Viscosidad cinética del aire a 50 °C.

$T_2 = 57.3\text{ °C}$  Temperatura.

$\nu_2 = X$  Viscosidad cinética del aire a 57.3 °C.

$T_3 = 60\text{ °C}$  Temperatura.

$\nu_3 = 1.896 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  Viscosidad cinética del aire a 60 °C.

Al igual que la anterior interpolación procedemos a determinar la viscosidad cinemática como sigue:

$$v_2 = \left( \frac{v_3 - v_1}{T_3 - T_1} \right) * (T_2 - T_1) + v_1$$

$$v_2 = \left( \frac{1.896 \times 10^{-5} - 1.798 \times 10^{-5}}{60 - 50} \right) * (57.3 - 50) + 1.798 \times 10^{-5}$$

$$v_2 = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Calculo por interpolación de numero de Prandtl del aire a 57.3 °C:

$T_1 = 50$  °C: Temperatura.

$Pr_1 = 0.7228$ : Numero de Prandtl del aire a 50 °C.

$T_2 = 57.3$ °C: Temperatura.

$Pr_2 = X$ : Numero de Prandtl del aire a 57.3 °C.

$T_3 = 60$ °C: Temperatura.

$Pr_3 = 0.7202$ : Numero de Prandtl del aire a 60 °C.

Con los datos obtenidos se realiza la interpolación para ello utilizamos la ecuación 92 con la cual se obtendrá el número de Prandtl.

$$Pr_2 = \left( \frac{Pr_3 - Pr_1}{T_3 - T_1} \right) * (T_2 - T_1) + Pr_1 \quad (92)$$

$$Pr_2 = \left( \frac{0.7202 - 0.7228}{60 - 50} \right) * (57.3 - 50) + 0.7228$$

$$Pr_2 = 0.7209$$

Se obtuvo Valores interpolados de las propiedades del aire para una temperatura 57.3°C son:

$$k = 0.02788 \frac{\text{W}}{\text{m K}}: \text{Conductividad térmica.}$$

$$\nu = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; \quad \text{Viscosidad cinética.}$$

$$\text{Pr} = 0.7209; \quad \text{Numero de Prandtl.}$$

Con las propiedades termodinámicas del aire definidas, hallamos el coeficiente de expansión volumétrica  $\beta$  mediante la ecuación 93 (Cengel, 2007).

$$\beta = \frac{1}{T_F} \quad (93)$$

$$\beta = \frac{1}{(57.3 + 273)^\circ\text{K}}$$

$$\beta = \frac{1}{(333)^\circ\text{K}}$$

$$\beta = 0.003 \text{ K}^{-1}$$

#### 4.4.5.2 Cálculo de pérdidas de calor en paredes verticales

Al calcular el valor de  $\beta$ , ya tenemos los datos completos para realizar el cálculo del número de Rayleigh el cual resulta de multiplicar el número de Grashof y el número de Prandtl, según la fórmula (Cengel, 2007).

$$\text{Ra} = \text{Gr} * \text{Pr} \quad (94)$$

El número de Grashof (Gr) se determina con la ecuación 95 (Cengel, 2007).

$$\text{Gr} = \frac{g * \beta * (T_S - T_\alpha) L^3}{\nu^2} \quad (95)$$

Donde:

$$g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Aceleración gravitacional.}$$

$$\beta = 0.003 \text{ K}^{-1} \quad \text{Coeficiente de expansión volumétrica, 1/K. } (\beta=1/T \text{ para los gases ideales}).$$

$$T_S = 99.5^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura de la superficie } (^\circ\text{C}).$$

$$T_\alpha = 15^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie } (^\circ\text{C}).$$

$L_V = 1.25 \text{ m}$  Longitud de transferencia para paredes verticales (m).

$\nu = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  Viscosidad cinemática del fluido ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

$$Ra_V = \frac{g * \beta * (T_S - T_\infty) L^3}{\nu^2} * Pr \quad (96)$$

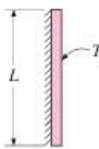
$$Ra_V = \left( \frac{9.8 \text{ m}^2/\text{s} * 0.003 \text{ K}^{-1} * (99.5 - 15 \text{ °C}) * (1.25 \text{ m})^3}{(1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} \right) * 0.7209$$

$$Ra_V = 1.008 \times 10^{10}$$

Al obtener el valor de número de Rayleigh, ahora nos aseguramos que se encuentre dentro de intervalo según la Figura 97.

### Figura 97

*Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficie vertical.*

Configuración geométrica	Longitud característica $L_c$	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	$L$	$10^4 - 10^9$	$Nu = 0.59 Ra_L^{1/4}$ (9-19)
		$10^9 - 10^{13}$	$Nu = 0.1 Ra_L^{1/3}$ (9-20)
		Todo el intervalo	$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/27}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)

Fuente: (Cengel, 2007).

$$10^9 < Ra_V < 10^{13}$$

$$10^9 < 1.008 \times 10^{10} < 10^{13}$$

Verificamos el intervalo donde se encuentra el valor calculado Ra y obtenemos las fórmulas empíricas para el número de Nusselt según la tabla 9-1 del libro de Transferencia de Calor y masa (Cengel, 2007), para las paredes verticales del molde se determina con la ecuación 97.

$$Nu_V = 0.1 Ra_L^{1/3} \quad (97)$$

$$Nu_V = 0.1 * (1.008 \times 10^{10})^{1/3}$$

$$Nu_V = 216.02$$

El siguiente paso es calcular  $h_V$  (coeficiente promedio de transferencia de calor sobre la superficie) con la ecuación 98.

$$h_V = \frac{k}{L_V} * Nu \quad (98)$$

$$h_V = \frac{0.0279 \frac{W}{m \cdot K}}{1.25m} * 216.02$$

$$h_V = 4.82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

El último paso, previo al calcular del calor de convección en las paredes verticales de la máquina de moldeo, consiste en determinar el área de la superficie vertical exterior de la máquina de moldeo.

#### 4.4.5.3 Área de transferencia de calor pared frontal y posterior

El área de transferencia de calor esta dado por la ecuación 99.

$$A_{transf\ 1} = L_c * B \quad (99)$$

Donde:

$L_c = 1.25m$  Altura de pared vertical de la máquina de moldeo.

$B = 3.0m$  Largo de las paredes verticales más grandes de la máquina de moldeo.

$A = 0.64m$  Largo de las paredes verticales más pequeños de la máquina de moldeo.

$A_{transf\ 1}$ : Área de transferencia frontal y posterior de la máquina de moldeo.

$$A_{transf\ 1} = 1.25m * 3.0m$$



$$A_{\text{transf } 1} = 3.75\text{m}^2$$

#### 4.4.5.4 Pérdida de calor en pared vertical frontal y posterior

Al reemplazar los valores obtenidos de  $h_v$  y de  $A_{\text{transf } 1}$  se calcula la pérdida de calor por convección natural en la pared frontal y posterior de la máquina de moldeo. Se debe tener en cuenta que el área de la pared frontal y posterior son iguales, por el cual el cálculo de pérdida de calor total se determina con la ecuación 100.

$$Q_{\text{conv } 1} = 2 * (h_v * A_{\text{transf } 1} * (T_s - T_\infty)) \quad (100)$$

$$Q_{\text{conv } 1} = 2 * (4.82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 3.75\text{m}^2 * (99.5^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{conv } 1} = 2 * 1527.81 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv } 1} = 3.055 \text{ kW}$$

#### 4.4.5.5 Área de transferencia de calor pared lateral izquierda y derecha

Área de transferencia se determina de forma similar con la ecuación 99 donde:

$L_c = 1.25\text{m}$  Altura de pared vertical de la máquina de moldeo.

$A = 0.64\text{m}$  Largo de la pared vertical lateral de la máquina de moldeo.

$A_{\text{transf } 2}$ : Área de transferencia pared lateral de la máquina de moldeo.

$$A_{\text{transf } 2} = L_c * A$$

$$A_{\text{transf } 2} = 1.25\text{m} * 0.64\text{m}$$

$$A_{\text{transf } 2} = 0.8 \text{ m}^2$$

#### 4.4.5.6 Pérdida de calor en la pared lateral derecha e izquierda

Al reemplazar los valores obtenidos de  $h_v$  y de  $A_{\text{transf } 2}$  se calcula la pérdida de calor por convección natural en la pared lateral de la máquina de moldeo. Se debe tener en cuenta que el

área de las paredes laterales es igual, por el cual el cálculo de pérdida de calor total se determina con la ecuación 101.

$$Q_{\text{conv } 2} = 2 * (h_v * A_{\text{transf } 2} * (T_s - T_\alpha)) \quad (101)$$

$$Q_{\text{conv } 2} = 2 * (4.82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 0.8\text{m}^2 * (99.5^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{conv } 2} = 2 * 325.93 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv } 2} = 0.652 \text{ kW}$$

#### 4.4.5.7 Cálculo de pérdida de calor en la pared horizontal

La transferencia de calor de las paredes del molde al ambiente se considera convección libre o natural, suponemos que la velocidad del viento en planta es baja, nos dará una aproximación bastante aceptable para el cálculo del coeficiente convectivo de calor.

Tomaremos el valor calculado de la temperatura de película o promedio de anterior calculo para obtener las propiedades termodinámicas del aire a  $57.3^\circ\text{C}$ .

Con las propiedades termodinámicas del aire definidas, calculamos el número de Raleigh con la ecuación 102.

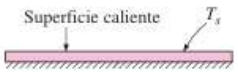
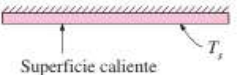
$$R_a = Gr * Pr \quad (102)$$

Calcularemos la longitud de transferencia de calor para la pared horizontal de la máquina de moldeo.

La figura 98 muestra las correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficie horizontal.

**Figura 98**

*Numero de Nusselt para la convección natural.*

<p>Plástico horizontal (Área superficial <math>A</math> y perímetro <math>p</math>) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)</p>  <p>Superficie caliente <math>T_s</math></p> <p>b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría)</p>  <p>Superficie caliente <math>T_s</math></p>	$A_s/p$	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ (9-22)
			$Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ (9-23)
		$10^5 - 10^{11}$	$Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ (9-24)

Fuente: (Cengel, 2007).

Donde:

$A_s = 1.92 \text{ m}^2$  Área de la superficie horizontal superior o inferior de la máquina de moldeo.

$P = 7.28 \text{ m}$  Perímetro de la superficie horizontal superior o inferior de la máquina de moldeo.

$$L_h = \frac{A_s}{P}$$

$$L_h = \frac{1.92 \text{ m}^2}{7.8 \text{ m}}$$

$$L_h = 0.26 \text{ m}$$

El número de Grashof (Gr) se calcula con la siguiente manera:

$$Gr_H = \frac{g * \beta * (T_s + T_\infty) L_H^3}{\nu^2}$$

Donde:

$g = 9.8 \text{ m}^2/\text{s}$  Aceleración gravitacional.

$\beta = 0.003 \text{ K}^{-1}$  Coeficiente de expansión volumétrica,  $1/\text{K}$ . ( $\beta=1/T$  para los gases ideales).

$T_s = 99.5^\circ\text{C}$  Temperatura de la superficie ( $^\circ\text{C}$ ).

$T_{\alpha} = 15^{\circ}\text{C}$  Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$L_H = 0.26\text{ m}$  Longitud de transferencia para paredes horizontales (m).

$\nu = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  Viscosidad cinemática del fluido ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

$$Ra_H = \frac{g * \beta * (T_s + T_{\alpha}) L_H^3}{\nu^2} * Pr \quad (103)$$

$$Ra_H = \left( \frac{9.8 \text{m}^2/\text{s} * 0.003 \text{K}^{-1} * (99.5 - 15^{\circ}\text{C}) * (0.26\text{m})^3}{(1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} \right) * 0.7209$$

$$Ra_H = 9.01 \times 10^7$$

Al obtener el valor de número de Rayleigh no aseguramos que se encuentre dentro de intervalo según la tabla 9-1 del libro de Transferencia de Calor y masa (Cengel, 2007).

$$10^7 < Ra_H < 10^{11}$$

$$10^7 < 9.01 \times 10^7 < 10^{11}$$

Verificamos el intervalo donde se encuentra el valor calculado  $Ra_H$  y obtenemos las fórmulas empíricas para el número de Nusselt según la tabla 9-1 del libro de Transferencia de Calor y masa (Cengel, 2007). Para superficie horizontal superior se tiene la ecuación 104:

$$Nu_H = 0.15 Ra_H^{1/3} \quad (104)$$

$$Nu_H = 0.15 * (9.01 \times 10^7)^{1/3}$$

$$Nu_H = 67.245$$

El paso siguiente al número de Nusselt es calcular “h” (coeficiente promedio de transferencia de calor sobre la superficie) cuya fórmula se describe en la ecuación 105.

$$h_V = \frac{k}{L_H} * Nu_H \quad (105)$$

$$h_H = \frac{0.0279 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{0.26\text{m}} * 67.245$$

$$h_H = 7.2159 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

El último paso, previo al cálculo el calor de convección en paredes horizontales superior e inferior, es calcular el área de la superficie correspondiente.

#### 4.4.5.8 Área de transferencia de calor pared superior

Con la ecuación 106 se determina el área de transferencia de calor.

$$Q_{\text{conv } 3} = (h_H * A_{\text{transf } 3} * (T_s - T_\alpha)) \quad (106)$$

Donde:

$A = 0.64\text{m}$  Ancho de pared horizontal de la máquina de moldeo.

$B = 3.0\text{m}$  Largo de la pared horizontal de la máquina de moldeo.

$A_{\text{transf } 3}$ : Área de transferencia pared horizontal superior de la máquina de moldeo.

$$A_{\text{transf } 3} = A * B$$

$$A_{\text{transf } 3} = 0.64\text{m} * 3.0\text{m}$$

$$A_{\text{transf } 3} = 1.92 \text{ m}^2$$

#### 4.4.5.9 Pérdida de calor en la pared superior

Al reemplazar los valores obtenidos de  $h_H$  y de  $A_{\text{transf } 3}$  se calcula la pérdida de calor por convección natural en la pared superior de la máquina de moldeo con la ecuación 107.

$$Q_{\text{conv } 3} = (h_H * A_{\text{transf } 3} * (T_s - T_\alpha)) \quad (107)$$

$$Q_{\text{conv } 3} = (7.216 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 1.92\text{m}^2 * (99.5^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{conv } 3} = 1170.56 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv } 3} = 1.117 \text{ kW}$$

#### 4.4.5.10 Cálculo de pérdida de calor pared inferior

Al obtener el área y valor de número de Rayleigh del anterior cálculo realizado para la pared superior, se verifica que dichos valores se encuentren dentro del intervalo correspondiente para la pared inferior según la tabla 9-1 del libro de Transferencia de Calor y masa (Cengel, 2007).

$$10^5 < Ra_H < 10^{11}$$

$$10^5 < 9.01 \times 10^7 < 10^{11}$$

Verificamos el intervalo donde se encuentra el valor calculado  $Ra_H$  y obtenemos las fórmulas empíricas para el número de Nusselt según la tabla 9-1 del libro de Transferencia de Calor y masa (Cengel, 2007), para superficie horizontal inferior se tiene la ecuación 108:

$$Nu_{Hi} = 0.27 Ra_H^{1/4} \quad (108)$$

$$Nu_{Hi} = 0.27 * (9.01 \times 10^7)^{1/4}$$

$$Nu_H = 26.305$$

El paso siguiente al número de Nusselt es calcular “h” (coeficiente promedio de transferencia de calor sobre la superficie) cuya fórmula se describe en la ecuación 109.

$$h_{Hi} = \frac{k}{L_H} * Nu_H \quad (109)$$

$$h_{Hi} = \frac{0.0279 \frac{W}{m \cdot K}}{0.26m} * 26.305$$

$$h_{Hi} = 2.823 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

#### 4.4.5.11 Área de transferencia de calor pared inferior

Para determinar el área de transferencia de calor se utiliza la ecuación 110.

$$A_{transf3} = A * B \quad (110)$$

Donde:

$A = 0.64\text{m}$  : Ancho de pared horizontal de la máquina de moldeo.

$B = 3.0\text{m}$  : Largo de la pared horizontal de la máquina de moldeo.

$A_{\text{transf } 3}$  : Área de transferencia pared horizontal inferior de la máquina de moldeo.

$$A_{\text{transf } 3} = A * B$$

$$A_{\text{transf } 3} = 0.64\text{m} * 3.0\text{m}$$

$$A_{\text{transf } 3} = 1.92 \text{ m}^2$$

#### 4.4.5.12 Pérdida de calor en la pared inferior

Al reemplazar los valores obtenidos de  $h_H$  y de  $A_{\text{transf } 3}$ , se calcula la pérdida de calor por convección natural en la pared superior de la máquina de moldeo con la ecuación 111.

$$Q_{\text{conv } 4} = (h_{\text{Hi}} * A_{\text{transf } 3} * (T_s - T_{\alpha})) \quad (111)$$

$$Q_{\text{conv } 4} = (2.823 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 1.92\text{m}^2 * (99.5\text{°C} - 15\text{°C}))$$

$$Q_{\text{conv } 4} = 370.39 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv } 4} = 0.370 \text{ kW}$$

Para determinar la energía que pierde el sistema, se suman todos los valores de pérdida de calor en la ecuación 112.

$$E_{\text{sale}} = Q_{\text{conv } 1} + Q_{\text{conv } 2} + Q_{\text{conv } 3} + Q_{\text{conv } 4} \quad (112)$$

$$E_{\text{sale}} = 3.055 \text{ kW} + 0.652 \text{ kW} + 1.170 \text{ kW} + 0.370 \text{ kW}$$

$$E_{\text{sale}} = 5.247 \text{ kW}$$

#### 4.4.6 Cálculo de la energía necesaria para el moldeo

Una vez calculado la energía que necesita el sistema, incluyendo las pérdidas de calor, se realizará un balance energético de donde se obtendrá la energía necesaria para lograr formar bloques de EPS.

$$E_{entra} = \Delta E_{sistema} + E_{sale} \quad (113)$$

Remplazamos los valores obtenidos en la ecuación 113.

$E_{entra}$ : Calor total necesario (kW).

$\Delta E_{sistema}$ : Calor necesario para calentar el molde y el bloque de EPS (kW).

$E_{sale}$ : Perdidas de calor (kW).

$$\Delta E_{sistema} = 776.63 \text{ kW}$$

$$E_{entra} = 776.63 \text{ kW} + 5.247 \text{ kW}$$

$$E_{entra} = 781.8 \text{ kW}$$

#### 4.4.6.1 Determinar el flujo de vapor requerido

Después de calcular energía requerida para moldear bloques de EPS, podremos calcular la cantidad de vapor necesaria para alimentar el molde.

El flujo másico del vapor se determina mediante la ecuación 114:

$$m_{vapor} = \frac{E_{entra}}{h_{vapor \text{ a } 115^\circ\text{C}}} \quad (114)$$

Donde:

$m_{vapor}$ : Flujo másico de vapor (kg/s).

$E_{entra}$ : Energía requerida para el proceso (kW o kJ/s).

$h_{vapor \text{ a } 115^\circ\text{C}}$ : Entalpía del vapor saturado (kJ/kg), para 115 °C (tablas de vapor).

$$h_{vapor \text{ a } 115^\circ\text{C}} = 2216.03 \text{ kJ/kg}$$

Entonces:

$$m_{vapor} = \frac{781.8 \text{ kW}}{2216.03 \text{ kJ/kg}}$$

$$m_{vapor} = 0.35 \text{ kg/s}$$



$$m_{\text{vapor}} = 1270.05 \text{ kg/h}$$

Esto representa el flujo másico de vapor necesario por cada ciclo.

#### 4.4.6.2 Cálculo de la potencia de la caldera de vapor

Capacidad térmica de la caldera de vapor:

La caldera debe generar suficiente energía para vaporizar el agua necesaria. Esto depende del flujo másico y la entalpía del vapor:

Para calcular la potencia de una caldera de vapor usaremos la ecuación 115.

$$Q_{\text{caldera}} = m_{\text{vapor}}[(h_{\text{vapor a 8bar}} - h_{\text{liquido a 8bar}}) + C_p(T_2 - T_1)] \quad (115)$$

Se considera que la presión de servicio en la que opera una caldera es de 8 bar, es alimentada por agua a 15°C y se transforma en vapor a 170.4°C; en estas condiciones se consigue determinar la variabilidad de entalpías mediante tablas termodinámicas y obtener el calor transferido y la demanda máxima de vapor.

Donde:

$Q_{\text{caldera}}$ : Calor transferido (kW).

$$m_{\text{vapor}} = 0.35 \text{ kg/s.}$$

$$C_{\text{pm}} = 4.184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}: \text{Calor específico.}$$

$T_1$ : Temperatura 15 °C.

$T_2$ : Temperatura 170.4 °C.

$h_g$ : Entalpía de Vapor Saturado a 170.4 °C es  $h_{\text{vapor a 8bar}} = 2768.3 \text{ kJ/kg}$ .

$h_f$ : Entalpía de Líquido Saturado a 170.4 °C es  $h_{\text{liquido a 8bar}} = 721.018 \text{ kJ/kg}$ .

Remplazamos con los valores en la ecuación 115.

$$Q_{\text{caldera}} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[ \left( 2768.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 721.018 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 4.184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (170.4 - 15)^\circ\text{C} \right]$$

$$Q_{\text{caldera}} = 944.116 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{caldera}} = 944.116 \text{ kW} * \frac{0.102 \text{ BHP}}{1 \text{ kW}}$$

$$Q_{\text{caldera}} = 96.299 \text{ BHP} \approx 97 \text{ BHP}$$

#### ***4.4.7 Selección de caldera de vapor***

Con los valores calculados se realizará la selección de la caldera de las siguientes características:

Valores calculados:

$$Q_{\text{caldera}} = 97 \text{ BHP}$$

$$\text{Caudal de vapor } m_{\text{vapor}} = 1270.5 \text{ kg/h}$$

Presión de trabajo 8 bar presión media.

Se selecciona la siguiente caldera:

La caldera seleccionada satisface la demanda de flujo vapor de la máquina de moldeo de EPS.

MARCA: VYC

MODELO: HCI -1450 caldera de vapor piro tubular. (ver ANEXO G)

Potencia de caldera de vapor seleccionado: 100 BHP

Tipo de vapor: vapor saturado (no sobrecalentado)

$$\text{Caudal de vapor } m_{\text{vapor}} = 1450 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Presión máxima admisible = 10 bar

#### 4.5 Cálculo de diámetro de tubería

La tubería suministra vapor al molde de EPS proveniente de la caldera, tiene una presión de vapor de 8 bar según la caldera seleccionada anteriormente.

Para calcular el diámetro de tubería de vapor que viene a una presión de 8 bar desde la salida de la caldera hasta el ingreso hacia el molde hasta el reductor de presión, tenemos que obtener las siguientes propiedades de la tabla de vapor (ver ANEXO O) para una presión de 8 bar.

Volumen específico a 8 bar:  $0.24 \text{ m}^3/\text{kg}$  (según la tabla de vapor (ver ANEXO O)).

A partir de la información obtenida podemos calcular el diámetro con la ecuación 116.

$$D = \sqrt{\frac{4 * v}{\pi * C}} \quad (116)$$

Donde:

La velocidad de vapor para tuberías de distribución recomendado está entre 25-40 m/s según la guía de referencia técnica de SPIRAX SARCO S.A.

$v = 0.24 \text{ m}^3/\text{kg}$ : Volumen específico.

$C = 30 \text{ m/s}$ : Velocidad del flujo recomendado según (LÓPEZ, 2020).

$m_{\text{vapor}} = 0.35 \text{ kg/s}$ : Flujo masico.

Para determinar el caudal volumétrico se realiza de la siguiente manera:

$$\dot{V} = m_{\text{vapor}} * v$$

$$\dot{V} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 0.24 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{V} = 0.084 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Una vez obtenido todos los valores remplazaremos en la ecuación 116:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.084 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi * 30 \text{ m/s}}} = 0.0597 \text{ m}$$

Obtenido el valor del diámetro aproximaremos a un valor comercial.

$$D = 0.0597 \text{ m} \approx D_{\text{int}e \text{ sch } 40} = 0.0627 \text{ m}$$

Seleccionamos un diámetro comercial 2 ½" SCH 40. (ver ANEXO Ñ).

$$D = 0.0627 \text{ m} : \text{Diámetro interior de tubería 2 ½" SCH 40}$$

Hacemos un recalcu de velocidad con el nuevo diámetro comercial seleccionado.

$$C = \frac{4 * \dot{V}}{\pi * D^2}$$

$$C = \frac{4 * 0.08 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi * (0.0627 \text{ m})^2}$$

Obtenemos una nueva velocidad con el nuevo diámetro.

$$C = 27.205 \text{ m/s}$$

#### 4.5.1 *Caída de presión en la tubería de suministro de vapor*

Se realizará un cálculo de la caída de presión en la red de distribución de vapor, sabemos que el vapor pierde presión desde la caldera hasta punto de entrada de la máquina de moldeo. Para el cálculo del número de Reynolds utilizaremos la ecuación 117 (Cimbala et al., 2006).

$$Re = \frac{\rho_{8\text{bar}} * C * D}{\mu} \quad (117)$$

Donde:

$$C = 27.205 \text{ m/s} \quad \text{velocidad de flujo.}$$

$$\mu = 14.6859 * 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad \text{viscosidad dinámica a 8 bar (obtenidas de tablas de vapor).}$$

$$\rho_{8\text{bar}} = 4.165 \text{ kg/m}^3.$$

$$D = 0.063 \text{ m.}$$

$$Re = \frac{4.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 27.205 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.063 \text{m}}{14.685 * 10^{-6} \text{ Pa.s}}$$

$$Re = 486,105.3$$

Para saber si el flujo del vapor es turbulento o laminar comprobamos con las siguientes expresiones:

$$Re > 4000$$

$$486,105.3 > 4000$$

Después de obtener el resultado del número de Reynolds, se determina que flujo es turbulento, ahora calcularemos el factor de fricción con la ecuación 118 para un flujo turbulento (Cimbala et al., 2006).

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left[ \frac{1}{3.7 * \frac{D}{e}} + \frac{5.74}{(Re)^{0.9}} \right] \right\}^2} \quad (118)$$

Donde:

$C = 27.205 \text{ m/s}$  velocidad de flujo

$D = 0.063 \text{ m}$  diámetro interior de la tubería

$$Re = 486,105.3$$

$e = 4.5 * 10^{-5} \text{ m}$  rugosidad absoluta de tubo de acero sin costura

Remplazamos los valores en la ecuación 118:

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left[ \frac{1}{3.7 * \frac{0.063 \text{ m}}{4.5 * 10^{-5} \text{ m}}} + \frac{5.74}{(486,105.3)^{0.9}} \right] \right\}^2}$$

$$f = 0.019$$

Una vez obtenido los valores necesarios para calcular la caída de presión en la tubería con la ecuación 119 (Cimbala et al., 2006).

$$\Delta P = \frac{f * L * \rho_{8bar} * C^2}{2 * D} \quad (119)$$

Donde:

$L = 10\text{m}$  longitud de tubería.

$C = 27.205\text{ m/s}$  velocidad de flujo.

$D = 0.063\text{ m}$  diámetro interior de la tubería.

$f = 0.0189$  factor de fricción.

$g = 9.8\text{ m/s}^2$  rugosidad absoluta de tubo de acero sin costura.

$\rho_{8bar} = 4.165\text{ kg/m}^3$  densidad de vapor.

Remplazamos los valores en la ecuación:

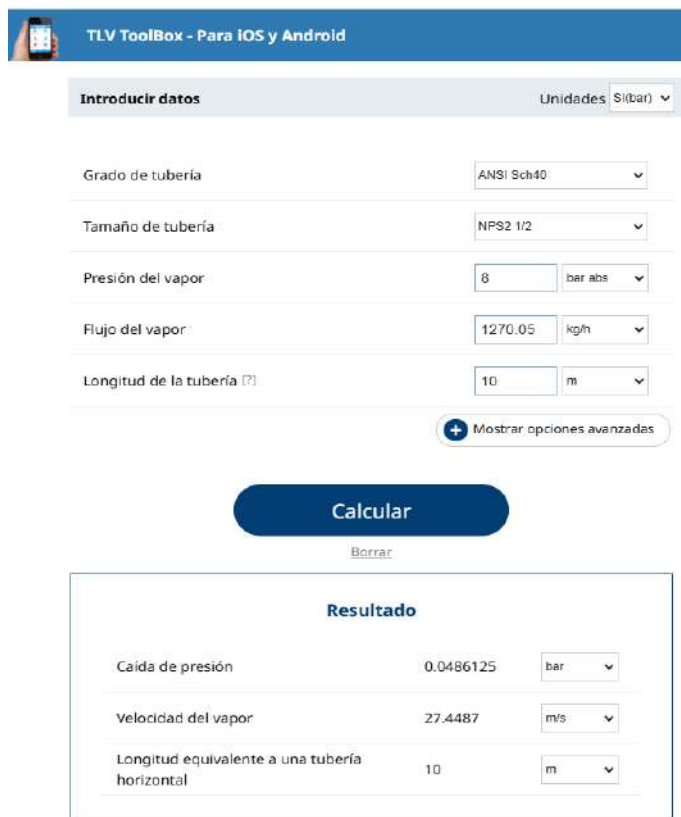
$$\Delta P_{\text{Tuberia}} = \frac{0.0189 * 10\text{ m} * 4.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (27.205 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 0.063\text{ m}}$$

$$\Delta P = 4.623\text{ kPa} \approx 0.046\text{ bar}$$

Se comprobó el cálculo de caída de presión en tubería de Vapor con la herramienta de TLV ToolBox el cual se muestra en la Tabla 46.

**Tabla 46**

*Resulta de cálculo de caída de presión en tubería.*



TLV ToolBox - Para iOS y Android

Unidades: SI(bar) ▼

Introducir datos

Grado de tubería: ANSI Sch40 ▼

Tamaño de tubería: NPS2 1/2 ▼

Presión del vapor: 8 bar abs ▼

Flujo del vapor: 1270.05 kg/h ▼

Longitud de la tubería [?]: 10 m ▼

+ Mostrar opciones avanzadas

**Calcular**

[Borrar](#)

**Resultado**

Caída de presión: 0.0486125 bar ▼

Velocidad del vapor: 27.4487 m/s ▼

Longitud equivalente a una tubería horizontal: 10 m ▼

Fuente: TLV ToolBox. Guía de referencia técnica distribución del vapor.

#### 4.5.2 *Calculamos la caída de presión en codos*

Calcularemos las pérdidas de presión generados en codos, contabilizaremos la cantidad de codos en el recorrido desde la salida de la caldera de vapor hasta llegar a la válvula reguladora de presión.

Primeramente, calcularemos el coeficiente de resistencia en codos (Vega & Rodríguez, 2007).

$$K_i = \frac{K_1}{Re} + K_\infty \left(1 + \frac{0.0254}{D}\right) \quad (120)$$

Donde:

$K_1 = 800$  : coeficiente para codo de  $90^\circ$  roscable (Tabla 47).

$K_\alpha = 0.4$  : coeficiente para codo de  $90^\circ$  roscable (Tabla 47).

**Tabla 47**

*Coeficientes de resistencia locales ( $K_1$ ).*

Codos	$K_1$	$K_\alpha$
90° roscable	800	0,40
90° soldable	800	0,25
90° radio largo	800	0,20
90° sector $45^\circ$	1000	1,15
90° sector $22,5^\circ$	800	0,35
90° sector $15^\circ$	800	0,30
90° sector $11,25^\circ$	800	0,27
90° sector $9^\circ$	800	0,25
45° roscable	500	0,20
45° radio largo	500	0,15
45° sector $22,5^\circ$	500	0,25
45° sector $11,25^\circ$	500	0,15
180° roscable	1000	0,60
180° soldable	1000	0,35
180° radio largo	1000	0,30

Fuente: (Vega & Rodríguez, 2007).

Remplazamos en la ecuación 120 los valores obtenidos de la Tabla 47 para un codo roscable.

$$K_i = \frac{800}{486,105.3} + 0.4(1 + \frac{0.0254}{0.063})$$

$$K_i = 0.563$$

Para calcular la caída de presión en el codo usaremos la ecuación 121 (Vega & Rodríguez, 2007).

$$\Delta P_{\text{codo}} = K_i * \frac{\rho_{8\text{bar}} * C^2}{2} \quad (121)$$



Donde:

$K_i = 0.563$  : Coeficiente de resistencia en codo.

$C = 27.205 \text{ m/s}$  : Velocidad de flujo.

$D = 0.063 \text{ m}$  : Diámetro interior de la tubería.

$\rho_{\text{bar}} = 4.165 \text{ kg/m}^3$ : Densidad de vapor.

$N_c = 6$ : Cantidad de codo.

Remplazamos los valores en la ecuación 121.

$$\Delta P_{\text{codo}} = (0.563 * \frac{4.165 * 27.205^2}{2})$$

$$\Delta P_{\text{codo}} = 867.74 \text{ Pa}$$

Para calcular la caída de presión total multiplicamos por la cantidad de codos.

$$\Delta P_{\text{codo total}} = 6 * 867.74 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{codo total}} = 5.206 \text{ kPa} \approx 0.0521 \text{ bar}$$

#### 4.5.2.1 Calculamos la caída de presión en válvulas

Se realizará el cálculo de las pérdidas de presión generados en válvulas, contabilizaremos la cantidad de válvulas en el recorrido desde la salida de la caldera de vapor hasta llegar a la válvula reguladora de presión.

Primeramente, calcularemos el coeficiente de resistencia en válvula con a la ecuación 122 (Vega & Rodríguez, 2007).

$$K_i = \frac{K_1}{Re} + K_{\alpha} (1 + \frac{0.0254}{D}) \quad (122)$$

Donde:

$K_1 = 800$  : coeficiente para válvula mariposa (Tabla 48).

$K_{\alpha} = 0.25$  : coeficiente para válvula mariposa (Tabla 48).

**Tabla 48***Coefficientes de resistencia locales (K1).*

Válvulas	K1	koc
Cuña, bola, plug abierta 100%	300	0,10
Cuña, bola, plug abierta 90%	500	0,15
Cuña, bola, plug abierta 80%	1000	0,25
Globo	1500	4,00
Ángulo, ye, diafragma	1000	2,00
Mariposa	800	0,25
Cheque pistón	2000	10,00
Cheque bisagra	1500	1,5
Cheque disco inclinado	1000	0,5

Fuente: (Vega &amp; Rodríguez, 2007).

Remplazamos en la ecuación 122 los valores obtenidos de la Tabla 48 para una válvula mariposa.

$$K_i = \frac{800}{486,105.3} + 0.25 \left( 1 + \frac{0.0254}{0.063} \right)$$

$$K_i = 0.352$$

Para calcular la caída de presión en el codo usaremos la siguiente ecuación 123 (Vega & Rodríguez, 2007).

$$\Delta P_{val} = K_i * \frac{\rho_{8bar} * C^2}{2} \quad (123)$$

Donde:

$K_i = 0.352$  : coeficiente de resistencia en válvula mariposa.

$C = 27.205 \text{ m/s}$  : Velocidad de flujo.

$D = 0.063 \text{ m}$  : Diámetro interior de la tubería.

$\rho_{8bar} = 4.165 \text{ kg/m}^3$ : Densidad de vapor.

$N_v = 2$  : Cantidad de válvula mariposa.

Remplazamos los valore en la ecuación 123.

$$\Delta P_{\text{Val}} = \left( 0.352 * \frac{4.165 * 27.205^2}{2} \right)$$

$$\Delta P_{\text{Val}} = 542.532 \text{ Pa}$$

Para calcular la caída de presión total multiplicamos por la cantidad de codos.

$$\Delta P_{\text{Val.total}} = 2 * 542.532 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{Val.total}} = 1.085 \text{ kPa} \approx 0.0108 \text{ bar}$$

#### 4.5.2.2 Cálculo de la caída de presión total

Remplazamos los valores calculados anteriormente.

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{Tuberia}} + \Delta P_{\text{codo total}} + \Delta P_{\text{Val. total}}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 4.62 \text{ kPa} + 5.21 \text{ kPa} + 1.085 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 10.915 \text{ kPa} \approx 0.109 \text{ bar}$$

#### 4.5.3 Selección de la válvula reductora de presión

Realizaremos el cálculo para seleccionar un reductor de presión para lograr una presión adecuada para el moldeo de bloques de EPS, según los valores obtenidos anteriormente.

Para una temperatura de moldeo de 115°C corresponde una presión de vapor de 1.7 bar abs. según las tablas de vapor (ver ANEXO O), en el ingreso del molde y dentro de la cámara de moldeo.

Sabemos que la presión de salida en la caldera de vapor es 8 bar, pero hay una pérdida de presión en todo el recorrido, para calcular la presión en el ingreso a la válvula reductora se determina con la ecuación 124.

$$P_{\text{V.regulador}} = P_{\text{de caldera}} - \Delta P_{\text{total}} \quad (124)$$

$$P_{\text{V.regulador}} = 8 \text{ bar} - 0.109 \text{ bar} = 7.89 \text{ bar}$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man} \quad (125)$$

Donde:

$P_{atm} = 0.69$  bar: presión atmosférica en Cusco.

$P_1 = 7.2$  bar g: presión de salida desde la caldera.

$P_2 = 1.01$  bar g: presión de vapor en el ingreso hacia el molde de EPS.

Para la selección de la válvula reductora de presión, se empleó la información técnica proporcionada por el fabricante TLV.

Con el fin de determinar el coeficiente de flujo  $C_v$  de la válvula, se utilizó el diámetro nominal de entrada, consultando los valores correspondientes en la Tabla 49. Para un diámetro nominal de 65mm  $\approx 2 \frac{1}{2}$ ", se obtuvo un coeficiente de flujo  $C_v(UK) = 49.4$ , valor que será empleado en el cálculo del flujo de vapor a través de la válvula.

**Tabla 49**

*Coeficientes de flujo de válvula de reducción de presión.*

<b>Valores <math>C_v</math></b>									
<b>COS-3/COS-16</b>									
	Tamaño Nominal de Válvula (mm)								
	15*	20	25	32	40	50	65*	80*	100*
$C_v$ (US)	3.8	6.9	11.1	15.5	24.0	37.2	59.3	85.0	128
$C_v$ (UK)	3.2	5.7	9.2	12.9	20.0	31.0	<u>49.4</u>	70.8	107
Kvs (DIN)	3.3	5.9	9.5	13.3	20.6	31.9	50.8	72.9	110

Fuente: Ficha técnica de reductor de presión de vapor modelo cos-3/cos-16

En la Figura 99 se presenta la calculadora del fabricante TLV, utilizada para determinar el flujo de vapor correspondiente al valor de  $C_v(UK) = 49.4$ . A partir de este resultado, se verifica que el caudal de vapor obtenido satisface la demanda requerida por la máquina de moldeo.

**Figura 99**

*Herramienta cálculo de flujo de vapor según coeficiente de flujo de válvula reductora.*

Inscribirse en la Revista por e-mail!

Introducir Datos      Unidades: SI(bar)

Presión Primaria: 7.186 barG

Presión Secundaria: 1.01 barG

Valor de Cv de la Válvula: 49.4 Cv(UK)

+ Mostrar Opciones Avanzadas

Calcular

Limpiar

Rango de Flujo del Vapor: 5402.38 kg/h

Resultados

Fuente: <https://toolbox.tlv.com/global/LA/calculator/steam-flow-rate-through-valve.html>

Una vez obtenido el valor flujo de vapor, se determina que el flujo de vapor que atraviesa la válvula reductora hacemos la comparación del flujo que requiere la máquina de moldeo y el flujo que deja pasar la válvula reductora de presión.

$$m_{\text{vapor}} = 1270.05 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flujo de vapor de válvula reductora de presión} = 5402.28 \text{ kg/h}$$

$$1270.05 \frac{\text{kg}}{\text{h}} < 5402.28 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Hecha la comparación el flujo que atraviesa por la válvula reductora es mayor al flujo que necesita la máquina de moldeo, por lo tanto, se concluye que válvula seleccionada COS-16 del fabricante TLV cumple con la demanda establecida (ver ANEXO J).

$$\text{Diámetro de válvula reductora} = 65\text{mm}$$

$$\text{Flujo de vapor} = 5402.28 \text{ kg/h}$$

Presión de entrada = 7.2 bar

Presión de salida= 1.01 bar

#### 4.5.4 Cálculo de tubería de vapor de distribución en molde

Se realizará el cálculo de la dimensión de tubería desde la salida del reductor de presión hasta el punto de distribución en la máquina de moldeo. se determinará con los siguientes valores:

$P_2 = 1.01 \text{ bar g}$ : presión de vapor en el ingreso hacia el molde de EPS.

$T_f = 115 \text{ °C}$ : Temperatura de moldeo de EPS

$m_{\text{vapor}} = 0.35 \text{ kg/s}$ : Flujo masico.

$v = 1.03 \text{ m}^3/\text{kg}$ : Volumen específico.

La velocidad de vapor para tuberías de distribución recomendado está entre 25-40 m/s según la guía de referencia técnica de SPIRAX SARCO S.A.

$C = 35 \text{ m/s}$ : Velocidad del flujo recomendado según (LÓPEZ, 2020).

Para determinar el caudal volumétrico se realiza de la siguiente manera:

$$\dot{V} = m_{\text{vapor}} * v$$

$$\dot{V} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1.03 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Una vez obtenido todos los valores remplazaremos en la ecuación 116:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi * 35 \text{ m/s}}} = 0.101 \text{ m}$$

Obtenido el valor del diámetro aproximaremos a un diámetro interior de una tubería comercial.

$$D = 101 \text{ mm} \approx 0.102 \text{ m}$$

Seleccionamos un diámetro comercial 4" SCH 40. (ver ANEXO Ñ).

## 4.6 Cálculo de sistema de transporte neumático EPS

Se realizará el cálculo de un sistema de transporte neumático para alimentar con material EPS (reciclado y virgen) a la máquina de moldeo para formar bloques de EPS de volumen  $2.4 \text{ m}^3$  a una densidad de  $15 \text{ kg/m}^3$ .

Para iniciar con los cálculos requeriremos de carga de la máquina, volumen y densidad del material, para luego calcular el caudal de EPS por ciclo. A partir de este valor, se determina el caudal de aire requerido y posteriormente el diámetro del ducto principal. Finalmente, se diseña un sistema que bifurca el ducto principal en dos líneas de 2 pulgadas que alimentan a la máquina de moldeo.

### 4.6.1 Cálculo de caudal requerido

Realizaremos el cálculo de del caudal que se necesita para llenar la cámara de moldeo de la máquina:

- Parámetros requeridos para el cálculo:
- Volumen de la máquina:  $2.4 \text{ m}^3$
- Densidad del EPS:  $15 \text{ kg/m}^3$
- Flujo masico del EPS:  $36 \text{ kg/ciclo}$
- Ciclos por hora estimados: 8

Para determinar el caudal requerido procedemos de la siguiente manera:

$$\dot{G}_{\text{EPS}} = \dot{m}_{\text{EPS}} * N$$

$$\dot{G}_{\text{EPS}} = 36 \frac{\text{kg}}{\text{ciclo}} * 8 \frac{\text{ciclo}}{\text{h}} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Caudal de suministro de EPS.

$$\dot{G}_{\text{EPS}} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

#### 4.6.2 Cálculo de diámetro de tubo para transporte de EPS

Una vez obtenidos los datos de los cálculos anteriores, procedemos a seguir los pasos para lograr calcular el diámetro de tubería para transportar la mezcla de EPS (Material virgen con reciclado) desde los silos hasta la máquina de moldeo.

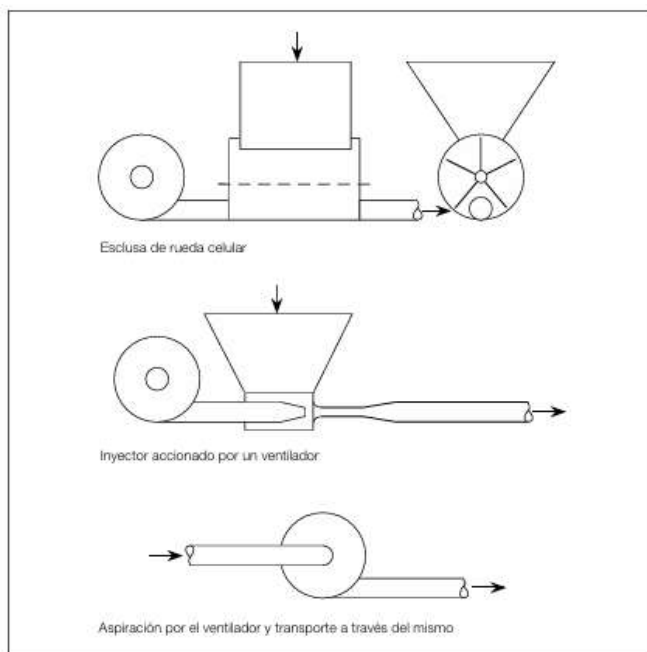
$$\dot{G}_{\text{EPS}} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}} : \text{Caudal de suministro de EPS}$$

Según las recomendaciones de la información técnica styropor de BASF nos muestra que hay tres tipos de dispositivos de alimentación para EPS.

Por la ubicación que tendrá optamos el tipo de inyección mostrado en la Figura 100.

**Figura 100**

*Dispositivos de alimentación.*



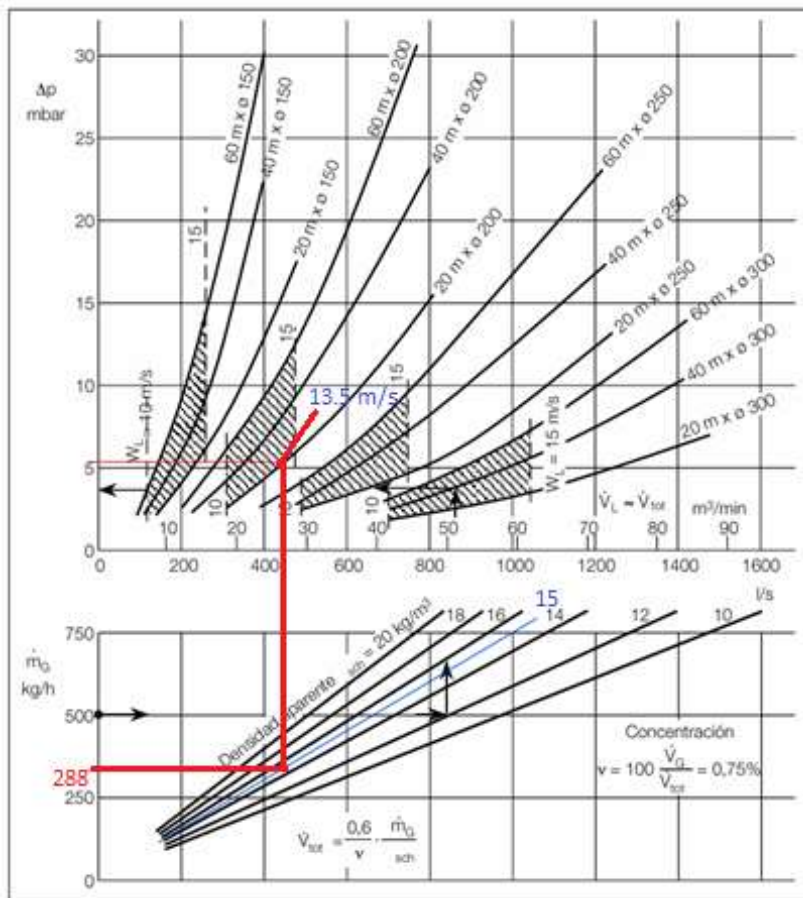
Fuente: [https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF\\_E\\_NEW.pdf](https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF_E_NEW.pdf)

Para determinar el diámetro y la velocidad del conducto que transportara EPS se utilizara el siguiente diagrama mostrado en la Figura 101, iniciando como dato de entrada con el flujo masico del EPS y densidad del material.



**Figura****101**

*Sistema de transporte neumático con alimentador de material mediante inyector.*



Fuente: [https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF\\_E\\_NEW.pdf](https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF_E_NEW.pdf)

$\dot{G}_{\text{EPS}} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ : Caudal de suministro de EPS.

$\rho_{\text{EPS}} = 15 \text{ kg/m}^3$ : Densidad del EPS.

#### 4.6.3 Cálculo del diámetro de la línea de transporte.

Para el cálculo del diámetro de la línea de transporte se ha utilizado los valores obtenidos del gráfico de la información técnica styropor de Basf. Según la figura 101 para nuestra capacidad de transporte de 288 kg/h en succión se obtiene un diámetro de tubería de:

$$D = 200\text{mm o } 8''.$$

#### 4.6.4 Cálculo de la velocidad de transporte.

La velocidad de transporte es la velocidad que el aire necesita para poder transportar la mezcla de EPS (material reciclado y virgen) sin dificultad y con rapidez por la tubería. Esta velocidad puede variar dependiendo de la curva (longitud y diámetro). En la Figura 101 tomaremos la curva de longitud de tubería 20m y diámetro 200 mm, de esta intercepción obtenemos que nuestra velocidad es 13.5 m/s. lo cual comprobamos que para un alimentador tipo inyector la velocidad recomendada es de 10-15 m/s, según la Tabla 50.

**Tabla 50**

*Velocidad de transporte neumático para EPS.*

Alimentación	$\sigma_{sch}$ kg/m <sup>3</sup>	w m/s	v %	v <sub>stopf</sub> %
Esclusa de rueda celular	> 8	6–8	10	10–16
Inyector	> 20	10–15	0,75	2
Aspiración por ventilador	> 50	10–15	3	10–16

Fuente: [https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF\\_E\\_NEW.pdf](https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF_E_NEW.pdf)

$V_a = 13.5 \frac{m}{s}$ : Velocidad de EPS.

$L_a = 20m$ : Longitud de tubería de transporte de EPS.

Además de este dato, se debe conocer la velocidad final de la partícula al momento de llegar hasta la entrada de la máquina de moldeo.

#### 4.6.5 Cálculo de velocidad mínima de transporte

##### 4.6.5.1 Cálculo de la velocidad final.

La velocidad final es aquella que alcanza una partícula cuando cae libremente por un fluido viscoso y las fuerzas que actúan sobre él se equilibran (fuerza de gravedad, empuje ascensional y fuerza de arrastre). De igual manera, si la partícula es soplada con la velocidad final hacia arriba

la partícula no se moverá, entonces la velocidad final puede ser tomada como la velocidad mínima para que las partículas de EPS puedan ser suspendidas en el aire.

Calcularemos mediante la ecuación 126 la velocidad final (Fernández et al., 2021).

$$V_f = \sqrt{\frac{4 * g * d_s * (Y_s - Y_a)}{3 * C_d * Y_a}} \quad (126)$$

Donde:

$V_f$  = Velocidad final en m/s;

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$  ; Gravedad.

$d_s = 0.006 \text{ m}$  ; Diámetro esférico de la partícula.

$Y_s = 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ; Peso específico del material.

$Y_a = 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ; Peso específico del aire en Cusco.

$C_d$  ; Coeficiente de arrastre (adimensional);

$\nu_a = 15.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ; Viscosidad cinemática del aire a 15°C.

Re: Número de Reynolds (adimensional).

La solución para  $V_f$  se calcula de la siguiente manera: El coeficiente  $C_d$  depende del tamaño de la partícula y del número de Reynolds, y se obtiene del gráfico de la Figura 102.

$$\text{Re} = \frac{V_f * d_s}{\nu_a} \Rightarrow V_f = \frac{\text{Re} * \nu_a}{d_s} \quad (127)$$

Igualando las ecuaciones se obtiene la expresión “ $\text{Re}^2.C_d$ ” necesaria para ingresar al gráfico y encontrar el valor del coeficiente de arrastre (Fernández et al., 2021).

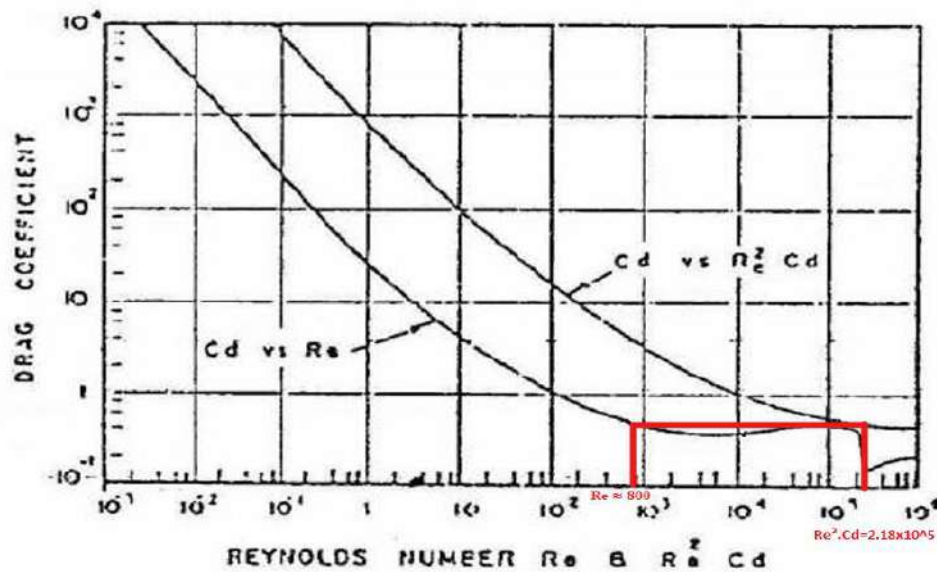
$$\text{Re}^2.C_d = \frac{4 * g * d_s^3 * (Y_s - Y_a)}{3 * \nu_a^2 * Y_a} \quad (128)$$

$$Re^2 \cdot C_d = \frac{4 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (0.006 \text{ m})^3 * (15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{3 * (15.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2 * 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Re^2 \cdot C_d = 217,988.92 \approx 2.18 * 10^5$$

**Figura 102**

*Coeficiente de arrastre para esferas.*



Fuente: (Fernández et al., 2021).

Luego, según la Figura 102,  $Re \approx 800$ , entonces comprobamos el Número de Reynolds, para hallar  $C_d$  con la ecuación 129.

$$C_d = \frac{24}{Re_{ds}} \quad (129)$$

Para  $10^{-3} < Re_{ds} < 1.0$

$$C_d = \frac{18.5}{(Re_{ds})^{\frac{3}{5}}} \quad (130)$$

Para  $2.0 < Re_{ds} < 5 \times 10^2$

Para Reynolds igual a 800, calculamos  $C_d$  con la ecuación 130.

$$2.0 < 800 < 5 \times 10^2$$

$$C_d = \frac{18.5}{(800)^{\frac{3}{5}}} = 0.335$$

Como paso final, reemplazando el valor de  $C_d$  en la ecuación 131.

$$V_f = \sqrt{\frac{4 * g * d_s * (Y_s - Y_a)}{3 * C_d * Y_a}} \quad (131)$$

$$V_f = \sqrt{\frac{4 * 9.81 \text{ m/s}^2 * 0.006 \text{ m} * (15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{3 * 0.335 * 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$V_f = 2.03 \text{ m/s}$$

#### 4.6.5.2 Cálculo de caudal de aire.

El caudal del aire que se requiere para transportar las perlas de EPS se determina con la ecuación 132.

$$Q_a = V_a * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (132)$$

$$Q_a = 13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{\pi * (0.2 \text{ m})^2}{4} = 0.424 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.6.5.3 Cálculo de flujo masico del aire.

$$\dot{G}_a = Y_a * Q_a \quad (133)$$

$$\dot{G}_a = 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.34 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

#### 4.6.5.4 Cálculo de la concentración

Es la relación del flujo masico del EPS y el flujo masico del aire (Fernández et al., 2021) el cual se muestra en la ecuación 134.

$$\mu = \frac{\dot{G}_{\text{EPS}}}{\dot{G}_a} \quad (134)$$

$$\mu = \frac{0.08 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0.34 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 0.235$$

$$\mu < 15 \Rightarrow 0.235 < 15$$

De la comparación de valor obtenido, se dice que según el tipo de transporte neumático es de fase diluida. Con esto afirmamos que nuestra velocidad de aire debe ser mayores a 10m/s según la informacion tecnica styropor de BASF.

#### 4.6.6 Cálculo de pérdidas de presión

##### 4.6.6.1 Cálculo de la perdida de carga por aceleración

$$\Delta P_{ac} = Y_a * \frac{V_a^2}{2 * g} * (1 + 2 * \mu * \frac{V_s}{V_a}) \quad (135)$$

$$V_s = V_a * (1 - 0.008 * d_s^{0.3} * Y_s^{0.5}) \quad (136)$$

Donde:

$V_s$  : Velocidad de la partícula (m/s).

$\mu = 0.235$  : Concentración.

$Y_s = 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ; Peso específico del material.

$Y_a = 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ; Peso específico del aire en Cusco.

$d_s = 0.006 \text{ m}$  ; Diámetro esférico de la partícula.

$$V_s = 13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (1 - 0.008 * (0.006 \text{ m})^{0.3} * (15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})^{0.5})$$

$$V_s = 13.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con los valores obtenidos calculamos la caída por aceleración.

$$\Delta P_{ac} = 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2}} * \left(1 + 2 * 0.235 * \frac{13.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right)$$

$$\Delta P_{ac} = 10.98 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.6.6.2 Cálculo de la pérdida de carga en tubería vertical

Para determinar las pérdidas de carga en la tubería vertical que sirven para el transporte de la materia de EPS se utiliza la ecuación 137.

$$\Delta P_V = \mu * Y_a * g * L_V * \frac{V_a}{V_s} \quad (137)$$

Donde:

$L_V = 5\text{m}$  tramo vertical vertical de la tubería de transporte.

$$\Delta P_V = 0.235 * 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 5 \text{ m} * \frac{13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{13.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\Delta P_V = 9.35 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.6.6.3 Cálculo de pérdidas de carga horizontal

Para determinar las pérdidas de carga en la tubería horizontal que sirven para el transporte de material de EPS se utiliza la ecuación 138.

$$\Delta P_H = Y_a * \frac{V_a^2}{2 * g} * \frac{L_H}{D} * (f_a + \mu * f_s) \quad (138)$$

##### 4.6.6.3.1 Número de Reynolds

El número de Reynolds proporciona información sobre el fluido el cual indica si el turbulento o laminar para determinar este estado se utiliza la ecuación 139.

$$\text{Re} = \frac{V_a * D}{\nu_a} \quad (139)$$

$$10^{-6} < \frac{\epsilon}{D} < 10^{-2} \text{ y } 5000 < \text{Re} < 10^6$$

Donde:

$$V_a = 13.5 \frac{m}{s}; \text{ Velocidad del aire.}$$

$$\nu_a = 14.7 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}; \text{ Viscosidad cinemática del aire a } 15^\circ C.$$

$$D = 0.2m : \text{ Diámetro de tubería de transporte (m).}$$

$$\epsilon = 0.0015 : \text{ Rugosidad absoluta del PVC.}$$

$$\frac{\epsilon}{D} : \text{ Rugosidad relativa.}$$

$$Re = \frac{13.5 \frac{m}{s} * 0.2m}{15.1 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 180829.4$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0015mm}{200mm} = 7.5 * 10^{-6}$$

Valido para los valores  $10^{-6} < 7.5 * 10^{-6} < 10^{-2}$  y  $5000 < 1.8 * 10^5 < 10^6$

#### 4.6.6.4 Factor de fricción del aire

Con los valores obtenidos podemos calcular el factor de fricción para lo cual remplazamos estos valores en la ecuación 140.

Factor de fricción del aire (adimensional).

$$f_a = \frac{1.325}{[\ln * (\frac{\epsilon}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2} \quad (140)$$

$$f_a = \frac{1.325}{[\ln * (\frac{0.0015}{3.7 * 200} + \frac{5.74}{230,007.5^{0.9}})]^2}$$

$$f_a = 0.0164$$

#### 4.6.6.5 Factor de fricción de la partícula

Para determinar el factor de fricción de las partículas de EPS como la del aire se procede como sigue:



Donde:

$Fr_s$ : Numero de Froude para la partícula (adim.).

Remplazamos en la ecuación 141.

$$Fr_s = \frac{V_f^2}{g \cdot d_s} \quad (141)$$

$$Fr_s = \frac{V_f^2}{g \cdot d_s} = \frac{(2.03 \frac{m}{s})^2}{9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.002m} = 72.096$$

$Fr_s$ : Numero de Froude para el aire (adim.).

Remplazamos en la ecuación 142:

$$Fr_a = \frac{V_a^2}{g \cdot D} \quad (142)$$

$$Fr_a = \frac{V_a^2}{g \cdot D} = \frac{(13.5 \frac{m}{s})^2}{9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0.2m} = 92.99$$

Para determinar el factor de fricción se requiere del diámetro de la partícula de EPS el cual es:

$$d_s = 0.006 \text{ m o } 6 \text{ mm}$$

Valido para  $d_s > 0.5 \text{ mm} \Rightarrow 6 \text{ mm} > 0.5 \text{ mm}$  , entonces calculamos con la siguiente ecuación 143:

$$f_s = 0.082 * Fr_s^{0.25} * \frac{(\frac{D}{d_s})^{0.1}}{\mu^{0.3} \cdot Fr_a^{0.86}} \quad (143)$$

Donde:

$$Fr_s = 72.127$$

$$Fr_a = 92.985$$

$$\mu = 0.235 : \text{Concentración.}$$

$f_s$ : Factor de fricción de la partícula (adimensional).

$$f_s = 0.082 * 72.127^{0.25} * \frac{\left(\frac{0.2}{0.006}\right)^{0.1}}{0.235^{0.3} * 92.985^{0.86}}$$

$$f_s = 0.011$$

Una vez obtenido los valores remplazamos en la ecuación 138 para obtener el valor de la caída de presión en tramos horizontales.

$$\Delta P_H = 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * \frac{10\text{m}}{0.2\text{m}} * (0.018 + 0.235 * 0.011)$$

$$\Delta P_H = 7.67 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.6.6.6 Cálculo de pérdidas de carga en codo

Las pérdidas de carga en el codo de la tubería del sistema de transporte de EPS son calculadas con la ecuación 144.

$$\Delta P_{\text{codo}} = N * K_c * (1 + \mu) * Y_a * \frac{V_a^2}{2 * g} \quad (144)$$

Donde:

$N = 3$ : número de codos.

$K_c = 1.5$  : factor de fricción para el codo, escogemos de la siguiente Tabla 51.

**Tabla 51**

*Factor de fricción para codo de 90°.*

R/D	K
2	1.5
4	0.75
≥ 6	0.50

Fuente: (Gonzalez, 2006).

$$\Delta P_{\text{codo}} = 3 * 1.5 * (1 + 0.235) * 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta P_{\text{codo}} = 41.61 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.6.6.7 Pérdida en el ciclón

La pérdida de presión estática es importante conocerla ya que una eficiencia alta causa mayor pérdida de presión estática (Ordoñez, 2016).

Para calcular la caída de presión en un ciclón usaremos la ecuación 145.

$$\Delta P_{\text{ciclón}} = \frac{1}{2} * \rho_{\text{aire}} * V_a^2 * N_H \quad (145)$$

Donde:

$\Delta P_{\text{ciclón}}$ ; Caída de presión en el ciclón, Pa. o mmH<sub>2</sub>O.

$\rho_{\text{aire}} = 0.806 \text{ kg/m}^3$ ; Densidad del aire a 3400 msn.

$V_a = 13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ; Velocidad de entrada del gas en el ciclón, m/s.

$N_H$ ; Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón.

### Tabla 52

*Características de los ciclones de alta eficiencia.*

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Fuente: (Echeverri, 2006).

De la Tabla 52 se seleccionará el ciclón tipo Stairmand y el valor de  $N_H = 6.4$ .

$$\Delta P_{ciclon} = \frac{1}{2} * 0.806 \text{ kg/m}^3 * \left(13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 6.4$$

$$\Delta P_{ciclon} = 470 \text{ Pa} \approx 47.96 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.6.6.8 Cálculo de perdidas total en toda la línea de suministro

Las pérdidas totales en la línea de transporte de EPS se determinan con la ecuación 146.

$$\Delta P_{linea} = \Delta P_{ac} + \Delta P_V + \Delta P_H + \Delta P_{codo} + \Delta P_{ciclon} \quad (146)$$

$$\Delta P_{linea} = (10.98 + 9.31 + 7.67 + 41.61 + 47.96) \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{linea} = 117.53 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.6.6.9 Selección de ventilador

Una vez calculado las pérdidas de presión y el caudal de aire que requiere para transportar perlas expandidas (EPS virgen y reciclado) de densidad  $15 \text{ kg/m}^3$  hasta el molde, para seleccionar el ventilador usaremos la herramienta Easy Vent de Soler & Palau mostrado en la Figura 103, teniendo los siguientes valores caudal de aire y la caída de presión total.

$$Q_a = 0.424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}: \text{caudal de aire que se requiere.}$$

$$\Delta P_{linea} = 117.53 \approx 118 \text{ mmH}_2\text{O}: \text{caída de presión total en línea de suministro.}$$

**Figura 103**

*Herramienta de selección de ventilador.*

**- Criterios de selección**

Hertz: **50 HZ** **60 HZ**

Caudal: 0.424 m³/s Real

Tolerancia (%): -20 20

Presión: 118 mm c.a. Estática

Tolerancia (%): -20 20

Tipo: ☐ Aspiración ☒ Descarga

Condiciones del aire: 20 °C @ 3400m (0.803 kg/m³)

Ref:

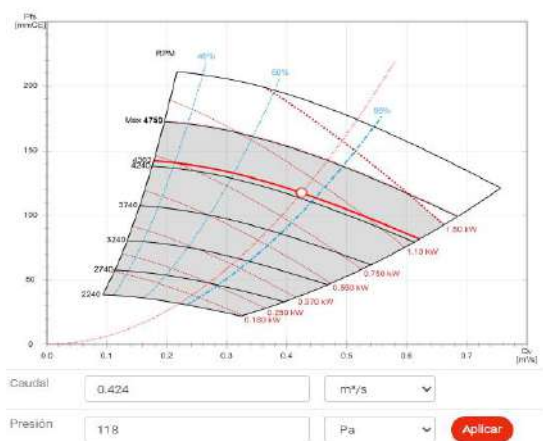
**Seleccionar** Reiniciar

Fuente: <https://easyvent.solerpalau.com/selector/easyvent>

Utilizando la herramienta Soler & Palau se seleccionó el ventilador centrífugo para transporte neumático de modelo KM 251 R1A de potencia 1.5kW, la ficha técnica se detalla en el ANEXO Q.

**Figura 104**

*Curva de operación del ventilador centrífugo modelo KM 251 R1A.*



Fuente: ficha técnica del ventilador -KM251 R1A-1.5KW -4302rpm

## 4.7 Sistema de enfriamiento de molde de EPS

Para comprender el funcionamiento el sistema de enfriamiento por vacío con evaporación de agua. De la misma forma que la aportación de energía en forma de vapor saturado constituyó un importante avance en la producción de espumas rígidas de Tecnopor, al emplear vacío durante el proceso de enfriamiento, es decir, extracción de energía para lograr expulsar el bloque de EPS en el menor tiempo posible y así reducir costos de operación y aumentar la producción de bloques de EPS.

Este procedimiento se emplea para maquinas moldeadoras de bloques de EPS para materiales con una densidad máxima de  $30 \text{ kg/m}^3$ , las siguientes ventajas según información técnica Styropor de BASF.

son:

- a) Notable aceleración de la caída de la presión de la espuma
- b) Reducción del contenido inicial de agua en la espuma rígida
- c) Aceleración de la emanación del pentano residual de la espuma rígida con fines de mejorar y reducir el tiempo de producción de bloques de EPS se adiciono un sistema de enfriamiento por vacío.
- d) Bloques más secos según la información técnica Styropor de BASF.
- e) Mejor estabilidad dimensional del bloque de EPS.

### 4.7.1 *Parámetros de cálculo de sistema enfriamiento por vacío*

En la Tabla 53 se presentan los parámetros iniciales para un adecuado cálculo del sistema de enfriamiento por vacío para la máquina de moldeo.

**Tabla 53**

*Parámetros para el cálculo de sistema de enfriamiento por vacío.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Volumen de cámara de moldeo	2.4 m <sup>3</sup>
Densidad del bloque EPS	15 kg/m <sup>3</sup>
Masa de EPS por ciclo	36 kg
Presión de vacío requerida	200 mbar (0.2 bar)
Presión atmosférica en Cusco	690 mbar (0.69 bar)
Temperatura del vapor en 200 mbar	60 °C (punto de ebullición del agua)
Temperatura de entrada del bloque	90–100 °C (tras el moldeo)
Temperatura final deseada	<60 °C

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.7.2 Cálculo de calor extraído del bloque de EPS**

Cuando se aplica el enfriamiento por vacío con evaporación de agua en la fabricación de bloques de EPS, Se produce una extracción de calor forzada y vapor de agua desde el interior del bloque. El bloque EPS contienen agua de condensación superficial y en forma de vapor atrapado en sus células. El enfriamiento se basa en la evaporación del agua que absorbe calor del bloque. Este proceso de enfriamiento por vacío tiene la finalidad de estabilizar térmicamente y acelerar la producción bloques de EPS.

Para calcular el calor extraído del bloque se usará la ecuación 147.

$$Q_{\text{ENF EPS}} = m_{\text{EPS}} * C_p * (T_2 - T_1) \quad (147)$$

Donde:

$Q_{\text{ENF. EPS}}$  : Calor de necesario para enfriar el bloque de EPS (kJ).

$C_p = 4.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$  : Calor específico del bloque de EPS.

$T_1 = 115 \text{ }^\circ\text{C}$  : Temperatura de moldeo del bloque de EPS.

$T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  : Temperatura de estabilización del bloque de EPS según información técnica Styropor de BASF.

$m_{\text{EPS}} = 36 \text{ kg}$  Masa del bloque de EPS.

$$Q_{\text{ENF. EPS}} = 36 \text{ kg} * 1.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (60 \text{ }^\circ\text{C} - 115 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{ENF. EPS}} = -2395 \text{ kJ}$$

El valor obtenido es negativo, lo que indica que corresponde al calor extraído del bloque de EPS para permitir su estabilización parcial. De esta manera, el bloque puede ser expulsado del molde de forma segura y en menor tiempo.

#### 4.7.3 *Cálculo de cantidad de agua a extraer.*

Para comprender este proceso, primero se reduce la presión en el interior del molde a 200 mbar, según la información técnica del Styropor de BASF. A esta presión reducida, el agua presente en forma de vapor y humedad comienza a hervir a una temperatura más baja, aproximadamente  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Durante la evaporación, el agua absorbe calor latente tanto del bloque de EPS como del propio molde, lo que provoca un rápido enfriamiento del sistema.

Para realizar el cálculo de la cantidad de agua que se necesita para enfriar el bloque de EPS, la misma que será extraída con vacío como vapor, se utilizará la ecuación 148 donde el calor que se necesita para enfriar el bloque es igual al calor que se necesita para evaporar el agua (presente como vapor y humedad) por vacío.

$$Q_{\text{ENF.EPS}} = Q_{\text{EVA}}$$

$$m_{\text{VAPOR}} = \frac{Q_{\text{ENF EPS}}}{h_{\text{fg},60^\circ\text{C}}} \quad (148)$$



Donde:

$Q_{EVA}$ : Calor de evaporación del agua para presión de un vacío de 200 mbar (kJ)

$Q_{ENF\ EPS} = 2395\text{ kJ}$  : Calor de enfriamiento del bloque de EPS.

$m_{VAPOR}$ : Masa de agua a extraer del bloque (kg).

La energía necesaria para la evaporación obtenemos de la tabla de vapor para 60°C.

$h_{fg} = 2359 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ : Entalpia de vaporización a 60°C. (ver ANEXO R).

$$m_{VAPOR} = \frac{2395\text{kJ}}{2359 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 1.02\text{ kg}$$

Luego de obtener el volumen del agua necesaria para enfriar, calcularemos el volumen de vapor necesario a extraer del molde.

#### 4.7.4 *Cálculo de volumen de vapor*

Para lograr enfriar el bloque de EPS se tiene aplicar vacío a una presión de vacío de 200mbar a una temperatura de 60°C para evapora el agua según información técnica Styropor de BASF, por lo tanto, se necesita calcular el volumen de vapor a extraer usaremos la ecuación 149.

$$V_{vapor} = V_{agua} * v_{60^{\circ}\text{C}} \quad (149)$$

Donde:

$V_{vapor}$ : Volumen de vapor a extraer ( $\text{m}^3$ ).

$v_{60^{\circ}\text{C}} = 1.673 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  : Volumen especifico de vaporización a 60°C.

$$V_{vapor} = 1.2\text{ kg} * 1.673 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 1.699\text{ m}^3$$

#### 4.7.5 *Cálculo de volumen de aire*

Para obtener el volumen de aire dentro del molde se debe considerar todas las cavidades existentes, los cuales se obtuvieron utilizando el software de SolidWorks.

$V_{\text{aire}} = 0.65 \text{ m}^3$ : Volumen de la cámara de vapor del molde. (Espacio hueco existente entre la pared exterior del molde y la superficie interna donde se forma bloque)

También se debe considerar el volumen de aire dentro de las tuberías, lo cual asumiremos el 5% del volumen del cámara de vapor:

$$V_{\text{tub}} = 0.65 * 0.05 \text{ m}^3 = 0.032 \text{ m}^3$$

Sumamos el volumen total de aire existente dentro del molde:

$$V_{\text{total-aire}} = 0.65 \text{ m}^3 + 0.032 \text{ m}^3 = 0.683 \text{ m}^3$$

Ahora calcularemos el volumen equivalente con la fórmula de gases ideales (compresión isotérmica).

$$V_{\text{eq}} = V_{\text{total-aire}} * \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (150)$$

$$V_{\text{eq}} = 0.683 \text{ m}^3 * \ln \frac{690 \text{ mbar}}{200 \text{ mbar}} = 0.846 \text{ m}^3$$

#### 4.7.6 Caudal de succión de la bomba de vacío

Para calcular el caudal de succión de una bomba de vacío es fundamental comprender que la capacidad de vacío se refiere al volumen de aire y vapor que puede extraer una bomba de vacío en un determinado tiempo de la cámara de moldeo esto con el propósito de acelerar el enfriamiento, eliminar el vapor residual y evitar el exceso de agua y estabilizar térmicamente el bloque antes de expulsar.

Para calcular el Caudal de succión se realizó la suma del volumen de vapor y el volumen de aire:

Para calcular esta capacidad de vacío se usa la ecuación 151 (Weston, 1985).

$$V_{\text{total}} = V_{\text{eq}} + V_{\text{vapor}} = 0.846 \text{ m}^3 + 1.699 \text{ m}^3 = 2.54 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{total}}}{t_{\text{vac}}} \quad (151)$$

Donde:

$Q_{\text{eff}}$ ; Caudal de succión real ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$V_{\text{total}} = 2.54\text{m}^3$ : Volumen total a extraer del molde (vapor +aire).

$t_{\text{vac}} = 0.00416\text{h} = 18 \text{ seg}$  : Tiempo de vacío deseado según (BASF, 2001).

$$Q_{\text{eff}} = \frac{2.53\text{m}^3}{0.00417 \text{ h}} = 611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Al obtener el valor del Caudal de succión real de la bomba de vacío, podemos seleccionar una bomba de vacío.

#### 4.7.7 Cálculo de la tubería de vacío

La tubería de succión para el sistema de vacío, tiene una presión de vacío de 200mbar. Para calcular el diámetro de tubería de vacío, se tiene que considerar que la velocidad del flujo de vacío entre 15 a 30 m/s según (Weston, 1985).

A partir de la información obtenida podemos calcular el diámetro con la ecuación 152.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{\text{eff}}}{\pi * V_{\text{vacío}}}} \quad (152)$$

Donde:

$Q_{\text{eff}} = 611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  ; Caudal de succión real ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$V_{\text{vacío}} = 22.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ; Velocidad de flujo (valor promedio recomendado) según (Weston, 1985).

$$D = \sqrt{\frac{4 * 611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\pi * 22.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 0.098 \text{ m}$$

El diámetro calculado aproximaremos a un valor comercial.

$D_{\text{Itub}} = 0.102 \text{ m}$  diámetro interior de tubo de 4" SCH 40 (ver ANEXO Ñ).

#### 4.7.8 Selección de bomba de vacío

Para entender el sistema de enfriamiento por vacío necesitamos identificar qué tipo de bomba de vacío es la adecuada, en la Figura 105, según el fabricante MARPAVACUUM, podemos clasificar según el vacío que genera una bomba.

**Figura 105**

*Clasificación de bombas de vacío según la presión de vacío.*

#	mbar
Bajo vacío	300 – 1
Medio vacío	$1 - 10^{-3}$
Alto vacío	$10^{-3} - 10^{-7}$
Ultra alto vacío	$10^{-7} - 10^{-12}$
Alto vacío extremo	$< 10^{-12}$

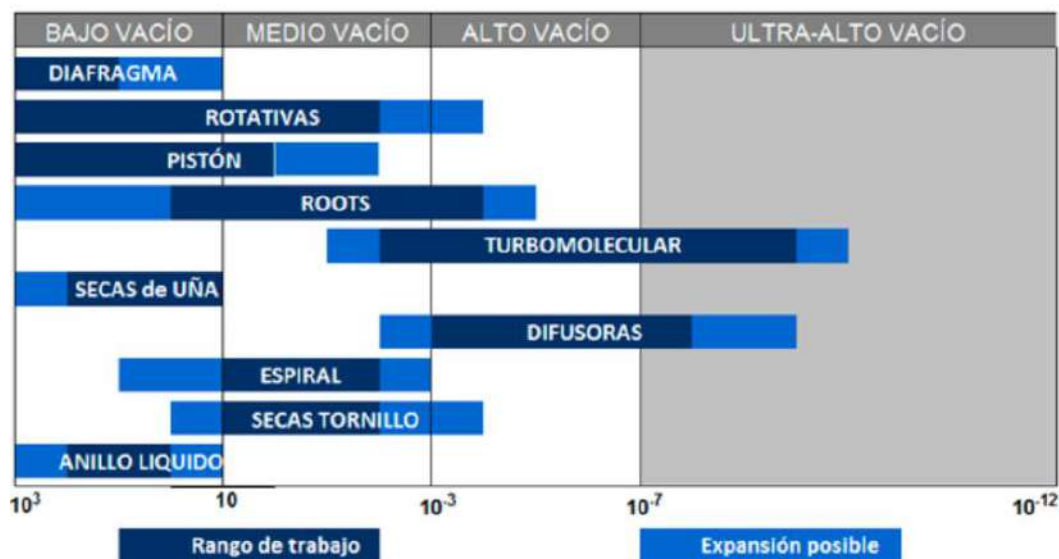
Fuente: <https://marpavacuum.com/tipos-bombas-vacio/>

Sabiendo que el vacío dentro de la cámara de moldeo es de 200 mbar recomendado según información técnica Styropor de BASF en la Figura 105 podemos clasificar que la bomba de vacío adecuada para nuestro sistema de enfriamiento por vacío es de bajo vacío.

Una vez determinado la bomba por el tipo de vacío que genera, ahora podemos elegir el tipo de bomba de vacío, según información técnica Styropor de BASF recomienda una bomba de anillo liquido de una etapa, también podemos ver en la Figura 106 las bombas de vacío adecuadas para un vacío bajo.

**Figura 106**

*Clasificación de bombas de vacío según su rango de trabajo*



Fuente: <https://marpavacuum.com/tipos-bombas-vacio/>

De la Figura 106 vemos que dentro del rango del bajo vacío se ubican seis tipos de bomba de vacío según información técnica Styropor de BASF indica que para aplicar el vacío a las cámaras de vapor hay que evacuar principalmente una mezcla de agua y vapor de agua, para generar el vacío se han acreditado exclusivamente las llamadas bombas de anillo hidráulico (en las que el agua sirve de medio y de material aislante).

Según la información técnica Styropor de BASF podemos seleccionar la bomba según los valores obtenidos de los cálculos para nuestro sistema de enfriamiento por vacío.

Valores obtenidos de cálculos:

$$Q_{\text{eff}} = 611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} : \text{Caudal de succión real.}$$

$$P_2 = 200 \text{ mbar: Presión de vacío.}$$

**Tabla 54**

*Potencia de las bombas (valores empíricos).*

Máquina	Canti- dad	Tamaño	Tipo de alimentación del vacío	Capacidad de succión m <sup>3</sup> /h	Potencia de accio- namiento kW	Conden- sador	Depósito regulador m <sup>3</sup>
Moldeadora automática	1	Superficie de moldeo de 1 m <sup>2</sup>	Individual	390	11	sin	–
	1	Superficie de moldeo de 1 m <sup>2</sup>	Individual	130	4	con	–
	10	Superficie de moldeo de 10 x 1 m <sup>2</sup>	Centralizada	250	7,5	con	6
Molde de bloques	1	Volumen 2,5 m <sup>3</sup>	Individual	1230	35	sin	–
	1	Volumen 2,5 m <sup>3</sup>	Individual	645	18,5	con	10
	2	Volumen 2 x 2,5 m <sup>3</sup>	Centralizada	645	18,5	con	20
	1	Volumen 7,5 m <sup>3</sup>	Individual	1800	45	con	20
	2	Volumen 2 x 7,5 m <sup>3</sup>	Centralizada	1800	45	con	30

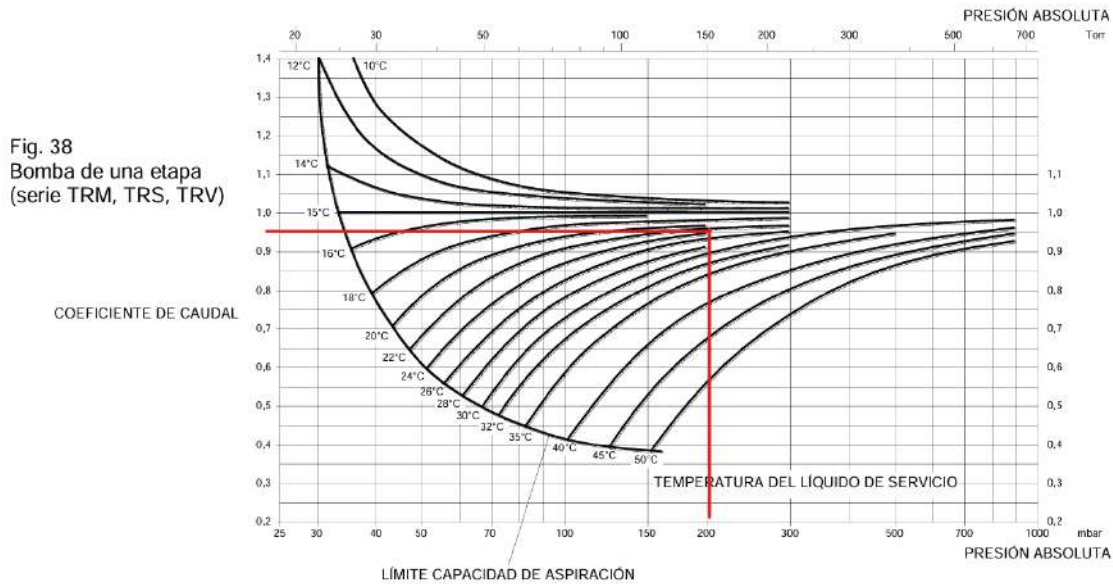
Fuente: según información técnica styropor de BASF.

De la Tabla 54 podemos ver que para un volumen de moldeo de 2.5m<sup>3</sup> nos recomienda una capacidad de succión de 645 m<sup>3</sup>/h y una potencia de bomba 18.5 kW con depósito regulador de 10m<sup>3</sup>, tomando de referencia los valores recomendados, para nuestra máquina de moldeo que tiene el volumen de moldeo de 2.4m<sup>3</sup>, tomaremos estos valores como referencia para nuestro sistema de enfriamiento por vacío.

De la Figura 107 elegimos una bomba de vacío de anillo liquido del fabricante POMPETRAVAINI modelo TRVX 1003.

**Figura 107**

*Diagrama coeficiente de caudal vs presión absoluta.*



Fuente: (Ponpetravaini, 2023).

Del diagrama mostrado en la Figura 107 obtenemos el coeficiente de caudal para obtener la caudal de succión de bomba de vacío el cual se determina con la ecuación 153.

$$Q_{\text{BOMBA}} = \frac{Q_{\text{eff}}}{\delta} \quad (153)$$

Donde:

$Q_{\text{BOMBA}}$ ; Caudal de bomba de vacío ( $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ).

$\delta = 0.95$ ; Coeficiente de caudal (adim.)

$Q_{\text{eff}} = 611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ; Caudal de succión real.

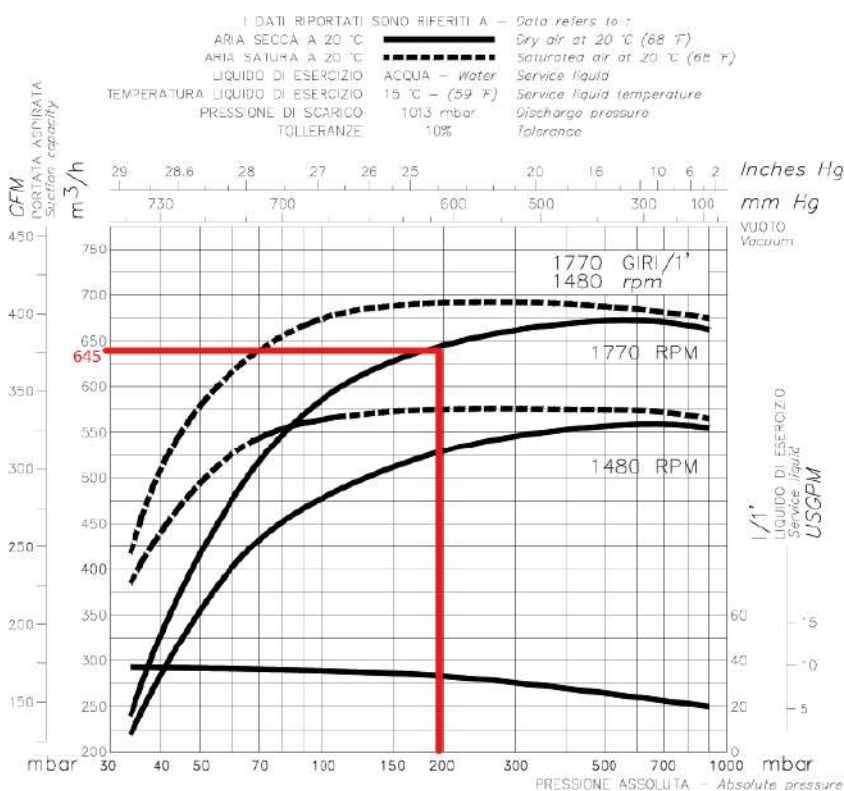
$$Q_{\text{BOMBA}} = \frac{611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.95} = 643.92 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para seleccionar una bomba de vacío de anillo líquido comprobaremos en la curva de rendimiento de dicha bomba si a la presión de vacío dentro de la cámara nos entrega la capacidad de succión a requerida para nuestro sistema de enfriamiento al vacío con evaporación de agua.

Primeramente, determinar la capacidad de succión requerido a 200mbar en la curva de rendimiento de la bomba de vacío elegido donde trazaremos líneas como se ve en la Figura 108.

**Figura 108**

*Curva de rendimiento de bomba de anillo líquido MODELO TRVX 1003.*



Fuente: Ficha técnica del modelo TRVX 1003.

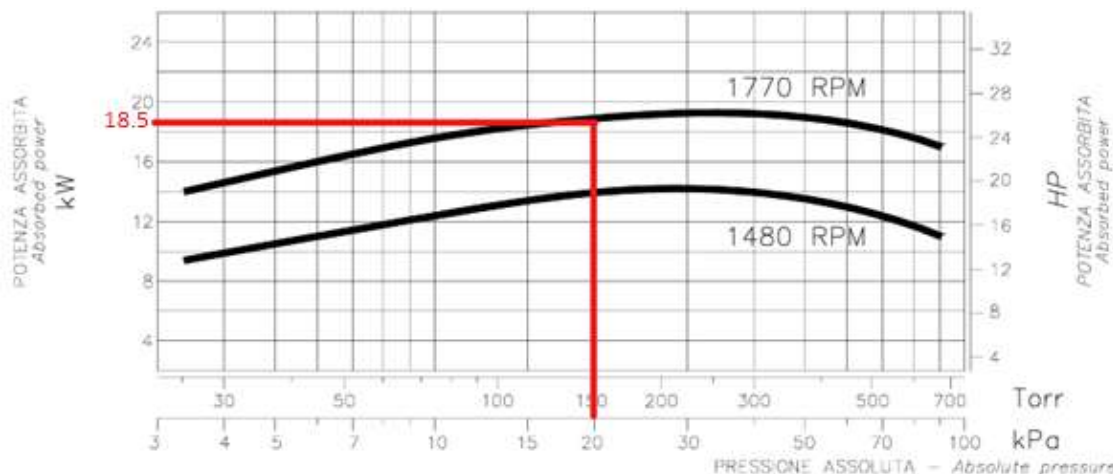
De la Figura 108 obtenemos el valor de la capacidad de succión de 645m³/h, podemos afirmar que el caudal de succión real está por encima del valor calculado para nuestro sistema, lo cual concuerda con la información técnica del Styropor de BASF.



En la Figura 109 determinaremos la potencia de la bomba de vacío de anillo líquido, con la finalidad de comprobar las recomendaciones dadas por la información técnica del Styropor de BASF.

**Figura 109**

*Curva potencia absoluta vs presión absoluta.*



Fuente: Ficha técnica del modelo TRVX 1003.

En la Figura 109, se muestra la intersección de la presión de vacío de 200mbar con la curva de RPM de modelo seleccionado, obteniendo así una potencia de 18.5 kW de la bomba de vacío.

Con esta selección el sistema de enfriamiento operara con una presión interna en el molde hasta 200 mbar, lo que permite que el agua condensada durante el proceso de moldeo se evapore rápidamente. La evaporación de agua extrae calor latente del EPS, reduciendo la temperatura del bloque de 115 °C a 60 °C en tiempo de 18s, este método de enfriamiento por vacío resulta ser más rápido y eficiente en comparación por enfriamiento natural.

## CAPÍTULO V

### SELECCIÓN DE MEZCLADOR

#### 5.1 Capacidad del mezclador

Para calcular y seleccionar el mezclador cónico vertical es necesario definir los parámetros fundamentales como la capacidad necesaria, características del material a mezclar y las principales características del mezclador:

##### 5.1.1 Característica del material a mezclar

Las características de los sólidos inertes que forman parte de la mezcla son:

- Material virgen de EPS es de 85% de densidad 15 kg/m<sup>3</sup>.
- Material reciclado de EPS es de 15% de densidad 15 kg/m<sup>3</sup>.

##### 5.1.2 Parámetros de cálculo del mezclador

La capacidad del mezclador estará definida por la masa mínima que necesita la máquina de moldeo para producir bloques de EPS de un determinado volumen y densidad.

Teniendo los siguientes parámetros se calculará la capacidad del mezclador como sigue:

$V_{EPS} = 2.40\text{m}^3$  ; Volumen de bloque de EPS.

$T_m = 8 \text{ min}$ ; Tiempo de mezclado.

$\rho_{EPS} = 15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$  : Densidad de EPS.

$m_{EPS} = 36 \text{ kg}$  ; Masa de bloque de EPS.

$b = 7.5 \frac{\text{bloques}}{\text{hora}}$  ; Cantidad de bloques.

$Q_{EPS}$ : Capacidad requerida

$$Q_{EPS} = V_{EPS} * b \approx 2.40\text{m}^3 * 7.5 \frac{\text{bloques}}{\text{h}}$$

$$Q_{EPS} = 18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 635.67 \text{ ft}^3/\text{h}$$

Flujo masico de EPS es:

$$\dot{M}_{EPS} = Q_{EPS} * \rho_{EPS} \approx 18 \frac{m^3}{h} * 15 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{M}_{EPS} = 270 \frac{kg}{h}$$

### 5.1.3 Dimensionamiento de tornillo sin fin

Una vez definida la capacidad requerida del mezclador y material a mezclar, para calcular seguiremos procedimiento el descrito en el catálogo de Martin de selección de tornillo sin fin y así también determinar las velocidades recomendadas y potencia necesaria.

El material para mezclar tiene el diámetro promedio de las perlas de EPS (recicladas y virgen) de 6mm.

Las siguientes características se muestran en la Tabla 55, los mismos que se obtuvieron del catálogo de Martín y se encuentra en el ANEXO T.

**Tabla 55**

*Clasificación del material.*

Material	Peso específico (LB/ft3)	Código de material	Factor de material (Fm)	Carga
Perlas expandidas de EPS	12	C1/2-36	0.6	30B

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

#### 5.1.3.1 Características del material

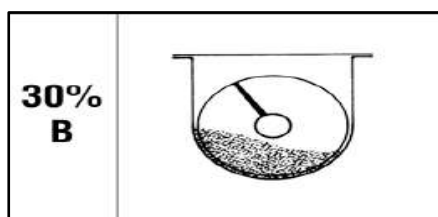
Al identificar las características el material dentro del catálogo de Martin, en la Tabla 56 se presenta el resumen de las características de material de EPS (ver ANEXO T).

**Tabla 56***Características de material de EPS.*

<b>Característica de material</b>		
Tamaño de partícula	C1/2	Granular de tamaño 1/2" y menor (malla 6 a 1/2") de código
Fluidez	3.00	Fluido promedio
Abrasivo	6.00	Abrasivo moderado

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>**5.2 Capacidad de diseño del mezclador**

El poliestireno expandido (Perlas expandidas de EPS), según la Figura 110 se tiene un porcentaje de carga establecido 30% tipo B, lo cual ayudara a obtener los valores mínimos y máximos de la velocidad de giro y la capacidad de mezclado el cual se puede observar en la Tabla 57.

**Figura 110***Carga de artesa recomendado para el EPS.*Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>**Tabla 57***Capacidad d transportadores de tornillo a 1 RPM y Max RPM.*

Carga	Diámetro	Capacidad (ft³/h)		Max RPM
	tornillo sin fin			
	(pulg)			
		A 1 RPM	A MAX RPM	
30 % B	12.00	12.9	645	50

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.1 *Revoluciones del tornillo sin fin*

Se obtuvo el valor mínimo de rpm del tornillo sin fin y la capacidad de mezclado de la Tabla 57 para asegurar un buen mezclado realizaremos el cálculo de las revoluciones de tornillo sin fin para la capacidad requerida se determina con la ecuación 154.

$$N_{\text{Tornillo}} = \frac{Q_{\text{req}}}{Q_{1\text{RPM}}} \quad (154)$$

Donde:

$Q_{\text{req}} = 635.67 \text{ ft}^3/\text{h}$ : capacidad requerida.

$Q_{1\text{RPM}} = 12.09 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} * \text{RPM}$  : Capacidad requerida a 1 RPM.

$N_{\text{Tornillo}}$ : Revoluciones del tornillo sin fin (sin factor).

$$N_{\text{Tornillo}} = \frac{635.67 \text{ ft}^3/\text{h}}{12.9 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} \text{ RPM}} = 49.28 \text{ RPM}$$

La velocidad de giro obtenida no considera los factores de tipos de hélice, número de paletas por paso y pasos del tornillo, los cuales modifican la velocidad, por tal razón es conveniente corregirla y se hizo mediante la capacidad equivalente.

### 5.2.2 *Longitud de eje del tornillo sin fin*

La longitud del eje del tornillo sin fin se determinó en función de la capacidad requerida, el diámetro del tornillo previamente obtenido de las tablas de catálogo Martin y comparada con la capacidad útil de los mezcladores disponibles en el mercado (ver ANEXO T).

$L_t = 148 \text{ pulg}$  : La longitud eje de tornillo sin fin.

### 5.2.3 *Cálculo de capacidad equivalente*

El cálculo de capacidad equivalente se determina con la ecuación 155:

$$Q_{\text{equiv}} = Q_{\text{req}} * CF_1 * CF_2 * CF_3 \quad (155)$$

Donde:

$CF_1$ : El factor que relaciona al paso del helicoidal.

$CF_2$ : El factor que refiere al tipo de helicoidal.

$CF_3$ : El factor  $CF_3$  está relacionado con el uso para el transporte de material.

Estos factores obtendremos de las siguientes tablas obtenidas del catálogo de manejo de materiales Martin (ver ANEXO T).

En la Tabla 58 para obtener  $CF_1$  el factor que relaciona al paso del helicoidal es:

$$CF_1 = 1$$

**Tabla 58**

*Carga de capacidad para transportador.*

Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial $CF_1$		
Paso	Descripción	$CF_1$
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = $\frac{1}{2}$ Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = $\frac{1}{3}$ Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = $\frac{1}{4}$ Diámetro del Helicoidal	0.67

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Usaremos un paso estándar, se recomienda según el catálogo de manejo de materiales Martín para un uso general.

En la Tabla 59 para obtener el factor de capacidad para transportador helicoidal  $CF_2$  que refiere al tipo de helicoidal.

**Tabla 59**

*Carga de capacidad para transportador con helicoidal especial.*

Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial $CF_2$			
Tipo de Helicoidal	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doble	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

\*No se recomienda.

Si no se utilizan ninguno de los tipos anteriores de helicoidal:  $CF_2 = 1.0$ .

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Usaremos un tipo helicoidal estándar, sin ningunas modificaciones en la helicoidal, tomaremos el valor que recomienda la Tabla 59 para helicoidales que no estén dentro de los tipos de helicoidal.

$$CF_2 = 1$$

Para obtener el valor de  $CF_3$  utilizamos la Tabla 60 donde al no contar con paleta el factor es:

$$CF_3 = 1$$

**Tabla 60**

*Carga de capacidad para transportador con helicoidal especial.*

Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras $CF_3$					
Paletas Estándar de Paso Invertido a 45°	Paletas por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor $CF_3$	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

El tornillo sin fin para nuestro requerimiento no presenta paletas en su diseño.

Luego de obtener los valores de los factores remplazamos en la ecuación 155 para calcular la capacidad equivalente se tiene:

$$Q_{\text{equiv}} = 635.67 \text{ ft}^3/\text{h} * 1 * 1 * 1$$

$$Q_{\text{equiv}} = 635.67 \text{ ft}^3/\text{h}$$

#### 5.2.4 *Diámetro del helicoidal*

El diámetro del helicoidal está en función a la capacidad requerida, clasificación del material y el porcentaje de carga, de la Tabla 58 obtendremos el valor del diámetro helicoidal.

$$D_{\text{helicoidal}} = 12 \text{ pulg}$$

#### 5.2.5 *Espesor de hélice y diámetro de eje*

Para obtener el valor del espesor de hélice y el diámetro de eje del tornillo sin fin, se obtendrán estos valores de la Tabla 61, según el diámetro del helicoidal seleccionado.

**Tabla 61**

*Grupo de componentes de la helicoidal.*

<b>Diámetro del tronillo helicoidal (pulg)</b>	<b>Diámetro eje (pulg)</b>	<b>Espesor de hélice(pulg)</b>
12	3.00	1/4

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

$$e_{\text{helice}} = 1/4 \text{ pulg}$$

$$d_{\text{eje}} = 3 \text{ pulg}$$

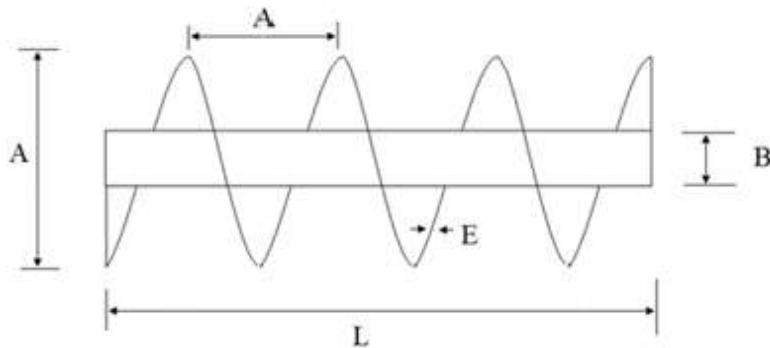
#### 5.2.6 *Dimensiones del tornillo sin fin*

En la Figura 111 se muestra las dimensiones del tornillo sin fin para lo cual se calculó y selecciono las dimensiones del tornillo sin fin según las tablas obtenidas del catálogo de manejo de materiales Martin. En la Tabla 62 se presenta un resumen en la de todos los valores obtenidos.



**Figura 111**

*Dimensiones del tornillo sin fin.*



Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

**Tabla 62**

*Dimensiones del tornillo sin fin.*

DIAMETRO DEL TORNILLO (pulg)	PASO (pulg)	DIAMETRO DEL EJE (pulg)	ESPESOR DE HELICE (pulg)	LONGITUD (pulg)
A	A	B	E	L
12.00	12.00	3.00	1/4	148"

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

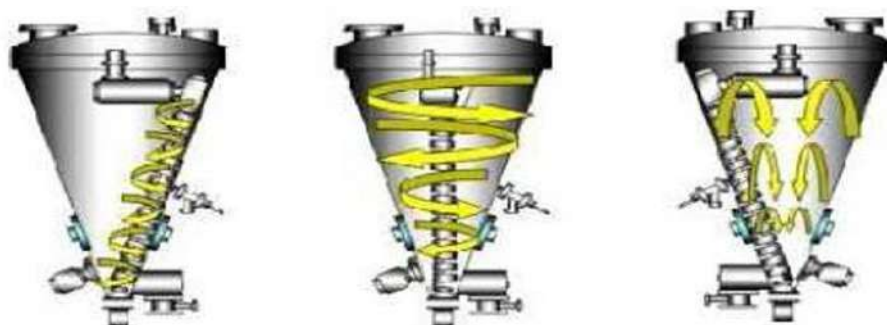
### 5.3 Mezclador de tornillo sin fin vertical

En la Figura 112 se muestra el mezclador que se caracteriza por tener una forma cónica invertida, dentro tiene un tornillo sin fin que gira al rededor del eje central del cono y efectúa dos tipos de movimiento el primer movimiento es planetario que permite el desplazamiento del material hacia el centro del mezclador (Chico, 2011).

El segundo movimiento de rotación sobre su eje hace que el material sea transportado hacia arriba y luego por efecto de la gravedad cae al fondo (Chico, 2011).

**Figura 112**

*Movimientos que del material dentro del mezclador cónico.*



Fuente: (Chico, 2011).

### 5.3.1 Geometría del recipiente

- Forma cónica vertical es un cono invertido, la dimensión más grande está en la parte superior.
- Favorece la descarga completa del producto desde una apertura en la parte inferior del cono.
- Por su geometría de cono invertido tiene mínima acumulación de producto residual.

### 5.3.2 Dimensiones de mezclador cónico

En base a la capacidad requerida del 30% de carga para el mezclador, al tiempo de mezcla y a la densidad de la mezcla, se calculó el volumen total del mezclador cónico mediante la ecuación 156.

$$V_C = Q_{EPS} * T_m \quad (156)$$

Donde:

$T_m = 0.133 \text{ h} = 8 \text{ min}$  ; Tiempo de mezclado.

$Q_{EPS} = 18 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  ; Capacidad requerida.

$V_C$ =volumen del cono al 30% de sólidos,  $\text{m}^3/\text{h}$ .

$$V_C = 18 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * 0.133 \text{ h} = 2.4 \text{ m}^3$$

### 5.3.3 Volumen de mezclado

El volumen a mezclar corresponde 30% adicional de la capacidad requerida, con la finalidad de cubrir la demanda de fabricar bloques de EPS, considerando que la máquina de moldeo tiene una capacidad de 2.4 m<sup>3</sup>.

$$V_m = V_C * 1.3 \quad (157)$$

Donde:

$V_m$ : Volumen de material a mezclar

30%: Porcentaje de incremento al volumen requerido

$$V_m = 2.4 \text{ m}^3 * 1.3 = 3.12 \text{ m}^3$$

Volumen del cono para un 30% de carga de EPS ocupa un volumen de 3.12m<sup>3</sup>, con el 100% de la carga ocupara un volumen de 10.4 m<sup>3</sup>. con este volumen se puede calcular las dimensiones del mezclador cónico.

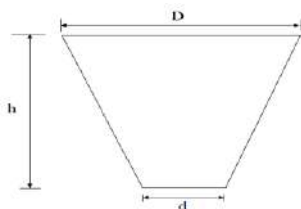
$$V_{\text{mezclador}} = 10.4 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 158 podemos calcular las dimensiones de mezclador cónico:

$$V_{\text{mezclador}} = \frac{\pi * h_c (D^2 + D * d + d^2)}{12} \quad (158)$$

### Figura 113

*Dimensiones del mezclador cónico*



Fuente: (Chico, 2011).

En la Figura 113 se muestra la dimensión del mezclador cónico donde:

D: Diámetro de mayor del cono

d: Diámetro de menor del cono

$h_c$ : altura del cono

Los fabricantes recomiendan que el diámetro menor de cono es igual al diámetro de la hélice.

$$d = D_{\text{helicoidal}} = 12 \text{ pulg}$$

Asumiremos que el diámetro del cono mayor es igual a la altura del cono ( $h = D$ ), con la finalidad de aproximarnos a una medida comercial:

$$D(D^2 + D * 0.3 + 0.3^2) = 39.72$$

$$D = 3.31 \text{ m}$$

Resumen de dimensiones obtenida:

$D = h_c = 3.31 \text{ m}$ ; Diámetro y altura del cono

$d = 0.3 \text{ m}$ ; Diámetro menor del cono

$V_{\text{mezclador}} = 10.4 \text{ m}^3$ ; Volumen total del mezclador

$V_{\text{util}} = 3.12 \text{ m}^3$ ; Volumen útil calculado

$D_{\text{helicoidal}} = 12 \text{ pulg}$ ; Diámetro de tornillo sin fin

### 5.3.3.1 Cálculo del número de Froude

El número de Froude es un parámetro adimensional que relaciona entre la fuerza centrífuga con la aceleración de la gravedad según (Fernando et al., 2004), su valor se obtiene mediante la siguiente ecuación 159 y este valor debe encontrarse dentro del rango indicado según la Tabla 63 para mezcladores de tipo cónico vertical –(nauta).

**Tabla 63**

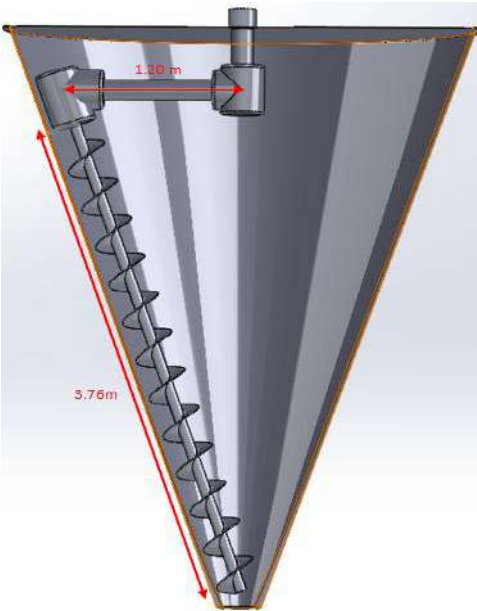
*Tipos de equipos para el mezclado de sólidos.*

Type of Mixer	Motion by:	$Fr = \frac{r\omega^2}{g}$	Capacity (m <sup>3</sup> )	Power (kW/m <sup>3</sup> )
Tumbling type with rotating vessels; cylinders, drums, cubes, V and Y types, double cones	Free fall	<1	<2	<1-2
Double ribbon mixers, trough blenders, vertical screw types, orbiting type such as Nauta	Thrust	<1	<30	3-10
Centrifugal mixers with paddles plows	Thrust, centrifugal force	>1	<30	20
High intensity mixer Turbine and fluid mixers	Centrifugal force	$\gg 1$	<1.5	$\begin{cases} <500 \\ 20 \end{cases}$

Fuente: (Fernando et al., 2004).

**Figura 114**

*Dimensiones de brazo planetario y longitud de tornillo sin fin del mezclador cónico.*



Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.3.1.1 Numero de Froude en el brazo planetario

Según el catálogo de Hosokawa Micron Corporation la velocidad angular del brazo orbital es de 2 RPM para el mezclador cónico vertical.

$$Fr_B = \frac{r \cdot \omega^2}{g} \quad (159)$$

Donde:

$r = 1.2m$  ; la Figura 114 muestra la longitud de brazo orbital.

$\omega = 2 \text{ RPM} \approx 0.033 \text{ RPS}$  ; Velocidad angular del brazo orbital según (Golshan et al, 2016).

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

$$Fr_B = \frac{(0.033 \text{ RPS})^2 * 1.2m}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 1.332 \times 10^{-4}$$

### 5.3.3.1.2 Numero de Froude en el tornillo sin fin

Según el catálogo de Hosokawa Micron Corporation la velocidad angular del brazo orbital es de 2 RPM para el mezclador cónico vertical.

$$Fr_T = \frac{r_t \cdot N_{\text{Tornillo}}^2}{g} \quad (160)$$

Donde:

$r_t = 0.15 m$  ; Radio de tornillo sin fin.

$N_{\text{Tornillo}} = 49.28 \text{ RPM} \approx 0.821 \text{ RPS}$  ; Velocidad angular de tornillo sin fin.

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

$$Fr = \frac{(0.821 \text{ RPS})^2 * 0.15m}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.010$$

Según la Tabla 63 para mezcladoras cónico vertical orbitales como la marca Nauta, el número de Froude es  $Fr < 1$ , ambos números de Froude son menores a 1, lo cual es correcto y esperado en

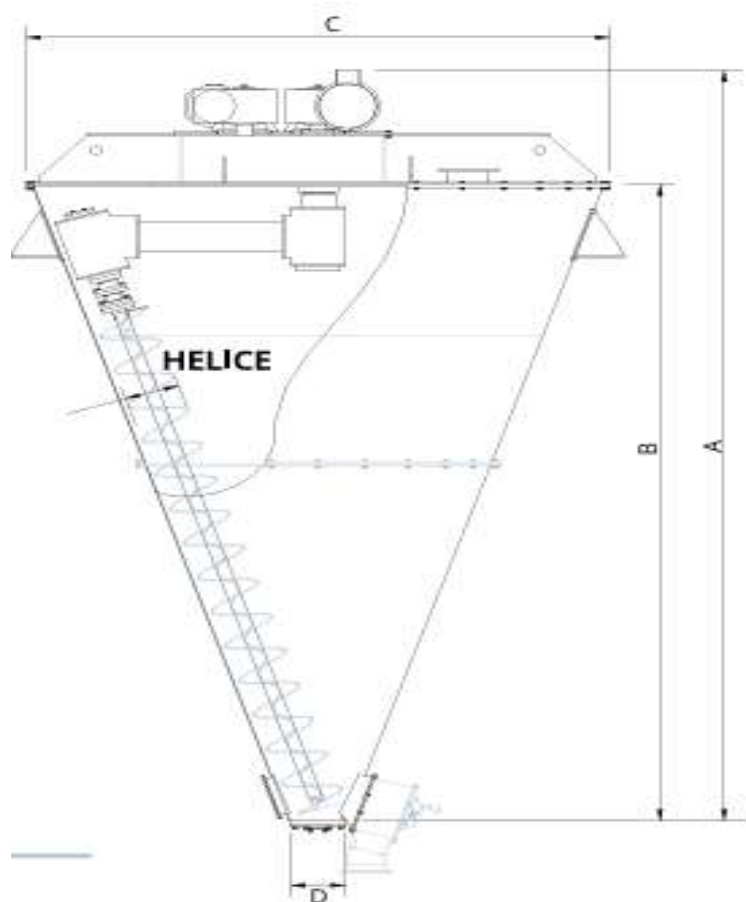
mezcladoras de sólidos. Esto significa que el proceso está dominado por la gravedad y no por la fuerza centrífuga, lo que es adecuado para mezclas suaves donde no se busca fluidización o proyección del material.

#### 5.3.4 Selección de mezclador cónico

Con las dimensiones obtenida de los cálculos se realizó la selección del mezclador cónico comercial como la que se muestra en la Figura 115.

**Figura 115**

*Dimensiones del mezclador cónico comercial.*



Fuente: ficha técnica de Mezclador cónico CON-Y-MIX

**Tabla 64***Dimensiones del mezclador cónico comercial.*

<b>Modelo</b>	Volumen (L)		Dimensiones (mm)			
	Útil	Total	A	B	C	D
<b>C-50</b>	60	141	2.200	980	700	100
<b>C-100</b>	100	232	2.400	1.178	825	100
<b>C-500</b>	513	1.407	2.756	2.150	1.580	150
<b>C-1000</b>	1.070	3.429	3.622	2.830	2.150	260
<b>C-1200</b>	1.224	3.592	3.722	2.930	2.220	260
<b>C-1500</b>	1.577	4.486	3.922	3.130	2.340	260
<b>C-2000</b>	2.028	5.385	4.259	3.467	2.500	260
<b>C-3000</b>	2.998	7.155	4.512	3.720	2.720	260
<b>C-4000</b>	4.004	8.906	4.822	4.030	2.910	260
<b>C-5000</b>	5.004	10.579	4.994	4.202	3.080	300

Fuente: ficha técnica de Mezclador cónico CON-Y-MIX

De la Tabla 64 seleccionamos el mezclador cónico modelo C-5000, que se aproxima al volumen total y a las dimensiones calculadas.

Resumen de dimensiones de mezclador cónico vertical seleccionado:

$D = 3.08 \text{ m}$ ; Diámetro del cono

$h_c = 4.02 \text{ m}$ ; Altura del cono

$d = 0.3 \text{ m}$ ; Diámetro menor del cono

$V_{\text{mezclador}} = 10.579 \text{ m}^3$ ; Volumen total del mezclador

$V_{\text{util}} = 5.004 \text{ m}^3$ ; Volumen útil calculado

$D_{\text{helicoideal}} = 12 \text{ pulg}$ ; Diámetro de tornillo sin fin

#### **5.3.4.1 Características del sistema de mezcla seleccionado**

A continuación, se describe las características del sistema de mezclado.

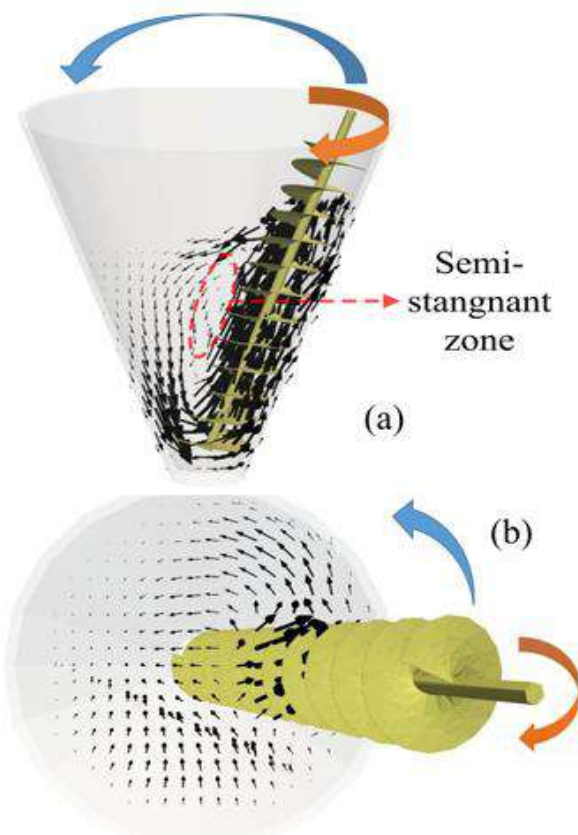


- Incluye un tornillo sin fin vertical con cierta inclinación que gira en su propio eje y al mismo tiempo gira alrededor del eje central del cono.
- Tener este movimiento genera una mezcla tridimensional:
- Ascenso del producto por el tornillo.
- Descenso por gravedad en las paredes del cono.

En la Figura 116 se presenta el patrón de flujo de partículas (a) sección transversal vertical en el centro del mezclador (b) sección transversal horizontal cerca de la superficie libre (Golshan et al, 2016).

### Figura 116

*Movimiento de las partículas dentro de la mezcladora.*



Fuente: (Shahab Golshan, Reza Zarghami, Hamid Reza Norouzi, Navid Mostouf, 2016)

Este tipo de mezcladores consume menos energía que otros mezcladores de tipo rotativo o intensivo.

#### **5.3.4.2 Alta eficiencia con volúmenes grandes**

Puede trabajar con lotes desde 50 hasta varios miles de litros sin pérdida de eficiencia, ideal para aplicaciones industriales de EPS.

### **5.4 Potencia de tornillo sin fin**

La potencia requerida para lograr una mezcla homogénea de material virgen y reciclado de EPS, el mezclador con tornillo sin fin vertical está en función de tres factores, y son los siguientes:

$HP_f$  : Potencia para impulsar el tornillo sin fin en vacío.

$HP_m$  : Potencia para el desplazamiento del material.

$HP_i$  : Potencia debido a la inclinación del tornillo.

Para calcular la potencia total (HP) está dada por la ecuación 161.

$$HP_h = \frac{(HP_f + HP_m) * F_o}{e} \quad (161)$$

Donde:

$F_o$ : Factor de sobrecarga

$e$  : Eficiencia

Para calcular la potencia total mucho depende del material a ser mezclado, diámetro del tornillo, tipo de rodamiento, tipo de hélice, número de paletas por paso, los cuales determinan los siguientes factores:

$F_m$ : factor en función de las características del material

$F_d$ : factor transportador de diámetro

$F_b$ : factor de rodamiento

Ff: factor por porcentaje de carga

Fp: factor de paleta

Ahora obtendremos los valores de cada uno de las siguientes figuras:

De la Tabla 55 obtenemos que  $F_m = 0.6$  es el factor de material del EPS expandido para obtener  $F_d$ ,  $F_b$ ,  $F_f$  y  $F_p$  estos valores se muestran en la Tablas 65, Tabla 66, Tabla 67 y Tabla 68.

**Tabla 65**

*Factor de buje.*

<b>Diámetro del tronillo helicoidal (pulg)</b>	<b>Factor <math>F_d</math></b>
12	55.00

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

**Tabla 66**

*Factor de porcentaje de carga de mezclador.*

<b>Tipo de buje</b>	<b>Factor de buje colgante <math>F_b</math></b>
Superficie endurecida	4.40

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

**Tabla 67**

*Factor de porcentaje de carga de mezclador.*

<b>Tipo de helicoidal</b>	<b><math>F_f</math> Factor de porcentaje de carga de mezclador 30%</b>
Estándar	1.00

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

**Tabla 68***Factor de paletas.*

<b>Numero de Paletas por paso</b>	<b>Factor de paletas, <math>F_p</math></b>
	<b>0</b>
factor de paleta $F_p$	1.00

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Con los factores obtenidos de las tablas de catálogo manejo de materiales Martín procedemos a calcular las potencias.

**5.4.1 Potencia necesaria para impulsar al tornillo en vacío ( $HP_f$ )**

$$HP_f = \frac{L * N_{\text{tornillo}} * F_d * F_b}{1000000} \quad (162)$$

Donde:

$HP_f$  es la potencia para mover el helicoidal, (HP).

$L_t$  es la longitud del cuerpo del helicoidal, [ft]:  $L = 148" = 12.34\text{ft}$

$N$  es la velocidad de operación del tornillo, [RPM]:  $N = 49.28 \text{ RPM}$

$F_d$  es un factor del diámetro del helicoidal para 12":  $F_d = 55$

$F_b$  es un factor del tipo de buje para el eje para rodamientos:  $F_b = 4.4$

$$HP_f = \frac{12.34\text{ft} * 49.28 \text{ RPM} * 55 * 4.4}{10^6}$$

$$HP_f = 0.147 \text{ HP}$$

**5.4.2 Potencia para mover el EPS**

Para determinar la potencia la cual es necesaria para mover la mezcla a través del recipiente cónico ( $HP_m$ ), se utiliza la ecuación 163 según el catálogo manejo de materiales Martín.

$$HP_m = \frac{Q * w * F_f * F_m * F_p}{10^6} \quad (163)$$

Donde:

$Q = 635.67 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$  es la capacidad de mezclado.

$w = 12 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$  según peso específico según la clasificación del material.

$L = 148'' = 12.34 \text{ ft}$  ; longitud de tornillo sin fin.

$F_f = 1$ ; es el factor del tipo de helicoidal, para helicoidal estándar.

$F_m = 0.6$  ; es el factor del material a mover (tabla de características del material).

$F_p = 1$  ; es el factor de las paletas (no utilizado en el proyecto).

$$HP_m = \frac{635.67 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} * 12 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 12.34 \text{ ft} * 1 * 0.6 * 1}{10^6}$$

$$HP_m = 0.056 \text{ HP}$$

### 5.4.3 Potencia debido a la inclinación del tornillo

Se determinará la potencia del tornillo sin fin debido a la inclinación dentro del recipiente cónico con la ecuación 164.

$$HP_i = \frac{Q_i * L}{33000} \quad (164)$$

$$HP_i = \frac{635.67 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} * 12.34 \text{ ft}}{33000} = 0.24 \text{ HP}$$

#### 5.4.3.1 Factor de sobrecarga y eficiencia de transmisión

Para determinar el factor de sobrecarga se debe conocer primero el valor de la suma de potencias intervinientes en el elemento de la siguiente manera:

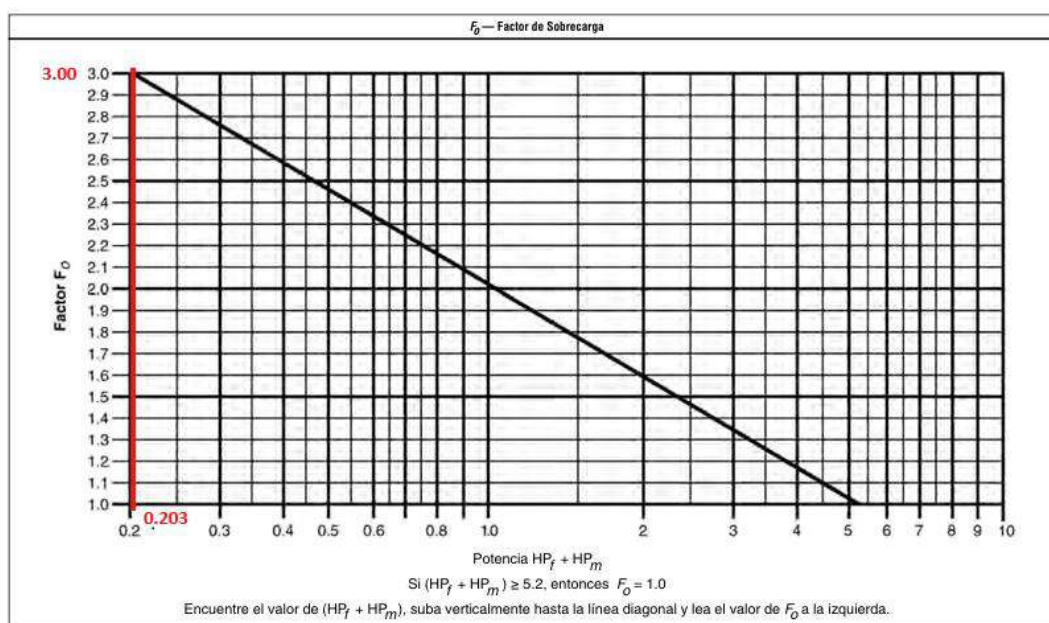
$$HP_m + HP_f = 0.056 \text{ HP} + 0.147 \text{ HP}$$

$$HP_m + HP_f = 0.203 \text{ HP}$$

Con el valor de la suma de potencias, se determina el factor de sobrecarga ( $F_0$ ) utilizando la Figura 117.

**Figura 117**

*Factor de sobrecarga de potencia.*



Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Para una potencia (0.203 HP) le corresponde  $F_0 = 3.00$ .

La transmisión de potencia será por medio de un motorreductor con su eje unido al eje del helicoidal a través de un acople, cuya eficiencia de transmisión se determina de la Tabla 69.

**Tabla 69**

*Eficiencia de transmisión de potencias.*

Factor de Eficiencia (e) de las Transmisiones				
Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V"	Reductor de Engranajes Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	Motorreductor con Cople	Motorreductor con Transmisión de Cadena	Corona Sinfin
.88	.87	.95	.87	Consulte a <i>Martin</i>

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Según la Tabla 69, para una transmisión con motorreductor con acople:  $e = 0.95$ .

Finalmente, al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de la potencia requerida por el helicoidal ( $HP_h$ ), se obtiene:

$$HP_h = \frac{0.203 \text{ HP} * 3}{0.95} = 0.64 \text{ HP}$$

#### 5.4.3.2 Potencia necesaria para el brazo orbital

Para calcular la potencia necesaria para mover el brazo orbital que genera un movimiento planetario y de rotación para el tornillo sin fin tiene un peso de 672 kg obtenidos del dibujo en SolidWorks.

Se cálculo del torque que se necesita para realizar el movimiento planetario con la ecuación 165.

$$T_b = W_o * g * d \quad (165)$$

Donde:

$T_b$ ; Torque en el brazo orbital (J).

$d = 1.2\text{m}$  ; Radio del brazo orbital.

$W_o = 672 \text{ kg}$  ; masa del brazo orbital + tornillo sin fin.

$g = \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2}$ ; aceleración de la gravedad.

$$T_b = 672 \text{ kg} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} * 1.2\text{m} = 7910.78 \text{ J}$$

Para calcular la potencia necesaria para el brazo orbital utilizaremos la ecuación 166.

$$HP_B = \frac{T_b * w}{746} \quad (166)$$

$T_h = 7910.78 \text{ J}$ ; Torque en el brazo orbital.

$w = 2 \text{ rpm} = 0.21 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ; Velocidad angular del brazo orbital.

$$HP_B = \frac{7910.78 \text{ J} * 0.21 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{746} = 2.23 \text{ HP}$$

La potencia total necesaria para la mezcladora cónico vertical con tornillo sin fin se obtiene con la ecuación 167.

$$HP_T = HP_B + HP_i + HP_h \quad (167)$$

$$HP_T = 2.23HP + 0.24HP + 0.64 \text{ HP}$$

$$HP_T = 3.11 \text{ HP}$$

Luego de calcular la potencia total, se obtuvo un valor moderado, lo cual resulta coherente dado que el material a mezclar presenta baja densidad y requiere un proceso de mezcla suave. Este resultado confirma que no se necesitan grandes exigencias energéticas para garantizar la homogeneidad del producto, optimizando así tanto el consumo de energía como la vida útil del equipo.



## **CAPÍTULO VI**

### **SIMULACIÓN COMPUTACIONAL**

En el presente estudio se desarrollarán simulaciones computacionales mediante CFD (Computational Fluid Dynamics), FEM (Finite Element Method) y DEM (Discrete Element Method) con el objetivo de analizar distintos aspectos del proceso de moldeo de poliestireno expandido (EPS) y su entorno estructural. Estas herramientas de simulación permitirán evaluar y conocer las variables de interés físico sobre el diseño de la presente investigación.

La simulación mediante CFD permitirá caracterizar el comportamiento del flujo del recorrido desde el ingreso a la tubería hasta el espacio del molde y estudiar parámetros como la distribución del vapor de agua, la distribución de presión y la gradiente de temperatura. Por otro lado, la simulación estructural mediante FEM se enfocará en determinar el estado de las deformaciones y esfuerzos tanto en el interior del molde como en la estructura tubular de soporte de la máquina. Finalmente, la simulación mediante DEM facilitará la evaluación de la eficiencia de mezclado de perlas de EPS virgen y reciclado, permitiendo analizar la distribución y el comportamiento de mezclado del material granular.

A continuación, se describen en detalle y alcances de cada tipo de simulación:

#### **6.1 Simulación de la Dinámica de Fluido Computacional (CFD)**

Se desarrolla una simulación CFD (Computational Fluid Dynamics) en Ansys Fluent dentro del entorno Ansys Workbench 2024 R1, con el objetivo de analizar el comportamiento del flujo dentro de la cámara de moldeo de poliestireno expandido (EPS). Esta simulación permitirá comprender la dinámica del fluido en el escenario donde la cámara se encuentra vacía.

El análisis del flujo en dicha condición es importante para evaluar la distribución del fluido, la uniformidad del calentamiento y posibles zonas de estancamiento, lo que influye directamente

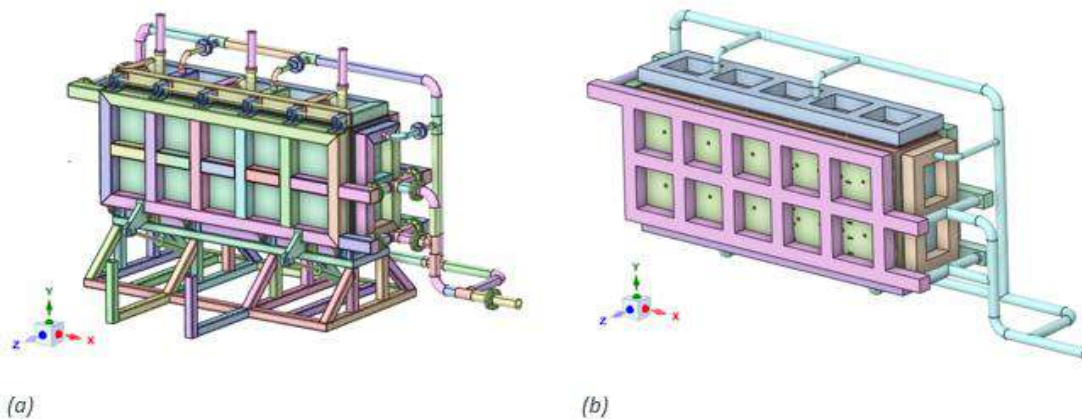
en la calidad del moldeo del EPS. El tipo de simulación es en el régimen estacionario, debido a su bajo costo computacional y la condición estable de operación que se desea cuantificar.

### 6.1.1 Dominio Computacional

El dominio computacional para simulaciones CFD se configuran de manera especial debido a que el dominio de interés es la región por el fluido que lo ocupa. La generación del dominio computacional de interés se muestra en la Figura 118. Se realizó con la herramienta CAD llamada “Extracción de Volumen” seleccionando cada área y volumen desde la entrada del fluido hacia el trayecto de recorrido del fluido dentro de la cámara de moldeo, también se realizaron arreglos al volumen para generar simplificaciones de malla ya que se evidenció una excesiva generación de número de elementos y nodos al considerar curvaturas de radios pequeños. Esto generó una mejora en el procesamiento de la convergencia de resultados.

**Figura 118**

*Preparación del dominio computacional para CFD. (a) Modelo 3D del sistema de Moldeo, (b) Dominio ocupado por el fluido en el sistema de moldeo.*



Fuente: Elaboración Propia.

## 6.2 Condiciones iniciales

La simulación se ejecutó en régimen estacionario (steady state), considerando el flujo monofásico de vapor sin condensación y sin modelo de superficie libre (VOF), con el fin de evaluar los campos de presión y temperatura en la superficie interna del molde.

Asigna estas condiciones globalmente al iniciar la simulación (Solution Initialization):

- Velocidad inicial (u,v,w): 0 m/s (o un valor pequeño si quieres evitar división por cero).
- Presión inicial: 200 kPa (presión absoluta) o 0 Pa relativo si vas a usar pressure-based con referencia.
- Temperatura inicial: 118 °C.

## 6.3 Propiedades del fluido

Para la simulación se ha tomado el flujo de vapor de agua de la base de datos de Fluent que se muestra en la Tabla 70 donde se ha considerado el vapor de agua a una temperatura de 118°C y una presión de 2 bar (200 kPa). No se ha considerado el modelo VOF (Volume of Fluid) ni la condensación del vapor.

**Tabla 70**

*Características del fluido*

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	0.59	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica	1.01E-5	Pa·s
Capacidad calórica (C <sub>p</sub> )	2.08	kJ/kg K
Conductividad térmica	0.024	W/m K

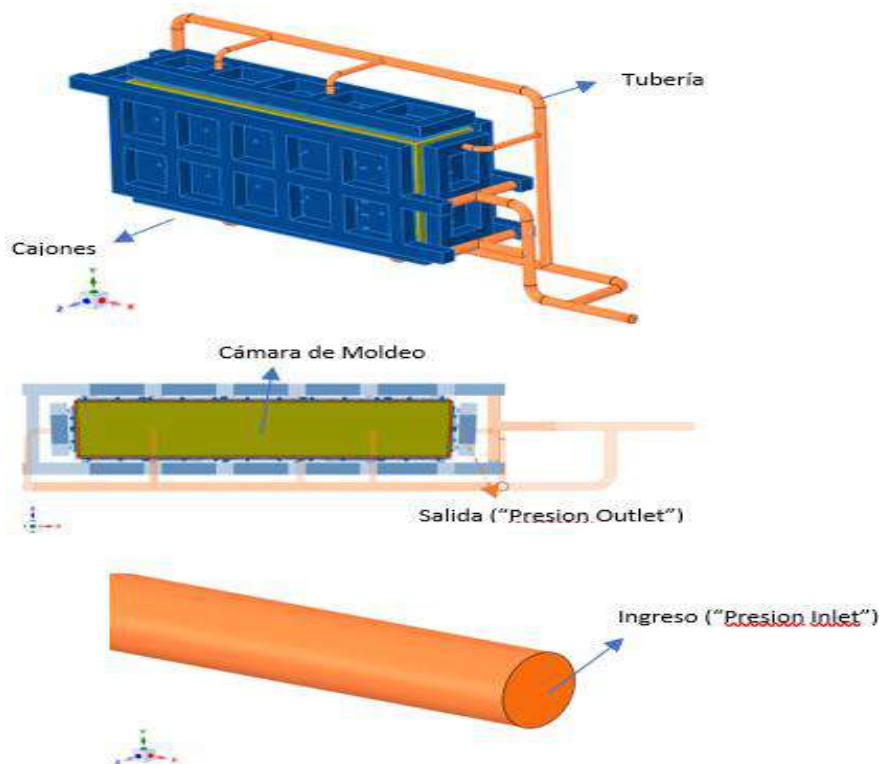
Fuente: Elaboración Propia.

## 6.4 Condiciones de Borde

Las condiciones de borde para nuestro dominio que se muestran en la Figura 119, que definen parámetros importantes como el ingreso del fluido, el entorno con el que interactúa hasta llegar a la salida. En nuestro caso, la configuración de las condiciones de borde: Presión de entrada (“Presion Inlet”), las paredes (“Wall”) se ha configurada de manera particular para la tubería y los cajones de presión los cuales se describirán más adelante, la salida se configura de tal manera que se asume que el vapor de agua sale por un espacio que rodea la cámara de molde en la zona inferior parcialmente de agua en fase líquida propia de la condensación donde se resume una salida a cerca de la presión de entrada, debido a que se está simulando la condición de operación de hermeticidad de la misma.

**Figura 119**

*Condiciones de contorno.*



Fuente: Elaboración Propia.

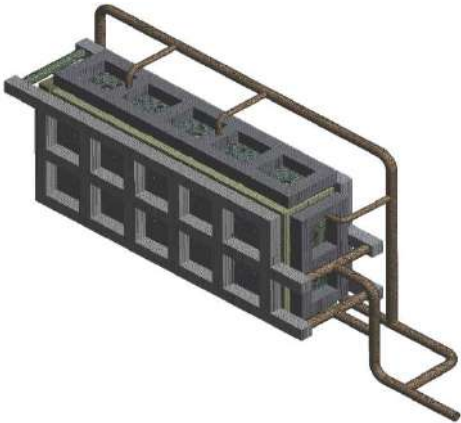
La entrada de la presión en Fluent se define como “Presión Gauge” el cual representa la presión relativa con respecto a la presión de referencia de la atmosfera como 101325 Pa por lo tanto si la entrada es 200 kPa, la diferencia (200 kPa – 101 kPa) resulta en 99 kPa es el valor que se ingresa como entrada de presión.

6.5 Mallado

La discretización del modelo computacional se realiza mediante el mallado para la solución de las ecuaciones que gobierna la dinámica del fluido (Navier Stokes). En la Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73 y Tabla 74 se visualiza una malla densa de elementos hexagonales en el mayor volumen ocupado a excepción del subdominio de la tubería que se genera con una malla que predomina los elementos tetraédricos. La configuración se ha realizado con mallas de control que posee *ANSYS Meshing* de tipo CFD para el *solver Fluent*. Esto posee la ventaja de manipular la malla de manera independiente y donde se tiene más control de zonas o subdominios en aspectos de cuerpo (“Body”) o caras (“Faces”). En las siguientes tablas se describe de manera más detallada las configuraciones realizadas junto a la imagen que muestra la zona a mallar.

Tabla 71

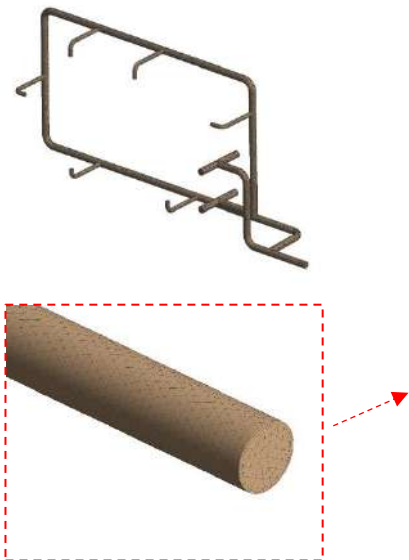
*Malla general del modelo.*

Dominio Completo	Descripción
	Malla predominantemente por elementos hexagonales y tetraédricos.
	Elementos totales: 4 130 206
	Nodos Totales: 5 146 773
	Volumen ocupado: 4.2335 m^3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 72**

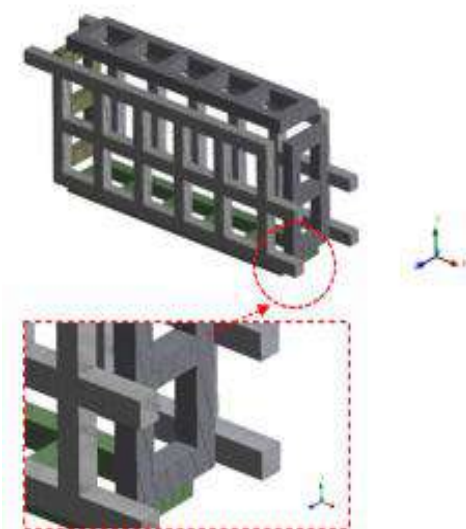
*Malla de control para el subdominio de la tubería.*

Subdominio: Tubería	Descripción
	Se aplicó malla de control de tipo volumen ("Body") con tamaño de 25mm. Predomina elementos tetraédricos.
	Se ha generado capas por la herramienta "Inflation" de tamaño de 2mm de espesor o longitud de la capa ("Layer")
	Se define el ingreso en la cara ("Face") con "Name Selection" para su procesamiento posterior
	Cuenta con 10 caras de interfaces con los subdominios de los cajones

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 73**

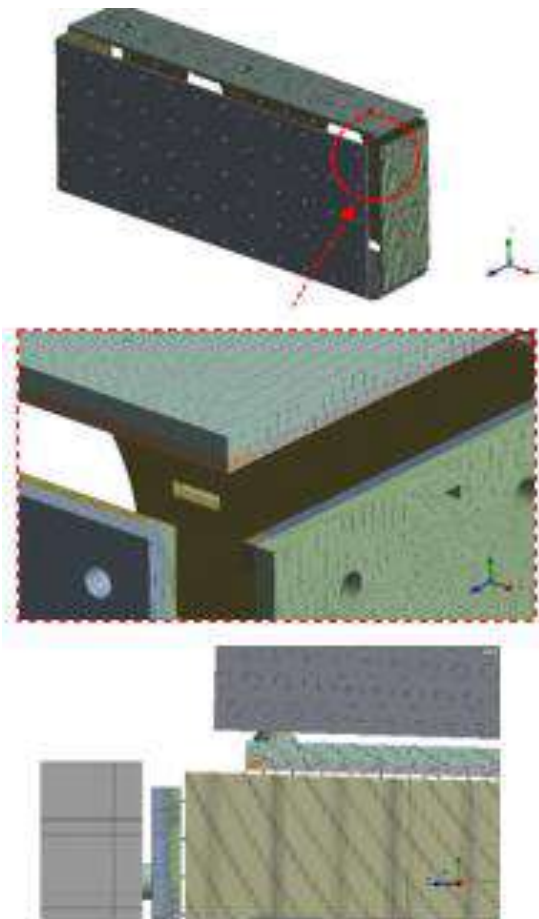
*Malla de control para el subdominio de los cajones.*

Subdominio: Cajones	Descripción
	Se aplicó malla de control de tipo volumen ("Body") con tamaño de 25mm. Predomina elementos hexagonales.
	Se ha aplicado el método de "Multizone" con mapeo "Hexa" que permite que el volumen seleccionado posea elementos de tipo hexagonal junto a sus características:
	Surface Mesh Method: Program Controlled
	Free Mesh Type: Not Allowed
	Element Order: Use Global Setting
	Size Function: Uniform
	Behavior: Soft

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 74

*Malla de control para el subdominio de los interiores incluyendo a la cámara de molde.*

Subdominio: Interiores	Descripción
	<p>Se aplico malla de control de tipo volumen (“Body”) con tamaño de 25 mm donde predomina los elementos hexagonales a excepción de las zonas cercanas a los círculos que representan a los espaciadores en forma de tubo con la placa de acero.</p> <p>Se ha aplicado el método de “Multizone” con mapeo “Hexa” que permite que el volumen seleccionado posea elementos de tipo hexagonal.</p> <p>En el acercamiento de la malla de la esquina se visualiza que se ha subdividido la geometría de tal manera que se genere una malla más uniforme de tipo estructural.</p> <p>Para el mallado de la cámara de molde se empleó la malla de control nuevamente de tipo “Body” con 10mm de tamaño generando un cuerpo de mallado donde predomina elementos hexagonales.</p>

Fuente: Elaboración Propia.

De la Tabla 71 donde se tiene el mallado general del dominio computacional las métricas de calidad del mallado se aprecian que estas cumplen con los valores recomendados según (ANSYS Fluent, 2023). Ver Tabla 75.

Tabla 75

Métricas de calidad de malla generada

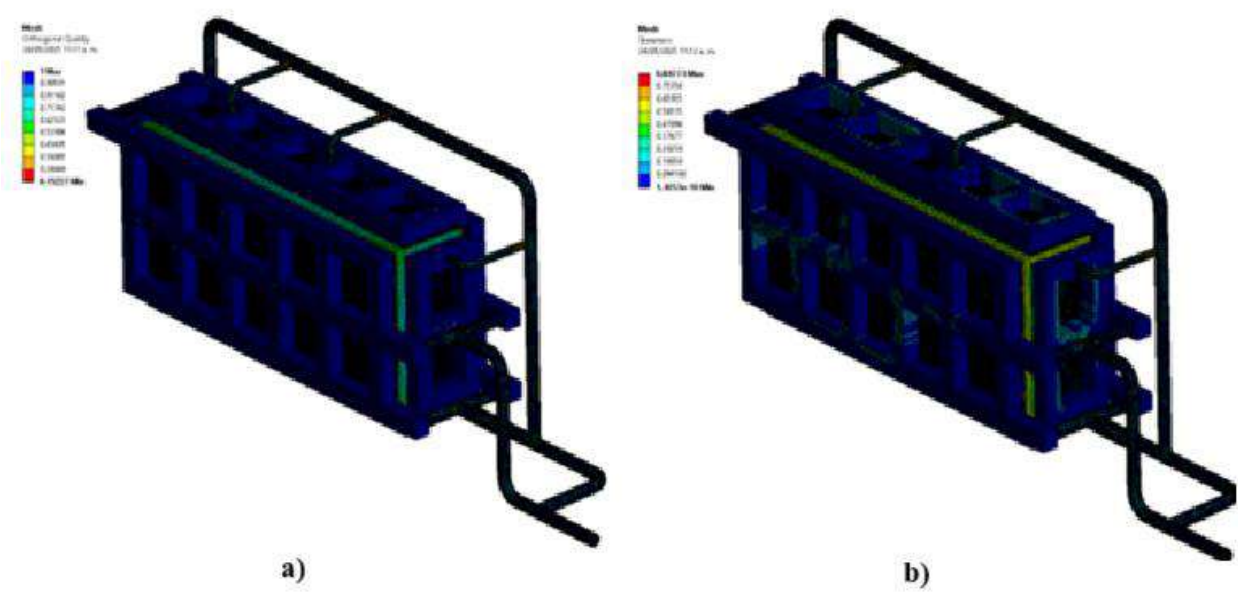
Métricas relevantes	Valor (Promedio)
Mesh orthogonality [-] >0.7	0.957 (ok)
Skewness [-] <0.2	0.104 (ok)

Fuente: Elaboración Propia.

La visualización global de la calidad de elementos 3D en este caso para nuestro estudio es importante debido a la precisión de nuestros resultados del fluido que recorre el sistema de moldeo el cual representa el vapor de agua. Las métricas empleadas son comúnmente la Ortogonalidad (“Orthogonality”) y la Oblicuidad (“Skewness”) de los elementos, es recomendable en muchos de las aplicaciones tener mayor cantidad de elementos ortogonales y menor cantidad de elementos oblicuos. Ambas visualizaciones se observan en la Figura 120.

Figura 120

Calidad de la métrica: a) ortogonalidad y b) oblicuidad.



Fuente: Elaboración Propia.



## 6.6 Convergencia de malla

Se realizó la convergencia de malla del modelo CFD desarrollado para analizar el comportamiento térmico y de presión en la superficie interna del molde. Este análisis permite determinar si los resultados obtenidos son independientes del refinamiento de la malla, garantizando la confiabilidad numérica de la simulación.

Se realizaron cinco simulaciones con diferentes niveles de refinamiento de malla, variando la cantidad de elementos y nodos en el dominio computacional. En cada caso, se mantuvieron constantes las condiciones de frontera, los modelos físicos y los parámetros de solución.

Las variables analizadas fueron:

- Temperatura promedio (°C) en la superficie interna del molde.
- Presión promedio (kPa) en la misma superficie.

El procesamiento y obtención de datos se realizaron en el post – procesamiento mediante la herramienta de cálculo de ANSYS, los valores promedio sobre la cara interna del molde.

**Tabla 76**

*Interacción de las variables de temperatura, presión y la malla.*

<i>Variable</i>		<i>Malla</i>		
<i>Ítem</i>	<i>Temperatura - °C</i>	<i>presión - kPa</i>	<i>Cantidad de elementos</i>	<i>Cantidad de nodos</i>
1	99.97	87.15	2552882	3181222
2	101.86	87.52	3210966	4001280
3	103.55	88.65	3754158	4678168
4	103.91	88.7	4130206	5146773
5	104.02	88.72	4554122	5675027

Fuente: Elaboración propia

### 6.6.1 Análisis

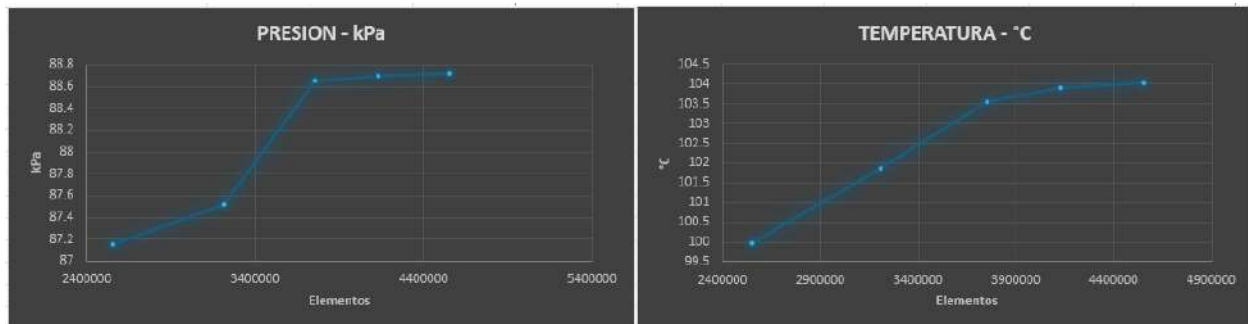
Los resultados muestran que, al aumentar el número de elementos, las variaciones en los valores de temperatura y presión se reducen progresivamente:

- Temperatura: Se observa un incremento significativo entre las mallas 1 a 3, y una tendencia a estabilizarse a partir de la malla 4, donde la diferencia entre la malla 4 y 5 es menor al 0.1 %.
- Presión: La variación entre las mallas 3, 4 y 5 es inferior al 0.1 %, indicando que el campo de presión ha alcanzado estabilidad.

Por lo tanto, puede considerarse que la solución a convergido respecto a la malla, y un mayor refinamiento no genera mejoras sustanciales en los resultados.

**Figura 121**

*Convergencia de la interacción de la presión y temperatura vs los números de elementos.*



Fuente: Elaboración propia

## 6.7 Modelos, Esquemas y Solver

El modelo numérico fue construido a partir de la física del problema, el cual es determinar el comportamiento del flujo de vapor de agua dentro de la cámara de moldeo en dos escenarios: cuando está vacía y cuando contiene perlas de EPS virgen. Para ello, se han definido las siguientes configuraciones:

- Simulación en régimen estacionario: se busca analizar la distribución del flujo y las condiciones térmicas sin considerar transitorios.
- Flujo monofásico: considerando únicamente la fase gaseosa del vapor de agua sin incluir modelos de condensación o VOF.
- Modelo de turbulencia: RANS k- $\epsilon$  (Petojevic & Gospavić, 2016), debido a su balance entre precisión y bajo costo computacional.
- Esquemas del solver: SIMPLEC, para mejorar la estabilidad y la rápida convergencia de la solución.
- Discretización espacial.
- Segundo orden para las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento, asegurando estabilidad numérica.
- Segundo orden para la ecuación de energía, mejorando la precisión en la distribución de temperatura.
- Parámetros del solver: Criterio de residuo absoluto para todas las ecuaciones a  $1e-04$ , garantizando una solución convergente.
- Número de iteraciones: 1000, ajustable según la evolución de la convergencia de los residuos.

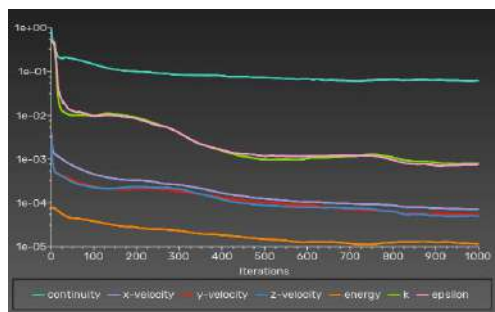
## 6.8 Procesamiento

Se observa que los residuales de la continuidad y momento continúan disminuyendo, sin embargo, la simulación se detuvo debido a la condición del número máximo de iteraciones 1000 ya definido. Considerando que las variables como la masa de flujo de entrada, la temperatura y presión de la pared ranurada llegaron a tender una línea constante se decide no aumentar la cantidad de iteraciones.

Durante el procesamiento de cálculo numérico *ANSYS Fluent* permite observar la calidad de simulación en función a los residuales de los modelos configurados. A medida que el valor del residual cae se visualiza la convergencia de los resultados el cual es graficado como se muestra en la Figura 122.

**Figura 122**

*Convergencia de residuales por iteración.*

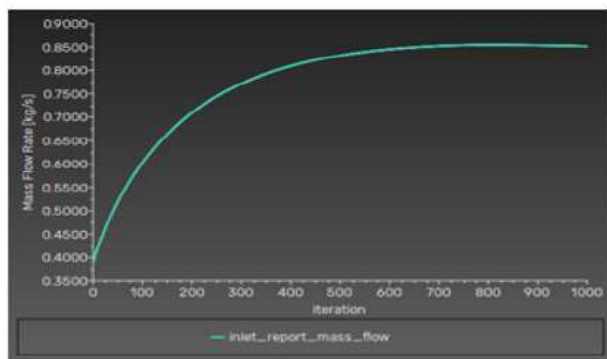


Fuente: Elaboración Propia.

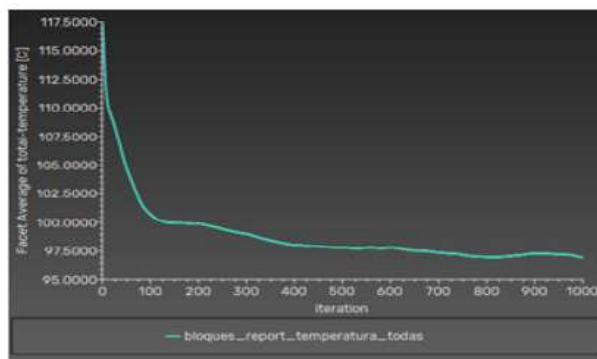
En la Figura 123 de la convergencia de residuales por iteración se observa que se detuvo o se completó la simulación en la iteración número 910, se observa que el residual de la temperatura llegó a la condición configurada durante el “*setup*” de  $1e-04$ .

**Figura 123**

*Convergencia de variables de monitoreo: a) Reporte de flujo de masa de ingreso y b) temperatura de los 6 bloques.*



a)

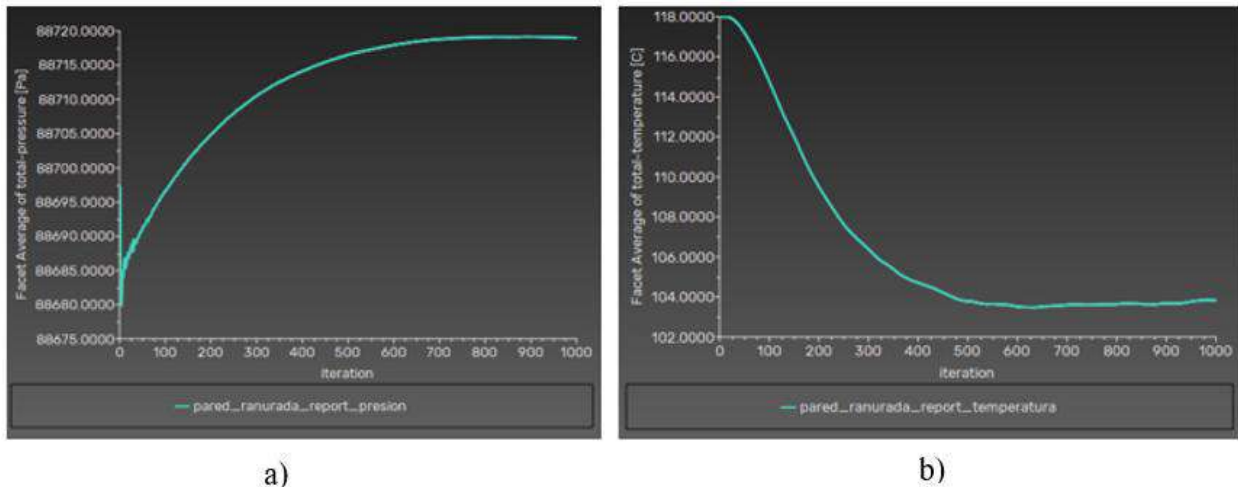


b)

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 124**

*Convergencia de variables de monitoreo: a) Reporte de la y b) temperatura de la pared ranurada.*



Fuente: Elaboración Propia.

El monitoreo que se decidió hacer a la variable de presión y temperatura de una de las paredes del volumen interno que conforma la cámara de moldeo, es relevante la evolución de este con cada iteración de cálculo debido a condiciones de operación establecidas en el diseño y se observa que llegó a una línea constante a 910 iteraciones.

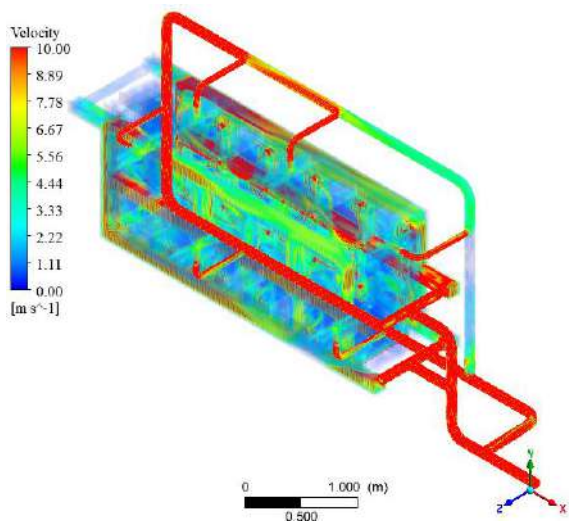
## 6.9 Resultados (Post Procesamiento)

Las variables de interés para este análisis es observar el campo de velocidades, las presiones totales y el campo de temperatura de las partes que conforman la máquina de moldeo. Estas variables se han visualizado en el sistema de “Results” (Resultados) de ANSYS Workbench empezando por una vista general del dominio computacional en observar la velocidad del fluido, la distribución de temperatura y presión que varían a significativamente a lo largo del dominio.

De manera global se tiene el campo de velocidades, distribución de las temperaturas y de presión dentro del volumen que ocupa el fluido tal como se muestra en la Figuras 125 y Figura 126.

**Figura 125**

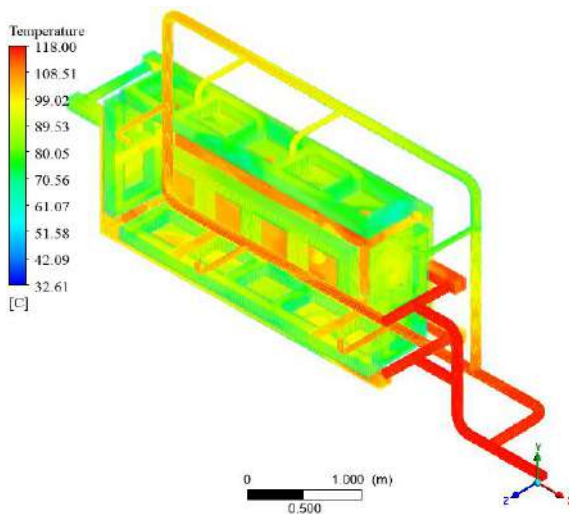
*Campo las velocidades en el sistema de moldeo.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 126**

*Distribución de la temperatura en el sistema de moldeo.*



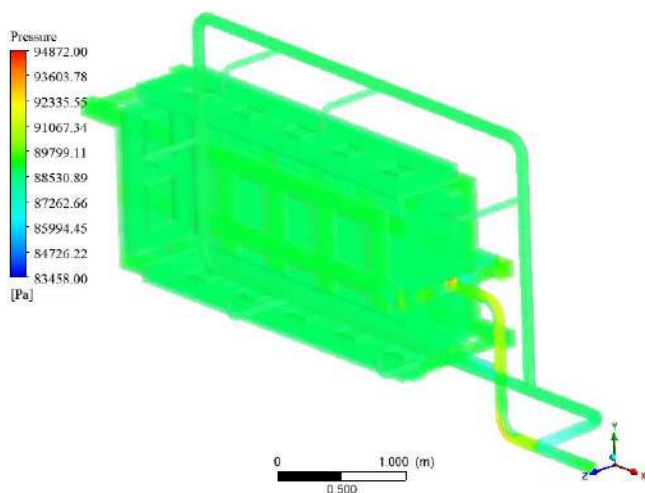
Fuente: Elaboración Propia.

La Figuras 125 y Figura 126 muestran mapas volumétricos, donde se tiene primero el campo de velocidad (en m/s), con una leyenda limitada a un valor máximo de 10 m/s para observar las variaciones dentro del interior de la cámara; segundo, la distribución de temperaturas donde

ambos mapas muestran que las regiones cercanas a la entrada tienen velocidades y temperaturas más altas ya que el flujo ingresa con mayor energía por sus condiciones iniciales definidas. A medida que el vapor se distribuye por los bloques y entra en la cámara de moldeo, las velocidades y temperaturas disminuyen, especialmente en áreas de mayor sección transversal.

**Figura 127**

*Distribución de las presiones en el sistema de moldeo.*



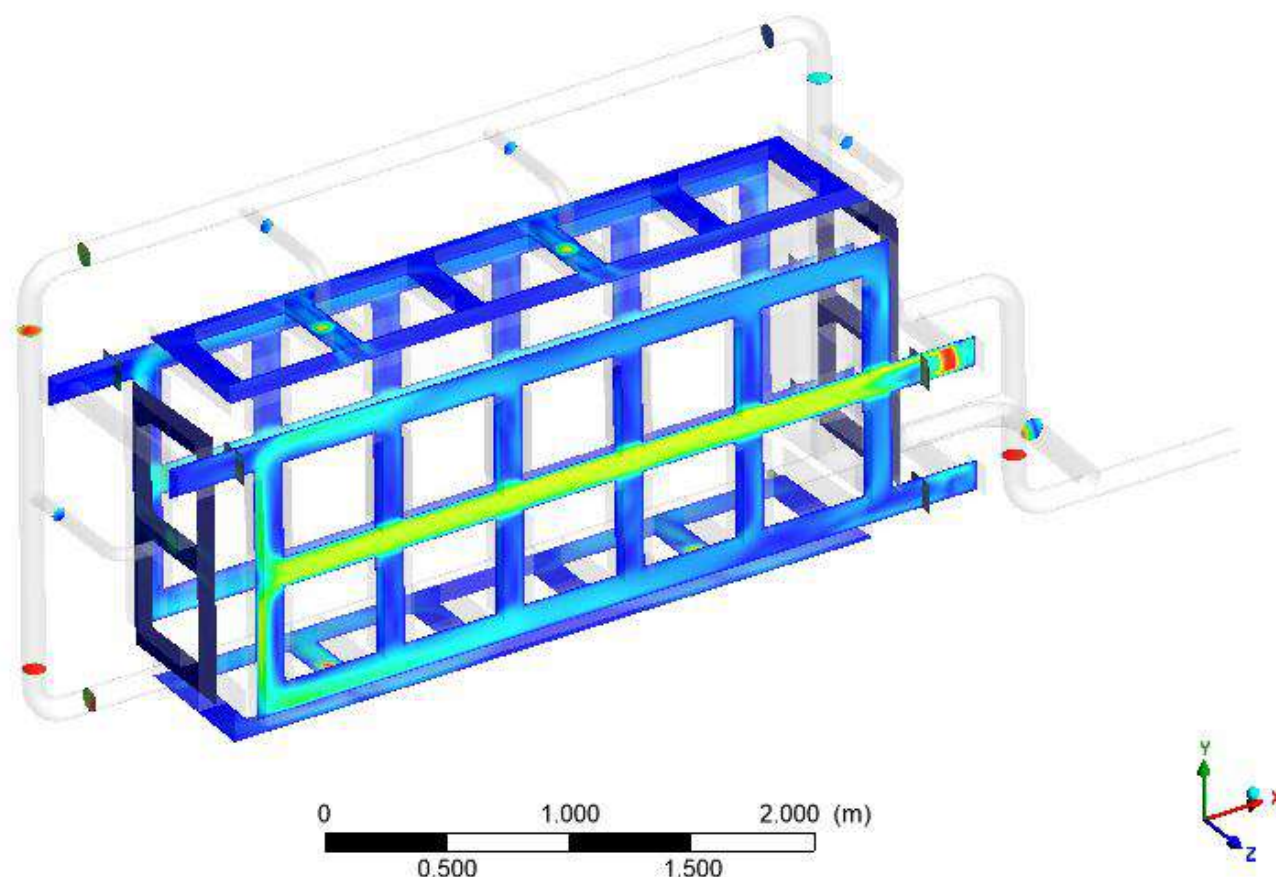
Fuente: Elaboración Propia.

El mapa volumétrico de las presiones se muestra en la Figura 127 donde se tiene una distribución bastante homogénea alrededor de 89.8 kPa, con ciertos incrementos en las regiones cercanas a la entrada de flujo.

En vista de la disposición en la distribución del sistema de tuberías hacia los bloques de acero se genera planos medios paralelos a los 6 bloques. En la Figura 128 se muestran de manera agrupada los diferentes planos creados para visualizar la variable de la velocidad como parámetro importante en el flujo del vapor.

**Figura 128**

*Planos de contorno de la velocidad de fluido en los 6 bloques de distribución de vapor.*



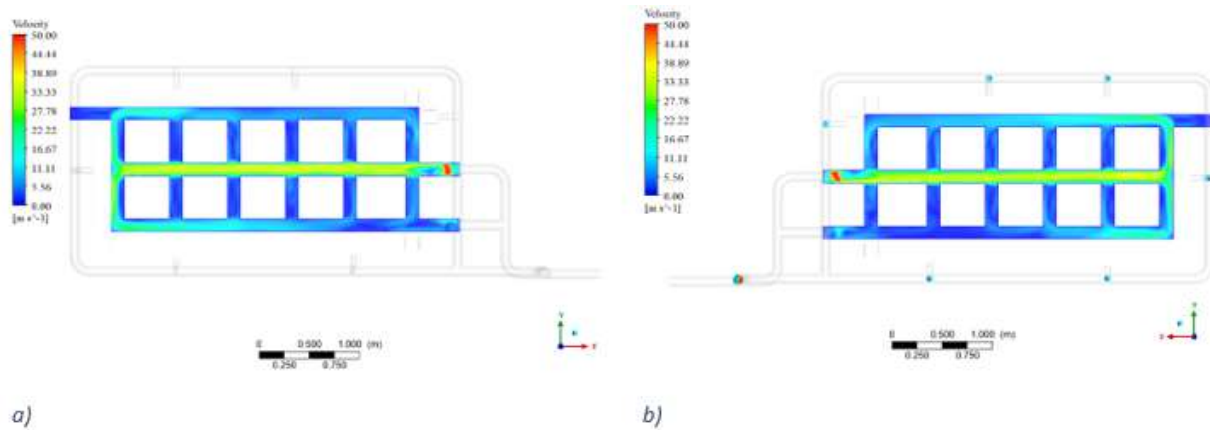
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 129 para el plano frontal tenemos el bloque delantero y trasero para observar el campo de velocidades donde se observa su distribución muy semejante, evidenciando altas velocidades en el canal medio horizontal, y alrededor de los obstáculos presentan zonas de baja velocidad por el estancamiento que ofrece los cambios geométricos de su sección. La velocidad de 27.78 m/s alcanzada en el canal horizontal medio se dispersa a través de los canales verticales con baja velocidad, sin embargo, el recorrido al final de este se divide en sus dos canales horizontales superior e inferior reduciéndose la velocidad de flujo del vapor.



**Figura 129**

*Velocidad del fluido definida en contornos en el plano frontal. a) Bloque delantero, b) Bloque trasero.*

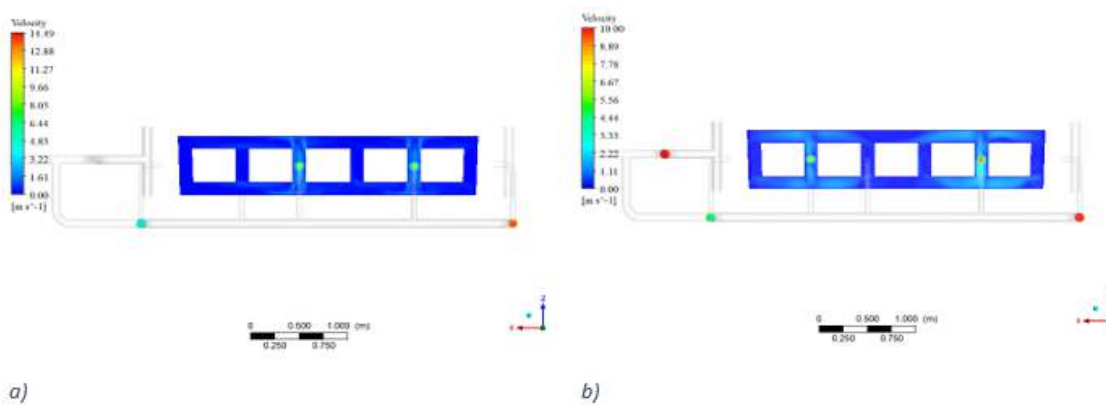


Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo en la Figura 126 sucede para los bloques superior e inferior donde se observa velocidades de ingreso a 12 m/s por el sistema de tuberías superiores, y de 10 m/s en el bloque superior e inferior respectivamente. También se visualiza que en ambos bloques en sus canales presentan bajas velocidades en su recorrido.

**Figura 130**

*Velocidad del fluido definida en contornos en plano planta. a) Bloque superior, b) Bloque inferior.*



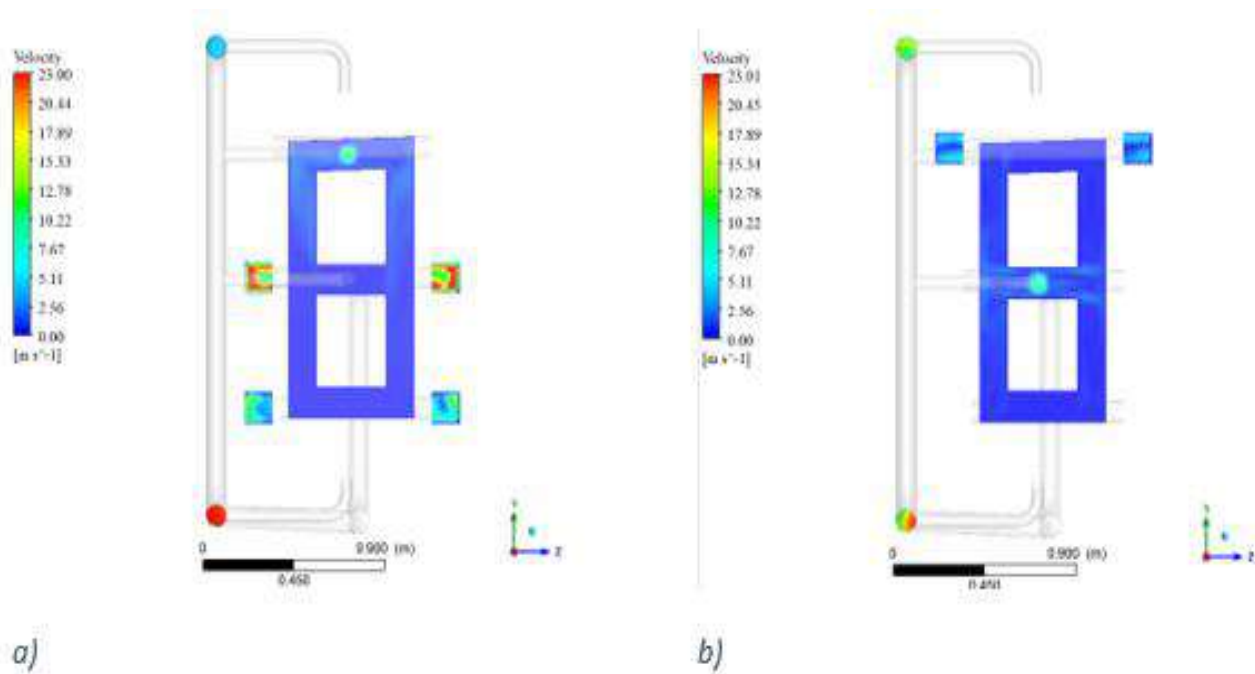
Fuente: Elaboración Propia.

En los bloques laterales mostrado en la Figura 131 se observa que son muy semejantes en la magnitud de las velocidades, en el caso del bloque derecho el ingreso del vapor se realiza por una tubería que conecta en la tercera fila superior del bloque presentado por una velocidad mayor que se distribuye de la zona superior hacia la inferior, sin embargo, en el bloque izquierdo el ingreso es en la segunda fila, es decir, el canal medio del bloque, de esta manera el vapor se distribuye por sus canales superiores e inferiores.

**Figura 131**

*Velocidad del fluido definida en contornos en el plano lateral. a) Bloque derecho,*

*b) Bloque izquierdo.*

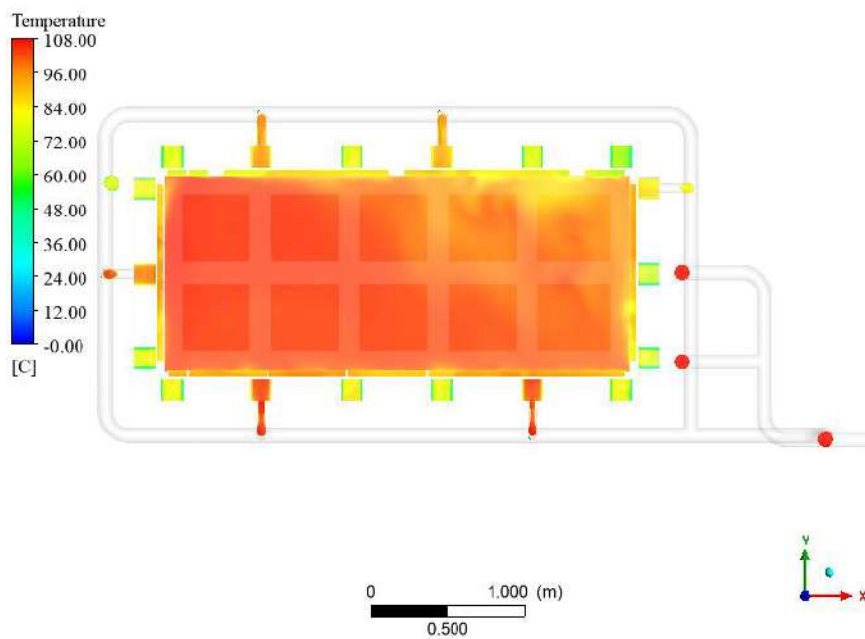


Fuente: Elaboración Propia.

La distribución de temperatura, velocidad y presión dentro de la cámara de molde en su visualización en el plano medio axial (eje Z) mediante los mapas de contorno nos muestra datos importantes sobre su distribución, ver Figura 132, Figura 133 y Figura 134.

**Figura 132**

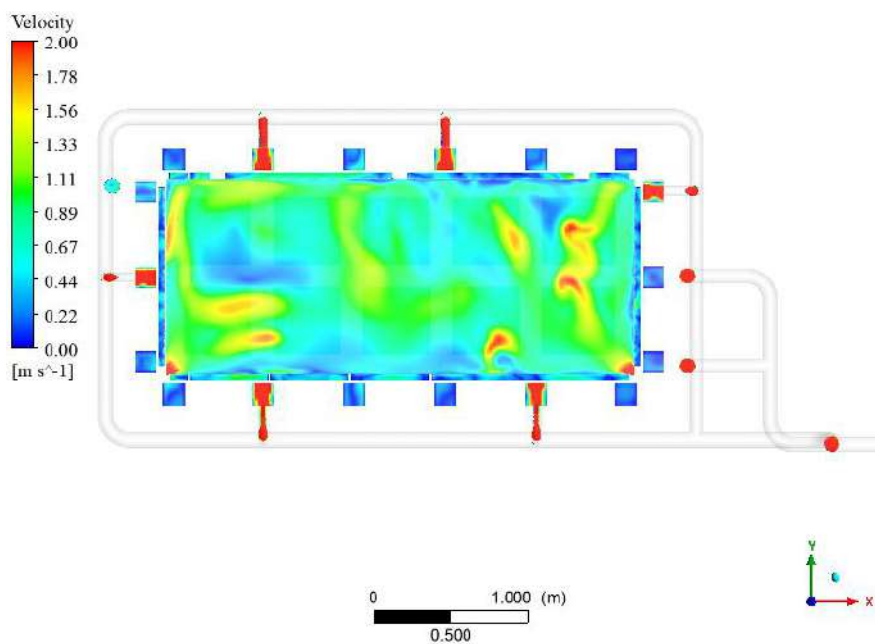
*Distribución de temperatura en el plano medio de la cámara de moldeo.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 133**

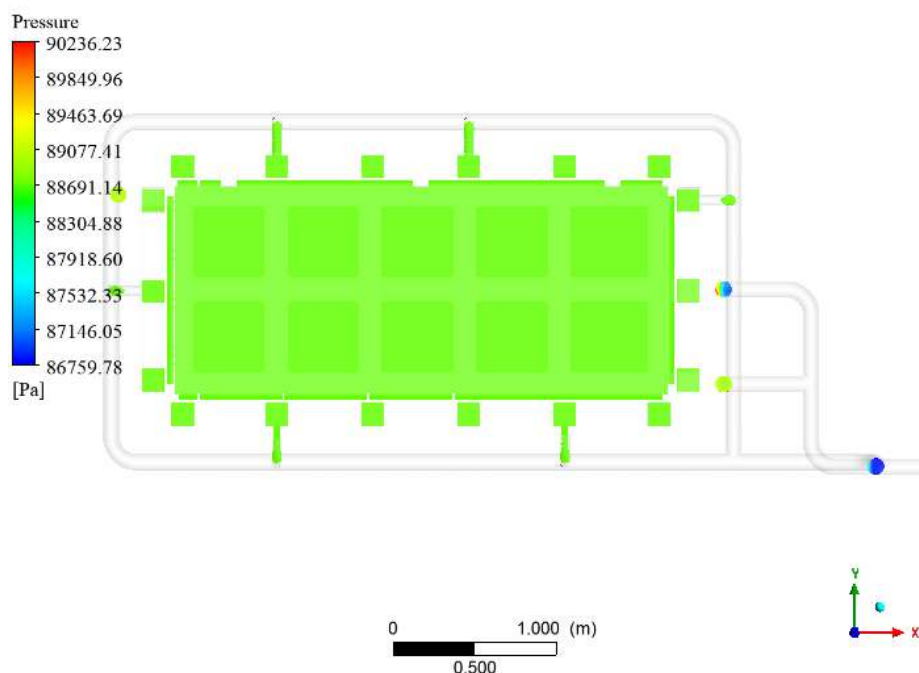
*Distribución de velocidades de flujo en el plano medio de la cámara de moldeo.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 134**

*Distribución de las presiones totales en el plano medio de la cámara de moldeo.*



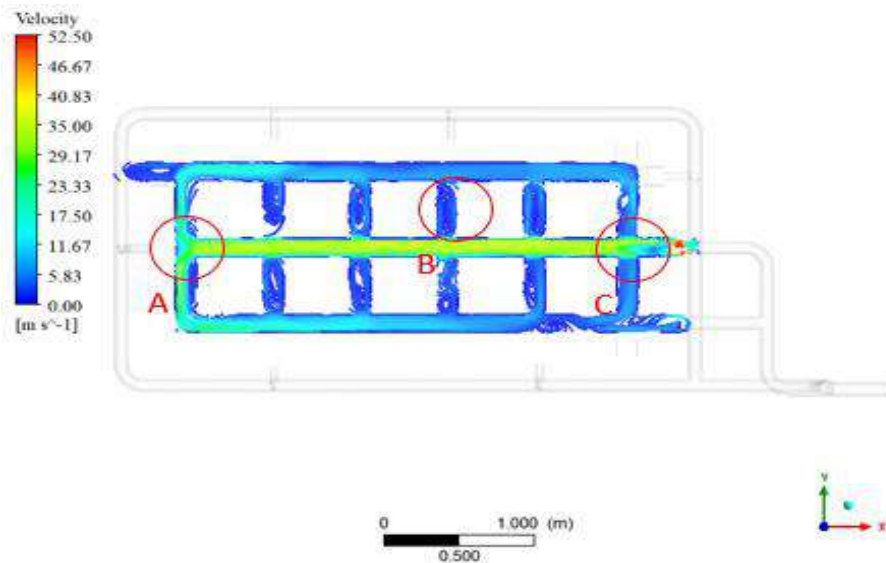
Fuente: Elaboración Propia.

La distribución de temperaturas es heterogénea que más adelante se grafica su variación a lo largo del eje X y altura en el eje Y. El campo de velocidad muestra un campo muy variable a baja velocidad limitada a 2 m/s donde se identifica zonas de recirculación donde el vapor de agua pierde energía en las esquinas. En la parte media se tiene valores entre 0.4 a 1.1 m/s indicando un flujo moderadamente homogéneo, lo que finalmente muestra la distribución del vapor dentro de la cámara el cual influye en la uniformidad del moldeo del EPS. El mapa de la presión es muy homogéneo en su altura y ancho con un promedio de 88.69 kPa.

La Figura 135 muestra el mapa de contorno en líneas de corriente es importante para identificar características del flujo a través de los canales de los bloques, en nuestro caso se centró en el bloque frontal delantero como ejemplo para mostrar las corrientes de velocidad, identificando tres zonas etiquetadas como A, B y C como zonas con características interesantes a observar.

**Figura 135**

*Corriente de línea de velocidad de flujo a través del bloque delantero en plano frontal.*

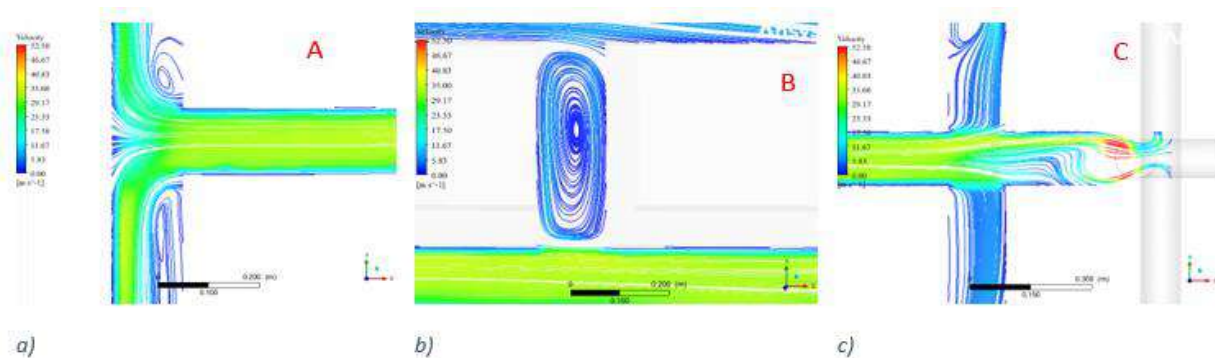


Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 136 muestra la zona A cerca al final del canal del medio horizontal con velocidad moderada y se nota líneas de recirculación no homogénea en sus lados dando origen a remolinos debido a la geometría en su sección transversal.

**Figura 136**

*Detalles de la corriente de línea de velocidad de flujo a través del bloque delantero en plano frontal: a) Ubicada cerca al final de flujo del bloque, b) Ubicada en uno de los ductos del bloque y c) Ubicada cerca al ingreso de flujo.*



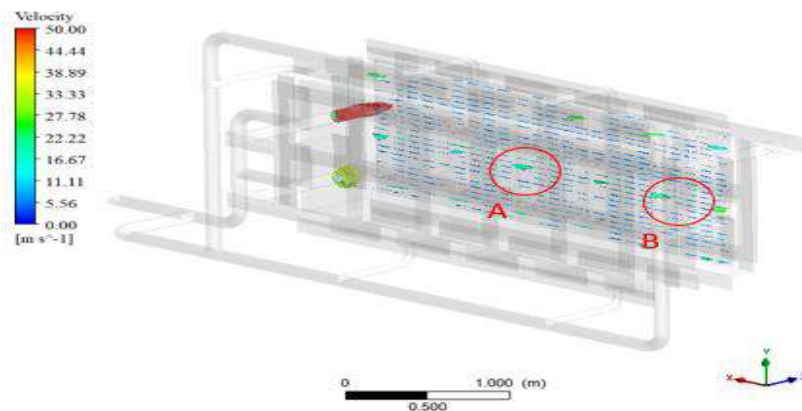
Fuente: Elaboración Propia.

En la zona B de la Figura 136 notamos áreas de recirculación en forma de remolinos con velocidades inferiores a 6.0 m/s, esta zona dirige el vapor hacia las ranuras por medio de aperturas circulares lo que evidencia que el flujo está siendo canalizada hacia en el centro de la zona de recirculación. La zona C cerca al ingreso del vapor en este bloque inicia con una alta velocidad distribuyéndose de manera horizontal y vertical donde las líneas de corriente se dividen y se curvan donde disminuye a medida que fluye, también se idéntica zonas de recirculación a bajas velocidades cercas a las paredes.

Observar la dirección y magnitud de la velocidad del vapor ingresando a la cámara de moldeo por medio de las rejillas o ranuras es importante notar que en las regiones en azul (velocidades cercanas a 0 m/s) indican zonas de baja velocidad, las regiones en verde y amarillo (velocidades entre 5.5 y 16.6 m/s) de la Figura 137 indican velocidades moderadas, comunes en las zonas donde el flujo se distribuye dentro de las ranuras y las regiones en rojo (velocidades cercanas a 30.0 m/s) indican las zonas de mayor velocidad en el centro de las ranuras, donde el flujo es más rápido.

### Figura 137

*Distribución de los vectores de velocidad de flujo a través de las rejillas (ranuras) del bloque delantero en plano frontal.*

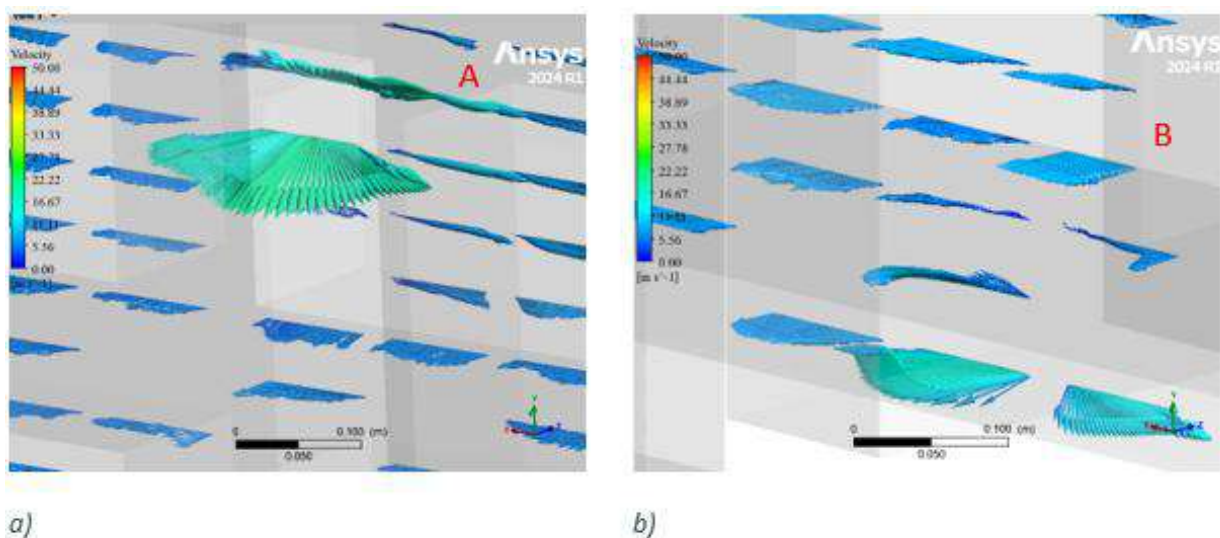


Fuente: Elaboración Propia.

Las zonas A y B mostradas en la Figura 138 muestran la dirección y magnitud de la velocidad de ingreso que es variable. En la mayoría de las ranuras el ingreso es paralelo y uniforme, pero cerca de los zócalos circulares dentro del bloque es donde se evidencia un ingreso no paralelo y con gran magnitud en su velocidad. Las zonas cercas a las paredes indican valores inferiores a 5.36 m/s. Se ha logrado la visualización exagerada de los vectores al incrementar el tamaño del vector para fines visuales.

### Figura 138

*Detalles de los vectores de velocidad del flujo en las ranuras del bloque delante. a) Campo de vectores de velocidad situada en medio y b) Campo de vectores de velocidad situada cerca al extremo derecho.*



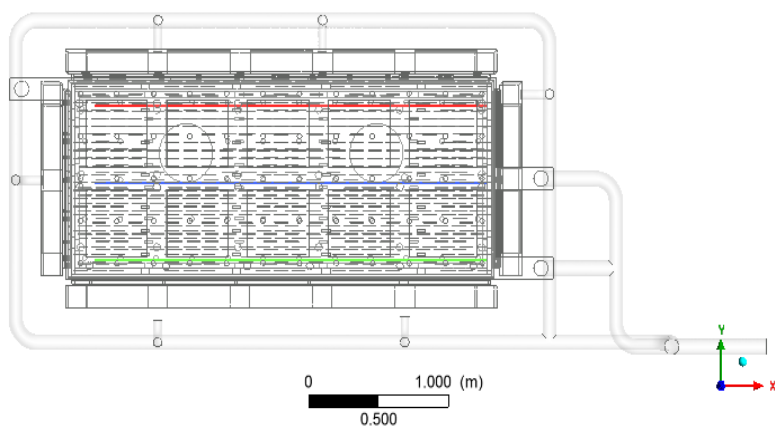
Fuente: Elaboración Propia.

Desde luego es importante conocer la distribución de la temperatura dentro de la cámara de moldeo, por lo tanto, se ha creado líneas de datos en función de la distancia a lo largo del eje X variando su altura a lo largo del eje Y como se observa en la Figura 139. Las distancias verticales varían para el color azul a 10cm, color verde a 60cm y al color rojo a 110cm. Y en la dirección axial varían entre +45cm, 0cm y -45cm para las tres líneas de datos.



**Figura 139**

*Esquema de la posición de las líneas de captación de datos de temperatura dentro de la cámara de molde.*

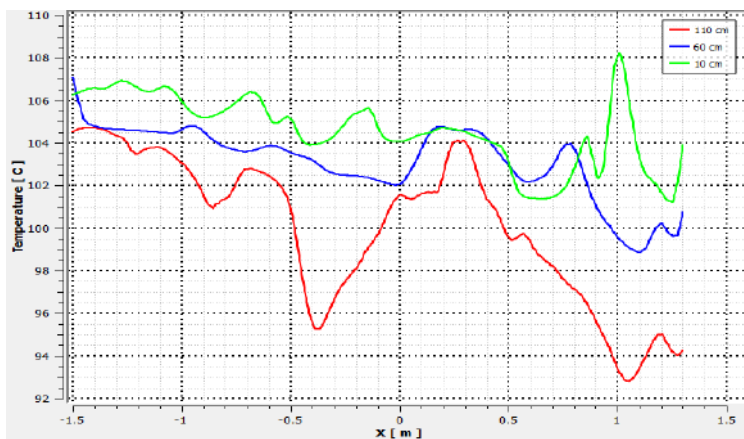


Fuente: Elaboración Propia.

Para una distancia axial de +45cm en la dirección X se observa en la Figura 140 que la temperatura varía conforme avanza a lo largo del eje X, y posee fluctuaciones en un cierto tramo corto en la parte superior, mientras que para zonas intermedias e inferiores permanecen relativamente iguales alrededor de 102°C.

**Figura 140**

*Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de +45cm desde el eje Z origen.*



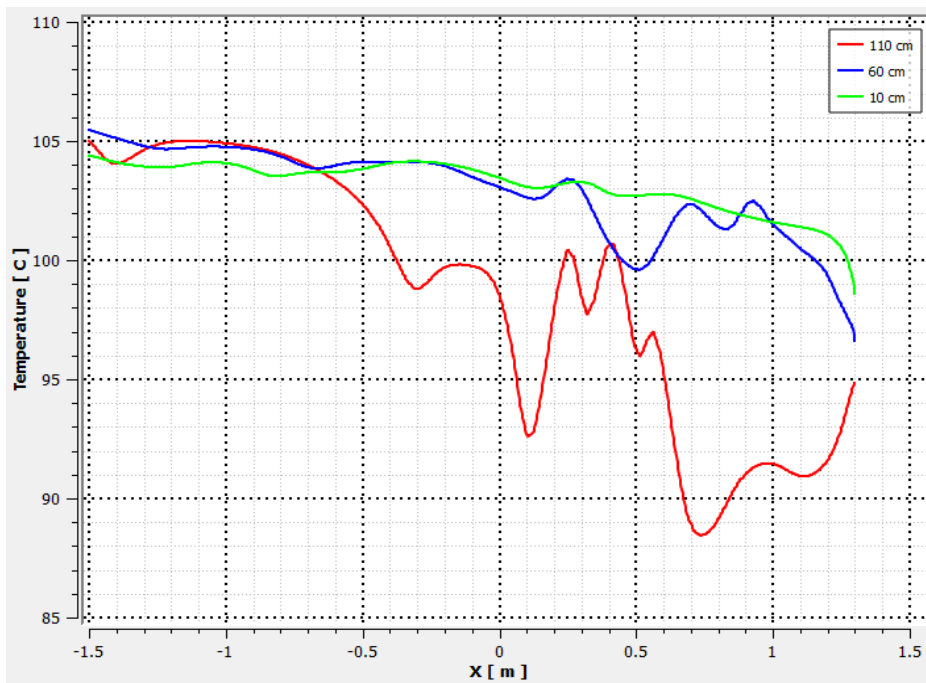
Fuente: Elaboración Propia.



Para la ubicación de 0cm en el eje origen en dirección Z se visualiza en la Figura 141 una distribución de temperatura variable con subidas y bajadas en ciertos tramos a lo largo del eje X, indicando que en la zona derecha cerca al centro del molde estas poseen diferencias de  $\pm 8^{\circ}\text{C}$ . También se identifica una temperatura máxima de  $107^{\circ}\text{C}$  y una mínima de  $93^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 141**

*Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de 0cm desde el eje Z origen.*

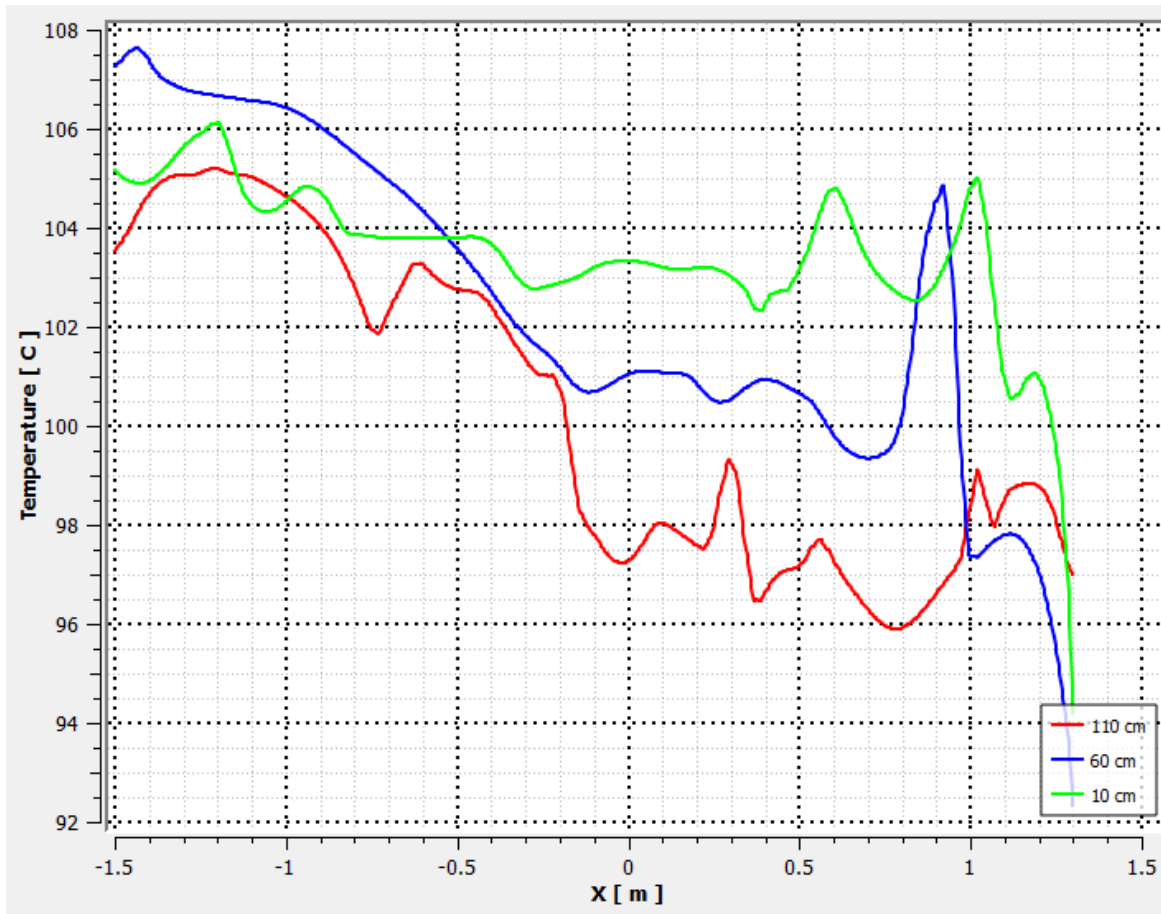


Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 142 se observa que a la distancia de -45cm se tiene una distribución parecida a la distribución a una distancia de +45cm con menores diferencias entre las líneas a diferentes alturas, manteniendo un valor promedio de  $102^{\circ}\text{C}$  a lo largo del eje X.

**Figura 142**

*Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de -45cm desde el eje Z origen.*



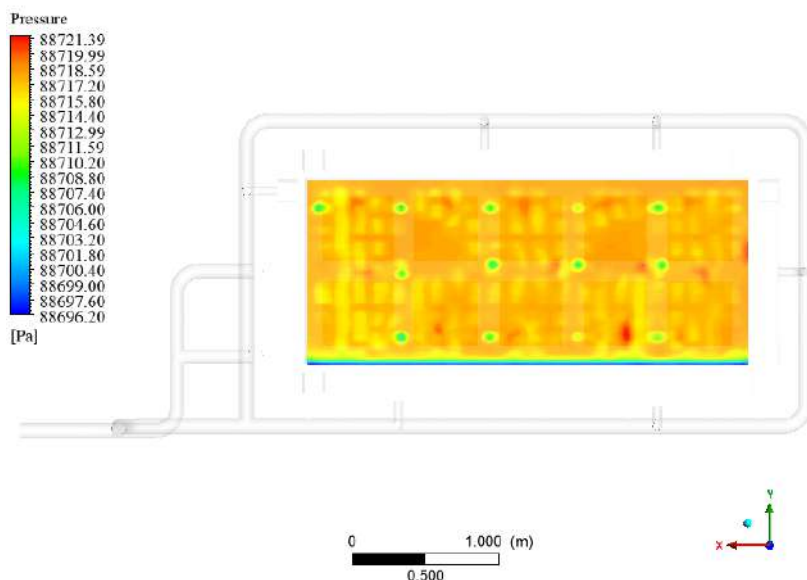
Fuente: Elaboración Propia.

Una mirada hacia las paredes de la plancha de acero que actúa como pared del molde es importante para conocer la distribución de la presión y la temperatura sobre ella para análisis posteriores, como ejemplo, el análisis por elementos finitos, si es resistente el espesor asignado.

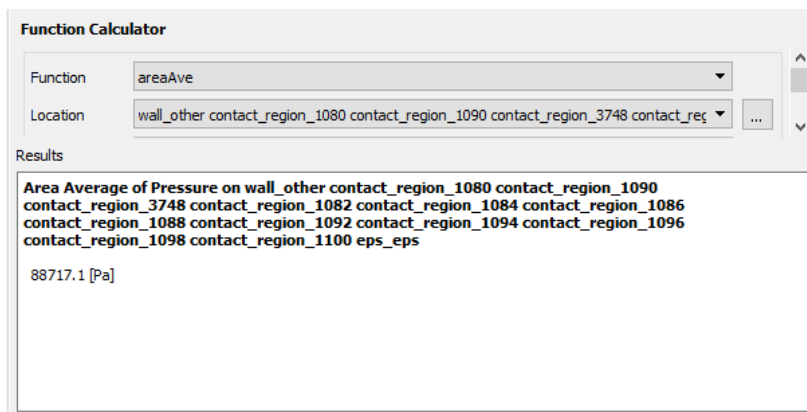
En la Figura 143 se visualiza una distribución homogénea de la presión sobre la pared frontal del bloque y con ayuda de la herramienta de cálculo de funciones en calcular el valor promedio del área de la pared se tiene un valor de 88.7 kPa sobre la pared.

**Figura 143**

*Distribución de la presión en la placa (pared) frontal de la cámara de molde.*



Fuente: Elaboración Propia.

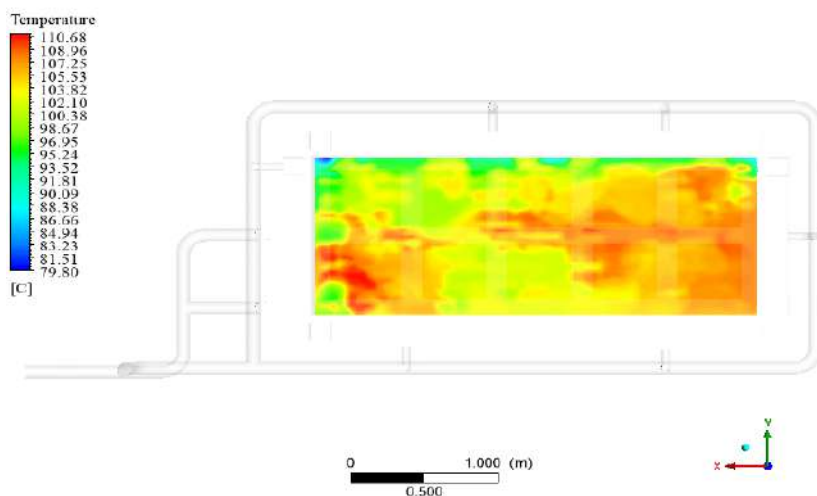


Fuente: Elaboración Propia.

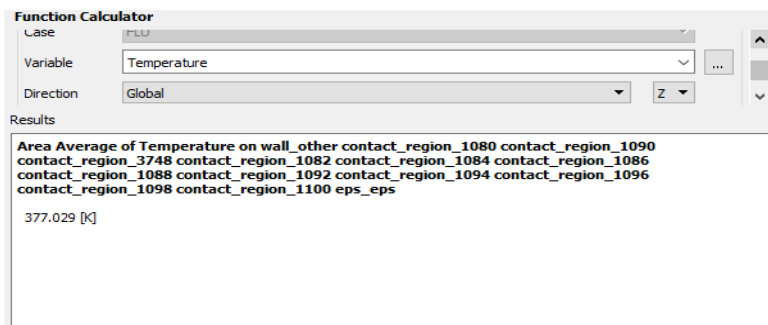
Ahora, en la Figura 144 sobre la distribución de la temperatura en la misma pared se visualiza una distribución no homogénea de la temperatura, con zonas de mayor temperatura con valores máximo y mínimo de 110.6°C y 98°C respectivamente en el área, a excepción de 79.8 °C ubicada en la esquina superior izquierda; así mismo también se calculó con ayuda de la herramienta de cálculo de funciones el valor promedio del área de la pared se tiene un valor de 377.029 K (103.9 °C) sobre la pared.

**Figura 144**

*Distribución de temperatura en la placa (pared) frontal de la cámara de molde.*



Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

## 6.10 Simulación por el Método de los Elementos Finitos

### 6.10.1 Simulación de la Estructura Soporte del Molde

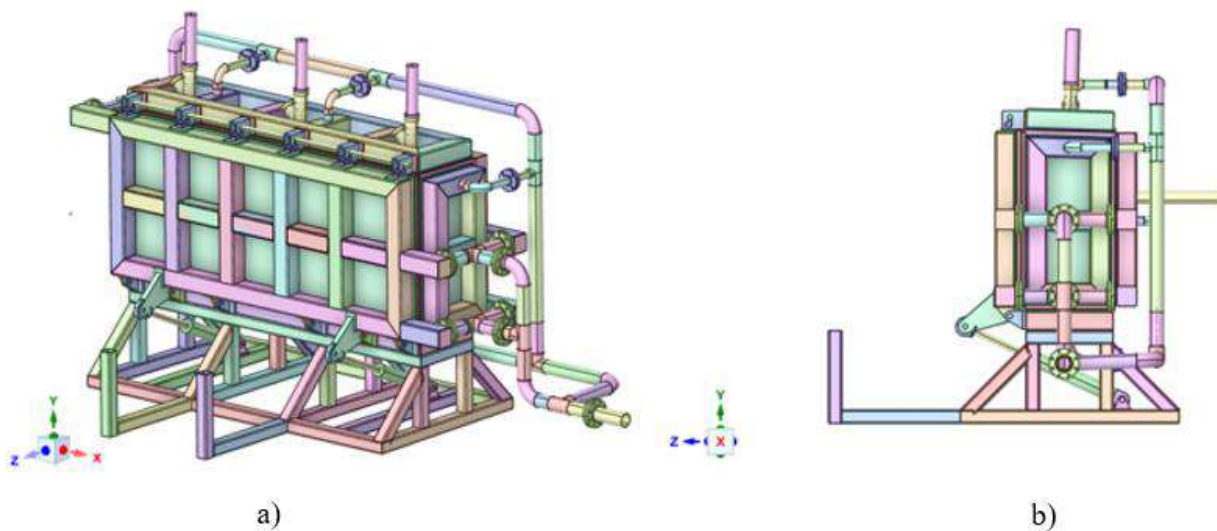
En esta sección se detalla la simulación FEM (Finite Element Method) de la estructura soporte del molde que cumple la función estructural de soportar la máquina de moldeo de EPS. Se evalúa dos casos de análisis cuando la máquina de molde está en operación, es decir, incluyendo las perlas de EPS dentro de la cámara de moldeo; y, segundo, cuando la puerta delantera del bloque se abre hasta el punto de apertura total en su posición horizontal en el cual su punto de apoyo son dos tubos verticales conectadas a la estructura principal de soporte.

### 6.10.1.1 Modelamiento Y Simplificación Geométrica

En esta sección se modela y se simplifica el modelo 3D de la máquina de moldeo EPS para el estudio FEM de dos casos de análisis, tal como lo muestran la Figura 145 y Figura 146.

**Figura 145**

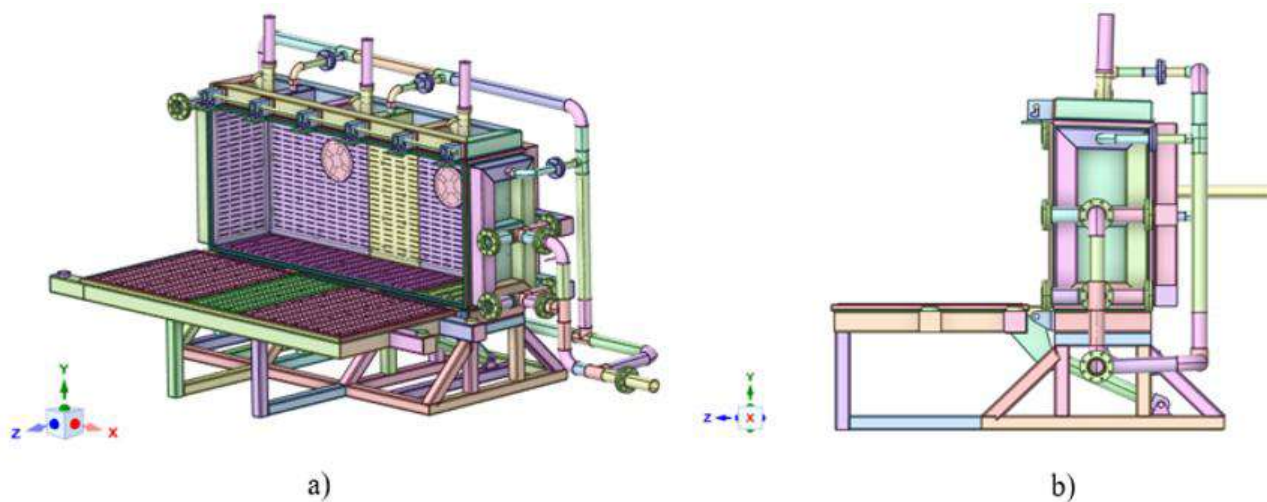
*Primer caso de análisis con puerta cerrada, a) vista isométrica y b) vista lateral.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 146**

*Segundo caso de análisis con apertura de la puerta, a) vista isométrica y b) vista lateral.*



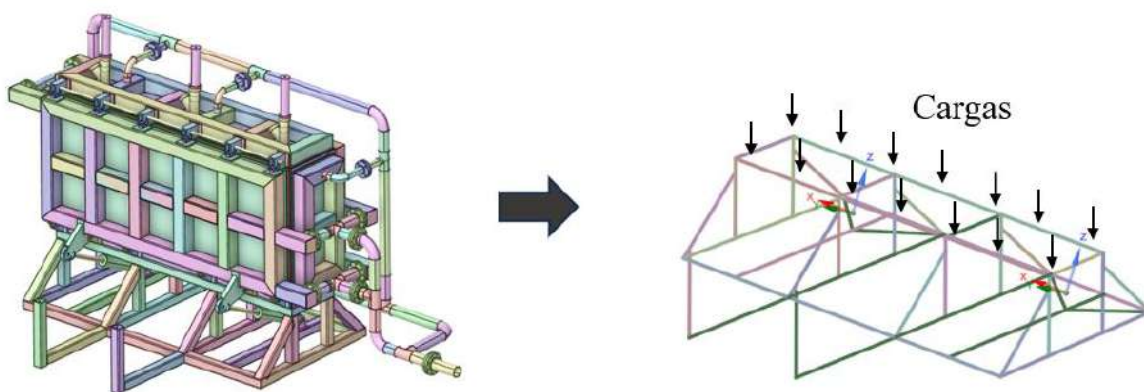
Fuente: Elaboración Propia.

El modelamiento del modelo geométrico inicial en 3D es el proceso de conversión de las partes interesadas en elementos más simples para su estudio. En nuestro caso, el estudio cubre conocer el estado de esfuerzos y deformación en la estructura soporte compuesto de elementos estructurales de tipo tubular, por lo tanto, es posible y recomendable para reducir el costo computacional convertir estos elementos objetivo a elementos 1D en líneas.

La característica principal de estos elementos línea absorbe las propiedades de sección para su análisis por elementos finitos en Mechanical 2024 R1 favoreciendo el mallado y cantidad de elementos. La conversión de manera esquemática se muestra en la Figura 147 de elementos 3D a elementos 1D en líneas de la estructura soporte, las cargas se representan de manera esquemática también.

**Figura 147**

*Simplificación del modelo 3D a modelo 1D (líneas)*



Fuente: Elaboración Propia.

#### **6.10.1.2 Definición del Material Empleado**

El material empleado para ambos casos de análisis tratándose de la estructura soporte se componen de elementos tubulares de acero ASTM A500 Grado B con las siguientes propiedades mecánicas que se agregan a la librería de *Engineering Data* del Workbench de

ANSYS. La información del límite de fluencia y resistencia fueron extraídos del catálogo de (Aceros Arequipa, 2020) como se muestra en la Tabla 76.

**Tabla 77**

*Propiedades mecánicas del material empleado para la estructura soporte.*

Designación	Esfuerzo Fluencia	Resistencia a la tracción
A500 Grado B	269 MPa	310 MPa

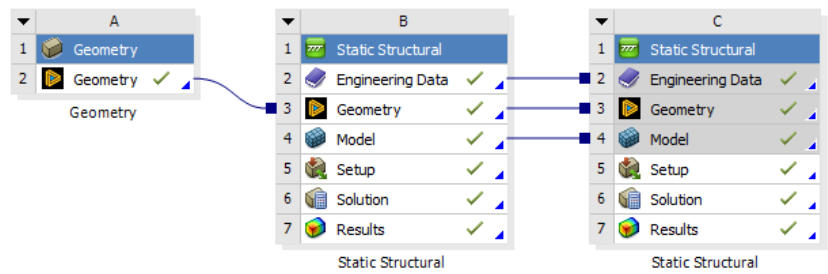
Fuente: Elaboración Propia.

**6.10.1.3 Condiciones de Borde y Cargas Sometidas**

El flujo de trabajo del Workbench se presenta en la Figura 148 para ambos casos de análisis comparten la misma geométrica modelada y simplificada en elementos línea 1D (A) y se ha creado un caso de análisis para el primer caso (B) y el segundo caso de análisis (C) entorno al cálculo de la estructura en condiciones estáticas.

**Figura 148**

*Flujo de trabajo en la plataforma del Workbench.*

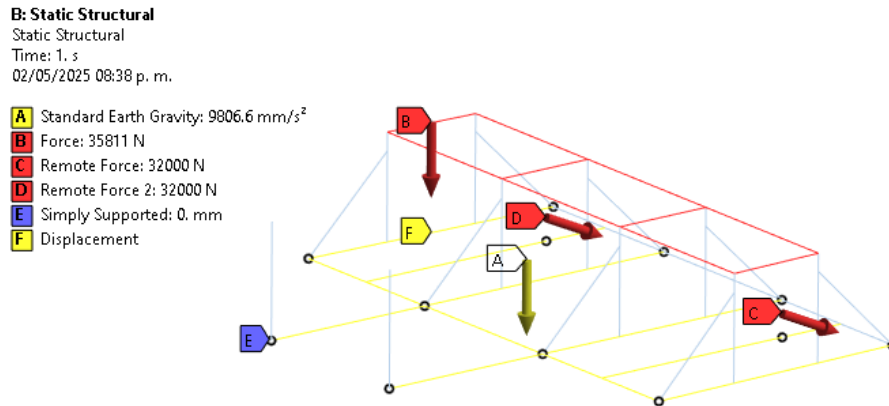


Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con los cálculos previos en capítulos anteriores sobre la carga muerta (peso del equipo) y la carga viva (fuerza del pistón hidráulico) se introduce sobre el modelo 1D. Debido a que ambos casos de estudio la estructura tubular se apoya sobre la superficie se ha restringido su desplazamiento en direcciones verticales y horizontales como se muestra en la Figura 149.

**Figura 149**

*Condiciones de borde y las cargas sometidas del primer caso de análisis.*

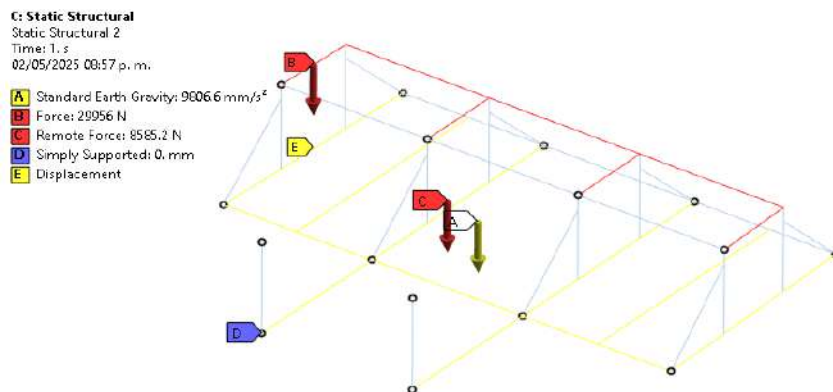


Fuente: Elaboración Propia.

Para el **segundo caso de análisis** mostrado en la Figura 150 la carga del equipo se divide entre el bloque delantero, es decir, la puerta se abre totalmente quedando en una posición horizontal por tanto su carga se concentra en sus puntos de pivót y sus dos soportes verticales. Esta carga se agrega como una fuerza remota (Remote Force), además, las partes solicitadas por el peso del resto del equipo se centra en los demás bordes de la superficie superior de la estructura.

**Figura 150**

*Condiciones de borde y las cargas sometidas del segundo caso de análisis.*



Fuente: Elaboración Propia.

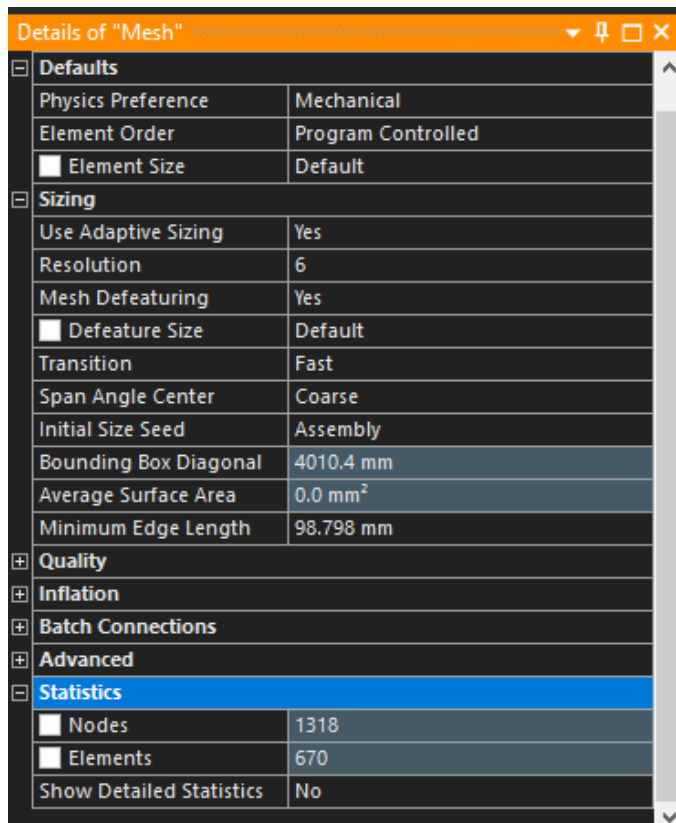


#### 6.10.1.4 Mallado

Para el mallado se ha generado con las configuraciones predeterminadas resultando un mallado aceptable con las características por defecto que se observa en la Figura 151 de los detalles del mallado (Mesh).

**Figura 151**

*Condiciones de borde y las cargas sometidas del segundo caso de análisis.*

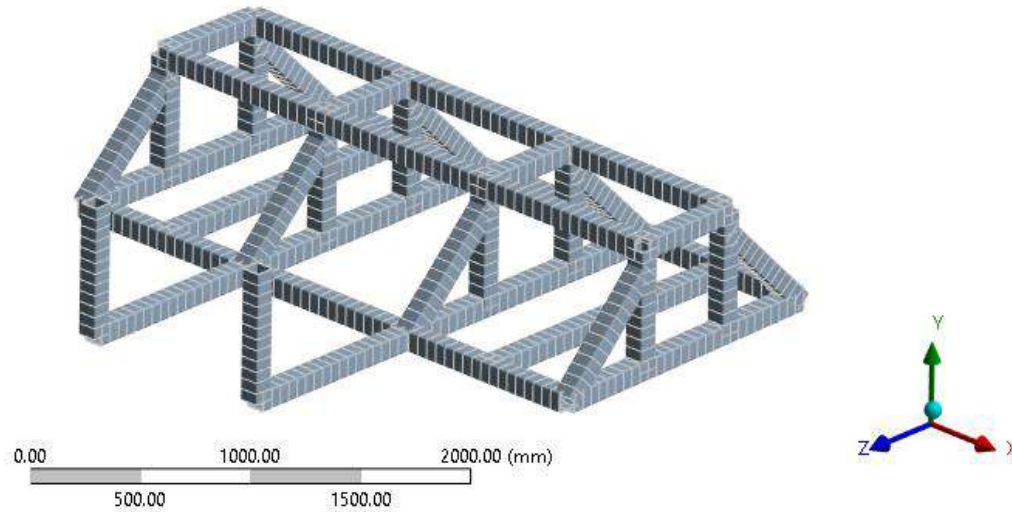


Fuente: Elaboración Propia.

No se aplicaron aspectos de inflación (inflation) y las configuraciones avanzadas (advanced) son las predeterminadas por el software. Se ha incrementado, si, la resolución a 6 para un mallado más adecuado en lugar de definir un tamaño de malla. Se tiene un total de 1318 nodos y 670 elementos en toda la estructura modelada el cual se muestra en la Figura 152.

**Figura 152**

*Mallado de la estructura soporte.*



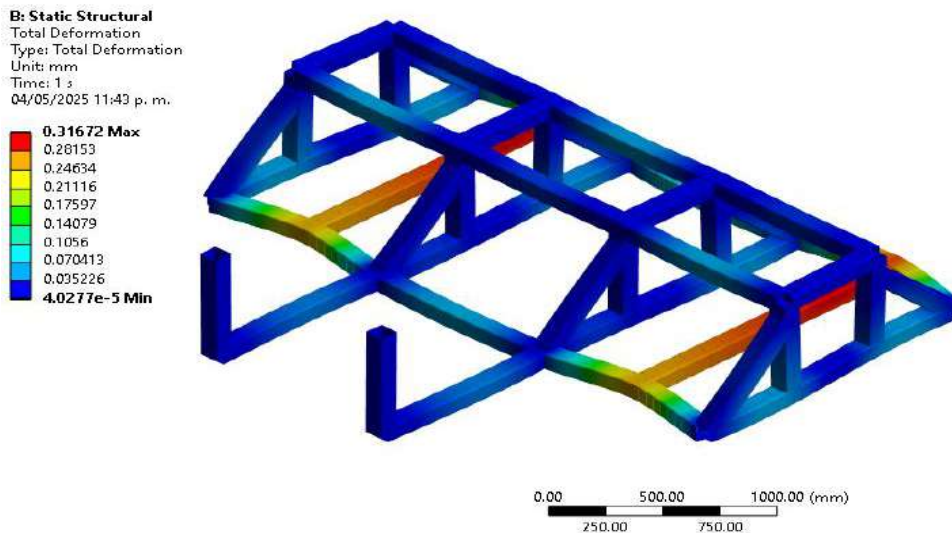
Fuente: Elaboración Propia.

### 6.10.1.5 Resultados

Para el **primer caso de análisis** se tiene el post procesamiento presentado en la Figura 153 sobre toda la estructura en su estado de esfuerzos máximos y la deformación total.

**Figura 153**

*Estado de deformación general de toda la estructura soporte.*

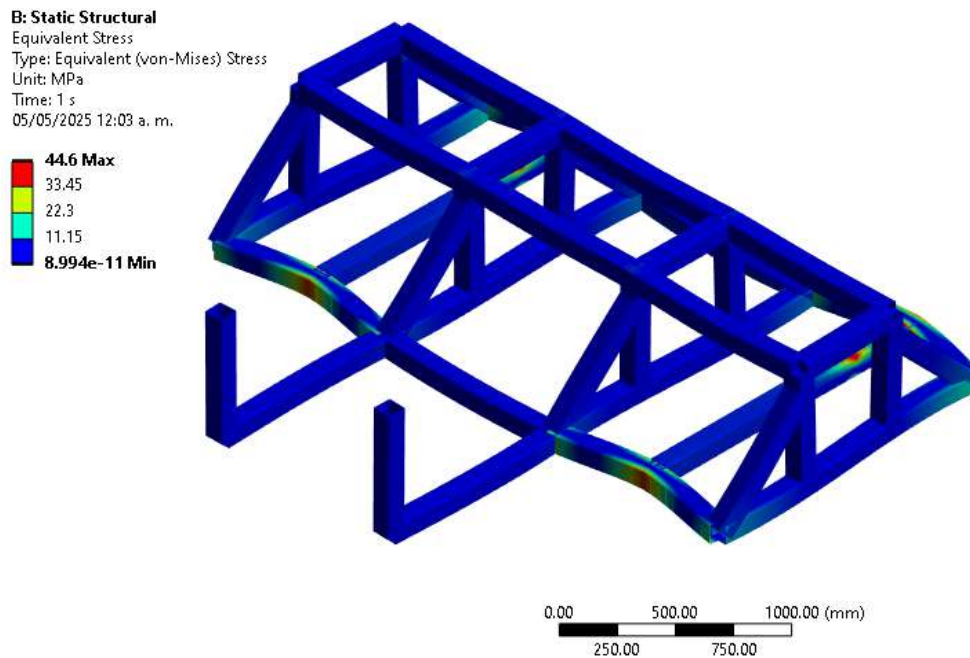


Fuente: Elaboración Propia.

Se tiene una máxima deformación axial en el eje Z como muestra la Figura 154 del componente horizontal que apoya a la botella hidráulica de 0.31mm. Una deformación muy pequeña en esta dirección por las fuerzas de empuje de la acción hidráulica.

**Figura 154**

*Estado de esfuerzos en Von Mises de toda la estructura soporte.*



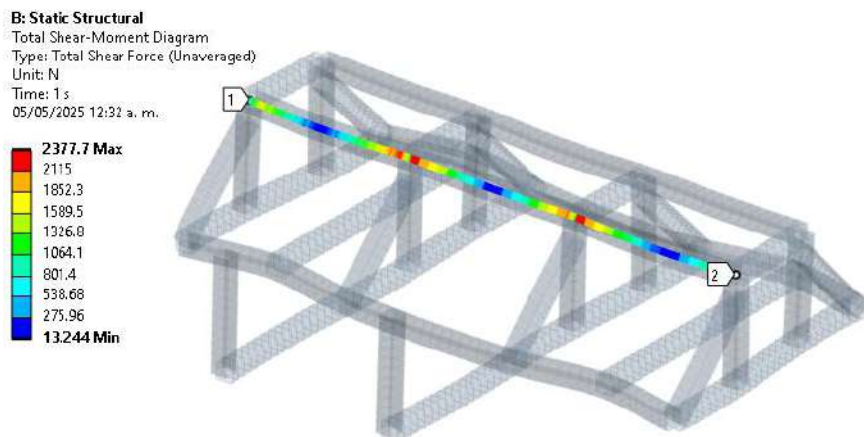
Fuente: Elaboración Propia.

Debido a las cargas sometidas en la Figura 154 se observa el estado de esfuerzos donde reporta un esfuerzo máximo de 44.6 MPa de Von Mises dando así un factor de seguridad a la fluencia de  $FS=6.03$ .

Al generar un Path en Geometría del modelo en los miembros estructurales superior obtenemos una visualización de las fuerzas cortantes (FC), momentos flectores (MF) y la distribución de la deformación (D). Es nuestro caso tenemos el diagrama FC, MF y D en su distribución total en las siguientes Figura 155 y Figura156.

**Figura 155**

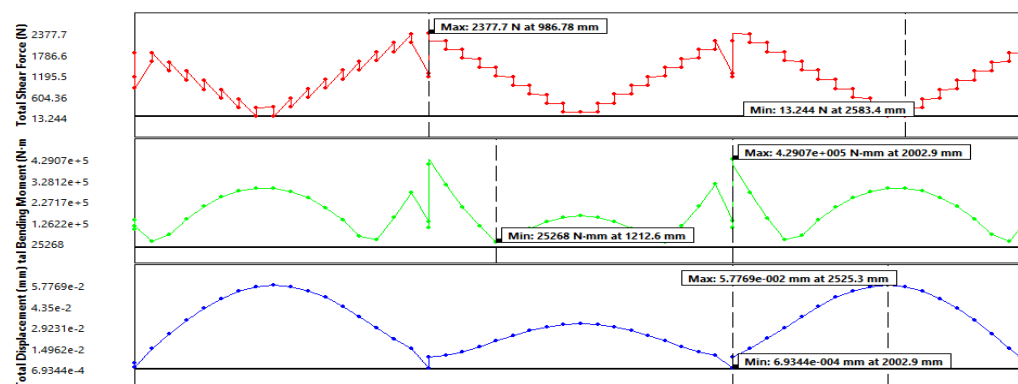
*Path generado del miembro estructural superior de apoyo directo de la máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 156**

*Diagrama total de Fuerzas Cortantes, Momento Flector y Deformación en Path de miembro superior.*



Fuente: Elaboración Propia.

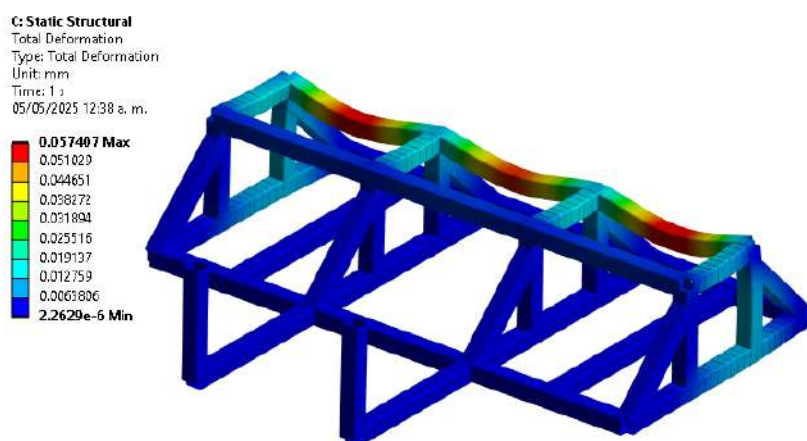
Se tiene un máximo momento flector de  $4.2907 \times 10^5$  N mm (429.07 N m) ubicada a 2.0 m desde el punto 1 a hacia el punto 2 según el Path generado en dirección del eje X.

Del mismo modo, se tiene el **segundo caso de análisis** con las condiciones de contorno establecidos previamente, la carga de la puerta tiene poco impacto en los apoyos verticales debido a su sección y material, sin embargo, se tiene un desplazamiento en el lado opuesto de los

miembros estructurales superior en el caso del primer análisis máximo de 0.057mm el cual representa una deformación insignificante lo que asegura la integridad de la estructura frente a este caso de análisis junto a 10MPa, dando así un factor de seguridad a la fluencia de  $FS=26.9$ , ubicado en el nodo que conecta los miembros longitudinales y el transversal. Estos estados de visualización se observan en las siguientes Figuras 157 y Figura 158.

**Figura 157**

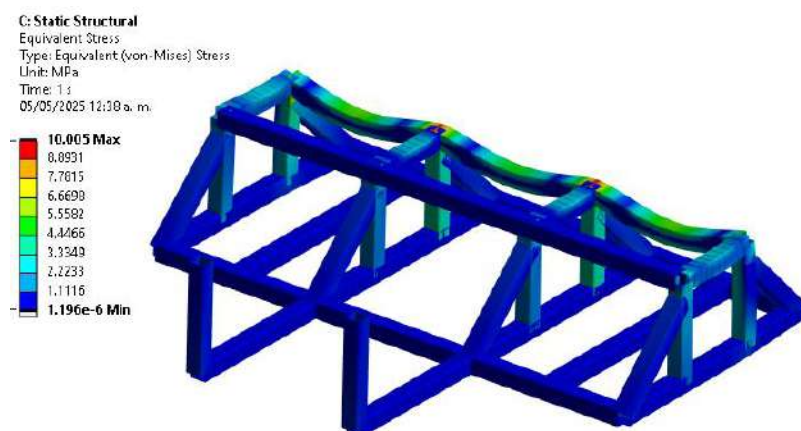
*Estado de deformación general de toda la estructura soporte.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 158**

*Estado de esfuerzos en Von Mises de toda la estructura soporte.*

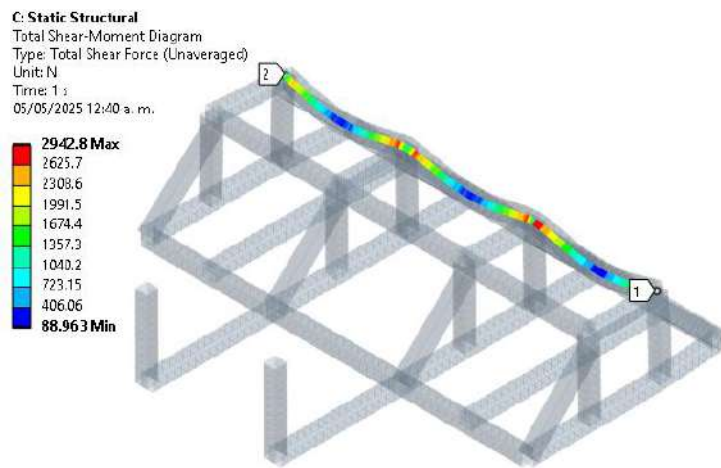


Fuente: Elaboración Propia.

Los miembros donde la deformación es relativamente mayor a los demás son las coloreadas de la Figura 159. Para estos miembros se ha generado un nuevo Path para observar el diagrama total de FC, MF y D a lo largo de su longitud el cual se muestra en la Figura 160.

**Figura 159**

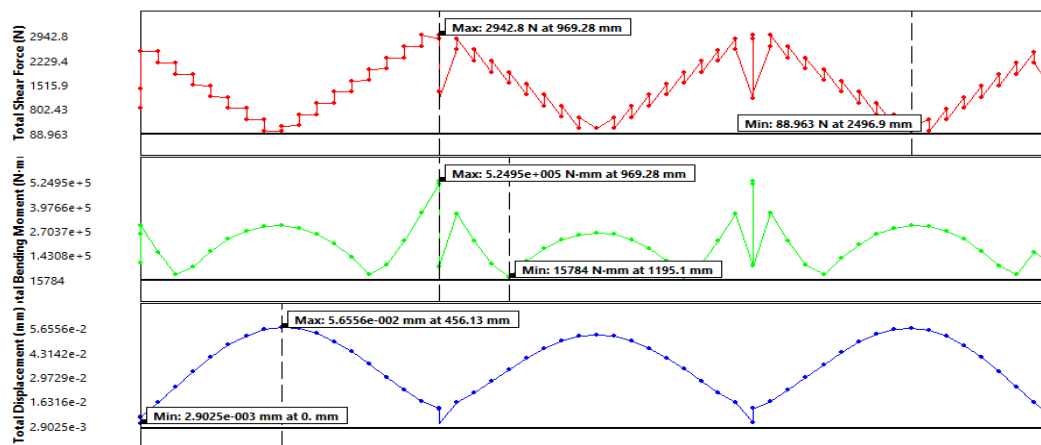
*Path generado del miembro estructural superior de apoyo directo de la máquina de moldeo.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 160**

*Diagrama total de Fuerzas Cortantes, Momento Flector y Deformación en Path de miembro superior.*



Fuente: Elaboración Propia.



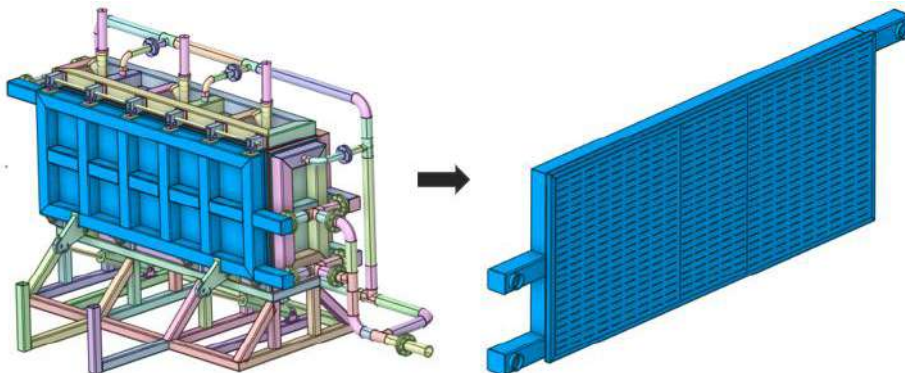
Se tiene como resultado de acuerdo con el diagrama por el Path en su momento flector de  $5.2495 \times 10^5 \text{ N mm}$  ( $524.95 \text{ N m}$ ) a  $0.97 \text{ m}$  desde el punto 1 hacia el punto 2, este valor es mayor al valor máximo del momento flecto del primer caso de análisis donde se concentra la carga sobre estos miembros cuando la puerta se apoya en sus pivots y dos soportes verticales. Cabe mencionar que este caso de análisis la fuerza de la botella hidráulica se omite debido a que la puerta descansa sobre los dos apoyos y no por la fuerza hidráulica que la mantiene estático, sin embargo, si se encuentra operativa cuando la puerta se cierra, y esta representaría el primer caso de análisis ya estudiado.

### 6.10.2 Simulación de la Plancha Ranurada de Molde

Ahora bien, se realiza la simulación de la plancha ranurada del molde, plancha que se encuentra dentro de la cámara de moldeo que son 4 de estas distribuidas perpendicularmente entre sí. La plancha más solicitada por la distribución de vapor y la temperatura alta es objeto de análisis para conocer el estado de esfuerzos por Von Mises y la deformación total. La plancha seleccionada por las dimensiones de largo es la plancha del bloque frontal o delantero el cual se representa de manera 3D para luego simplificarla como se presenta en la Figura 161.

**Figura 161**

*Parte seleccionada del bloque solicitado para su posterior simplificación.*



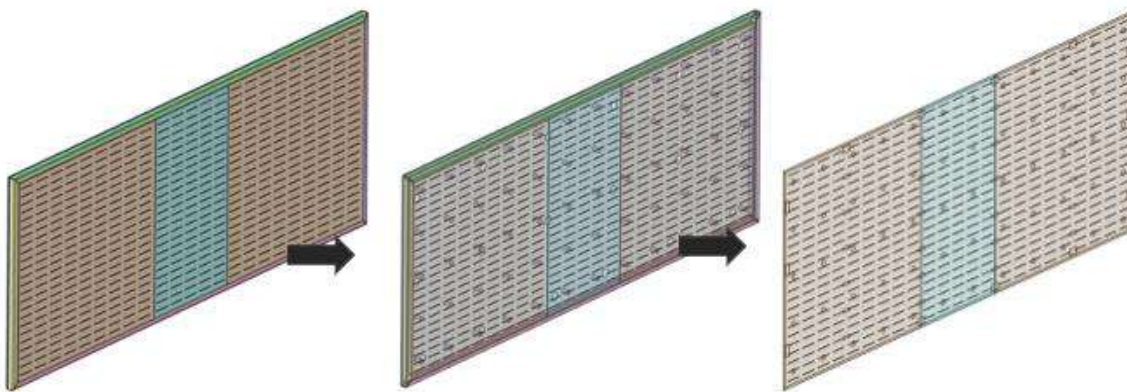
Fuente: Elaboración Propia.

### 6.10.2.1 Modelamiento Y Simplificación Geométrica

Se realizó la simplificación del modelo del bloque suprimiendo los ductos quedando las planchas y soportes necesarios para su correcta simulación en una segunda simplificación 3D a superficies 2D con la herramienta de SpaceClaim “MidSurface” de cada componente, finalmente se convierte en una única plancha o placa sobre el cual se proyecta los soportes que representan las condiciones de borde o contacto de esta placa, está la podemos ver en la Figura 162.

**Figura 162**

*Proceso de simplificación de la geometría 3D a la conversión de superficies 2D terminando en una única superficie 2D con los contornos de borde proyectados.*



Fuente: Elaboración Propia.

Esta placa cuenta con sus tres divisiones en donde los soportes se ubican de acuerdo a los cálculos y predisposición en su ubicación conservando así la simetría de la placa. Esta placa tiene un espesor de 5mm el cual en el proceso de configuración de la malla se aprecia el espesor y se tiene como dato visible en la geometría importada directamente del entorno CAD del SpaceClaim.

### 6.10.2.2 Definición del Material Empleado

El material empleado de estas planchas ranuradas son de ASTM A36, las propiedades mecánicas son presentadas en la Tabla 78.



Tabla 78

Propiedades mecánicas del material empleado para la plancha ranurada

Designación	Esfuerzo de Resistencia a la Coeficiente de		
	Fluencia	tracción	expansión térmica
ASTM A36 Acero Estructural	250 MPa	400-550 MPa	12e-6 °C <sup>-1</sup>

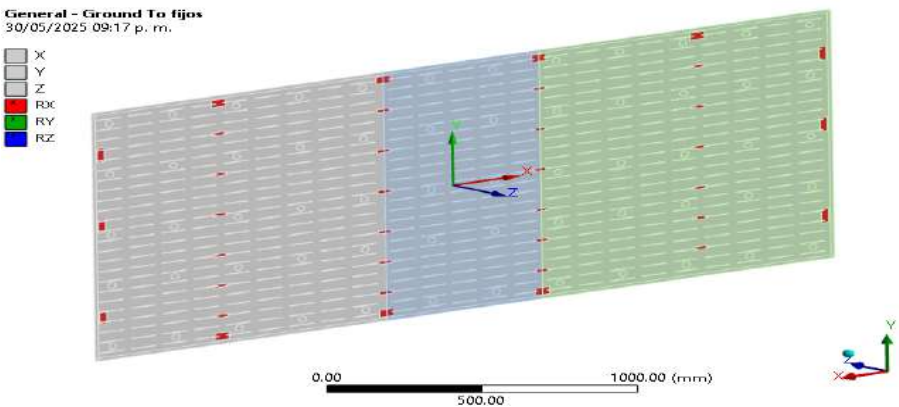
Fuente: Elaboración Propia.

6.10.2.3 Condiciones de Borde

Las condiciones de borde son dadas por los soportes de los componentes adyacentes a la plancha como los cilindros de apoyo para evitar los pandeos locales, la sujeción de los tornillos sobre los sólidos rectangulares y la plancha, también se tiene el apoyo de la plancha en sus caras extremas sobre el marco de tubos cuadrados. Estas se representan con las conexiones llamadas como “Joint” en su definición como “General” donde ofrece la versatilidad de unión definido por el usuario según el tipo de contacto que se tiene, en nuestro caso el tipo es de “Body-Ground” esto significa que la junta se compone por el cuerpo en contacto con la tierra o piso. En la Figura 163 se visualiza dichas juntas.

Figura 163

Contacto de tipo joint sobre los apoyos fijos.

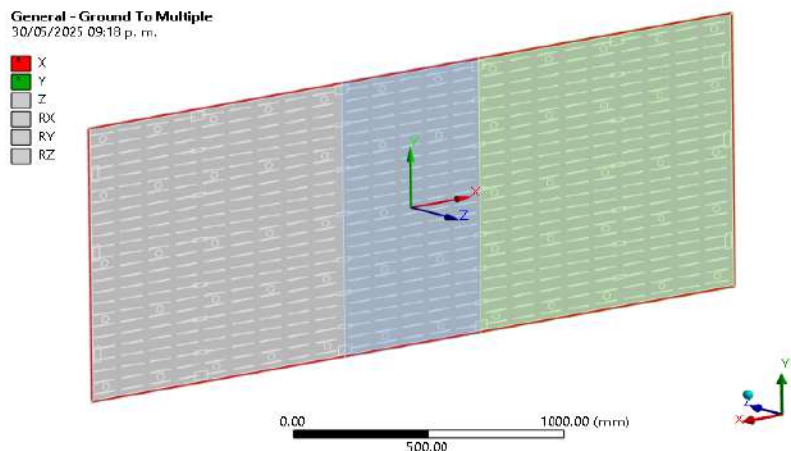


Fuente: Elaboración Propia.

Para este tipo de contacto sobre los apoyos fijos donde la unión con los tornillos se restringe el movimiento traslacional en las tres direcciones según nuestro sistema de coordenadas locales a las áreas seleccionadas.

**Figura 164**

*Contacto de tipo joint sobre los apoyos extremos*

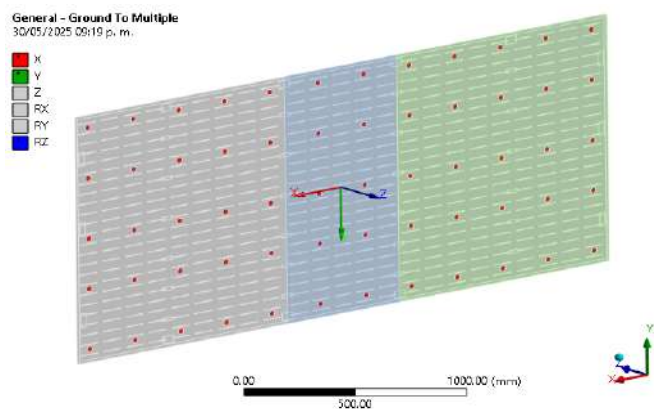


Fuente: Elaboración Propia.

El contacto sobre los apoyos extremos representados por el área proyectada por las superficies en contacto 3D de los tubos cuadrados y la plancha donde no se restringe el movimiento de lateral de los lados como se muestra en la Figura 165.

**Figura 165**

*Contacto de tipo joint sobre los apoyos cilíndricos*



Fuente: Elaboración Propia.

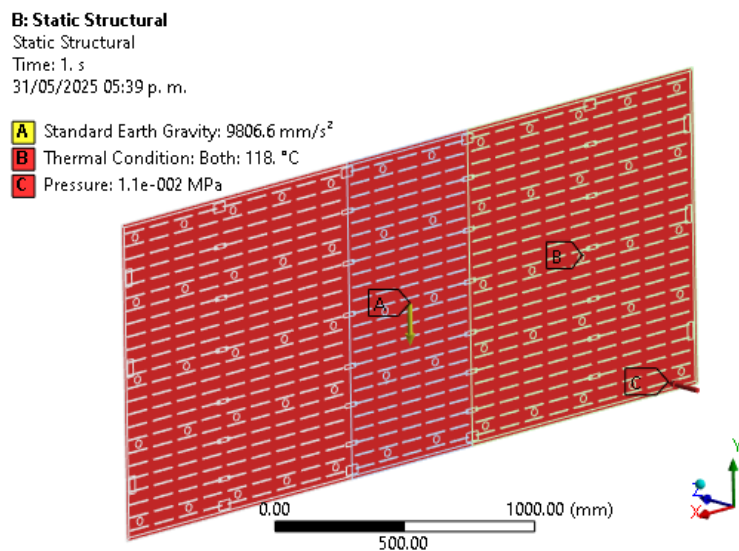
En la Figura 165 para el caso del contacto de los apoyos cilindros es de tipo simple restringiendo el movimiento traslacional en dirección axial a los cilindros y sus rotaciones sobre las direcciones perpendiculares.

#### 6.10.2.4 Cargas Sometidas

En la Figura 166 se muestra las cargas que actúan sobre la plancha analizada son de presión y temperatura, además de soportar su propio peso. En las condiciones de operación durante la expansión del EPS la presión del vapor recorre toda la superficie que la conduce a la cámara de moldeo a alta temperatura. Recordar que para ingresar el vapor hacia la cámara de moldeo esta pasa por las numerosas ranuras igualando la presiones de ambas interiores, quedando así con poca o nula presión sobre la plancha en una dirección, en su lugar, el componente placa se somete a compresión. Por tanto, se considera solamente la diferencia de presión del cálculo de la simulación CFD (0.189 MPa) y la presión teórica según bibliografía consultada de 2 bar (0.2 MPa) dando una diferencia de 0.011 MPa.

**Figura 166**

*Condiciones de carga sobre la plancha.*



Fuente: Elaboración Propia.

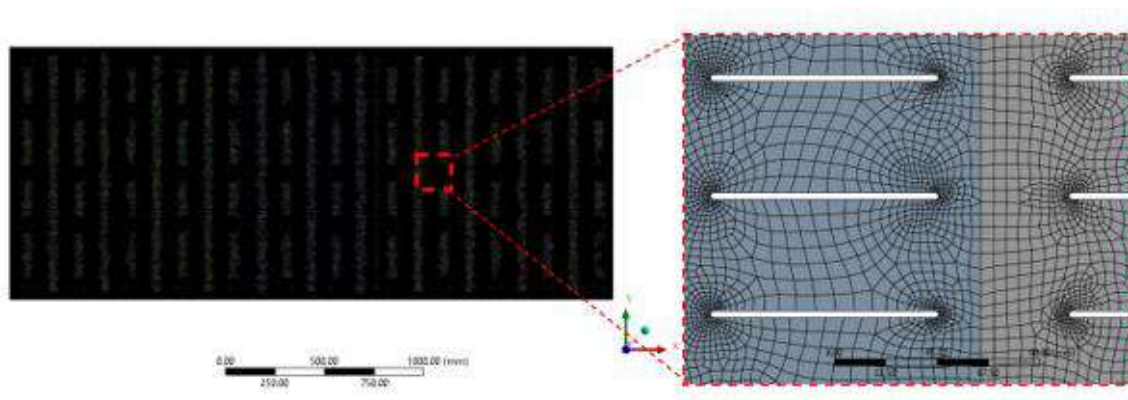
La presión según Fluent mostrado en el post procesamiento de la simulación CFD representa la presión relativa a la atmosfera conocido como “Presión Gauge”, debido a nuestras condiciones de operación de referencia de 1 atm (101 325 Pa) la presión absoluta se define como la suma de la presión de operación y la presión relativa. Es decir, la presión absoluta resulta de sumar ambas presiones dando un valor aproximado a 0.189 MPa. Este valor de la presión es un resultado estimado de la presión que va quedando por la expansión del EPS cuando cesa la inyección de vapor hacia la cámara de molde.

#### 6.10.2.5 Mallado

El mallado se puede observar en la Figura 167 esta se realizó con una configuración general de la malla global o general teniendo como tamaño de los elementos de malla de 8.5mm. Se uso un tamaño adaptativo sobre la superficie debido a cubrir las curvas de las ranuras de 5mm de diámetro, de este modo, se tiene un total de 333898 elementos y con 351273 nodos. Por lo demás, se tiene toda la configuración restante por defecto.

**Figura 167**

*Vista del mallado sobre la plancha.*



Fuente: Elaboración Propia.

Para asegurarnos del control de calidad de la malla se tiene las métricas en la Tabla 79 que se presenta a continuación.

Tabla 79

Métricas de calidad de malla generada

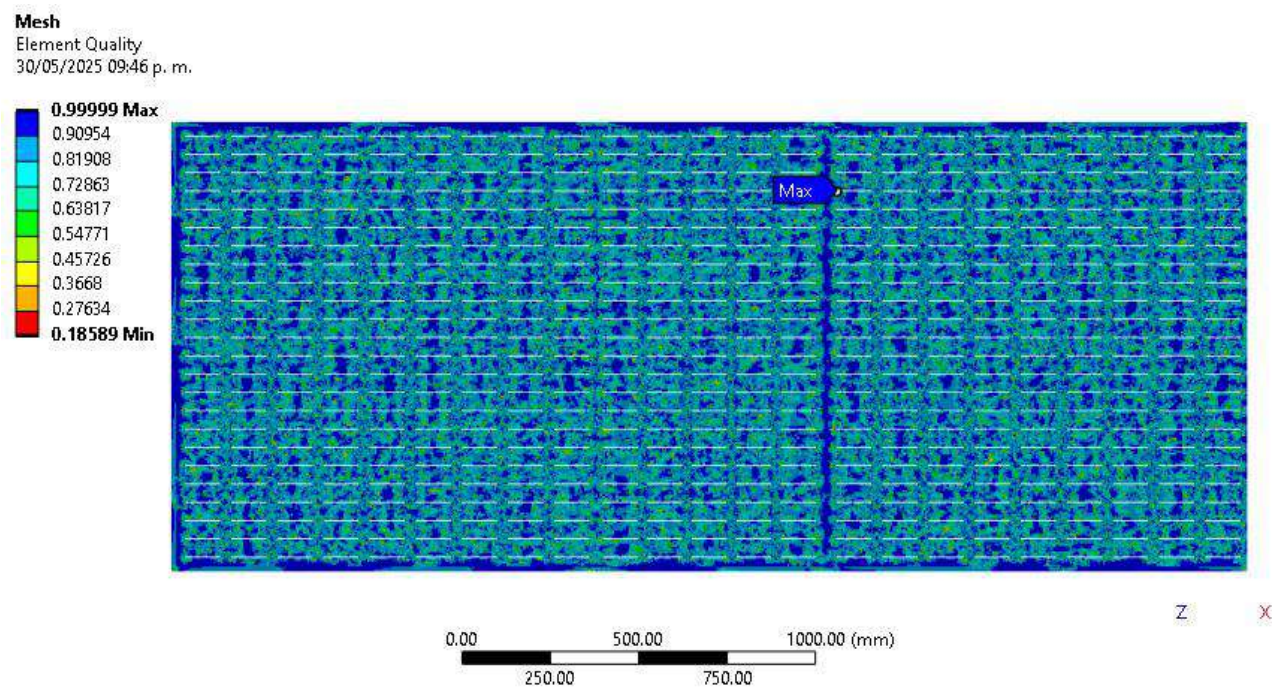
Métricas relevantes	Valor (Promedio)
Element Quality [-] >0.7	0.8 (ok)
Skewness [-] <0.25	0.218 (ok)
Aspect Ratio [-] ≈ 1	1.2 (ok)

Fuente: Elaboración Propia.

Para una visualización de los elementos de calidad de la plancha como métrica central de control se tiene la siguiente Figura 168 y en la Figura 169 se tiene la configuración de la malla general.

Figura 168

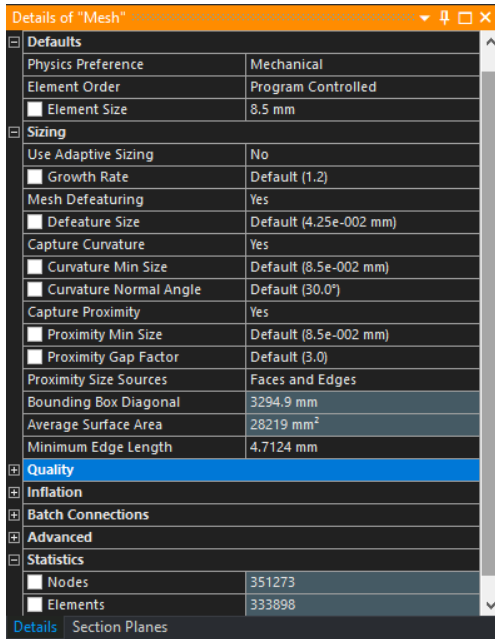
Vista del mallado en el entorno de su calidad de malla.



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 169**

*Configuración de la malla general.*



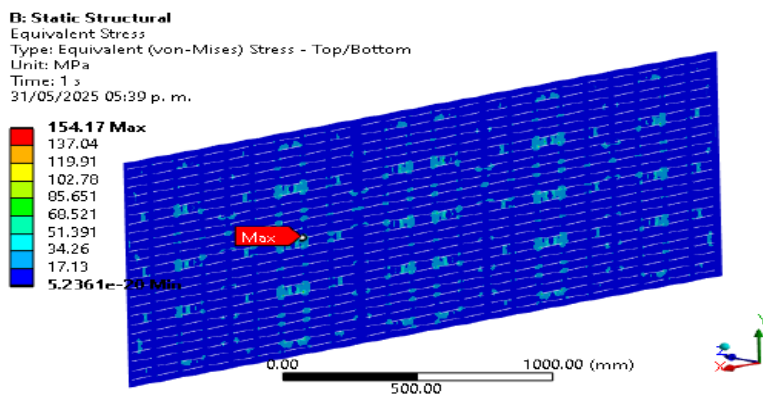
Fuente: Elaboración Propia.

### 6.10.2.6 Resultados

El resultado luego de procesamiento (cálculo numérico) sobre el estado de esfuerzos y deformaciones sobre la plancha se muestran las Figuras 170.

**Figura 170**

*Estado de esfuerzos de Von Mises de la plancha.*



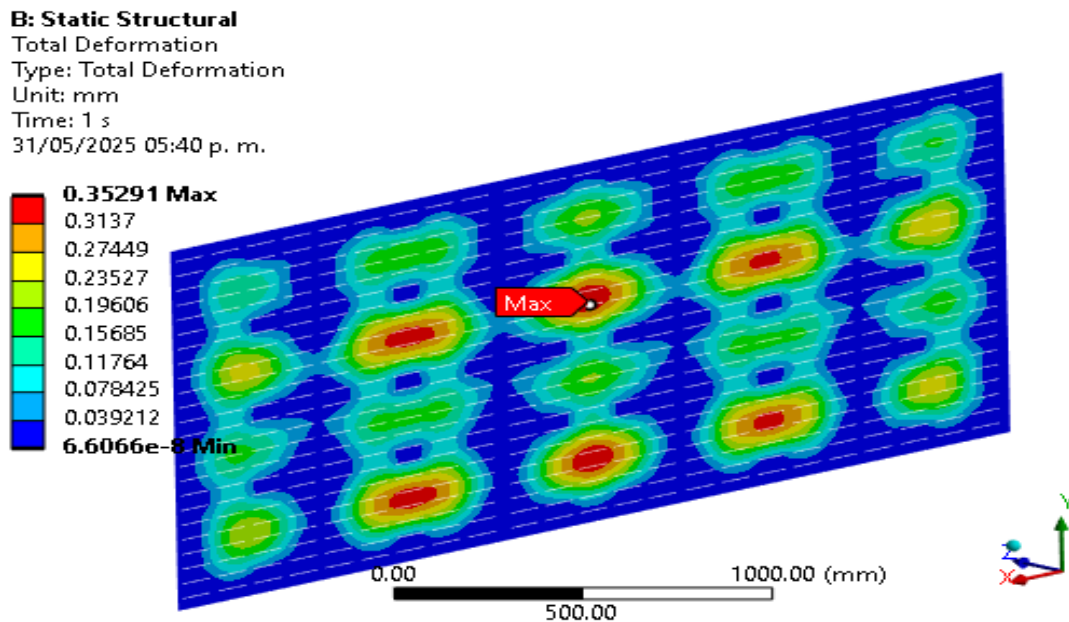
Fuente: Elaboración Propia.



Los niveles de los esfuerzos máximos se ubican en la curva de la ranura de 5mm en la tercera placa con una magnitud por debajo del esfuerzo de fluencia del acero empleado de 154.17 MPa. Esto se traduce en un factor de seguridad a la fluencia de 1.62.

**Figura 171**

*Estado de deformaciones de la plancha.*



Fuente: Elaboración Propia.

El estado de deformaciones de la mostrado en la Figura 171 reporta 0.35 mm de deformación axial en dirección del eje z (según nuestro sistema de coordenadas) ubicados en las zonas libres donde no se sitúa apoyos cilíndricos. Esta deformación es considerable aceptable debido a su poca amplitud de deformación en 5 puntos de las tres placas que conforma la plancha de moldeo.

### 6.10.3 Simulación del Eje Slider

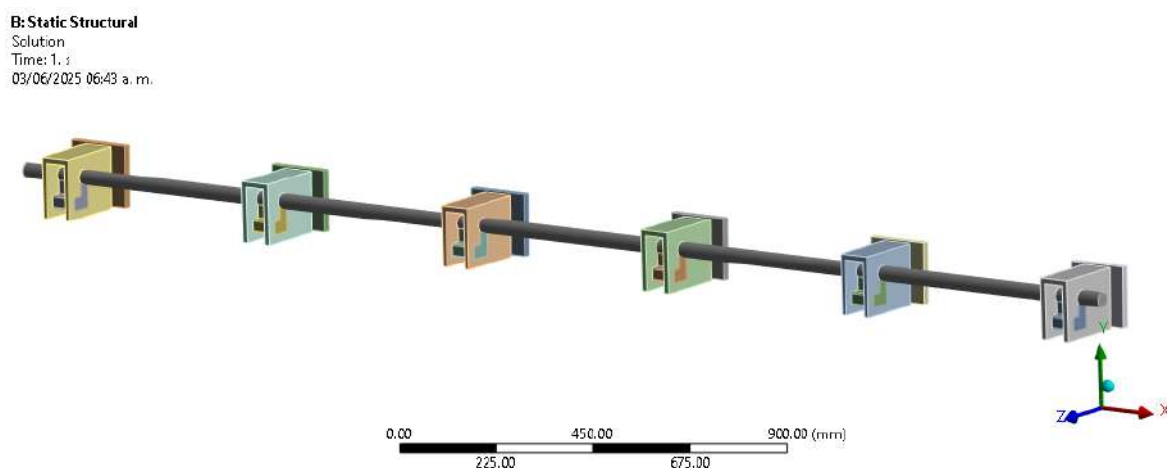
Por último, en el apartado de las simulaciones FEM se realiza la simulación que corresponde a conocer la resistencia del eje slider ubicado en la zona superior del bloque frontal para asegurar el cierre de la puerta misma.

### 6.10.3.1 Modelamiento

Se extrae del modelo únicamente del eje slider junto con sus partes o componentes que interactúa como se muestra en la Figura 172 frente a la carga de reacción calculada previamente como fuerza aplicada en las sliders.

**Figura 172**

*Eje Slider con sus soportes*

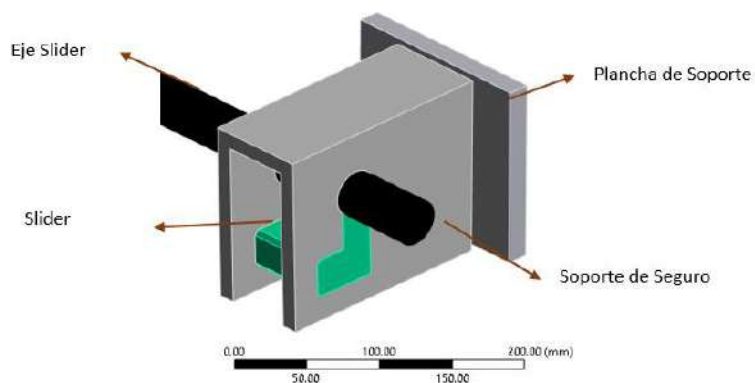


Fuente: Elaboración Propia.

Las partes de estos componentes del eje slider se muestran en la Figura 173.

**Figura 173**

*Partes del conjunto del Eje Slider.*



Fuente: Elaboración Propia.

El material considera para estos componentes, todos ellos, son de acero ASTM A36.

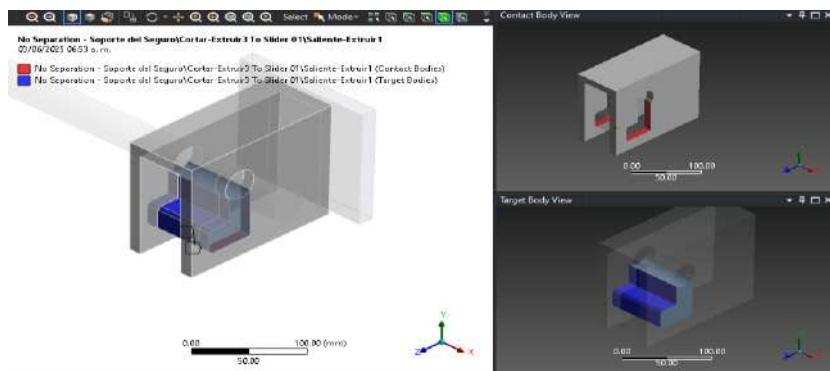


### 6.10.3.2 Condiciones de Borde

Las condiciones de borde para esta simulación se configuran en las conexiones de tipo de contacto y de soporte fijo en las planchas de soporte. En primer lugar, se realiza la modificación de los contactos parte de las conexiones por defecto al importar la geometría al entorno de “Static Structural”, debido a que el contacto del eje slider y la slider con las caras del soporte de seguro no son soldables o parte de un cuerpo único, sino, ambas caras entran en contacto sin embargo el eje slider se desliza más no se separan; se elegí el tipo de “No Separation” en ambas caras de contacto. Ambos componentes se visualizan en las dos siguientes Figura 174 y Figura 175.

**Figura 174**

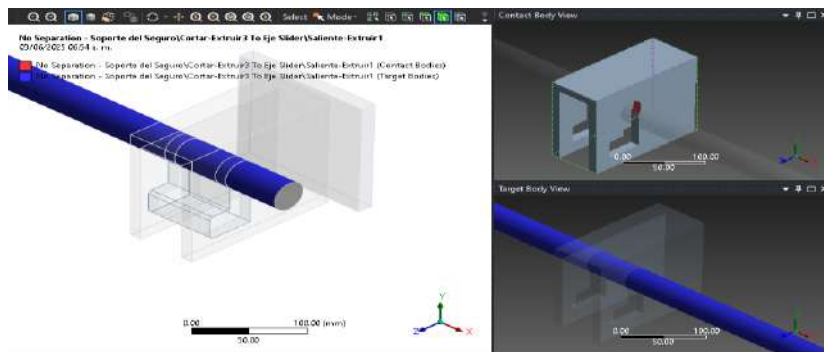
*Tipo de contacto “No Separation” entre los Sliders y el soporte de Seguro.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 175**

*Tipo de contacto “No Separation” entre los soportes de Seguro y el eje Slider.*

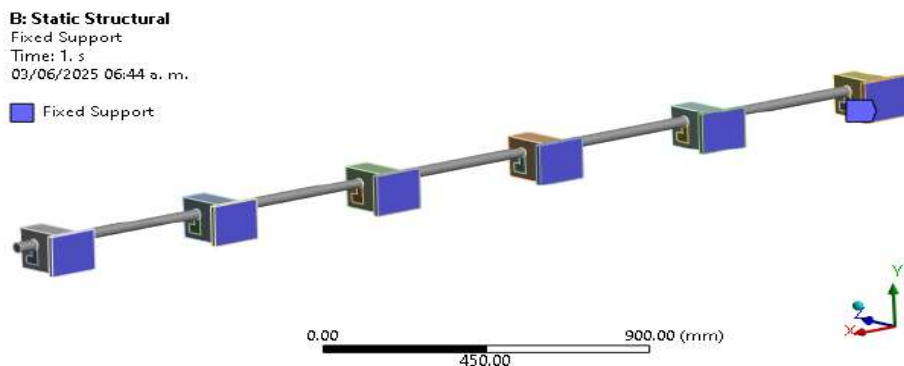


Fuente: Elaboración Propia.

En segundo lugar, las planchas de soporte se sueldan a la estructura del bloque superior por ello se considera un soporte fijo en la superficie de contacto. Esta aplicación de borde aplicado en la cara posterior de la plancha en la siguiente Figura 176.

**Figura 176**

*Aplicación del soporte fijo “Fixed” en las planchas de soporte.*



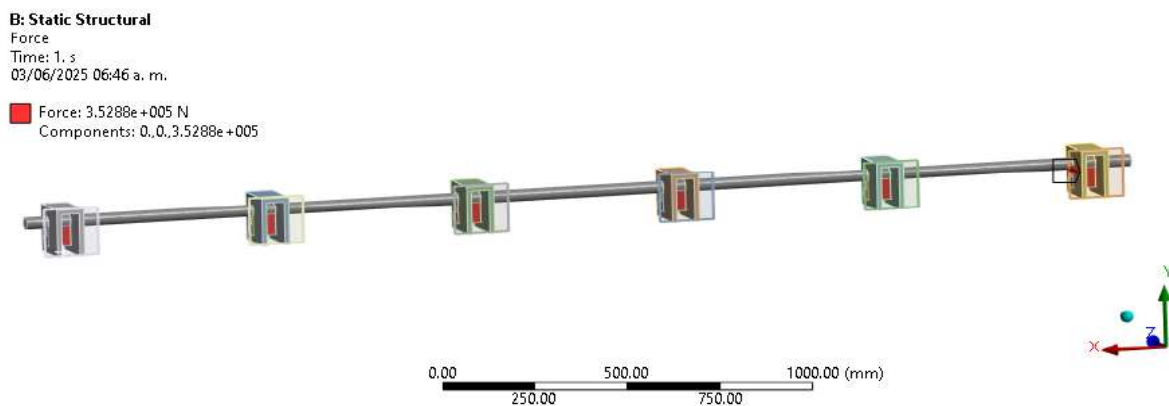
Fuente: Elaboración Propia.

### 6.10.3.3 Cargas Sometidas

De acuerdo con la carga de reacción esta actual en las superficies posteriores al componente Slider como se ven en las Figuras 177:

**Figura 177**

*Aplicación de la carga sobre las caras posteriores en los Sliders.*

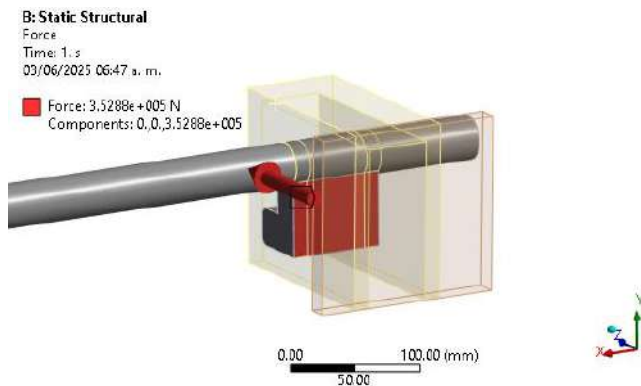


Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo, la carga de la gravedad en dirección -Y (m/s<sup>2</sup>) también se considera en la simulación estática. La carga térmica no se aplica en este caso, debido a que los componentes analizados están en el medio exterior donde circunda el aire natural, y por la poca gradiente en estos componentes por el mismo proceso de moldeo.

**Figura 178**

*Vista cerca de la aplicación de la carga en el Slider*



Fuente: Elaboración Propia.

#### 6.10.3.4 Mallado

El mallado se configuro de tal manera que los componentes sean geoméricamente de cuerpo único sin fusiones, de esta manera se aplica controles de malla de mejor calidad. Se amplificaron controles de malla como se tiene en la Tabla 80.

**Tabla 80**

*Controles de malla a componentes*

Componente	Control de Malla	Tamaño
Eje Slider	Sweep Method/ Body Sizing	5mm
Slider	Body Sizing	5mm

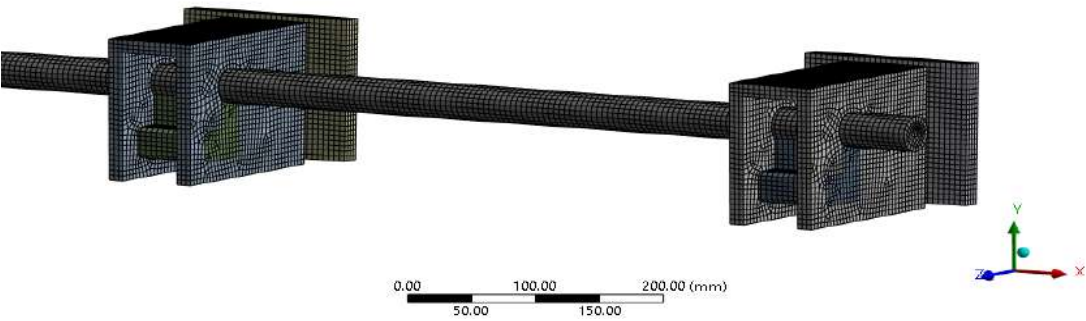
Componente	Control de Malla	Tamaño
Soporte de Seguro	Multizone/Body Sizing	5mm – Hexa
Plancha de Soporte	Body Sizing	5mm

Fuente: Elaboración Propia.

Con ello se tiene un total de elementos y nodo de 115608 y 559303 correspondientemente. La malla general no se modificó ninguna casilla, por lo tanto, las demás opciones están por defecto. Esto se puede observar en la Figura 179, Figura 180 y Figura 181.

**Figura 179**

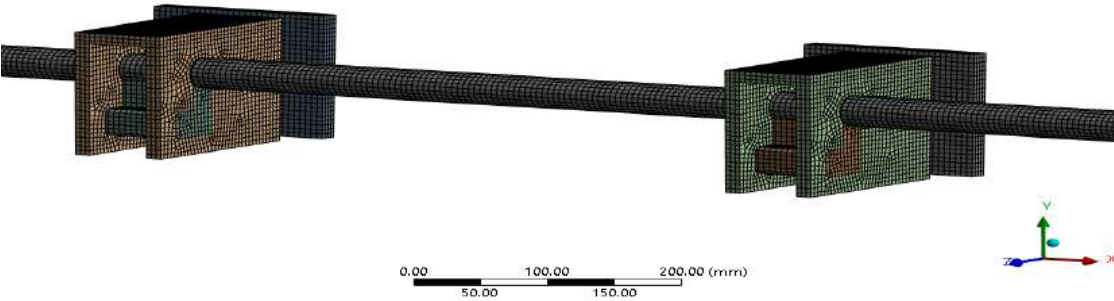
*Vista del mallado parte No 01 del eje slider.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 180**

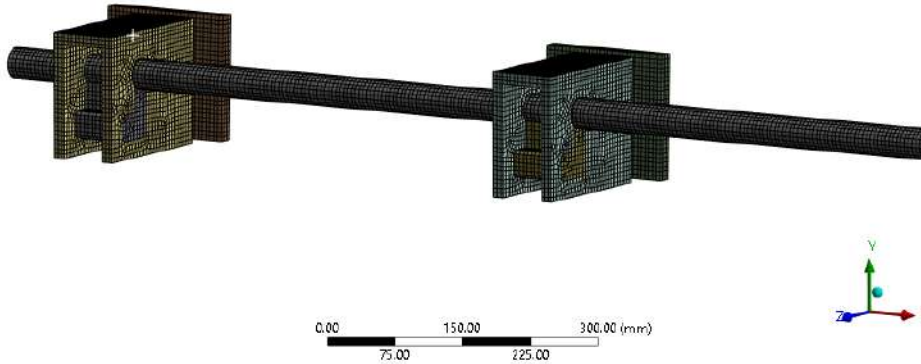
*Vista del mallado parte No 02 del eje slider.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 181**

*Vista del mallado parte No 03 del eje slider.*



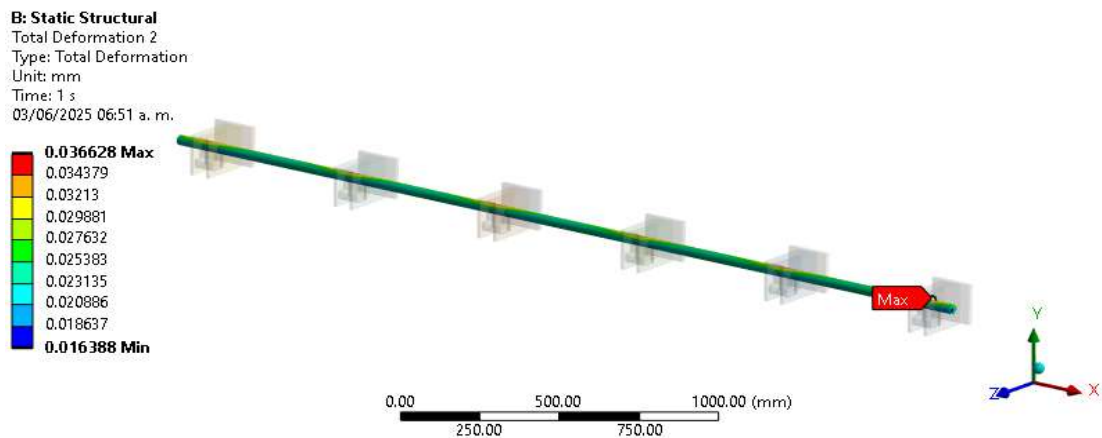
Fuente: Elaboración Propia.

### 6.10.3.5 Resultados

Luego del procesamiento visualizamos los resultados de los estados de deformación y esfuerzos por el criterio de Von Mises tanto en el soporte de seguro, eje slider y el ensamble completo. Empezamos por el eje slider al seleccionar solamente el eje slider para evaluar las deformaciones y esfuerzos, donde se tiene 0.03mm de deformación total y 14.3 MPa ubicado en el 2do soporte de seguro (izq.) Los resultados se muestran en la Figuras 182 y Figura 183.

**Figura 182**

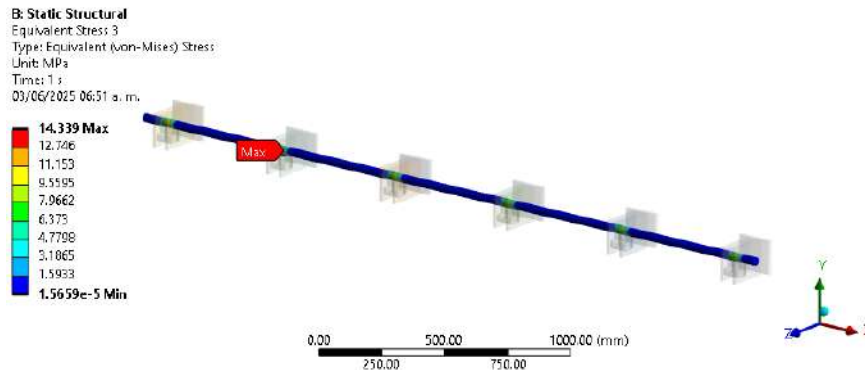
*Vista del estado de deformación del eje slider.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 183**

*Vista del estado de esfuerzo del eje slider.*

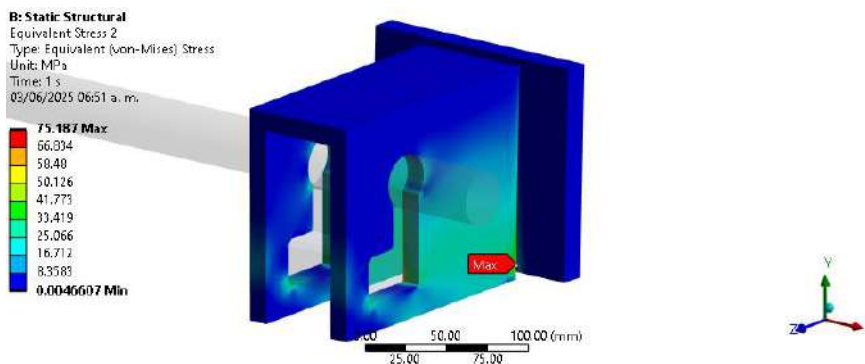


Fuente: Elaboración Propia.

Si realizamos un acercamiento a unos de los soportes de seguro como se muestra en la Figura 184 y analizamos los esfuerzos estos son elevados con respecto al eje slider ubicado en la union con la plancha de soporte (rectangular). Se tiene un valor de 75.18 MPa y una distribucion en las zonas donde se presenta vertices cercanas al perimetro del contacto con el slider.

**Figura 184**

*Vista de los niveles de esfuerzos del soporte de seguro y plancha de soporte.*

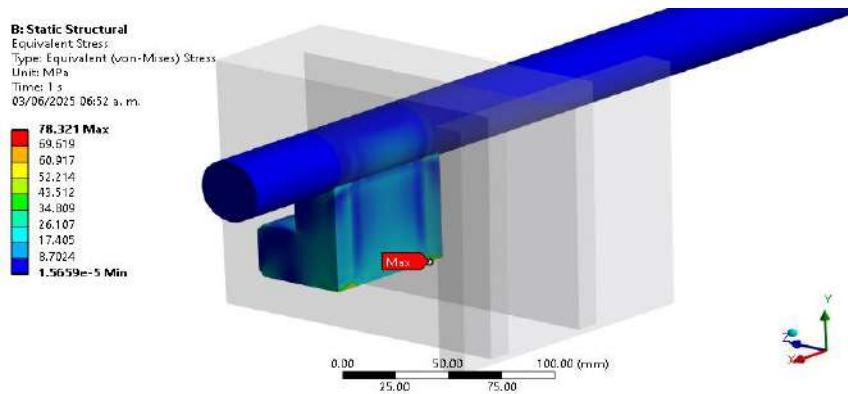


Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al conjunto de ensamble de cuerpos que conforma el eje slider y el slider se tiene un nivel de esfuerzo de 78.32 MPa en el vertice inferior del slider tal como se muestran en la siguiente Figura 185.

**Figura 185**

*Vista de los niveles de esfuerzos del eje slider y la slider.*



Fuente: Elaboración Propia.

Todos estos esfuerzos reportados por la simulación FEM (Finite Element Method) en el conjunto de componentes del eje slider frente a la carga de reacción previamente calculado sumada a la carga por su propio peso se tiene bajos niveles de esfuerzos de Von Mises con respecto al esfuerzo de fluencia del material empleado, 250 MPa – Acero A36.

## **6.11 Simulación por el Método de los Elementos Discretos (DEM)**

En este apartado corresponde a la simulación DEM (Método de los Elementos Discretos) de las perlas virgen y reciclado de EPS al 15% con un diámetro de 5 – 6mm, en este caso, sin embargo, se empleó un diámetro mayor de 3cm debido al tiempo computacional conservando la relación de volumen que corresponde a la masa del 15% de material de EPS reciclado.

### **6.11.1 Simulación del Mezclado**

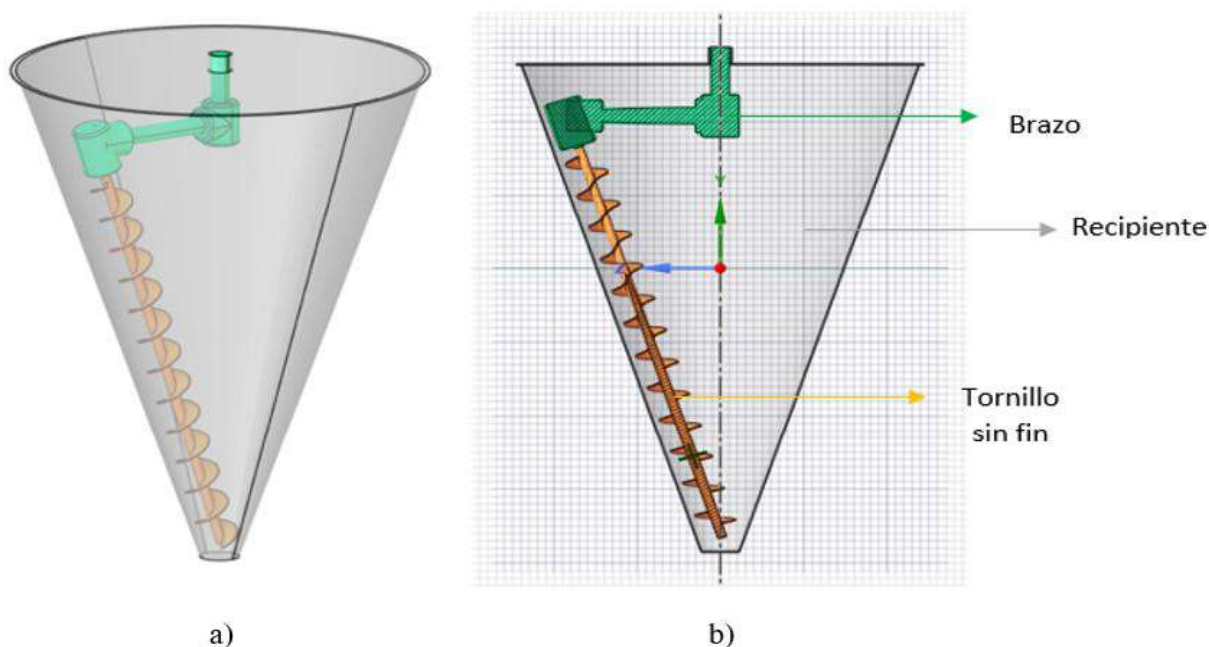
Para dicha simulación DEM se empleó el software Rocky DEM v.2023. Se inicio en importar la geometría creada a partir del mezclador o mixer seleccionado en SpaceClaim a formato STL al entorno de Geometría de Rocky DEM; luego, se configura las propiedades de material, contactos, entras de flujo de partículas, definir el tamaño de las partículas, para finalmente realizar el post procesamiento del tiempo de mezclado.

### 6.11.1.1 Modelo 3D e Importación de Geometría

El mezclador o mixer tiene dimensiones de un ancho de 3.2 m y una altura de 4.4 m. El dibujo CAD en SpaceClaim del mezclador como se ve en la Figura 186, contiene un brazo articulador (color verde), tornillo sin fin (color anaranjado) y el recipiente cónico (color gris). Esta se exporta en formato STL con cuerpos separados del modelo CAD para su posterior importación de Rocky DEM en la pestaña “Geometry”.

**Figura 186**

*Modelo 3D del mezclador: a) Vista isométrica y b) vista de corte en plano frontal.*



Fuente: Elaboración Propia.

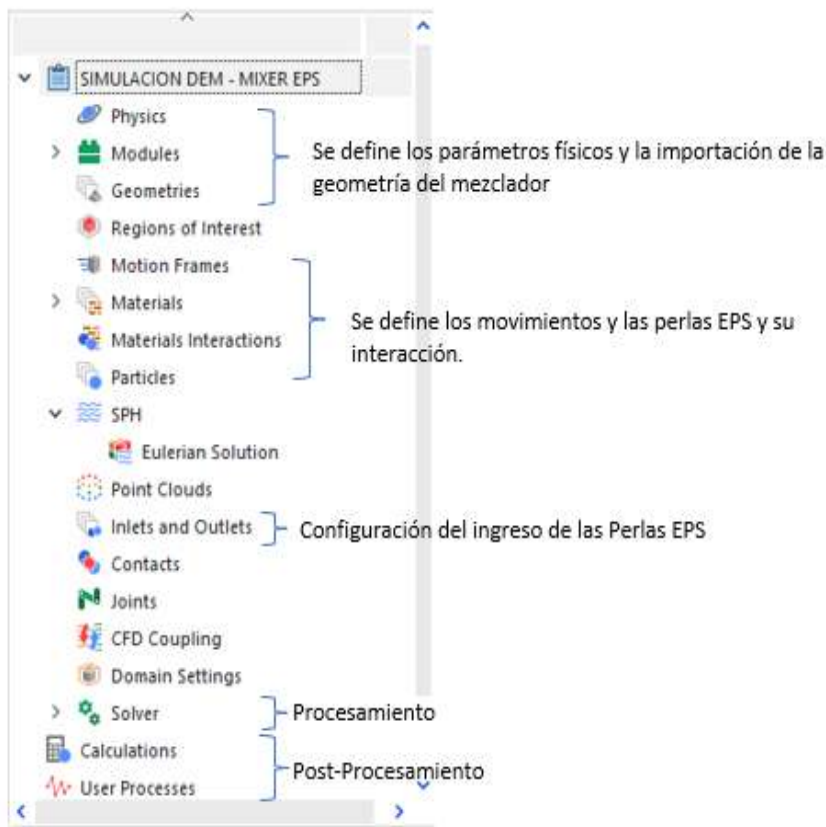
### 6.11.1.2 Configuración del Modelo DEM

La configuración del modelo DEM (Método de los Elementos Discretos) es ampliamente diverso para simulaciones complejas de partículas, en nuestro caso según el objetivo planteado, de observar cualitativamente el mezclado dentro del recipiente de ambas perlas de EPS en un tiempo determinado. El flujo de trabajo se representa en la Figura 187 para nuestro caso de estudio.



**Figura 187**

*Flujo de trabajo de configuración del modelo DEM en Rocky DEM.*



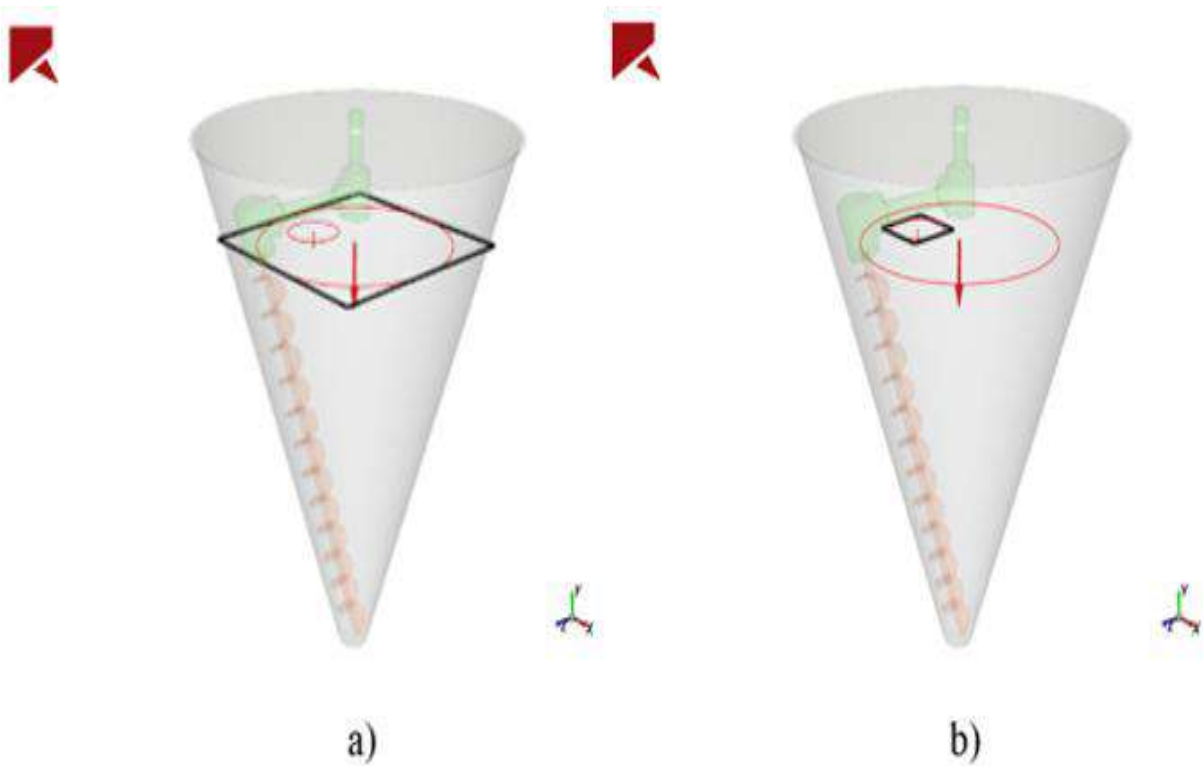
Fuente: Elaboración Propia.

En referencia a los parámetros físicos se configura la gravedad en el sentido vertical negativo de acuerdo con nuestro sistema de coordenadas (-Y), y en las demás pestañas se tiene las configuraciones por defecto.

Se genera las aperturas de ingreso en forma circular de las partículas dentro del flujo de trabajo mostrado anteriormente. El ingreso para las partículas virgen representa gran cantidad de estas dentro del volumen de diseño de la cámara de moldeo, y una pequeña parte del 15% corresponde a las partículas recicladas con un diámetro menor. Ambas representaciones se visualizan en la Figura 188.

Figura 188

Ubicación de las entradas de partículas. a) Perlas EPS virgen y b) perlas EPS recicladas.



Fuente: Elaboración Propia.

El movimiento de los componentes del brazo y del tornillo sin fin deben configurarse de tal manera que cumplan con exigencias de movimiento, en nuestro caso se trata de elementos rotativos para la mezcla. Los vectores donde se seleccionan el movimiento rotacional corresponden a sus centros de masa, y esta se obtiene del modelo CAD. Se agrega las velocidades de giro para ambos componentes el cual se tiene en la Tabla 81.

Tabla 81

Configuración de movimiento de los componentes de la mezcladora.

Componente	Velocidad de giro (RPM)	Tiempo de inicio de movimiento
------------	-------------------------	--------------------------------

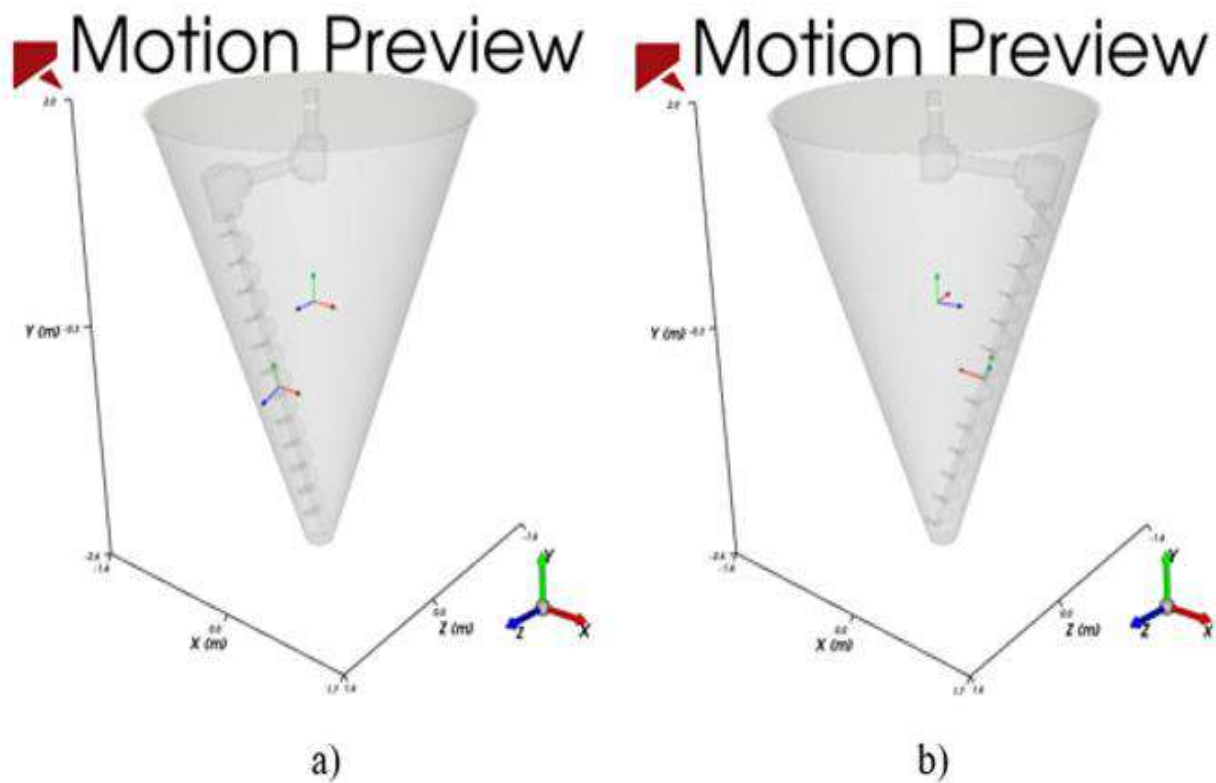
Brazo	49.28	1.5s-1000s
Tornillo Sin Fin	49.28	1.5s-1000s

Fuente: Elaboración Propia.

En Rocky DEM existe un modo de visualización previa al movimiento definido como se muestra en la Figura 189, esto nos ayuda a ver si las configuraciones realizadas son las correctas.

**Figura 189**

*Movimiento previo de los componentes del mezclador: a) Tiempo 0s y b) tiempo 5s.*



Fuente: Elaboración Propia.

Ahora, se define los materiales de los elementos rotativos tanto como el recipiente que los contiene. Del mismo, se define los materiales del EPS por (Yucel et al., 2003), tal como se muestra en la Tabla 82.

**Tabla 82***Materiales configurados*

<b>Componente</b>	<b>Densidad (kg/m3)</b>	<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>Relación de Poisson</b>
Acero			
Inoxidable	7900	200 GPa	0.3
AISI 304			
Perla de EPS	15	2.8 MPa	0.1

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con las referencias (Samyn et al., 2006), (Yang et al., 2011), (Witthoeft & Kim, 2016) y (Bajpai et al., 2020) introducimos los coeficientes necesarios para definir la configuración de la interacción de los materiales previamente agregados que se muestra en la Tabla 83.

**Tabla 83***Interacción de los materiales configurados*

<b>Componente</b>	<b>Fricción estática</b>	<b>Fricción dinámica</b>	<b>Coefficiente de restitución</b>
Contorno (AISI 304) – Partícula (Perla EPS Virgen)	0.3	0.2	0.05
Contorno (AISI 304) – Partícula (Perla EPS Reciclado)	0.3	0.2	0.05
Partícula (Perla EPS Virgen) – Partícula (Perla EPS Reciclado)	0.5	0.4	0.1

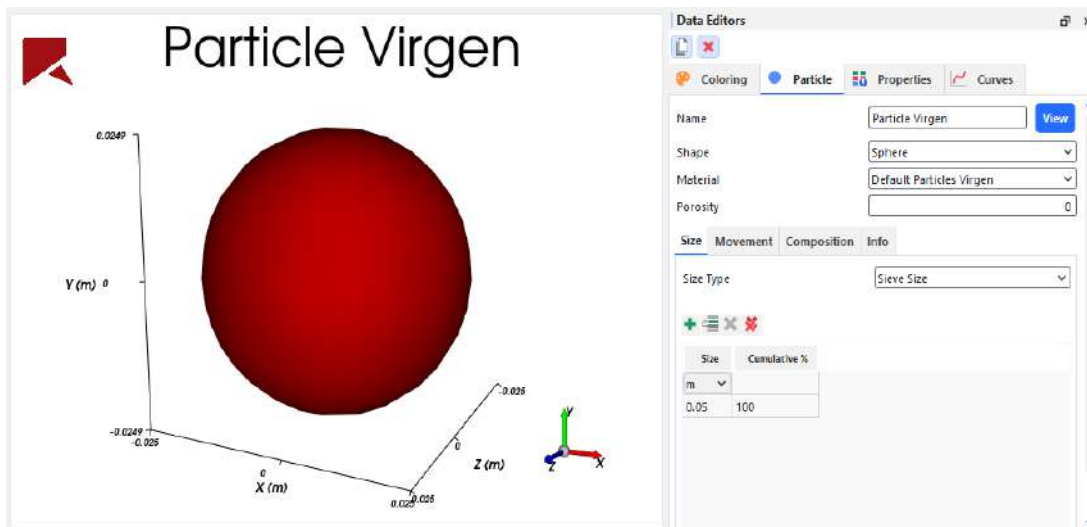
Fuente: Elaboración Propia.

Las partículas de las perlas de EPS virgen y reciclados se modelan como esferas debido a su forma original aproximado. Se ha considerado el tamaño de las partículas para la simulación de 5cm cada una, esto reduce de gran manera el tiempo de simulación ya que la cantidad de partículas

y el tamaño de este son uno de los factores a considerar para estimar el total del tiempo total de simulación. La forma y tamaño se configura en la edición de datos de cada partícula creada tal como se muestran en la Figura 190 y Figura 191.

**Figura 190**

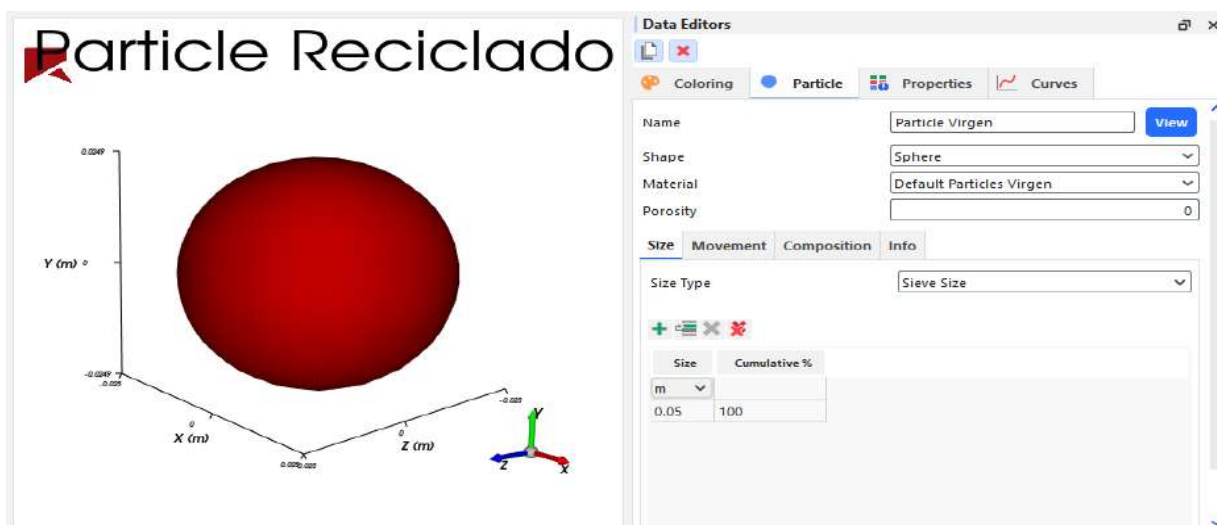
*Vista previa de la forma y tamaño de la partícula para las perlas virgen de EPS.*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 191**

*Vista previa de la forma y tamaño de la partícula para las perlas recicladas de EPS.*



Fuente: Elaboración Propia.

Importante considerar el flujo masico en los círculos de entrada o ingreso que creamos al inicio en la pestaña de la geometría, esta configuración la podemos ver en la Tabla 84. En base al volumen planteado dentro de la investigación de  $2.4 \text{ m}^3$  y el porcentaje de utilización del 15% de dicho volumen reciclado se realiza un cálculo de la masa a partir de la densidad de  $15\text{kg/m}^3$  donde se tiene por un tiempo breve de ingreso de 1s igual para ambos. Esto resulta en un numero de partículas y de masa con una relación de 30.6/5.4 de 5.67. Este es un valor de referencia para el cálculo en el post procesamiento.

**Tabla 84**

*Configuración de entrada para las partículas de Perlas de EPS*

<b>Componente</b>	<b>Volumen (m3)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Flujo Masico (kg/s)</b>	<b>Numero de Partículas</b>
Partícula (Perla EPS Virgen-85%)	0.36	5.4	5.4	2649
Partícula (Perla EPS Reciclado-15%)	2.04	30.6	30.6	15585

Fuente: Elaboración Propia.

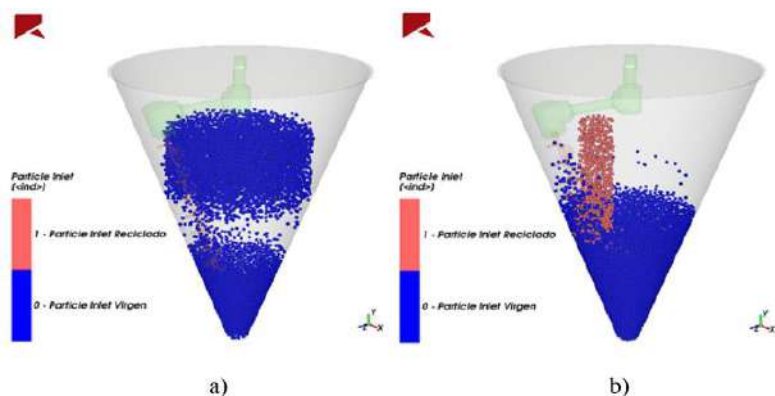
Por último, se configura el solver para su procesamiento, es decir, el cálculo numérico que realiza el software. Se tiene una salida de cálculo durante el tiempo de simulación cada 0.025 s para un total de 20 s de tiempo total de la duración de la simulación.

### **6.11.1.3 Resultados**

Los resultados de la simulación DEM durante los primeros segundo definidos para el ingreso masico de las perlas de EPS virgen y reciclado se visualiza en la Figura192.

**Figura 192**

*Perlas durante el ingreso. a) Perlas EPS virgen y b) perlas EPS recicladas.*



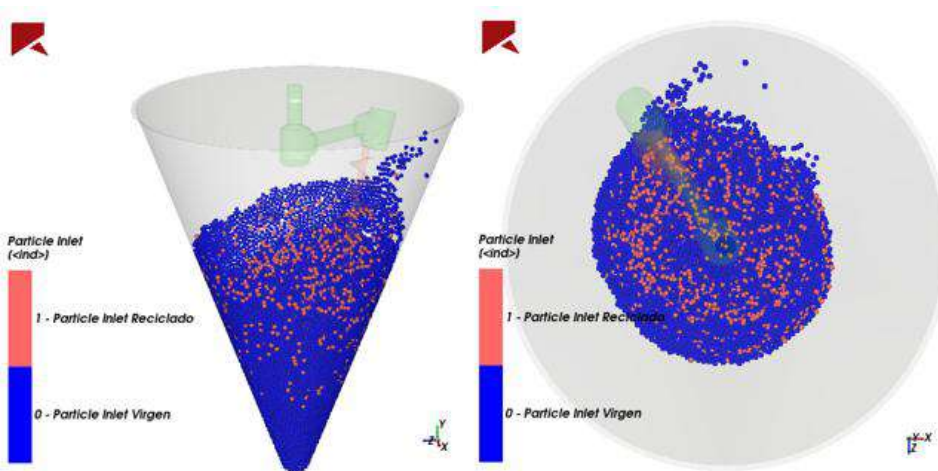
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 192 se observa que las perlas EPS virgen de color azul acumular un gran volumen dentro del recipiente del mezclador, posterior se ingresa las perlas EPS reciclados de color naranja en un costado. El tiempo de duración para los ingresos suceden en los 2 segundos, cada uno 1 segundo definido previamente durante su configuración.

De forma cualitativa se muestra una mezcla homogénea y distribuida en el recipiente para ambas perlas de EPS. Se muestra a continuación en la Figura 193.

**Figura 193**

*Perlas de EPS Virgen y Reciclado mezcladas luego de 20 segundos.*

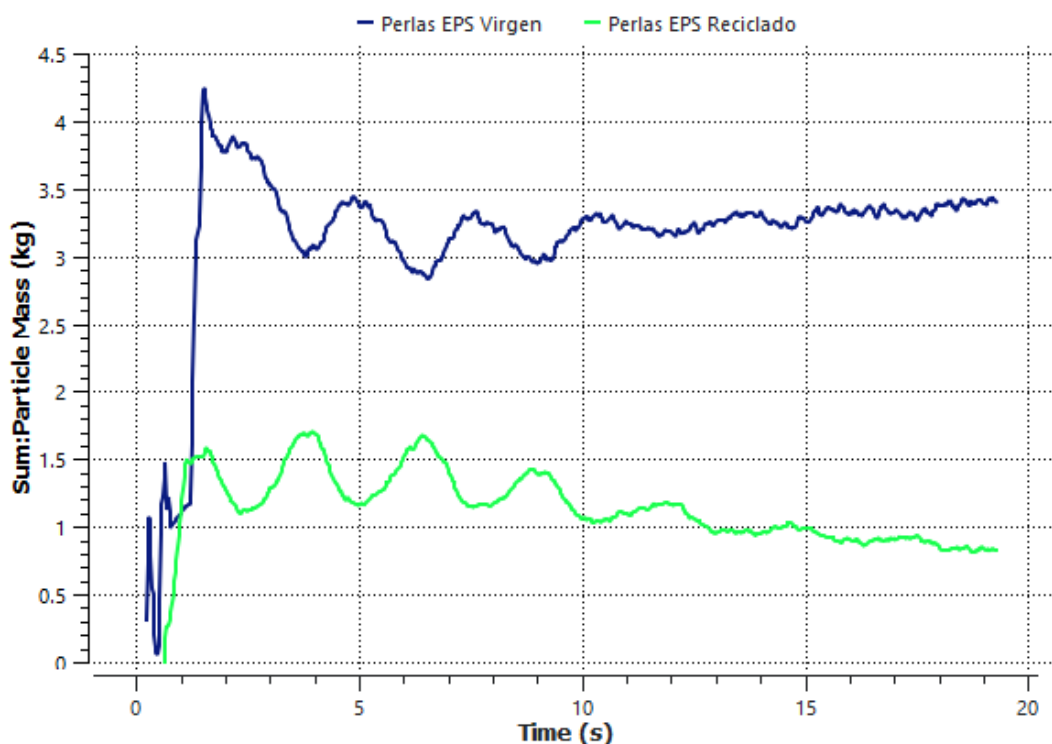


Fuente: Elaboración Propia.

Se tiene la distribución de las perlas de EPS reciclados acumulados en todo el volumen ocupado por las perlas de EPS virgen, excepto en la zona inferior donde se acumula EPS virgen. Para determinar la proporción del contenido en el recipiente se genera un contabilizador de masa de partículas en la zona media del recipiente con ello dividir la masa que ingresa para cada una de las partículas.

**Figura 194**

*Masa total de perlas de EPS Virgen y Reciclado.*



Fuente: Elaboración Propia.

Por la Figura 194 se visualiza un valor 3.4 kg para EPS virgen y 0.85 para EPS reciclado, esto resulta en una proporción aproximado de 4. Esta proporción con respecto al valor de referencia de 5.57 resulta en una eficiencia de mezclado de 71.8 % para el caso configurado.



## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis de costos de la máquina de moldeo de bloques de EPS se considera el costo directo y costo indirecto.

#### 7.1 Costos directos de la máquina de moldeo

Son los que intervienen directamente en la construcción de la máquina de moldeo estas son:

- Materiales
- Mano de obra
- Equipos y herramientas

##### 7.1.1 Costo de materiales en la construcción de la máquina de moldeo

Para determinar el costo de materiales empleados en la construcción de la máquina de moldeo se procedió a realizar el metrado de materiales para posteriormente cotizar.

##### a) Costo de elementos diseñados de la máquina de moldeo

Para el diseño de la máquina de moldeo se tiene los elementos mostrados en la Tabla 85.

**Tabla 85**

*Costo de elementos diseñados de la máquina de moldeo.*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
1	Bisagra	und	6	86.3	517.8
2	Soporte superior del cilindro hidráulico	und	2	232.88	465.76
3	Soporte inferior del cilindro hidráulico	und	2	60.27	120.54
4	eje slider + Seguro 1	und	1	328.77	328.77
5	soporte del seguro + Seguro 2	und	6	95.89	575.34

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
6	Eje Ø 38 mm longitud 80 mm AISI 4140	m	0.48	11.69	5.6112
7	Eje Ø 32 mm longitud 80 mm AISI 4140	m	0.16	8.32	1.3312
8	Corte de plancha cara superior e inferior 3050x650x 5mm	und	2	410.96	821.92
9	Corte de plancha cara lateral 1250x650x 5mm	und	2	273.97	547.94
10	Corte de plancha cara lateral 3050x1250x 5mm	und	2	794.52	1589.04
11	Plancha 8mm ASTM A36	m2	14.09	47.055	1072.24
12	Tubo rectangular 40x60x2mm	kg	120.712	0.83	100.19
13	Tubo cuadrado 75x75x2mm	kg	211.26	0.818	172.81
14	Tubo cuadrado 150x150x4mm	kg	1001.39	0.742	743.03
15	Tubo Acero SCH-40 S/C A-53 /A-106/API 5L GR-B X 6 MT. 4"	kg	237.76	0.83	196.15
16	Codo Acero A234 WPB B16.9 STD/SCH-40 FR 90 X 4"	und	8	4.10	32.80
17	Tee Acero A234 WPB B16.9 STD/SCH-40 FR 4"	und	9	6.15	55.35
18	Tubo Acero SCH40 DE 2 1/2" SIN COSTURA	kg	0.666	23.88	15.90
19	Codo Acero A234 WPB B16.9 STD/SCH-40 FR 90 X 2.1/2"	und	6	1.67	10.02
20	Reducción Campana de 4" A 2 1/2"	und	6		0.00
21	Brida Anillo SLIM ON 4" ASTM 105	und	22	7.36	161.92
22	Brida Anillo SLIM ON 2 1/2" ASTM 105	und	12	4.71	56.52

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
23	Brida Ciega 4" ASTM 105	und	2	8.32	16.64
	Válvula Mariposa Lug Acero al				
24	Carbono A216 WCB P/Montaje entre	und	5	142.47	712.33
	Bridas ASME B16.5 CLASE 150 4"				
25	Tee Mecánica DE 4 A1" CON ROSCA VIATULICA	und	3	8.50	25.50
26	Bushing de Fierro Negro x 300 LBS. TUPY 1" x1/2"	und	2	0.70	1.40
27	Niple de 1/4X1 1/2" SCH40	und	6	0.56	3.36
28	Bushing de Fierro Negro x 300 LBS. TUPY 1/2" x 1/4"	und	2	0.50	1.00
29	Tee de Fierro Negro x 300 LBS. TUPY 1/4	und	2	1.70	3.40
30	Codo de Fierro Negro x 90° x 300 LBS. TUPY 1/4"	und	4	1.50	6.00
31	Válvula de Bola 1/4"	und	2	5.90	11.80
32	Válvula de Bola 1/2"	und	2	6.20	12.40
33	Electrodo 6011 1/8 "	kg	2	4.11	8.22
	Termómetro Bimetálico, DIAL 4", 0-				
34	300°C, 6MMX100MM,1/2"NPT	und	2	41.33	82.66
	Inferior				
	MBT5250, -50 A 200°C, 100mm,				
35	1/2"NPT, PT100, Sin Transmisor Sensor	und	2	85.28	170.56
	de Temperatura Pt100				
36	Tx Presión, 0-4000PSI,1/4"NPT, 4-	und	2	128.00	256.00
	20mA, Keller, Mod. PA-21Y				
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 8517.02</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### b) Costos de sistema hidráulico

Los elementos del sistema hidráulico se detallan en la Tabla 86 con sus respectivos costos.

**Tabla 86**

*Costos de sistema hidráulico*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
1	Cilindro hidráulico puerta	und	2	850	1700
2	Cilindro hidráulico expulsión	und	2	650	1300
3	Cilindro hidráulico seguro	und	1	500	500
4	UPH	und	1	5948.5	5948.5
5	Válvula divisora de flujo 9RD-02-29	und	1	1500	1500
6	Válvula divisora de flujo 9RD-02-36	und	1	1500	1500
7	Sensor de Temperatura Pt100 Modelo: MBT5250	und	2	85.28	170.56
8	Sensor Tx Presión Modelo: 21y	und	2	128	256
9	accesorios de instalación hidráulica	und	1	900	900
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 12875.06</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### c) Costos del control eléctrico de la máquina

**Tabla 87**

*Costos del control eléctrico de la máquina*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
1	sistema de control eléctrico	Unid	1	4250	4250
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 4250</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### d) Costos de la instalación de la máquina

**Tabla 88**

*Costos de la instalación de la máquina*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
1	instalación eléctrico e hidráulico	Unid	1	5382.4	5382.4
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 5382.4</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### e) Costos totales directos de la máquina de moldeo de bloques de EPS

El costo directo total de la máquina de moldeo se tiene en la Tabla 89.

**Tabla 89**

*Costos totales directos de la máquina de moldeo de bloques de EPS*

Ítem	Descripción	Unid	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Costos de elementos de la máquina	Unid	1	8517.02	8517.02
2	Costos de sistema hidráulico	Unid	1	12875.06	12875.06
3	Costos del sistema eléctrico	Unid	1	4250	4250
4	Costos de instalación	Unid	1	5382.4	5382.4
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 31024.48</b>

Fuente: Elaboración Propia.

## 7.2 Costo Indirecto

Son aquellos gastos de producción que no se puede cargar de forma directa a la producción de un bien.

#### a) Costos ingenieriles

Los gastos de ingeniería son los que están involucrados en el cálculo, teoría, diseño y selección que garantizan el funcionamiento de la máquina esta se muestra en la Tabla 90.

**Tabla 90***Costos ingenieriles*

Ítem	Costos Ingenieriles	Unidad	Cantidad	Precio unitario sin igv \$	Precio total sin igv \$
1	Diseño	horas	624	6	3744
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 3744</b>

Fuente: Elaboración Propia.

El costo total indirecto se muestra en la Tabla 91 donde se determina mediante la suma del costo ingenieriles y la utilidad, en este caso al tratarse de un trabajo de investigación la utilidad se considera cero.

**Tabla 91***Costo ingenieriles y la utilidad*

Costos	Precio Total
Ingeniarles	3744
Utilidad	0
<b>total</b>	<b>\$ 3744</b>

**7.3 Costo total de la máquina de moldeo**

El costo total de la máquina de moldeo encuentra en la Tabla 92.

**Tabla 92***Costo total de la máquina de moldeo*

Costos	Precio total
Costos directos	32858.54
Costos indirectos	3744
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 34768.48</b>

Fuente: Elaboración Propia.

## 7.4 Rentabilidad de la máquina de moldeo

### a) Depreciación

La depreciación es pérdida del precio de la máquina esta se debe al uso, paso del tiempo, etc. Se puede determinar con la comparación del precio u otras cosas de la misma clase.

La depreciación según el **Reglamento de la Ley del Impuesto a la Renta (Artículo 22°)** para maquinaria y equipos se tiene una tasa anual de 10% o una vida útil de 10 años.

### b) Valor de salvamento

Es el valor que la máquina tendrá una vez cumplido su vida útil, consideramos que la vida útil para equipos y maquinarias es 8 años, por lo tanto, el valor de salvamento se calcula con la ecuación 168:

$$V_{salv} = V_{inicial} - \frac{V_{inicial} * n_u}{N} \quad (168)$$

Donde:

$V_{salv}$ : valor de salvamento en \$

$V_{inicial}$ : valor de costo inicial de la maquina de moldeo \$

$n_u$ : tiempo de vida util 8 años

$N$ : tiempo de depreciacion 10 años

Sustituyendo los valores en la ecuación 168 se tiene el valor de salvamento.

$$V_{salv} = 34768.48 - \frac{34768.48 * 8}{10} = \$ 6953.7$$

### c) Cálculo de la depreciación

La depreciación se determina teniendo en cuenta la duración o tiempo de vida útil de la máquina el cual se considera como el provecho de la máquina para la empresa considerando la producción y el tiempo.

Para determinar la depreciación se emplea el método de la línea recta el cuales el más utilizado por las empresas y el cual se indica en **Reglamento de la Ley del Impuesto a la Renta (Artículo 22°)**. Se utiliza la ecuación 169.

$$D_{an} = \frac{V_{ini} - V_{salv}}{N} \quad (169)$$

Donde:

$D_{an}$ : Depreciación anual \$

$V_{ini}$ : Valor de costo inicial \$

$V_{salv}$ : Valor de salvamento \$

$N$ : Tiempo de depreciación 10 años

Al sustituir los valores en la ecuación 169 se tiene:

$$D_{an} = \frac{34768.48 - 6953.7}{10} = \$ 2781.48$$

La máquina se deprecia a 10 años con la cual se tiene la siguiente Tabla 93.

**Tabla 93**

*Depreciación a 10 años.*

Periodo	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada	Valor Anual
0	0	0	34768.48
1	2718.48	2718.48	31987.00
2	2718.48	5562.96	29205.52
3	2718.48	8344.44	26424.05
4	2718.48	11125.91	23642.05
5	2718.48	13907.39	20861.09
6	2718.48	16688.87	18079.61
7	2718.48	19470.35	15298.13
8	2718.48	22251.83	12516.65



Periodo	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada	Valor Anual
9	2718.48	25033.31	9735.17
10	2718.48	27814.79	6953.70

Fuente: Elaboración Propia.

## 7.5 Cálculo de ingresos

Para determinar los ingresos se calcula la producción mensual mediante la ecuación 170.

$$P_m = P_t * P_h * D_t \quad (170)$$

Donde:

$P_m$ : Producción mensual

$P_t$ : Periodo de trabajo  $8 \frac{h}{dia}$

$P_h$ : Producción  $7 \frac{bloques}{h}$

$D_t$ : Dias laborables al mes 26 dias

$$P_m = 8 \frac{h}{dia} * 7 \frac{bloques}{h} * 26 dias = 1456 bloques$$

El costo de venta de bloques de EPS para la construcción es de 11 soles o \$ 3 de dimensiones 3x0.3x0.15m el bloque fabricado es de dimensiones 3x1.25\*0.64m obteniéndose de este bloque 16 unidades de bloques de dimensiones de 3x0.3x0.15m, por lo tanto, se tiene el costo de un bloque de 3x1.25x0.64m:

$$C_{bloque} = 16 * 3 = 48 \frac{dolares}{bloque}$$

Por lo tanto, el ingreso mensual por la venta de bloques de EPS es de \$ 69888 al mes.

## 7.6 Cálculo de egresos

### a) Gastos de fabricación

El costo de la máquina de moldeo será de \$ 34768.48.

### b) Costo de materia prima (materia virgen)

El costo de la materia virgen de EPS es de 965 dólares/Tn teniendo o 0.965 dólares/kg, un bloque de EPS requiere 36 kg de materia virgen. Por lo tanto, para una producción de 1456 bloques la materia requerida es 52416 kg la cual se genera en egreso mensual de \$ 50581.44.

### c) Costo de consumo de energía eléctrica

La máquina funciona con un motor trifásico de 10 HP, el cual tiene una potencia de 7.5 KW. El consumo diario se determina con la siguiente ecuación 171.

$$E_{diario} = P_{motor} * t \quad (171)$$

Donde:

$E_{diario}$ : consumo diario KW – h

$P_{motor}$ : Consumo de motor KW

$t$ : Tiempo diario de consumo 8 horas/día

Sustituimos los valores en la ecuación 171.

$$E_{diario} = 7.5KW * 8 = 60 KW - h$$

Para consumos de 30 a 140 kW – h el precio es de aproximadamente 0.81soles por KW – h o 0.22 dólares por KW – h. para determinar el consumo diario se emplea la ecuación 172.

$$E_{dia} = E_{diario} * C_{costo KW-h} \quad (172)$$

Donde:

$E_{dia}$ : Costo diario

$E_{diario}$ : Consumo diario en KW – h

$C_{costo\ KW-h}$ : Valor en dolares KW – h

$$E_{dia} = 60KW - h * 0.22 = 13.2 \text{ dolares} \approx 48.6 \text{ soles}$$

Por lo tanto, el costo mensual trabajando los 26 días es:

$$E_{dia} = 60KW - h * 0.22 * 26 = 343.2 \text{ dolares} \approx 1201.1 \text{ soles}$$

#### d) Costo por operación de la máquina mensual

En la Tabla 94 se muestra los costos para la operación de la máquina de moldeo.

**Tabla 94**

*Costo por operación de la máquina de moldeo al mes.*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario en \$	Precio total en \$
1	Operario	Unid	2	309.59	619.18
2	Costos de energía eléctrica consumida	KW-h	1560	0.22	343.2
3	Depreciación		1	231.79	231.79
4	Materia prima	kg	1	50581.44	50581.44
TOTAL, MENSUAL					51,775.61

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.7 Cálculo del TIR (tasa interna de retorno)

Es un criterio que nos permite evaluar si un proyecto es rentable o no, si el TIR es mayor al costo del capital el proyecto es rentable.

**Figura 195***Evaluación financiera.***TASAS DE INTERÉS ACTIVAS DE MERCADO**

Ingrese fecha:   (dd/mm/aaaa)

**Tasa de Interés Activa Promedio de Mercado Efectiva al 06/06/2025**

Moneda Nacional(TAMN)	14.85%	Anual	Factor Diario	0.00038
			*Factor Acumulado <sup>1</sup>	9,902.10004
Moneda Nacional(TAMN + 1)	15.85%	Anual	Factor Diario	0.00041
			*Factor Acumulado <sup>1</sup>	19,505.89271
Moneda Nacional(TAMN + 2)	16.85%	Anual	Factor Diario	0.00043
			*Factor Acumulado <sup>1</sup>	38,192.26743
Moneda Extranjera(TAMEX)	9.58%	Anual	Factor Diario	0.00025
			*Factor Acumulado <sup>1</sup>	36.51679

**Tasa de Interés Promedio de las Operaciones Realizadas en los últimos 30 Días Útiles al 06/06/2025**

Moneda Nacional(FTAMN)	30.83%	Anual
Moneda Extranjera(FTAMEX)	11.49%	Anual

1: Acumulado desde el 01 de abril de 1991.

Fuente: Superintendencia de banca y seguros

[sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPortal/Paginas/TIActivaMercado.aspx?tip=B](https://sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPortal/Paginas/TIActivaMercado.aspx?tip=B)

Convertimos la tasa anual obtenida de la Figura 195 en tasa mensual de retorno con la ecuación 173.

$$T_{Mensual} = \sqrt[12]{(T_{Anual} + 1)} - 1 \quad (173)$$

$$T_{Mensual} = \sqrt[12]{(0.1149 + 1)} - 1 = 0.91\%$$

El tiempo a evaluar el proyecto será de 3 años.

**7.8 Cálculo del flujo de caja**

Para determinar el flujo de caja utilizamos la ecuación 174.

$$F_{caja} = VAI - VAE \quad (174)$$

Donde:

*VAI: Valor mensual de ingresos*

*VAE: Valor mensual de egresos*

$$F_{caja} = 69888 - 51775.61 = \$ 18112.39$$

En la Tabla 95 se presenta un resumen del costo de la máquina de moldeo.

**Tabla 95**

*Resumen de costos de la máquina de moldeo.*

<b>Inversión inicial \$</b>	<b>Ingreso mensual \$</b>	<b>Egreso mensual \$</b>	<b>Recuperación neta mensual \$</b>
34768.48	69888.00	51775.61	18112.39

Fuente: Elaboración Propia.

El flujo de caja esta dado por la Tabla 96.

**Tabla 96**

*Flujo de caja.*

<b>Tiempo</b>	<b>Flujo de caja</b>
Mes 0	-28600.33
Mes 1	18112.39
Mes 2	18112.39
Mes 3	18112.39
Mes 4	18112.39
Mes 5	18112.39
Mes 6	18112.39

Fuente: Elaboración Propia.

## 7.9 Cálculo de VAN (Valor Actual Neto)

$$VAN = \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{f_n}{(1+i)^n} - I_0 \quad (175)$$

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial

$f_{caja}$ : Flujo de caja neto por periodo

$i$ : Tasa de descuento 15% según Superintendencia de banca y seguros 2025

$n$ : Número de periodos

Al sustituir los valores en la ecuación 175 se obtiene:

$$VAN = \frac{18112.39}{(1 + 0.0091)^1} + \frac{18112.39}{(1 + 0.0091)^2} + \frac{18112.39}{(1 + 0.0091)^3} - 34768.48 = \$ 18594.04$$

### 7.10 Cálculo de TIR (tasa interna de retorno)

Es la tasa con la cual el valor actual neto se hace cero, es decir que la máquina se pague en los tiempos establecidos. Para determinar el valor de TIR se emplea la ecuación 176.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_{caja}}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \quad (176)$$

$$VAN = \frac{18112.39}{(1 + TIR)^1} + \frac{18112.39}{(1 + TIR)^2} + \frac{18112.39}{(1 + TIR)^3} - 34768.48 = 0$$

$$TIR = 0.2002 = 20.02\%$$

Para determinar la tasa interna de retorno mensual se calcula con la ecuación 173.

$$TIR_{Mensual} = \sqrt[12]{(0.2002 + 1)} - 1 = 1.53\%$$

El TIR calculado para este proyecto es de 1.53%, el cual es mayor que el interés efectivo del banco 0.97 %. Por tal razón el proyecto es óptimo.

El VAN que se obtuvo para una tasa de interés del 0.97% es de \$ 18594.04 la cual es mayor que cero, siendo el proyecto aceptable.

## CONCLUSIONES

Realizado el trabajo de investigación, podemos concluir que se alcanzaron los objetivos planteados, así como también, se realizó la cita de datos claves para el desarrollo del proyecto de investigación.

1. Se determino el modelo conceptual utilizando la metodología de diseño según la norma VDI 2221, con la cual se obtuvo la mejor solución, esta es la máquina de moldeo tipo horizontal con puerta frontal la cual es accionada mediante cilindros hidráulicos, la expulsión de bloques de EPS y asegurado de puertas también es accionada por cilindros hidráulicos los cuales transforma la energía hidráulica en energía mecánica, además los bloques de EPS contendrán un 15 % de material reciclado.
2. A partir de la revisión documentaria y las mediciones en campo, se determinaron las condiciones operativas óptimas para la máquina de moldeo de EPS, estableciéndose una presión de moldeo de  $1.55 \text{ kg/cm}^2$ , una presión de vapor de  $1.22 \text{ kg/cm}^2$  y una temperatura de operación de  $115^\circ\text{C}$ , garantizando la correcta expansión y fusión del material. El tiempo total de moldeo es de 8 minutos, distribuidos en 5 minutos de vaporización y 3 minutos de enfriamiento o estabilización, lo cual asegura una producción eficiente y uniforme.

Se desarrolló el diseño mecánico integral de los componentes principales de la máquina, seleccionándose materiales ASTM A36, ASTM A500 Grado B y AISI 4041, que cumplen con los factores de seguridad requeridos y aseguran el desempeño estructural dentro del rango elástico. El sistema hidráulico, dimensionado para un flujo de  $24.154 \text{ L/min}$  y una presión de  $110.04 \text{ bar}$ , es accionado por un motor de 10 HP, proporcionando el movimiento de apertura, cierre y expulsión de manera rápida y controlada.

Asimismo, mediante un balance energético integral, se determinó la demanda térmica total del proceso, permitiendo la selección de una caldera pirotubular de 100 BHP, capaz de suministrar 1270 kg/h de vapor saturado a 8 bar, cumpliendo con los estándares de seguridad establecidos por las normas ASME. Además, se dimensionaron y optimizaron los sistemas auxiliares: el de vapor, garantizando una distribución uniforme mediante tuberías de 2½" y 4" SCH 40; el transporte neumático, con un ventilador centrífugo KM 251 R1A de 1.5 kW; y el enfriamiento por vacío, que reduce la presión a 200 mbar con una capacidad de succión de 645 m³/h, permitiendo una rápida evacuación del calor y una estabilización del bloque de EPS en solo 18 s, frente a los 3 min de un enfriamiento natural.

3. Se realizó la selección del mezclador cónico vertical en función del flujo volumétrico mínimo requerido de 18 m³ /h con un tiempo de mezclado de 8 min para mezclar EPS virgen al 85% y reciclado de EPS al 15%, se obtuvo las dimensiones, el volumen útil de 3.12m³ y volumen total del mezclador de 10.4m³, con el que se seleccionó un mezclador comercial el modelo C-5000 del fabricante CON-Y-MIX. La potencia del tornillo sinfín y del brazo orbital se obtuvo un valor de 3.11 hp considerando que el material de mezcla tiene una baja densidad aparente del EPS (15 kg/m³).
4. La simulación CFD realizada en ANSYS Fluent permitió caracterizar el comportamiento del vapor de agua dentro de la cámara de moldeo, evidenciando una distribución no uniforme de temperatura con variaciones de aproximadamente 8 °C en el plano medio axial. Esta heterogeneidad es significativa, ya que revela la presencia de zonas de recirculación y estancamiento que influyen directamente en la distribución térmica interna, aspecto determinante para asegurar una transferencia de calor uniforme durante el proceso de moldeo del EPS.



La distribución de presión en la cámara fue relativamente homogénea, con un valor promedio de 88.69 kPa, mientras que el campo de velocidades presentó regiones de baja velocidad en las esquinas y velocidades moderadas entre 0.4 y 1.1 m/s en la zona central, lo que indica un régimen de flujo estable dentro del volumen de análisis.

La simulación estructural de la estructura soporte evidenció deformaciones máximas de 0.31 mm en condiciones de puerta cerrada y 0.057 mm con puerta abierta, junto con factores de seguridad de 6.03 y 26.9 respectivamente, lo cual confirma que la estructura tubular fabricada con acero ASTM A500 Grado B cumple satisfactoriamente con los requerimientos mecánicos bajo las condiciones estáticas impuestas.

La plancha ranurada de acero ASTM A36, sometida a condiciones térmicas y de presión, presentó un esfuerzo máximo de Von Mises de 154.17 MPa, una deformación máxima de 0.35 mm y un factor de seguridad de 1.62, por lo que se concluye que el diseño actual es estructuralmente adecuado, aunque con concentraciones de esfuerzo localizadas en las ranuras que deben ser consideradas en el análisis mecánico del componente.

La simulación realizada en Rocky DEM permitió evaluar el comportamiento del mezclado entre perlas de EPS virgen y reciclado, obteniéndose una eficiencia de mezclado del 71.8 % con una proporción de masa de 4 frente a un valor de referencia de 5.67, lo cual representa un grado aceptable de homogeneización del material en el volumen de análisis modelado.

La representación del sistema con partículas esféricas de 5 cm de diámetro permitió reducir significativamente el tiempo de cómputo sin comprometer la representación cualitativa de la relación volumétrica entre los tipos de partículas, logrando una distribución visualmente homogénea en la región central del recipiente.

5. Se realizó el cálculo del VAN (19622.27) el cual es positivo, con la tasa de interés efectivo pasivo vigente del banco 0.97%. el TIR (2.88%) es mayor a la tasa de interés del banco. Teniéndose así el costo de la máquina de moldeo de \$ 33698.54. Se concluye que el proyecto es rentable.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el diseño de la máquina se realice con el 20 % de material reciclado para determinar el comportamiento de la máquina bajo esa condición.
2. Se recomienda realizar pruebas experimentales a bloques de EPS que contengan material reciclado triturado y compararlas con bloques que contengan material reciclado picado en forma de pequeños bloques de EPS para determinar las propiedades mecánicas de bloque de EPS para un 15% a más de material reciclado.
3. Se recomienda realizar el diseño del sistema de automatización mediante la ingeniería de control.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alden, j. L. (1982). DESIGN OF INDUSTRIAL VENTILATION SISTEMS. En j. L. Alden, *DESIGN OF INDUSTRIAL VENTILATION SISTEMS* (pág. 186). New York: 5th Edicion Industrial Press Inc.
- Alva, F. (2008). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS I*. Lima, Perú: UNI.
- Barrera, G., Ocampo, L., & Olaya, J. (2017). Production and Characterization of the Mechanical and Thermal Properties of Expanded Polystyrene with Recycled Material. *Pontificia Universidad Javeriana Bogotá*, 21(2), 177-194. doi:10.11144
- Barriga, B. (1995). *Métodos de diseño en ingeniería mecánica*. Lima: PUCP.
- BASF. (2001). *Informacion Tecnica Styropor*. Ludwigshafen, Alemania: BASF Aktiengesellschaft.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnologia de Polimeros*. San Vicente: Universidad de Alicante.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnologia de Polimeros*. San Vicente: Universidad de Alicante.
- Bermúdez, E. (2017). *DISEÑO Y SIMULACION DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA DE PRE-EXPANSION POR LOTES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)*. (Tesis para obter el titulo de ingeniero de diseño y automatización electrónica), Universidad de la salle, Facultad de ingeniería , Bogota. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_automatizacion/40](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/40)
- Billmeyer, F. (1978). *"Ciencia de los Polímeros"* (2° ed.). Encarnación Barcelona: Reverté S.A.
- Bonilla Olivera, M. J., & Rujel Avalos, J. E. (2005). *INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO Y CONTENIDO DE MATERIAL DE RECICLO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y*

- TERMICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].* Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14414/9129>
- Bonilla, M., & Rujel, J. (2005). *INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO Y CONTENIDO DE MATERIAL DE RECICLO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y TERMICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO [Tesis de pre grado, Universidad Nacional de Trujillo].* Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14414/9129>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2021). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (UNDÉCIMA ed.). (V. Jorge A., & C. Carlos R., Trans.) Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Calancho, R. (2018). *SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE UNA MATRIZ DE INYECCIÓN DE PLASTICO POR EL PROCESO DE CONFORMADO CON ARRANQUE DE VIRUTA.* (Tesis para optar título profesional de Ingeniero Metalurgista), Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8281>
- CASO, M. (2008). BRAZO EXCAVADOR COMPACTO. *BRAZO EXCAVADOR COMPACTO.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1044>
- Ccarita, N. (2020). *Diseño de compuerta Hidráulica con cierre automático de emergencia mediante uso de acumuladores hidráulicos para descarga de mineral de Ore Bin de 3000 TN, Minera Barrick.* UNSAAC, Cusco, Perú.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa.* Nevada ,California: Mc Graw Hill.

- Chico, F. M. (2011). *PREMEZCLADO DE SOLIDOS INERTES PARA LA PRODUCCION DE DINAMITA MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MEZCLADOR CONICO VERTICAL PILOTO*. Quito, Ecuador: Escuela politecnica Nacional.
- Cimbala, Yunus Cengel y John. (2006). *Mecanica de Fluidos Fundamentos y Aplicacione*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Echeverri, C. A. (2006). *Diseño óptimo de ciclones*. Medellín, Colombia: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- Fernández, M., Basiuk, L., Meyra, A., Irastorza, R., & Madrid, M. (2021). *Mecanica Tecnologica* (Vol. Volumen 3). Buenos Aires ,Argentina: Publicacion del departamento de Ingenieria Mecanica.
- Fernando J. Muzzio, A. A. (2004). *Handbook of Industrial Mixing Scince and Practice*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Fischer, J. (1958). *Practical Pneumatic Conveyor Design*. CHEMICAL ENGINEERING.
- Foronda, L., & Palacios, O. (2017). *"DISEÑO DE UN PROCESO DE FABRICACIÓN DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA."*. (Tesis para optar el titulo de Ingeniero Químico ), Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20468>
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mecanica de Materiales* (Séptima ed.). Cruz Manca, Santa Fe, México : Cengage Learning.
- Giesler, K., Bayer, J., & Trommer, S. (2000). *Alemán Patente n° DE19809250A1*.
- Gonsales, P. E. (2011). *Sistema de transporte neumático para quinua con una capacidad de 1200 kg/h*. Lima, Peru: Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Gonzalez, P. (2006). *Transporte neumático de quinua*. Lima, Peru: Universidad Católica del Peru.
- Guzman, K., & Prado, H. (2019). *Propuesta técnica y ambiental para el óptimo aprovechamiento del poliestireno expandido pos consumo en Colombia, a partir de las empresas localizadas en Bogotá D.C.* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Ambiental y Sanitario), Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá D.C. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1145](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1145)
- Harper, C. A., & Petrie, E. M. (2003). *Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia*. John Wiley ; Sons. Recuperado el 3 de Mayo de 2020, de <http://1.droppdf.com/files/thHhg/encyclopedia-of-plastics-materials-and-processes.pdf>
- Hernández, M. (2018). *Estudio del comportamiento del poliestireno expandido a distintas condiciones de proceso, usando el simulador aspen polymers*. (Tesis para optar el grado de maestro), Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, División de Estudios de Posgrado e Investigación , Madero. Obtenido de <https://www.repositorionacionalcti.mx/autor/MIGUEL+OMAR+HERNANDEZ+GOYTORTUA>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Santa Fe, México: McGraw-Hill.
- Hough, M., & Dolbey, R. (1995). *The Plastics Compendium: Key properties and sources*. Rapra Technology LTD. Obtenido de <https://epdf.pub/the-plastics-compendium-volume-1.html>
- LÓPEZ, A. M. (2020). Distribucion del vapor. *SPIRAX SARCO*, 21.
- Martin. (2010). *Catalogo Martin*. Texas, EE.UU: El Gran Catalogo.

- Martín, A. N. (2015). *ESTUDIO DE MÉTODOS DE DIMENSIONADO Y DISEÑO DE INSTALACIONES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE SÓLIDOS EN FASE DISPERSA*. ZARAGOZA: Escuela de Ingeniería y Arquitectura.
- Martínez, I. (2014). *Estudio tribológico de acero para moldes. Aplicación al modelo por inyección de polibutilentereftalato reforzado con fibra de vidrio*. (Tesis doctoral), Universidad Politecnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería de Materiales y Fabricación, Cartagena. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10317/4233>
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero* (Quinta ed.). Colonia del Valle, México: Alfaomega.
- Micron, H. (2005). *VRIECO-NAUTA® MIXING TECHNOLOGY*. Netherlands.: Process Technologies for Tomorrow.
- Mills, D. (2004). *Pneumatic Conveying Design Guide*. Chennai,India: British Library.
- Mills, D. (2004). *Pneumatic Conveying Design Guide*. Chennai,India: British Library.
- Moot, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Atlacomulco, México: Pearson educacion.
- Núñez, G. (2012). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE LUBRICACION PARA UN MOLINO SAG 32"X32" DE 621 DMTPH DE CAPACIDAD*. Universidad Catolica de Santa Maria, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/7914>
- Odian, G. (2004). *"Principles of Polymerization"*. New Jersey: John Wiley ; Sons Hoboken.
- Ordoñez, A. G. (2016). *"Diseño de una Línea de Producción de Fertilizantes Pulverizados"*. Guayaquil, Ecuador: Facultad De Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Produccion.
- Ortegas Rivas, E. (2005). *Handling and Processing of Food Powders and Particulars*. USA: Editado por Onwulata C.



- Pazmiño, E. (2014). *"REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA BLOQUERA VARIANDO LA ESTRUCTURA DEL MOLDE PARA RECICLAR EL MATERIAL DE DESECHOS EN LA EMPRESA PANECONS."* (Proyecto de titulación para la obtención del título de ingeniero en electromecánica), Universidad de las fuerzas armadas - ESPE, Departamento de eléctrica y electrónica, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9160>
- PFEIFFER, V. (2013). *The Vacuum Technology*. Mainz, Germany: Pfeiffer Vacuum GmbH.
- Ponpetravaini. (2023). *MANUAL OPERATIVO DE LAS BOMBAS DE VACÍO Y COMPRESORES DE ANILLO LÍQUIDO*. Milano, Italia: POMPETRAVAINI S.p.A.
- Pospisil, J. (2007). *HIDRAULICA BASICA*.
- Proaño, F. M. (2011). *Premezclado de Sólidos Inertes para la Producción de Dinamita , Mediante el Diseño y Construcción de un Mezclador Cónico*. Quito, Ecuador: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial.
- SENCICO. (2014). Manual de instalación de techo aligerado con viguetas prefabricadas de acero. Recuperado el 3 de Mayo de 2020, de <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?id=71>
- Shahab Golshan, Reza Zarghami, Hamid Reza Norouzi, Navid Mostouf. (26 de setiembre de 2016). Granular Mixing in Nauta Blenders. *Powder Technology*, págs. 32-48.
- Timoshenko, S. (1957). *Resistencia de materiales*. (T. Delgado Pérez de Alba, Trad.) Madrid: ESPASA-CALPE, S.A.
- Vacuum, M. (2020). *Tipos de Bomba de Vacío*. Barcelona, España: Marpa Vacuum.
- Valverde, O., & Martinez, E. (2009). Selección de sistema de Vacío Utilizando Bombas Tipo Distribuidor Giratorio Para Máquina Llenadora de Cerveza. *Revista tecnologica ESPOL*, 8.

Vega, L. E., & Rodríguez, L. E. (2007). *Pérdidas de presión en tuberías de vapor*. Holguín, Cuba: Ciencias Holguín, vol. XIII, núm. 3.

Weston, M. F. (1985). *Ultrahigh vacuum practice*. Londres, Reino Unido: British Library Calaloguing.

## **ANEXOS**

# ANEXO A: FICHA TECNICA DE TUBO CUADRADO Y RECTANGULARES DE ACERO

## CUADRADOS Y RECTANGULARES LAC A500 GRADO B

ASTM A500 GRADO B



### NORMA TÉCNICA

ASTM A500 GRADO B

### PRESENTACIÓN

Longitudes de 6 metros con extremos libres de rebordes y con recubrimiento negro.

### USO

Estructuras metálicas antisísmicas; tramas y de gran resistencia; columnas de edificios, vigas, tijerales, carrocería, etc.

### CARACTERÍSTICAS

Tubos fabricados a partir de planchas laminados en caliente mediante soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia (ERW).

#### TUBO CUADRADO GRADO B

Dimensiones			Peso Teórico (kg/m)
NOMINAL (mm)	EXTERIOR (mm)	Espesor (t) (mm)	
25x25	25,0	2,0	1,47
40x40	40,0	2,0	2,42
50x50	50,0	2,0	3,04
50x50	50,0	2,3	3,48
50x50	50,0	2,9	4,35
60x60	60,0	2,0	3,67
75x75	75,0	2,0	4,61
125x125	125,0	2,9	11,18
200x200	200,0	4,2	25,95
200x200	200,0	5,7	35,01

#### Composición Química

Carbono (%) máx.	0,300
Manganeso (% máx.)	1,400
Fósforo (%) máx.	0,045
Azufre (%) máx.	0,045
Cobre (%) mín.	0,180

#### TOLERANCIAS DIMENSIONALES

Espesor: +/- 10% valor nominal
Longitud: +12,7 / -6,4 mm

#### TUBO RECTANGULAR GRADO B

Dimensiones			Peso Teórico (kg/m)
NOMINAL (mm)	EXTERIOR (mm)	Espesor (t) (mm)	
40x20	40x20	2,0	1,79
50x30	50x30	1,8	2,18
50x30	50x30	2,0	2,42
60x30	60x30	2,0	2,73
60x30	60x30	2,3	3,12
60x40	60x40	2,0	3,04
75x45	75x45	2,0	3,67
75x45	75x45	2,3	4,21
100x50	100x50	2,9	6,63
125x75	125x75	2,9	8,90
150x75	150x75	2,9	10,04
150x75	150x75	3,2	11,06
150x75	150x75	4,0	13,74
150x75	150x75	4,5	15,41
200x150	200x150	4,0	21,60
200x150	200x150	5,7	30,54
250x100	250x100	4,2	22,66

#### Propiedades Mecánicas (GRADO B)

Propiedades Mecánicas (GRADO B)	Cuadrados y Rectangulares
Esfuerzo de fluencia (mín) Mpa	400
Resistencia a la Tracción (mín) Mpa	315

Av. Ramiro Priale Mz A, Lt 10-B, Huachipa - Lurigancho - Lima

994 109 503 / 989 248 204 Central: +511-3710628

comercial@acerostramontana.com

www.acerostramontana.com

## ANEXO B. FICHA TÉCNICA DE CILINDRO HIDRÁULICO AMORTIGUADOS Y SIN AMORTIGUACIÓN

### Cilindros Hidráulicos Amortiguados y sin amortiguación

**De doble efecto**  
Ø 40 hasta 250 mm

**Presión máxima de trabajo**  
PN [p max.] = 200 bar





**Campo de Hidráulica**



#### Características:

- Construcción con templadores.
- Amortiguación a elegir.
- Carrera adaptada a solicitud del cliente.

#### Anotaciones:

- Otros materiales para los sellos a solicitud.
- Los cilindros se entregan con pintura base.
- Medidas especiales de los cilindros a consultar.
- Diseño estándar según DIN ISO 6020-1.
- Diseños especiales según necesidades del cliente.



#### Descripción:

Tipo de Sujeción	Ver características (Pág 2)	Materiales	Bridas, acero
Conexión	Rosca interior (ver tabla)		Tubo, acero ST52
Posición de Montaje	Cualquiera		Vástago, Acero CK45 cromado duro
Amortiguación	A elegir con o sin amortiguación		Sellos, Perbunan
Fluido	Regulable en los extremos	Rango de viscosidad	3 hasta 300
Rango de temperatura (°C)	Aceite hidráulico	cSt (mm²/s)	
Presión de trabajo estática y Dinámica máx. (bar)	- 20 hasta 80 200	Presión de prueba	300
		estática máx. (bar)	



**FLUIDTEK S. R. L.**  
NEUMÁTICA - HIDRÁULICA - VALVULAS SOLENOIDES Y PROYECTOS

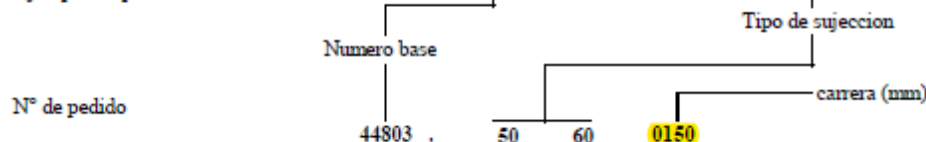
Jr. Raúl Porras Barrenechea 2134 - Lima 01 Telf.: (01) 6197100 / 814\*2021 Fax: (01) 425-7962  
e-mail: [ventas@fluidteksrl.com](mailto:ventas@fluidteksrl.com) - [fluidtekventas@hotmail.com](mailto:fluidtekventas@hotmail.com)



## Magnitudes Características

Embolo Ø (mm)	Vástago Ø (mm)	Conexión	Área de embolo (cm <sup>2</sup> )	Área anular (cm <sup>2</sup> )	Long. De amortiguación (mm)	Numero Base		Tipo de sujeción									
						Amortiguación en ambos lados	Sin amortiguación	Del cilindro								Del vástago	
								Ejecución básica	Sujeción con patillas	Pivote intermedio	Pivote esférico	Brida posterior	Brida anterior	Pivote posterior	Ejecución básica	Horquilla	Rotula
40	20	G3/8	12,57	9,42	35	44801	44824	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
40	25	G3/8	12,57	7,67	-	-	44825	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
50	20	G1/2	19,63	16,48	40	44802	44826	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
50	25	G1/2	19,63	14,73	40	44803	44827	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
50	32	G1/2	19,63	11,59	-	-	44828	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
63	25	G1/2	31,17	26,27	40	44804	44829	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
63	32	G1/2	31,17	23,13	40	44805	44830	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
63	40	G1/2	31,17	16,60	-	-	44831	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
80	32	G3/4	50,27	42,27	40	44806	44832	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
80	40	G3/4	50,27	37,70	45	44807	44833	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
80	50	G3/4	50,27	30,64	45	44808	44834	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
100	40	G3/4	78,54	65,97	45	44809	44835	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
100	50	G3/4	78,54	58,90	48	44810	44836	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
100	63	G3/4	78,54	47,37	48	44811	44837	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
125	50	G1	122,52	102,89	48	44812	44838	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
125	63	G1	122,52	91,55	50	44813	44839	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
125	80	G1	122,52	72,25	50	44814	44840	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
160	63	G1	201,06	169,89	50	44815	44841	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
160	80	G1	201,06	150,80	50	44816	44842	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
160	100	G1	201,06	122,52	55	44817	44843	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
200	80	G1 1/4	314,16	283,89	55	44818	44844	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
200	100	G1 1/4	314,16	235,62	55	44819	44845	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
200	125	G1 1/4	314,16	181,64	60	44820	44846	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
250	100	G1 1/2	490,9	412,36	60	44821	44847	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
250	125	G1 1/2	490,9	368,38	75	44822	44848	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62
250	150	G1 1/2	490,9	289,84	75	44823	44849	50	51	52	53	54	55	56	60	61	62

Ejemplo de pedido



Vista mirando el vástago

= Posición de conexión  
1 para fabricaciones en serie

Datos necesarios para la elección con purga:

1. Elección en: Brida anterior, posterior o en ambas
2. Posición del tornillo de purga (4)
3. Posición de montaje del cilindro

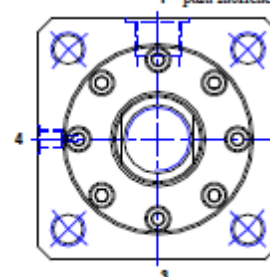
Posición del estrangulamiento  
de amortiguación







Tabla de Medidas (medidas en mm)

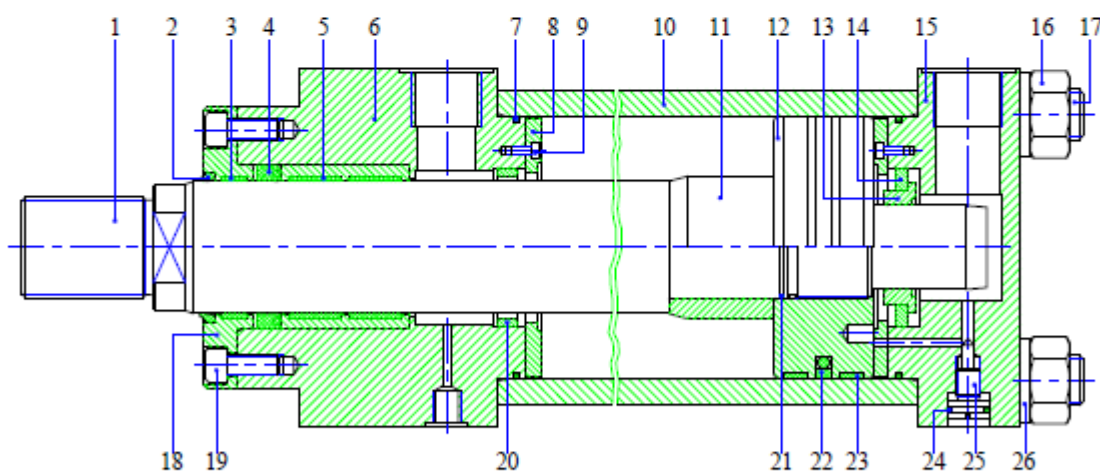
Con amortiguación

Toleran.			f8				js 13	H7	f8	DIN ISO					
Embolo Ø	Ø d1	d2	Ø d3	Ø d4	Ø d5	Ø d6	Ø d7	Ø d8	Ø d9	Ø d10	Ø d11	d12	A	B	C
40	20	M 16x1,5	50	18	130	9	106	20		G 3/8	67	M 8	22	35,5	18
50	20	M 16x1,5	65	18	154	11	126	25		G 1/2	86	M 10	22	42	24
50	25	M 20x1,5											28		
63	25	M 20x1,5	74	18	177	14	145	32		G 1/2	98	M 12	28	52	32
63	32	M 27x2											36		
80	32	M 27x2											36	58,5	
80	40	M 33x2	86	22	203	18	165	40		G 3/4	115	M 16	45	58,5	39
80	50	M 42x2											45	62	
100	40	M 33x2											45	62	
100	50	M 42x2	114	26	245	22	200	50		G 3/4	151	M 20	56	67	44
100	63	M 48x2											63	67	
125	50	M 42x2											56	70	
125	63	M 48x2	134	26	280	22	235	63		G 1	179	M 24x2	63	70	46
125	80	M 64x3											85	76	
160	63	M 48x2											63	67	
160	80	M 64x3	162	33	325	22	280	80		G 1	224	M 27x2	85	73	44
160	100	M 80x3											95	77	
200	80	M 64x3											85	82	
200	100	M 80x3	188	39	395	26	340	100		G1 1/4	268	M 30x2	95	82	49
200	125	M 100x3											112	90	
250	100	M 80x3											95	94	
250	125	M 100x3	230	42	485	32	420	120	125	G1 1/2	348	M 42x3	112	101	60
250	150	M 125x4											135	107	

Toleran.									±0,3						
Embolo Ø	Ø d1	D	D1	±F	G	G1	G2	H	J	K	L	L1	L2	L3	L5
40	20	33,5	16	65	54	37	20	15	20,5	19	188,5	168	228,5	104,5	180,5
50	20	45	17	75	61	33	24	19	23	25	218	195	270	122	208
50	25														
63	25	41	16	90	56,5	31,5	28	25	27	32	227	200	264	131	215
63	32														
80	32														
80	40	46,5	19,5	110	65,5	38,5	32	32	26,5	38	260,5	234	344,5	149	244,5
80	50								30		272	242	356	152,5	256
100	40								30		265		361	155	246
100	50	44	19	140	63	38	32	32	35	50	270	235	366	160	251
100	63														
125	50														
125	63	70	25	170	94	49	40	32	38	63	326	288	430	204	303
125	80								44		332		436	210	309
160	63								31		366		497	212	342
160	80	70	27	205	95	52	45	36	37	80	372	335	503	218	348
160	100								41		376		507	222	352
200	80														
200	100	79	34	245	109	64	52	38	44	100	421	377	593	266	393
200	125								52		429		601	274	401
250	100								44		490		689		449
250	125	106	37	320	140	71	60	50	51	125	497	446	696	-	456
250	150								57		503		702		462

Toleran.				h13	js 16			±2	-0.3								
Embolo Ø	Ø d1	M	N	O	P	S	T	U	V	W	X	Y	Z1	Z2	α(°)	SW	
40	20	30	82	90	16	32	105	135	40	50	25	60,5	25	-	4	16	
50	20	38	100	105	20	40	125	160	50	65	31	59	17	31	4	16	
50	25															20	
63	25	45	120	120	25	40	145	180	63	72	38	70	18	36	4	20	
63	32															27	
80	32	50	145	135	32	50	177	220	71	78	49	78,5	20	38	4	27	
80	40											78,5				34	
80	50											82				43	
100	40	60	170	160	40	60	220	270	90	91	59	85	23	45	4	34	
100	50											90				43	
100	63											90				50	
125	50	80	205	195	50	60	245	295	112	140	71	94	24	2x46	4	43	
125	63											94				50	
125	80											100				65	
160	63	100	240	240	63	70	290	350	125	160	90	95	28	2x52	4	50	
160	80											101				65	
160	100											105				82	
200	80	150	295	295	80	80	348	420	150	188	112	115	33	2x61	4	65	
200	100											115				82	
200	125											123				103	
250	100	-	-	-	-	100	410	490	195	215	127	129	35	2x72,5	-	82	
250	125											136				103	
250	150											142				128	

## Sección



- |                            |                                  |                                       |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1.- Vástago                | 10.- Tubo                        | 19.- Perno                            |
| *2.- Rascador              | 11.- Buje amortiguador           | 20.- Arandela de amortiguación 2      |
| *3.- Banda guía de vástago | 12.- Embolo                      | *21.- O-ring de vástago               |
| *4.- Sello de vástago      | 13.- Bocina de amortiguación     | *22.- Sello compuesto de embolo       |
| *5.- Banda guía de vástago | 14.- Arandela de amortiguación 1 | *23.- Banda guía de embolo            |
| 6.- Cabezal delantero      | 15.- Cabezal posterior           | *24.- O-ring de tornillo amortiguador |
| *7.- O-ring de tubo        | 16.- Tuerca                      | 25.- Tornillo amortiguador            |
| 8.- Arandela               | 17.- Templador                   | 26.- Arandela de presión              |
| 9.- Perno                  | 18.- Tapa delantera              |                                       |

Todas las piezas marcadas con \* se encuentran en el conjunto de piezas desgastables.

## Sin Amortiguación

Toleran.																											
Embolo Ø	Ø d1	d2	A	B	C	D	D1	G	G1	J	L	L1	L2	L3	L4	L5	Y										
40	20	M 16x1,5	22	35,5	18	30	14	43	27	20,5	173	152,5	213	93,5	80	165	60,5										
40	25	M 20x1,5	28	37,5						22,5	175,5	153	215,5	95,5		167,5	62,5										
50	20	M 16x1,5	22	=	=	=	=	=	=	=	206	183	258	=	120	196	=										
50	25	M 20x1,5	28								24		207			259		123	197	60							
50	32	M 27x2	28								43																
63	25	M 20x1,5	28	=	=	=	=	=	=	=	213	186	270	=	113	201	=										
63	32	M 27x2	36																								
63	40	M 33x2	36																								
80	32	M 27x2	36	=	=	=	=	=	=	=	246,5	220	330,5	=	132	230,5	=										
80	40	M 33x2	45								250		334			234											
80	50	M 42x2	45																								
100	40	M 33x2	45	=	=	=	=	=	=	=	251	221	347	=	124	232	=										
100	50	M 42x2	56								256		352			237											
100	63	M 48x2	63																								
125	50	M 42x2	56	=	=	=	=	=	=	=	312	274	416	=	171	289	=										
125	63	M 48x2	63								318		422			295											
125	80	M 64x3	85																								
160	63	M 48x2	63	=	=	=	=	=	=	=	348	317	479	=	201	324	=										
160	80	M 64x3	85								354		485			330											
160	100	M 80x3	95								358	489	334														
200	80	M 64x3	85	=	=	=	=	=	=	=	400	356	572	=	223	372	=										
200	100	M 80x3	95								408		580			380											
200	125	M 100x3	112																								
250	100	M 80x3	95	=	=	=	=	=	=	=	397	353	596	-	192	356	=										
250	125	M 100x3	112								404		603			363											
250	150	M 125x4	135								410	609	369														

El signo (=) significa igual a la tabla de pistones con amortiguación

Las medidas que no aparecen son porque son iguales a la tabla de pistones con amortiguación

## ANEXO C. FICHA TECNICA DE BARRAS Y PLANCHAS

# FICHA TECNICA

## SAE 1045



Aceros para Herramientas Maquinaria	Norma		
	SAE/AISI	W. Nr.	DIN
	1045	1.1730	Ck45

Barras y planchas

### Aplicaciones

Placas de respaldo, bases, paralelas, etc. para moldes, piezas y partes de máquinas que requieren dureza y tenacidad como ejes, manivelas, chavetas, pernos, engranajes de baja velocidad, acoplamiento, bielas, pasadores, cigüeñales. También se utiliza en la fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas.



### Composición Química (Valores promedio, %)

C	Si	Mn	P	S
0,43 – 0,5	≤ 0,4	0,6 – 0,9	≤ 0,035	≤ 0,035

### Características del Acero

Acero no aleado y de medio contenido de carbono. Puede ser tratado térmicamente para endurecer su superficie, mediante tratamientos térmicos convencionales. Acero típico para el endurecimiento por inducción, pudiendo alcanzar durezas de hasta 58 HRC. Presenta una buena maquinabilidad pero baja soldabilidad.



## Propiedades del Acero

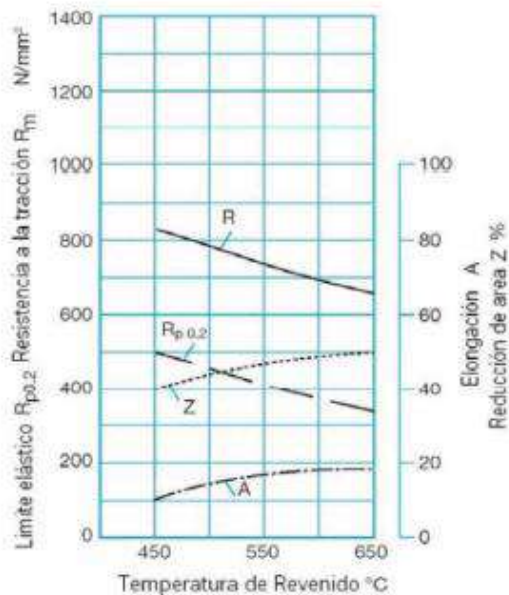
### Propiedades Mecánicas.

Resistencia a la tracción, $R_m$	640 Mpa
Límite Elástico $R_{p0.2}$	340 Mpa
Reducción de área, Z	40%
Elongación, $A_5$	20%

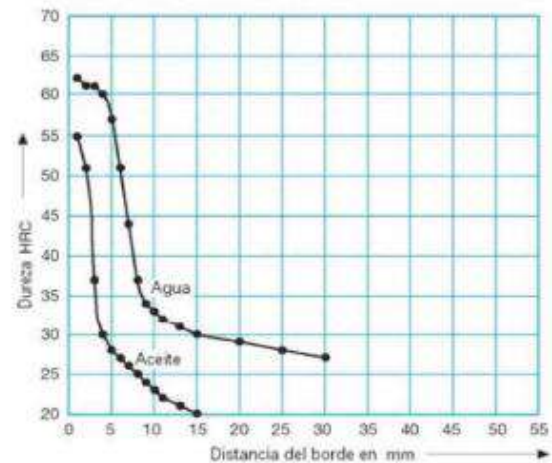
### Propiedades Físicas.

Temperatura	20° C	200°C	400°C
Densidad kg/m <sup>3</sup>	7870	7820	7750
Expansión térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	-	12	13,5
Modulo de elasticidad Gpa	195	193	177
Conductividad Termica W/m· °C	-	40	41

### Propiedades mecánicas en función de la temperatura



### Curva de Templabilidad Jominy





## Tratamiento Térmico

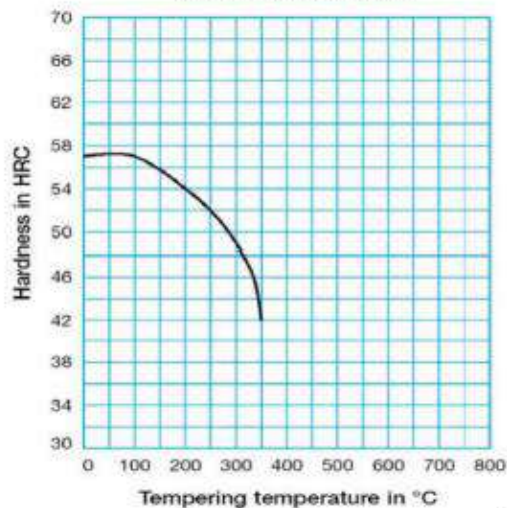
### Normalizado

Calentar la pieza hasta una temperatura de 900° C, luego enfriar al aire.

### Recocido

Para un estructura predominantemente perlítica, calentar a 840° C y luego enfriar en el horno a 650° C a una razón que no exceda 28° C por hora.

**Curva de revenido.**  
Probeta enfriada en agua



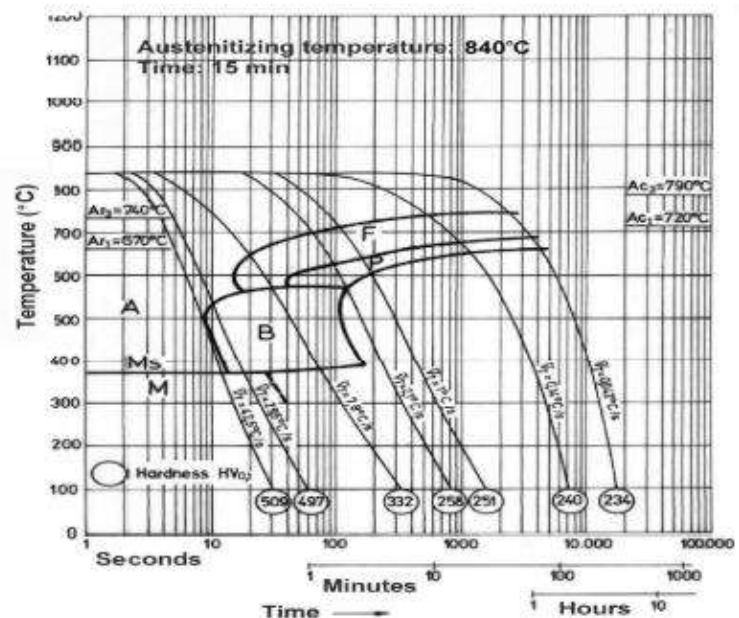
### Temple

Austenizar a 840° C y enfriar en agua o salmuera. Para secciones bajo 1/4" de espesor enfriar en aceite. Para temple en agua favor consultar con nuestros asesores técnicos o con su proveedor de tratamiento térmico.

### Revenido

Calentar después del temple para obtener la dureza requerida.

**Diagrama TTT**  
Temperatura tiempo  
transformación



## Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

### TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	150 – 220	220 - 300	50
Avance (f) mm/r	0,3 - 0,6	0,3	0,3
Profundidad de corte (ap) mm.	2 – 6	2	2
Mecanizado grupo ISO	P20 - P30 recubierto con Carburo	P10 recubierto con carburo o Cermet	-

### FRESADO

#### Fresado de acabado

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro integral	Insertado metal duro	Acero rápido
Velocidad de corte (Vc) m/min.	75	140 - 190	40 <sup>1)</sup>
Avance (fz) mm/diente	0,03 - 0,2 <sup>2)</sup>	0,08 - 0,2 <sup>2)</sup>	0,05 - 0,35 <sup>2)</sup>
Mecanizado Grupo ISO	K10	P10 – P20	—

1) Para fresas de acabado de acero rápido recubierto Vc = 50 m/min.

2) Dependiendo del tipo de fresado y diámetro de corte.

## Fresado frontal y axial

Parámetros de corte	Fresado con metal duro		Fresado con HSS
	Fresado de desbaste	Fresado en fino	Fresado fino
Velocidad de corte(vc) m/min.	160 -200	200 - 300	35
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1
Profundidad de corte (ap) mm.	2 - 5	2	2
Mecanizado grupo ISO	P20, P40 Carburo revestido	P10, P20 Carburo revestido	-

## TALADRADO

### Taladrado con brocas de acero rápido

Diámetro de la broca Ø mm	Velocidad de corte(vc) m/min.	Avance (f) Mm/r
5	25*	0,08 - 0,2
5-10	25*	0,2 - 0,3
10-15	25*	0,3 - 0,35
15-20	25*	0,35 - 0,40

\*Para brocas de acero rápido recubiertos vc = 35 m/min.

### Taladrado con brocas de carburo

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Taladro con canales de refrigeración <sup>1)</sup>
Velocidad de corte (vc) m/min.	175 - 225	85	75
Avance (f) mm/r	0,05-0,25 <sup>2)</sup>	0,10-0,25 <sup>2)</sup>	0,15-0,25 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Brocas con canales de refrigeración interna y plaquita de metal duro.

<sup>2)</sup> Dependiendo del diámetro de la broca.

## RECTIFICADO

A continuación ofrecemos unas recomendaciones generales sobre muelas de rectificado.

Tipo de rectificado	Muelas recomendadas	
	Estado de Recocido	Estado Templado
Rectificado frontal muela recta	A 46 H V	A 46 G V
Rectificado frontal por segmentos	A 24 G V	A 36 G V
Rectificado cilíndrico	A 46 LV	A 60 J V
Rectificado interno	A 46 J V	A 60 L V
Rectificado de perfil	A 100 L V	A 120 J V



## ANEXO D: CÓDIGO CILINDRO HIDRÁULICO POSICIONAMIENTO, VELOCIDADES, ACELERACIONES

```
%DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS
% (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021%
clc, clear
clear

AM = [0,0,0];
chi = 0;

a = 1330;      % La del cilindro + longitud del vastago variable (se fija) 2399.37
b = 350;      % En milímetros (fija)
c = 903.28;   % En milímetros (fija)
d = 633.86;   % En milímetros (fija)

t2 = 160 * pi / 180; % Angulo variable tetha2
t4 = 283 * pi / 180; % Angulo variable tetha4

Vps = 68.5;      % mm/seg: velocidad de salida del vastago
Aps = 0;         % Aceleracion de salida del vastago

for i = 1:490

    f1 = a.*cos(t2)-b.*cos(t4)+c;
    f2 = a.*sin(t2)-b.*sin(t4)-d;

    A = [-a.*sin(t2) b.*sin(t4); a.*cos(t2) -b.*cos(t4)];
    B = -[f1; f2];

    X = A \ B;

    vt2 = X(1);
    vt4 = X(2);

    e = 0.00001;

    while abs(vt2) > e & abs(vt4) > e

        t2 = t2 + vt2;
        t4 = t4 + vt4;

        f1 = a.*cos(t2)-b.*cos(t4)+c;
        f2 = a.*sin(t2)-b.*sin(t4)-d;

        A = [-a.*sin(t2) b.*sin(t4); a.*cos(t2) -b.*cos(t4)];
        B = -[f1; f2];

        X = A \ B;

        vt2 = X(1);
        vt4 = X(2);
    end

    % MATRIZ DE VELOCIDADES

    JX = [-a.*sin(t2) b.*sin(t4); a.*cos(t2) -b.*cos(t4)];
    Bv = [-Vps*cos(t2); -Vps*sin(t2)];

    Y = JX \ Bv;

    w2 = Y(1);
    w4 = Y(2);
```

```

% MATRIZ DE ACELERACIONES
Ja = [-a.*sin(t2) b.*sin(t4); a.*cos(t2) -b.*cos(t4)];
Ba = [a*w2^2*cos(t2) + 2*w2*Vps*sin(t2) - Aps*cos(t2) - b*w4^2*cos(t4);
      a*w2^2*sin(t2) - 2*Vps*w2*cos(t2) - Aps*sin(t2) - b*w4^2*sin(t4)];

Z = Ja\Ba;

alfa2 = Z(1);
alfa4 = Z(2);

t3 = t4 - t2;

M1 = [a, t2 * 180 / pi, t4 * 180 / pi, t3 * 180 / pi, w2, w4, alfa2, alfa4];

if chi==0
    AM=M1;
    chi=1;
else
    AM=[AM;M1];
end
a=a+1;
end
disp('      a      T2      T4      T3      W2      W4      ALFA2      ALFA4      ')
disp(AM)
A = AM(:, 1); T2 = AM(:, 2); T4 = AM(:, 3); T3 = AM(:, 4); W2 = AM(:, 5); W4 = AM(:, 6); ALFA2 = AM(:, 7); ALFA4 = AM(:, 8);
format short

figure(1)
plot(A, T2, A, T4, A, T3)
title('theta 2, theta 4 y theta 3 en funcion de a')
xlabel('a (Variación de Tamaño de Vástago del Piston)')
ylabel('theta 2, theta 4 y theta 3')
legend('Curva theta 2', 'Curva theta 4', 'Curva theta 3')
grid

figure(2)
plot(A, W2, A, W4)
title('w2 y w4 en funcion de a')
xlabel('Aps (Variación del Tamaño del Vástago del Piston)')
ylabel('w2 y w4')
legend('Curva w2', 'Curva w4')
grid

figure(3)
plot(A, ALFA2, A, ALFA4)
title('alfa2 y alfa 4 en funcion de a')
xlabel('Aps (Variación del Tamaño del Vástago del Piston)')
ylabel('alfa2 y alfa 4')
legend('Curva alfa2', 'Curva alfa4')
grid

```

## ANEXO E: FICHA TÉCNICA ACERO ASTM A-36

# FICHA TECNICA ACERO ASTM A-36



La ASTM A36 cubre los requerimientos químicos y mecánicos para formas de acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para uso en construcción remachada, atornillada o soldada de puentes, edificios y propósitos estructurales generales. Los pernos fabricados en acero A36 incluyen las especificaciones ASTM A307 y F1554 de grado 36, así como SAE J429 grado 2.

## A36 Requisitos mecánicos

Tensión, ksi	58 - 80
Rendimiento, min ksi	36
Elongación, min% en 2 "	20
Elongación, min% en 8 "	23

*Esta tabla abreviada muestra solamente los requerimientos mecánicos para barras. La tabla completa se puede encontrar en la norma ASTM en [www.astm.org](http://www.astm.org)*

## A36 Requisitos Químicos

Espesor, pulgadas	Hasta 3/4 "	Más de 3/4 "a 1-1 / 2"	Más de 1-1 / 2 "a 4"	Más de 4 "
Carbono,% máx.	0,26	0,27	0,28	0,29
Manganeso		0,60 - 0,90	0,60 - 0,90	0,60 - 0,90
Fósforo,% máx.	0,04	0,04	0,04	0,04
Azufre, máximo%	0,05	0,05	0,05	0,05
Silicio,% máx.	0,40	0,40	0,40	0,40
Cobre, min% cuando se especifica cobre	0,20	0,20	0,20	0,20

*Esta tabla abreviada muestra solamente los requisitos químicos para las barras. La tabla completa incluyendo formas y placas se puede encontrar en la norma ASTM en [www.astm.org](http://www.astm.org)*

## Materiales adyacentes

Cuando los componentes de una estructura de acero se identifican con esta designación ASTM, pero la forma del producto no está incluida en el alcance de esta especificación, el material deberá cumplir con una de las normas enumeradas a continuación a menos que el comprador especifique otra cosa.

## A36 Materiales adyacentes

Material	Denominación ASTM
Pernos	A307 Grado A
Pernos de alta resistencia	A325
Tuercas	A563
Forjados	A668 Clase D

Material	Denominación ASTM
Pernos de anclaje	F1554 Grado 36
<i>Tabla abreviada para mostrar sólo aquellos elementos relevantes para Portland Bolt</i>	

### **Comentario sobre los Materiales Apropiantes**

Esto no quiere decir que los materiales enumerados anteriormente se ajusten o puedan fabricarse de acero A36, simplemente que si el comprador llama un producto por A36, pero que no está cubierto en el ámbito anterior (formas, barras, placas) El fabricante o el proveedor pueden suministrar productos conformes a las normas anteriores. Por ejemplo, los pernos de anclaje llamados A36 se suministrarían como F1554 Grado 36.

## ANEXO F: MANGUERAS BLAFLEX

## BALPAC 4000



SAE 100R19 - 10.1020

Manguera hidráulica de alta presión, reforzada con malla acerada doble

REFERENCIA	#	DN	pulgada	Tabla Medidas SAE	ID mm	OD mm	MPa	PSI	MPa	PSI	MIN BEND RAD mm	KG kg/m
R19-04	10.1020.04	DN6	1/4"	-4	6,3	13,0	28,0	4000	112,0	16000	50	0,27
R19-06	10.1020.06	DN10	3/8"	-6	9,5	17,0	28,0	4000	112,0	16000	65	0,42
R19-08	10.1020.08	DN12	1/2"	-8	12,7	20,0	28,0	4000	112,0	16000	90	0,52
R19-10	10.1020.10	DN16	5/8"	-10	16,0	24,0	28,0	4000	112,0	16000	100	0,63
R19-12	10.1020.12	DN19	3/4"	-12	19,0	28,0	28,0	4000	112,0	16000	120	0,80

TUBO INTERNO: caucho sintético sin costura

resistente al aceite  
REFUERZO: 2 mallas aceradas altamentetensadas  
TUBO EXTERNO: caucho sintético con

envoltura negra, resistente al aceite,

intemperie y abrasión.

FACTOR DE SEGURIDAD: 4:1

MARGEN DE TEMPERATURA: -40°C (-40°F)

+100°C (+212°F), Servicio intermitente:

+120°C (+248°F), Temp. máx. recomendada

para fluidos hidráulicos a base de agua: +70°C

(+158°F), Temp. máx. recomendada para aire:

+60°C (+140°F)

USO: fluidos hidráulicos a base de petróleo

ACOPLES: Fittings de 2 piezas serie 23

Balflex® con ferrulas serie 20. Fittings de

multipresado Balflex® serie BW23/BF21/

P23

CUBIERTA: APROBADA POR MSHA (EE.UU.)

VERSIONES DISPONIBLES: Cubierta lisa

(Shark Skin) / Alta temperatura (Tropic)

/ Baja temperatura (Arctic) / Cubierta dura

(Armourguard)

BALFLEX // BALPAC 4000 SAE 100R19 - DN6 - 1/4" - WP - 28 MPa 4000 PSI - Flame Resistant - MSHA IC-252/00

## BALPAC PREMIUM



DIN EN 857 2SC / SAE 100R16 / ISO 11237 - 10.1019.

High pressure, double steel braid reinforced hydraulic hose

REFERENCIA	#	DN	pulgada	Tabla Medidas SAE	ID mm	OD mm	MPa	PSI	MPa	PSI	MIN BEND RAD mm	KG kg/m
2SC-04	10.1019.04	DN6	1/4"	-4	6,3	13,2	42,5	6200	170	24800	50	0,27
2SC-05	10.1019.05	DN8	5/16"	-5	8,0	15,1	40	5800	160	23200	57	0,30
2SC-06	10.1019.06	DN10	3/8"	-6	9,5	17,0	35	5100	140	20400	65	0,42
2SC-08	10.1019.08	DN12	1/2"	-8	12,7	20,5	34,5	5000	138	20000	90	0,52
2SC-10	10.1019.10	DN16	5/8"	-10	16,0	24,2	28	4000	112	16000	100	0,63
2SC-12	10.1019.12	DN19	3/4"	-12	19,0	28,2	28	4000	112	16000	120	0,80
2SC-16	10.1019.16	DN25	1"	-16	25,4	35,6	21	3000	84	12000	150	1,22

TUBO INTERNO: caucho sintético sin costura

resistente al aceite

REFUERZO: 2 mallas aceradas altamente

tensadas  
TUBO EXTERNO: caucho sintético con

envoltura negra, resistente al aceite,

intemperie y abrasión.

FACTOR DE SEGURIDAD: 4:1

MARGEN DE TEMPERATURA: -40°C (-40°F)

+100°C (+212°F), Servicio intermitente:

+120°C (+248°F), Temp. máx. recomendada

para fluidos hidráulicos a base de agua: +70°C

(+158°F), Temp. máx. recomendada para aire:

+60°C (+140°F)

USO: fluidos hidráulicos a base de petróleo

ACOPLES: Fittings de 2 piezas serie 23

Balflex® con ferrulas serie 20. Fittings de

multipresado Balflex® serie BW23/BF21/

P23

CUBIERTA: APROBADA POR MSHA (EE.UU.)

VERSIONES DISPONIBLES: Cubierta lisa

(Shark Skin) / Alta temperatura (Tropic)

/ Baja temperatura (Arctic) / Cubierta dura

(Armourguard)

NOTA: Para tamaños DN16 (5/8"), DN19

(3/4"), DN25 (1"), considere usar Balflex

Balpac Premium. Aprobada a 1.000.000

ciclos de impulso con una presión de trabajo

de 1,33x.

BALFLEX // BALPAC PREMIUM EXCEEDS DIN EN 857 - 2SC / SAE 100R16 / ISO 11237 - DN6 - 1/4" - WP 42,5 MPa 6200 PSI - Flame Resistant - MSHA IC-252/00

Mangueras Hidráulicas con Malla de Acero

27

Balflex no se responsabiliza por errores tipográficos ni de ningún otro tipo. Para obtener información técnica precisa, siempre debe comunicarse con nuestro departamento técnico. Puede que las dimensiones y datos mostrados cambien sin previo aviso.



## ANEXO G: CATALOGO BOMBA DE ENGRANAJES SERIE F

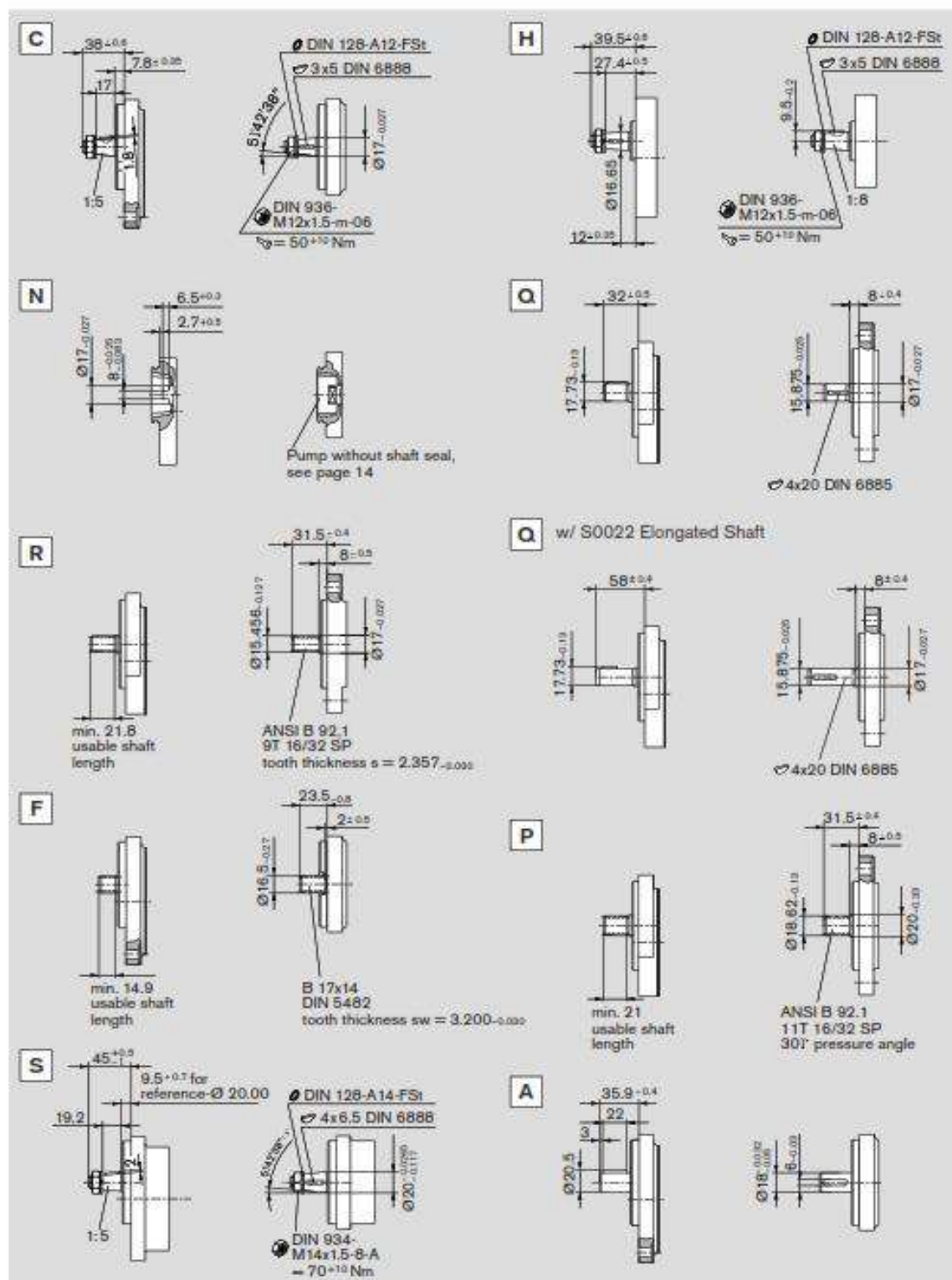
**F Series Pump Product Index**

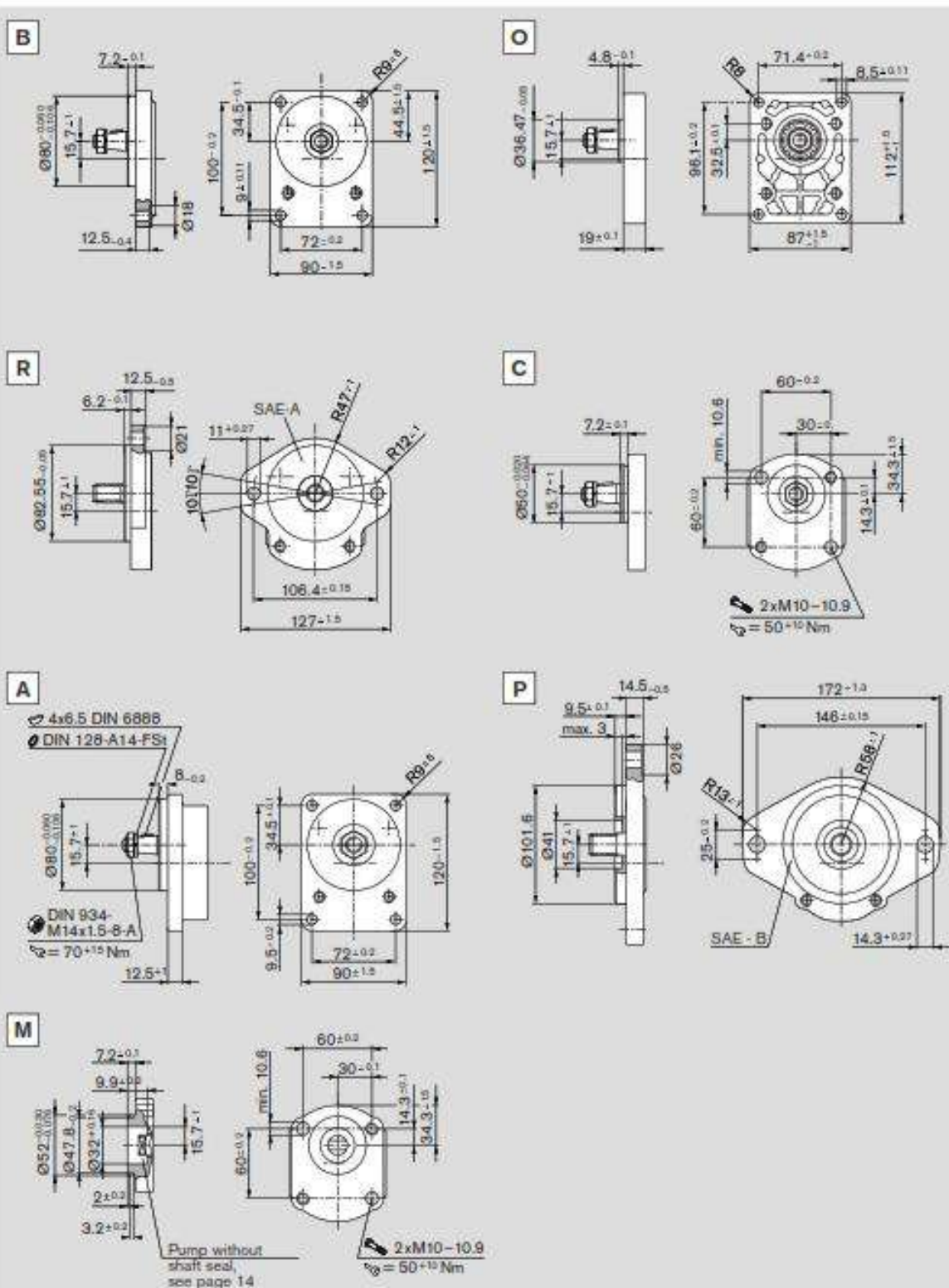
(Reference page 14 for ordering code designators)

AZPF-XX-XXXX MB

Page Number	Ordering code	Shaft Type	Flange	Mounting Ports	Port Orientation
23	AZPF-XX-XXXXRR12MB	R	R	12	side
24	AZPF-XX-XXXXRR12MA	R	R	12	rear
25	AZPF-XX-XXXXQR12MB	Q	R	12	side
26	AZPF-XX-XXXXQR12MA	Q	R	12	rear
27	AZPF-XX-XXXXPR12MB	P	R	12	side
28	AZPF-XX-XXXXQR12MB-S0022	Q-long	R	12	side
29	AZPF-XX-XXXXQR12MA-S0022	Q-long	R	12	rear
30	AZPF-XX-XXXXPC12MB	P	C	12	side
31	AZPF-XX-XXXXRR20MB	R	R	20	side
32	AZPF-XX-XXXXCB20MB	C	B	20	side
33	AZPF-XX-XXXXFB20MB	F	B	20	side
34	AZPF-XX-XXXXHO30MB	H	O	30	side
35	AZPF-XX-XXXXFO30MB	F	O	30	side
36	AZPF-XX-XXXXHO01MB	H	O	01	side
37	AZPF-XX-XXXXCN20MB	C	N	20	side
38	AZPF-XX-XXXXFN20MB	F	N	20	side
39	AZPF-XX-XXXXCP20MB-S0007	C	P	20	side
40	AZPF-XX-XXXXFP20PB	F	P	20	side
41	AZPF-XX-XXXXNT20MB	N	T	20	side
42	AZPF-XX-XXXXSA20MB	S	A	20	side
43	AZPF-XX-XXXXSG20MB	S	G	20	side

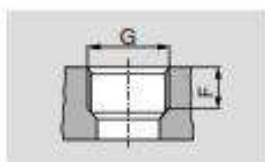
## F Series Drive Shafts







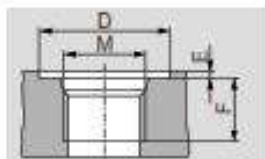
## F Series Port Connections



**01** Pipe thread  
ISO 228/1

when pressure  $p_2 > 210$  bar  
limited fatigue strength

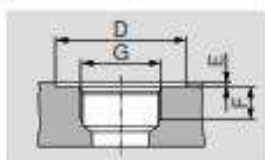
Synopsis of Types	Size	Pressure port		Suction port	
		G	F	G	F
01	4 ... 16 cm <sup>3</sup>	G 1/2	16	G 3/4	16
	19 ... 28 cm <sup>3</sup>	G 3/4		G1	19



**03** Thread metric  
ISO 6149  
with O-ring

when pressure  $p_2 > 210$  bar  
limited fatigue strength

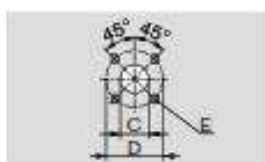
Synopsis of Types	Size	Pressure port				Suction port			
		M	D	E	F	M	D	E	F
03	4 ... 5.5 cm <sup>3</sup>	M 18 x 1.5	29	0.5	14.5	M 18 x 1.5	29	0.5	14.5
	8 ... 16 cm <sup>3</sup>	M 22 x 1.5	34		18	M 27 x 1.5	40		19
	19 ... 28 cm <sup>3</sup>					M 33 x 1.5	46		22



**12** Thread  
(UN-2B) SAE  
O-ring BOSS

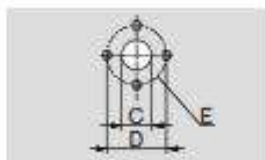
when pressure  $p_2 > 210$  bar  
limited fatigue strength

Synopsis of Types	Size	Pressure port				Suction port			
		G	D	E	F	G	D	E	F
12	4 ... 5.5 cm <sup>3</sup>	SAE - 8	25	0.5	13	SAE - 10	25	0.5	13
	8 ... 14 cm <sup>3</sup>	SAE - 10	35		16	SAE - 12	35		16
	16 ... 28 cm <sup>3</sup>	SAE - 10				SAE - 16	45		19



**20** Rectangular flange  
DIN 8901/8902

Synopsis of Type	Size	Pressure port			Suction port		
		C	D	E	C	D	E
20	4 ... 5.5 cm <sup>3</sup>	15	35	M 6 depth 13	15	40	M 6 depth 13
	8 ... 16 cm <sup>3</sup>				20		
	19 ... 28 cm <sup>3</sup>				26	55	M 8 depth 13



**30** Rectangular flange

Synopsis of Type	Size	Pressure port			Suction port		
		C	D	E	C	D	E
30	4 ... 8 cm <sup>3</sup>	13.5	30.2	M 6 depth 13	13.5	30.2	M 6 depth 13
	11 ... 28 cm <sup>3</sup>				20.0	39.7	M 8 depth 13

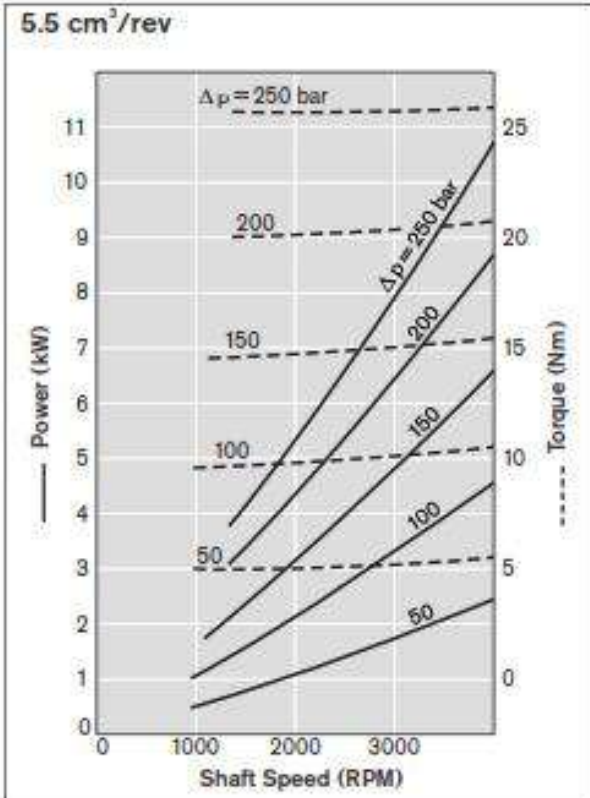
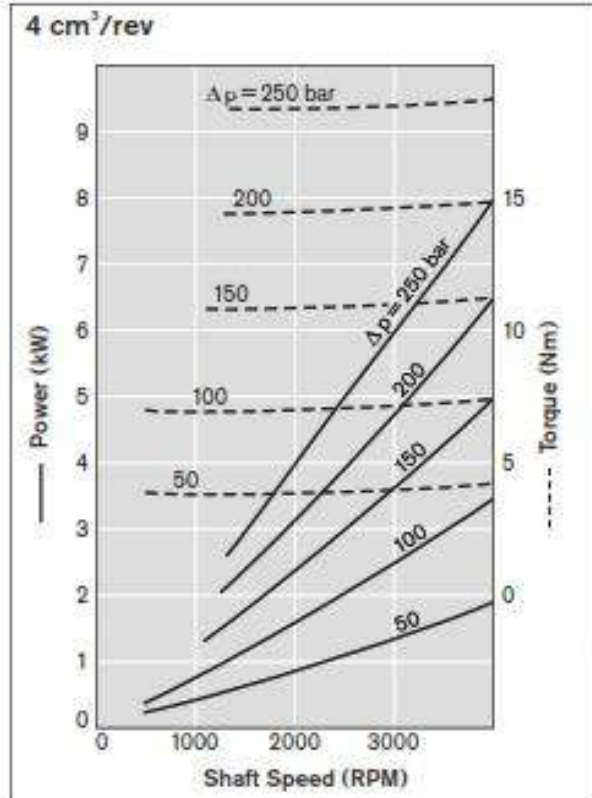
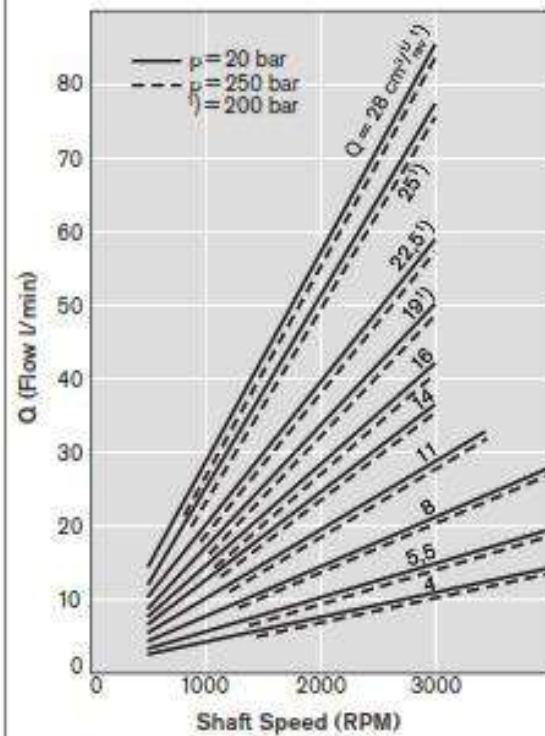
## Diagrams

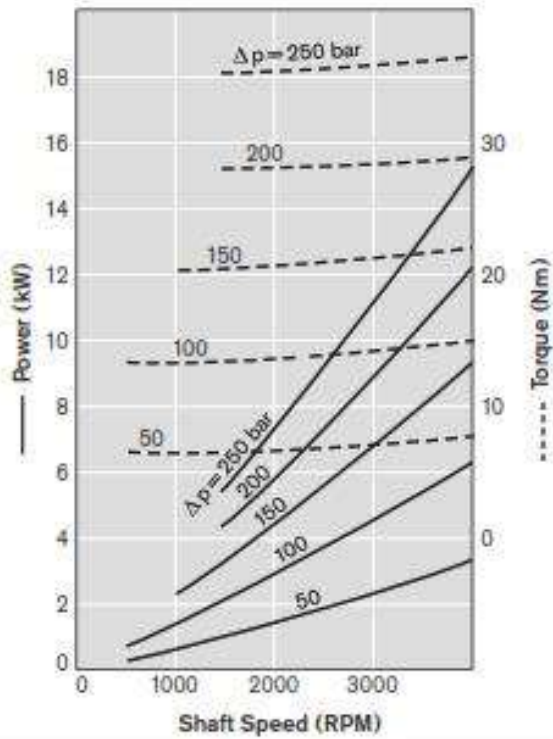
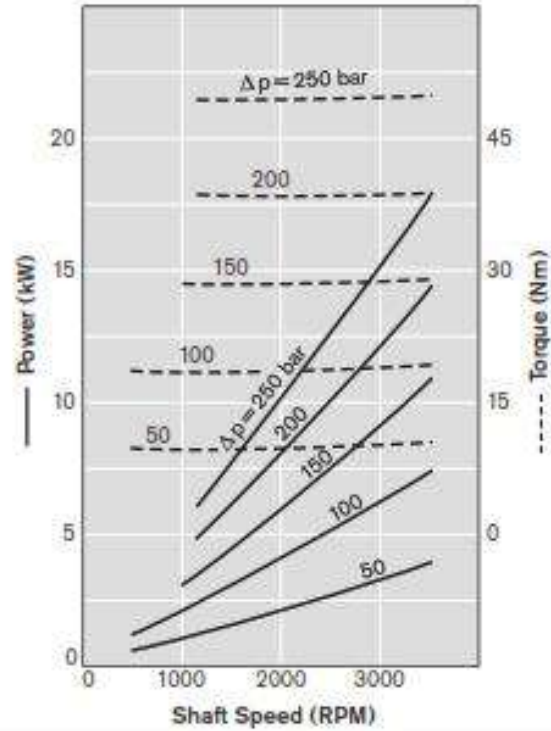
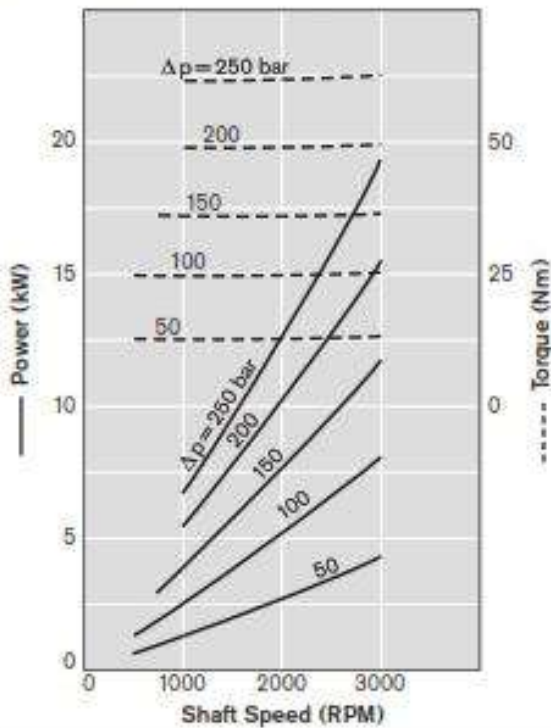
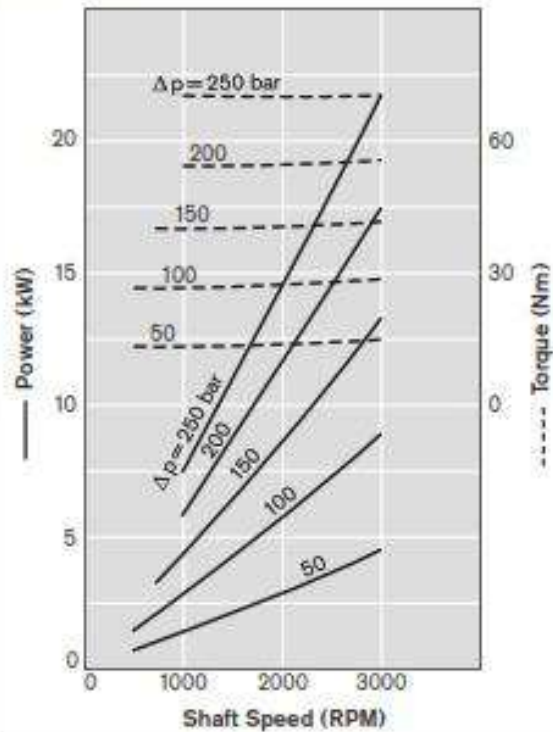
Size **F**

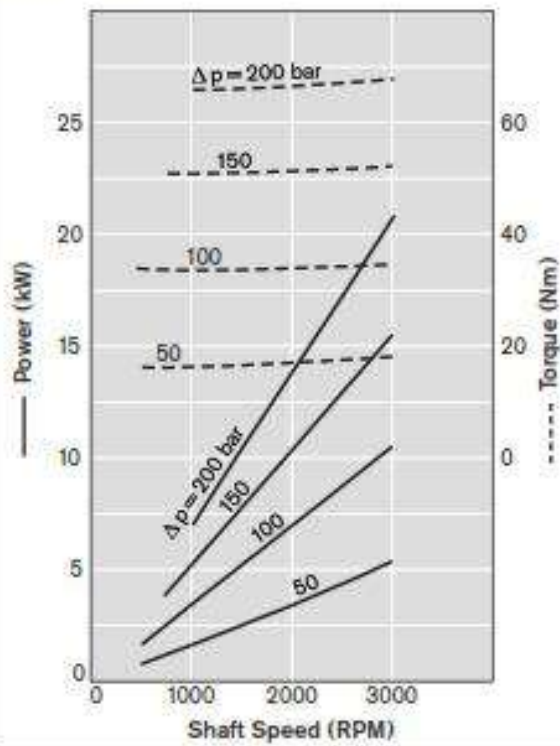
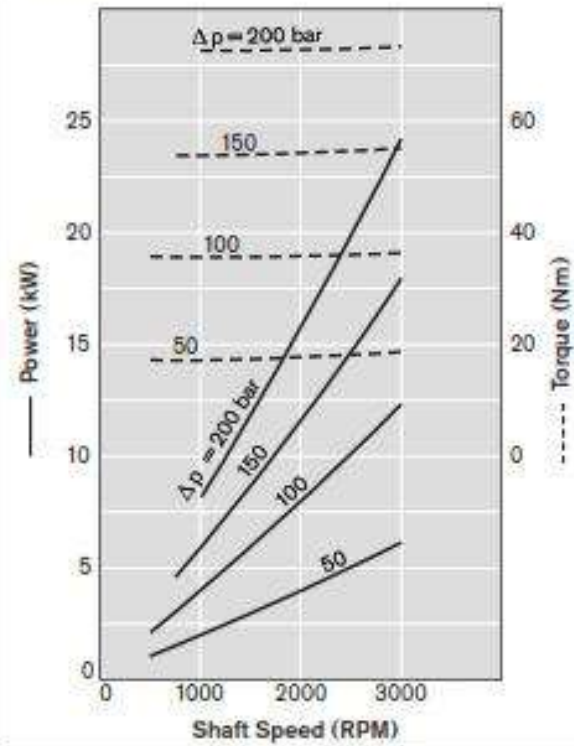
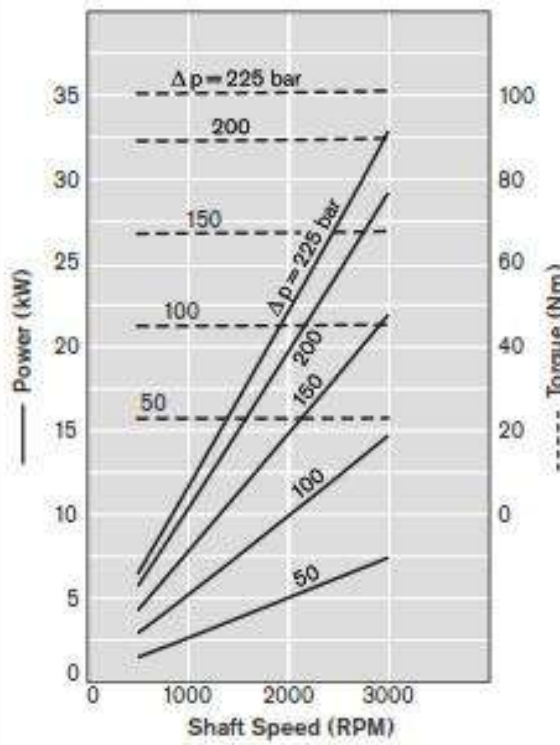
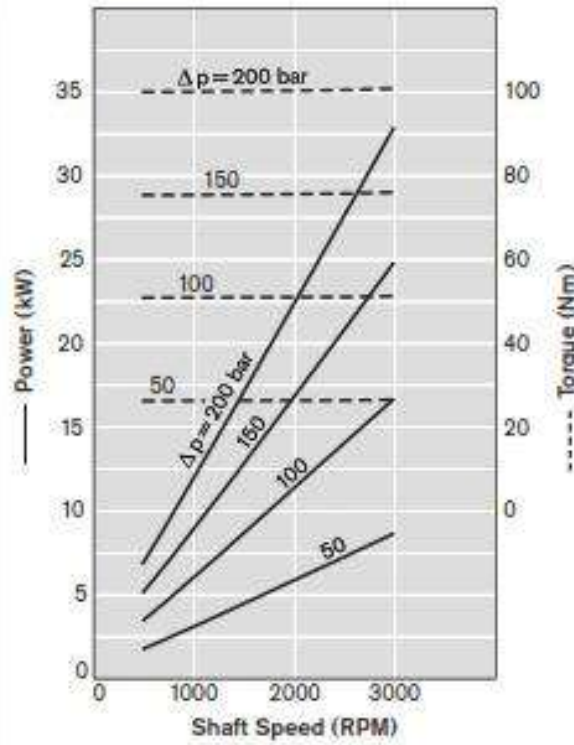
$v = 35 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$

## Unit Conversions

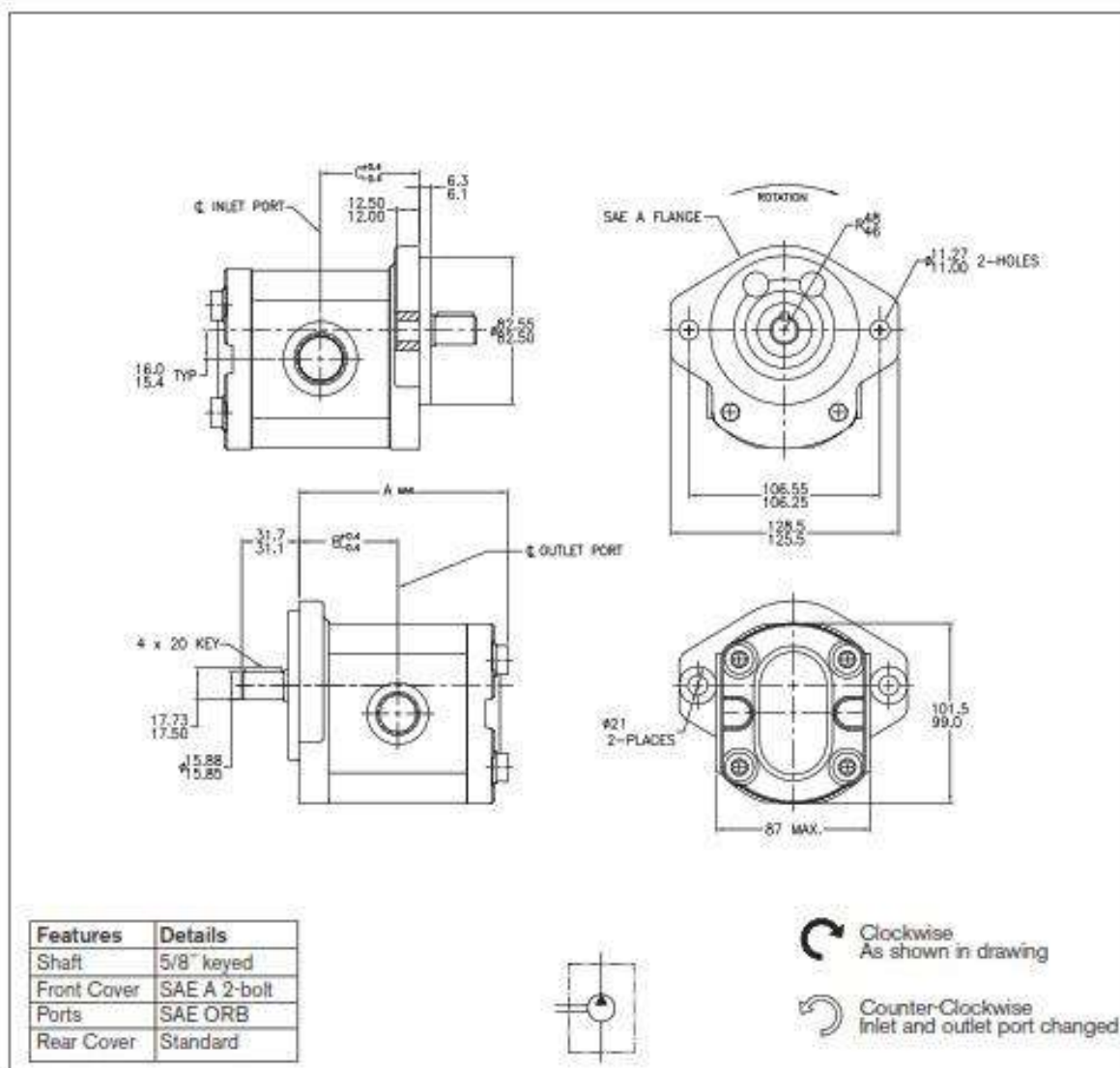
Pressure:  $\text{psi} = \text{bar} \times 14.7$   
 Torque:  $\text{ft-lbs} = (\text{Nm}) \times .738$   
 Power:  $\text{hp} = (\text{kW}) \times 1.341$   
 Volume:  $\text{in}^3 = (\text{cc}) \times 16.39$   
 $\text{gpm} = (\text{LPM}) \times .2642$



8 cm<sup>3</sup>/rev11 cm<sup>3</sup>/rev14 cm<sup>3</sup>/rev16 cm<sup>3</sup>/rev

19 cm<sup>3</sup>/rev22.5 cm<sup>3</sup>/rev25 cm<sup>3</sup>/rev28 cm<sup>3</sup>/rev





### Ordering code


AZPF - 1 2 - □ □ □ □ Q R 12 MB

Displacement [cm <sup>3</sup> /rev]	Ordering-Number *		Max. operating pressure [bar]	Max. rotation speed [min <sup>-1</sup> ]	Dimension [mm]			Inlet Port ** (SAE O-Ring BOSS)	Outlet Port (SAE O-Ring BOSS)
	L	R			A	B	C		
4.0	9 510 290 044	9 510 290 021	250	4000	85.0	39.9	39.9	-10	-8
5.5	9 510 290 045	9 510 290 022	250	4000	85.6	41.1	41.1	-10	-8
8.0	9 510 290 046	9 510 290 023	250	4000	91.6	43.2	43.2	-12	-10
11.0	9 510 290 047	9 510 290 024	250	3500	96.6	47.0	47.0	-12	-10
14.0	9 510 290 048	9 510 290 025	250	3000	101.6	47.5	47.5	-12	-10
16.0	9 510 290 130	9 510 290 122	250	3000	105.0	47.5	47.5	-16	-10
19.0	9 510 290 131	9 510 290 123	210	3000	110.0	47.5	47.5	-16	-10
22.5	9 510 290 132	9 510 290 124	180	2500	115.4	55.1	55.1	-16	-10
25.0	9 510 290 118	9 510 290 112	200	3000	131.6	63.2	63.2	-16	-10
28.0	9 510 290 121	9 510 290 115	170	3000	136.4	65.6	65.6	-16	-10

\* Contact factory for availability of units with no ordering number listed.

\*\* Refer to page 19 for SAE O-Ring Boss Specifications and Dimensions.

## ANEXO H: FICHA TÉCNICA DE MOTOR TRIFÁSICO DE 10 HP

HOJA DE DATOS							
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula							
Cliente : _____							
Línea del producto		: W22 High Efficiency Trifásico		Código del producto :		15914261	
Carcasa		: 213/5T		Tiempo de rotor bloqueado		: 21s (frío) 12s (caliente)	
Potencia		: 10 HP (7.5 kW)		Elevación de temperatura		: 80 K	
Polos		: 4		Régimen de servicio		: Cont.(S1)	
Frecuencia		: 60 Hz		Temperatura ambiente		: -20°C hasta +40°C	
Tensión nominal		: 220/380/440 V		Altitud		: 1000 m	
Corriente nominal		: 26.1/15.1/13.1 A		Grado de protección		: IP55	
Corriente de arranque		: 170/98.4/84.9 A		Método de refrigeración		: IC411 - TEFC	
Ip/In		: 6.5x(Cód. H)		Forma constructiva		: F-1	
Corriente en vacío		: 11.9/6.90/5.96 A		Sentido de giro <sup>1</sup>		: Ambos	
Rotación nominal		: 1760 rpm		Nivel de ruido <sup>2</sup>		: 58.0 dB(A)	
Resbalamiento		: 2.22 %		Método de Arranque		: Partida directa	
Torque nominal		: 40.5 Nm		Masa aproximada <sup>3</sup>		: 82.8 kg	
Torque de arranque		: 200 %					
Torque máximo		: 250 %					
Clase de aislamiento		: F					
Factor de servicio		: 1.25					
Momento de inercia (J)		: 0.0488 kgm²					
Categoría		: B					
Potencia		50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación		
Rendimiento (%)		89.5	89.5	89.5	Tracción máxima : 1467 N		
Cos Φ		0.68	0.78	0.84	Compresión máxima : 2279 N		
Pérdidas en puntos de funcionamiento estándar (velocidad: par), en porcentaje de la potencia nominal							
P1 (0.9;1.0)	P2 (0.5;1.0)	P3 (0.25;1.0)	P4 (0.9;0.5)	P5 (0.5;0.5)	P6 (0.5;0.25)	P7 (0.25;0.25)	
11.8	10.6	9.5	5.8	4.3	3.0	2.2	
Tipo de cojinete		Delantero		Trasero			
Sello		NU-308 C3		6207 C3			
Intervalo de lubricación		V-Ring		V-Ring			
Cantidad de lubricante		20000 h		20000 h			
Tipo de lubricante		11 g		7 g			
		Mobil Polyrex EM					
Notas							
Esta revisión reemplaza y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada.				Los valores indicados son valores promedio con base en ensayos y para alimentación en red senoidal, sujetos a las tolerancias de la norma NEMA MG-1.			
(1) Mirando la punta delantera del eje del motor.							
(2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A).							
(3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación.							
(4) Al 100% de la carga completa.							
Rev.	Resumen de los cambios			Ejecutado	Verificado	Fecha	
Ejecutor							
Verificador							
Fecha	08/07/2025				Página	Revisión	
					1 / 1		

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
Sujeto a cambios sin previo aviso

## ANEXO I: CATALOGO WHYNCO PERU



UNIDADES HIDRAULICAS ESTANDARES

www.whyncoperu.com



## COMPANY

Proporcionamos una gama de productos y servicios de principio a fin adaptados a organizaciones bien establecidas.

Nuestra presencia a nivel nacional nos permite brindar constantemente servicios de alta calidad, precios competitivos y comunicaciones fluidas para múltiples áreas.

Nuestro conocimiento técnico, nuestras completas instalaciones de taller con 2000 m<sup>2</sup> y nuestro control de calidad se combinan para proporcionar una vida útil y un rendimiento superiores, desde sistemas low en mono hasta cilindros reconstruidos y componentes.

Con el respaldo de nuestra instalaciones de taller, apoyados por técnicos adaptativos y altamente capacitados que brindan servicios de respuesta de emergencia además del mantenimiento planificado, servicios y soporte técnico.





## UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

### SERIE WPUH 5 HP

CODIGO	MOTO H.P.	BOMBA G.P.M.	PRESION P.S.I.	TANQUE GAL	E.P.M.	VOLTAJE V.	PESO LBS.	A MM	B MM	C MM	D MM	E MM	F MM
WPUH 5-1-5	5	1.5	3000	5	1800	220/440	70	475	400	425	92	405	765
WPUH 5-2-5	5	2	2600	5	1800	220/440	75	475	400	425	92	405	765
WPUH 5-3-5	5	3	2600	5	1800	220/440	80	475	400	425	92	405	765
WPUH 5-1-5	5	1.5	3000	10	1800	220/440	80	475	400	475	92	405	815
WPUH 5-2-5	5	2	2600	10	1800	220/440	85	475	400	475	92	405	815
WPUH 5-3-5	5	3	2600	10	1800	220/440	90	475	400	475	92	405	815

### CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respiradero.
- Puertos de depósito adicionales para agregar accesorios.

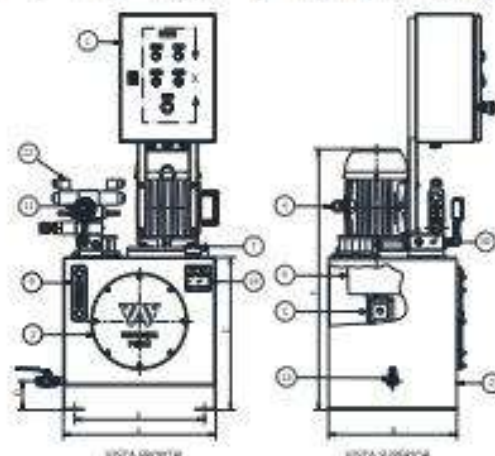
### OPCIONES

- Varies opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoples Rápidos.
- Depósitos hidráulicos más grandes.
- Controles Eléctricos y Activadores.
- Calentador y enfriador de Aceite.
- Diferentes estilos de bombas, paletas y pistones.
- Bombas compensadoras de presión.



### ESQUEMA

ITEM	PARTE LIST
1	MANEJO ELÉCTRICO
2	DEPOSITO DE ACEITE
3	BOMBA
4	MOTOR ELÉCTRICO
5	TANQUE
6	CONJUNTO HERRAMIENTAS
7	PISTA DE LUBRICACIÓN
8	VALVULAS Y ACCESORIOS
9	VALVULAS Y HERRAMIENTAS
10	MANEJO
11	MANEJO
12	MANEJO
13	MANEJO
14	MANEJO
15	MANEJO
16	MANEJO



VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR



## UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

### SERIE WPUH 7.5 HP

CODIGO	MOTO H.P.	BOMBA G.P.M.	PRESION P.S.I.	TANQUE GAL	E.P.M.	VOLTAJE V.	PESO LBS.	A MM	B MM	C MM	D MM	E MM	F MM
WPUH 7.5-3-5	7.5	3	3000	10	1800	220/440	120	475	400	475	92	405	830
WPUH 7.5-4-5	7.5	4	2600	10	1800	220/440	130	475	400	475	92	405	830
WPUH 7.5-3-10	7.5	3	3000	15	1800	220/440	130	550	425	500	92	480	855
WPUH 7.5-4-10	7.5	4	2600	15	1800	220/440	140	550	425	500	92	480	855

### CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respiradero.
- Puertos de depósito adicionales para agregar accesorios.

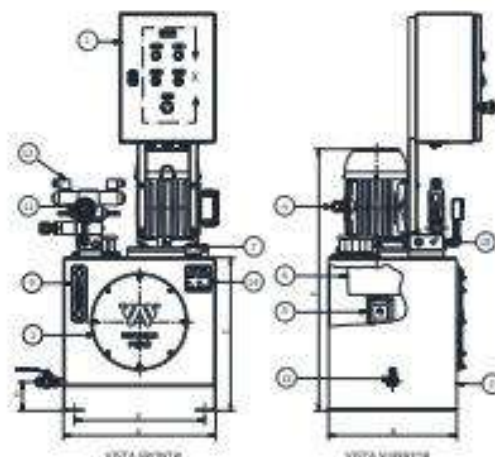
### OPCIONES

- Varies opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoples Rápidos.
- Depósitos hidráulicos más grandes.
- Controles Eléctricos y Activadores.
- Calentador y enfriador de Aceite.
- Diferentes estilos de bombas, paletas y pistones.
- Bombas compensadoras de presión.



### ESQUEMA

ITEM	PARTE LIST
1	MANEJO ELÉCTRICO
2	DEPOSITO DE ACEITE
3	BOMBA
4	MOTOR ELÉCTRICO
5	TANQUE
6	CONJUNTO HERRAMIENTAS
7	PISTA DE LUBRICACIÓN
8	VALVULAS Y ACCESORIOS
9	VALVULAS Y HERRAMIENTAS
10	MANEJO
11	MANEJO
12	MANEJO
13	MANEJO
14	MANEJO
15	MANEJO
16	MANEJO



VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR





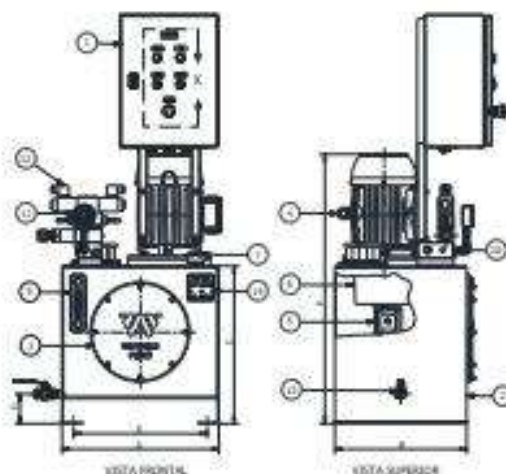
## UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

### SERIE WPUH 10 HP

CODIGO	MOTO HP	BOMBA G.P.M.	PRESION P.S.I.	TANQUE GL	R.P.M.	VOLTAJE V	PESO K.G.	A MM	B MM	C MM	D MM	E MM	F MM
WPUH 10-4-15	30	4	3000	15	1800	220/440	140	550	425	500	92	480	030
WPUH 10-5-15	30	5	2600	15	1800	220/440	158	550	425	500	92	480	030
WPUH 10-4-30	30	4	3000	20	1800	220/440	158	600	475	550	92	530	045
WPUH 10-5-30	30	5	2600	20	1800	220/440	168	600	475	550	92	530	045

### ESQUEMA

ITEM	DETALLE
1	CONTROL ELÉCTRICO
2	DEPOSITO DE ACEITE
3	VALVULA
4	MOTOR ELÉCTRICO
5	BOMBA
6	CONJUNTO ROTACIONAL
7	VALVULA DE ALIVIO
8	VALVULA DE ALIVIO CON REPRIMER
9	VALVULA DE ALIVIO CON REPRIMER
10	VALVULA Y MEDIDOR TEMPERATURA
11	MANÓMETRO
12	MANÓMETRO
13	MANÓMETRO
14	MANÓMETRO
15	MANÓMETRO
16	MANÓMETRO
17	MANÓMETRO
18	MANÓMETRO
19	MANÓMETRO
20	MANÓMETRO
21	MANÓMETRO
22	MANÓMETRO
23	MANÓMETRO
24	MANÓMETRO



### CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respiradero.
- Puertos de depósito adicionales para agregar accesorios.

### OPCIONES

- Varias opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoples Rápidos.
- Depósitos hidráulicos más grandes.
- Controles Eléctricos y Activadores.
- Calentador y enfriador de Aceite.
- Diferentes estilos de bombas, paletas y pistones.
- Bombas compensadoras de presión.



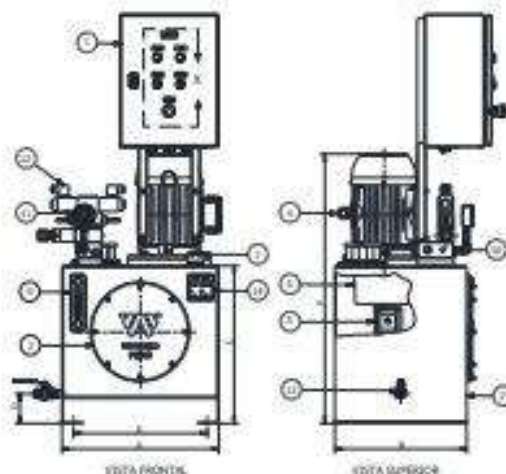
## UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

### SERIE WPUH 15 HP

CODIGO	MOTO HP	BOMBA G.P.M.	PRESION P.S.I.	TANQUE GL	R.P.M.	VOLTAJE V	PESO K.G.	A MM	B MM	C MM	D MM	E MM	F MM
WPUH 15-6-30	35	6	3000	30	1800	220/440	220	600	475	550	92	530	1015
WPUH 15-8-30	35	8	2600	30	1800	220/440	250	600	475	550	92	530	1015
WPUH 15-6-30	35	6	3000	30	1800	220/440	240	650	525	625	92	580	1090
WPUH 15-8-30	35	8	2600	30	1800	220/440	260	650	525	625	92	580	1090

### ESQUEMA

ITEM	DETALLE
1	CONTROL ELÉCTRICO
2	DEPOSITO DE ACEITE
3	VALVULA
4	MOTOR ELÉCTRICO
5	BOMBA
6	CONJUNTO ROTACIONAL
7	VALVULA DE ALIVIO
8	VALVULA DE ALIVIO CON REPRIMER
9	VALVULA DE ALIVIO CON REPRIMER
10	VALVULA Y MEDIDOR TEMPERATURA
11	MANÓMETRO
12	MANÓMETRO
13	MANÓMETRO
14	MANÓMETRO
15	MANÓMETRO
16	MANÓMETRO
17	MANÓMETRO
18	MANÓMETRO
19	MANÓMETRO
20	MANÓMETRO
21	MANÓMETRO
22	MANÓMETRO
23	MANÓMETRO
24	MANÓMETRO



### CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respiradero.
- Puertos de depósito adicionales para agregar accesorios.

### OPCIONES

- Varias opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoples Rápidos.
- Depósitos hidráulicos más grandes.
- Controles Eléctricos y Activadores.
- Calentador y enfriador de Aceite.
- Diferentes estilos de bombas, paletas y pistones.
- Bombas compensadoras de presión.



## UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

### SERIE WPUH 20 HP

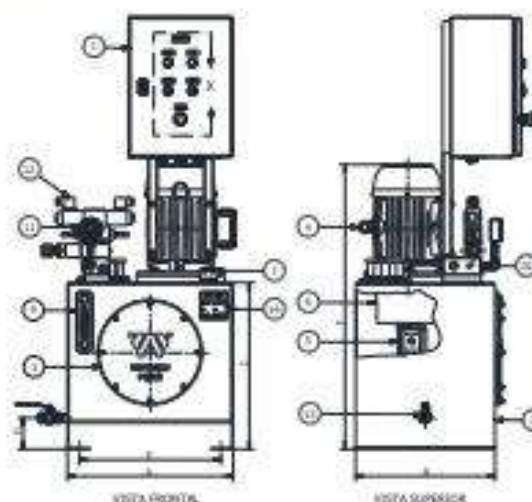
CODIGO	MOTOR H.P.	BOMBA G.P.M.	PRESION P.S.I.	TANQUE GL	R.P.M.	VOLTAGE V	PESO K.G.	A MM	B MM	C MM	D MM	E MM	F MM
WPUH 20-8-30	20	8	3000	30	1800	220/440	260	650	525	625	82	580	1140
WPUH 20-10-30	20	10	3000	30	1800	220/440	280	650	525	625	82	580	1140
WPUH 20-8-40	20	8	3000	40	1800	220/440	270	625	600	695	82	555	1210
WPUH 20-10-40	20	10	3000	40	1800	220/440	290	625	600	695	82	555	1210

### CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respiradero.
- Puertos de depósito adicionales para agregar accesorios.

### ESQUEMA

ITEM	DETALLE
1	CONTROL ELÉCTRICO
2	CONEXIÓN DE MANGA
3	VALVULA
4	BOQUE ELÉCTRICO
5	BOQUE
6	CAPACIDAD MOTOR/BOMBA
7	VALVULA DE SEGURIDAD/REPRÉSANT
8	CONTROL DE ACTIVACIÓN CON RESISTENCIA
9	GAUGE Y MEDIDOR TEMPERATURA
10	TERMOSTATO
11	MANÓMETRO
12	VALVULA
13	BOQUE
14	ETIQUETA DE IDENTIFICACIÓN



### OPCIONES

- Varías opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoples Rápidos.
- Depósitos hidráulicos más grandes.
- Controles Eléctricos y Activadores.
- Calentador y enfriador de Aceite.
- Diferentes estilos de bombas, paletas y pistones.
- Bombas compensadoras de presión.



## ANEXO J: FILTRO DE CATALOGO IKRON



HF 547

## MICRO-FIBRE GLASS FLOWS

Filter type	Ports			Degree of filtration			
				FG003	FG006	FG010	FG025
				Flow $\Delta p = 5.0 \text{ psi (0,4 bar)}$ ("AS" version values)			
	GAS (BSPP)	NPT	SAE J514b	US gpm (l/min)			
HF 547-10.095	G 3/8	3/8 NPT	9/16-18 UNF-2B	4.0 (15)	4.0 (15)	5.3 (20)	5.3 (20)
	G 1/2	1/2 NPT	3/4-16 UNF-2B	5.3 (20)	5.3 (20)	6.6 (25)	7.9 (30)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	6.6 (25)	6.6 (25)	7.9 (30)	10.6 (40)
HF 547-10.145	G 3/8	3/8 NPT	9/16-18 UNF-2B	5.3 (20)	5.3 (20)	5.3 (20)	5.3 (20)
	G 1/2	1/2 NPT	3/4-16 UNF-2B	6.6 (25)	7.9 (30)	7.9 (30)	9.2 (35)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	9.2 (35)	9.2 (35)	10.6 (40)	13.2 (50)
HF 547-10.195	G 3/8	3/8 NPT	9/16-18 UNF-2B	5.3 (20)	5.3 (20)	5.3 (20)	5.3 (20)
	G 1/2	1/2 NPT	3/4-16 UNF-2B	7.9 (30)	7.9 (30)	9.2 (35)	9.2 (35)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	10.6 (40)	11.9 (45)	13.2 (50)	14.5 (55)
HF 547-20.077	G 1/2	1/2 NPT	3/4-16 UNF-2B	7.9 (30)	7.9 (30)	10.6 (40)	13.2 (50)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	7.9 (30)	7.9 (30)	10.6 (40)	13.2 (50)
	G 1	1 NPT	1 5/16-12 UNF-2B	7.9 (30)	7.9 (30)	10.6 (40)	13.2 (50)
HF 547-20.122	G 1 1/4	1 1/4 NPT	1 5/8-12 UNF-2B	7.9 (30)	7.9 (30)	10.6 (40)	13.2 (50)
	G 1/2	1/2 NPT	3/4-16 UNF-2B	10.6 (40)	13.2 (50)	15.9 (60)	15.9 (60)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	10.6 (40)	13.2 (50)	15.9 (60)	16.5 (70)
HF 547-20.201	G 1	1 NPT	1 5/16-12 UNF-2B	13.2 (50)	13.2 (50)	15.9 (60)	16.5 (70)
	G 1 1/4	1 1/4 NPT	1 5/8-12 UNF-2B	13.2 (50)	13.2 (50)	15.9 (60)	21.1 (80)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	16.5 (70)	21.1 (80)	23.8 (90)	26.4 (100)
HF 547-20.280	G 1	1 NPT	1 5/16-12 UNF-2B	16.5 (70)	21.1 (80)	23.8 (90)	29.0 (110)
	G 1 1/4	1 1/4 NPT	1 5/8-12 UNF-2B	16.5 (70)	21.1 (80)	26.4 (100)	31.7 (120)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	26.4 (100)	29.0 (110)	29.0 (110)	31.7 (120)
HF 547-20.280	G 1	1 NPT	1 5/16-12 UNF-2B	29.0 (110)	31.7 (120)	34.3 (130)	37.0 (140)
	G 1 1/4	1 1/4 NPT	1 5/8-12 UNF-2B	29.0 (110)	31.7 (120)	37.0 (140)	42.3 (160)

08/11.2024



## ANEXO K: FILTRO DE CATALOGO IKRON



HF 410 / HF 412

## FILTERING SURFACES

Filter type	Standard filtering surface (AS)	Oversize filtering surface (FS)
	cm <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )	cm <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )
HF 410-10.060	290 (44.9500)	370 (57.3501)
HF 410-20.077	370 (57.3501)	490 (75.9501)
HF 410-20.122	555 (90.6751)	780 (120.9002)
HF 410-30.077	525 (81.3751)	880 (105.4002)
HF 410-30.122	830 (128.6503)	1075 (166.6253)
HF 410-30.162	1295 (200.7254)	1425 (220.8754)
HF 410-30.195	1560 (241.6005)	1870 (289.6506)
HF 410-40.077	955 (148.0253)	1260 (195.3004)
HF 410-40.122	1515 (234.6255)	2000 (310.0006)
HF 410-40.162	2010 (311.5506)	2655 (411.5258)
HF 410-40.195	2420 (375.1008)	3200 (496.001)
HF 410-40.239	3970 (615.3512)	5260 (815.3016)
HF 412-10.075	285 (44.1750)	360 (55.8001)
HF 412-10.090	345 (53.4751)	430 (66.6501)
HF 412-20.090	430 (66.6501)	560 (86.6001)
HF 412-20.120	575 (89.1251)	750 (116.2502)
HF 412-30.120	835 (129.4253)	1035 (160.4253)
HF 412-30.181	1260 (195.3004)	1564 (242.4205)
HF 412-30.241	1675 (259.6255)	2060 (322.4006)

01/05.2011

## ANEXO L: FILTRO DE CATALOGO IKRON



HB 70

## HOW TO ORDER AN HB 70 FILLER CAP

1	2	3	4	5				
HB 70	-	A	-	05	-	G	-	1

1	Cap	CODE
	Filler cap	HB 70
2	Air breather	CODE
	Without	0
	With air breather and 10 [µm] filter	A
	With air breather and 40 [µm] filter	B
	With 0,4 bar pressurized breather and 10 [µm] filter	C
	With 0,4 bar pressurized breather and 40 [µm] filter	D
3	Fixing	CODE
	Flange with screws	05
	45° flange with screws	08
	Welding flange	10
	Extension to be welded: 1.5748 in (40 mm) long	15
	Extension to be welded: 2.5590 in (65 mm) long	20
	Extension to be welded: 3.1496 in (80 mm) long	25
	Extension to be welded: 5.3100 in (135 mm) long	30
	3/4" GAS male thread	GE

4	Cap options	CODE
	Without	E
	Basket	G
	Level dipstick 7.6740 in (200 mm) long	M
	Level dipstick 15.7480 in (400 mm) long	N
	Level dipstick 23.6220 in (600 mm) long	P
	Antisplash	S
	Custom level dipsticks with different heights are available on request.	
5	Options	CODE
	Without	1
	Internal chainlet	2
	Security element arrangement	3

<input checked="" type="checkbox"/>	Standard
<input type="checkbox"/>	Request

01/09.2011

## ANEXO M: PROPIEDADES DEL AIRE

860  
APÉNDICE 1

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T$ , °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, $k$ , W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-5}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-6}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-6}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-6}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-6}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-6}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-6}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-6}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-6}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-6}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-6}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-6}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-6}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-6}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-6}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-6}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-6}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-6}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-6}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-6}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-6}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-6}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-6}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-6}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-6}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-6}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-6}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-6}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-6}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935

## ANEXO N: FICHA TECNICA CALDERA DE VAPOR





HCI  
Caldera de vapor pirrotubular

Vapor saturado

## Modelo HCI

### Dimensiones, simbología y numeración



Punto de enganche  
para levantar la caldera



Peligro  
Tensión eléctrica



Peligro  
Superficie caliente

1 Conducción desaire

2 Conducción de vapor

3 Descarga seguridad de presión y drenaje

4 Conducción agua de alimentación

5 Conducción purga de sales

6 Toma de muestra de agua

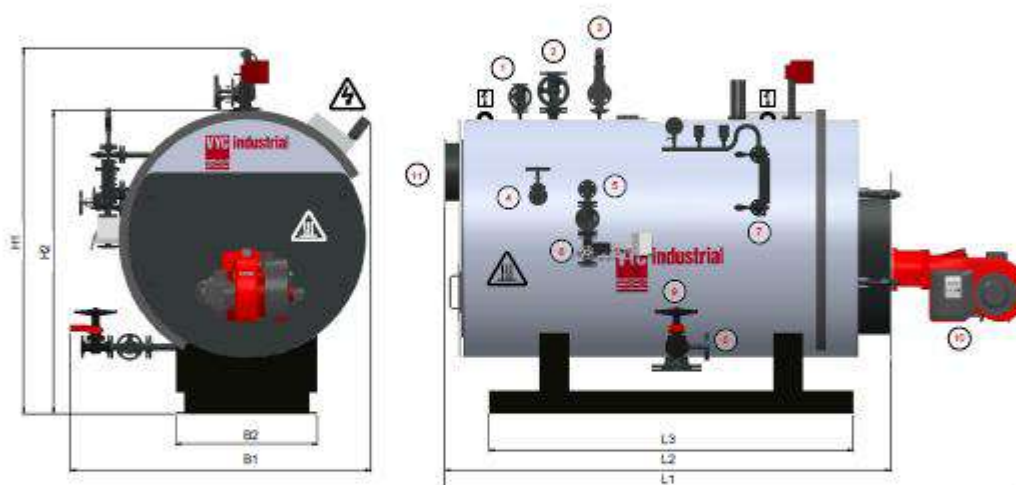
7 Conducción purga del nivel de agua

8 Conducción de purga

9 Línea de aire comprimido

10 Entrada combustible

11 Salida de humos



HCI	Producción de vapor	Presión máxima admisible	Dimensiones principales mm							Salida humos	Base de soporte		Peso en vacío
Tipo	Kg/h	bar g	L1		L2	H1	H2	B1	ØD	Ød	L3	B2	Tn
HCI-50	50	10	1542	1452	1140	1562	1312	1152	904	160	820	605	1
HCI-100	100	10	1880	1887	1450	1747	1405	1325	1050	180	950	735	1,2
HCI-200	200	10	2196	2330	1620	1725	1412	1275	1050	180	1100	695	1,4
HCI-350	350	10	2700	2760	1940	1855	1545	1495	1170	200	1330	845	2
HCI-550	550	10	2830	3030	2100	2080	1670	1460	1280	250	1450	865	2,4
HCI-850	850	10	3188	3285	2320	2033	1800	1550	1360	315	1800	855	3
HCI-1150	1150	10	3740	3820	2610	2245	1903	1668	1435	355	2100	915	3,3
HCI-1450	1450	10	3995	3995	2970	2216	2012	1712	1504	355	2400	945	4
HCI-1800	1800	10	4450	4450	3210	2382	2050	1847	1794	400	2600	1015	4,5

a) Para presiones máximas de servicio hasta 7,5 bar el modelo HCI-1450 se emplazará como clase 1ª.

b) Para presiones máximas de servicio hasta 6 bar el modelo HCI-1800 se emplazará como clase 1ª.

• Las dimensiones L1 y B1 pueden variar dependiendo del tipo de quemador y de los fabricantes de quemadores y bombas.

• Bajo demanda, se puede variar el emplazamiento de la bomba de alimentación y tubuladuras.

• Clasificación para el emplazamiento del equipo según el RD. 809/2021, Reglamento de Equipos a Presión.



www.vvcindustrial.com

+34 93 735 77 21 | 119 | @calderas@vvcindustrial.com

Avenida del Delfín, 22 | Pol. Ind. Can Picat | 08227 - Terrassa (Barcelona) España

CG30-03/04

Folleto informativo, sin compromiso y sujeto a nuestras Condiciones Generales de Venta.



## ANEXO Ñ: TABLA DE RUGOSIDAD DE TUBOS Y DIAMETROS ESTANDARES

Tabla 1. Valores de Diseño de la rugosidad de tubos (Fuente: Mott, Mecánica de Fluidos).

Material	Rugosidad (m)	Rugosidad (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$9,8 \times 10^{-7}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Acero Remachado	$1,8 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-4}$

Tabla 2. Resistencia de Válvulas y acoplamientos expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería

Tipo	(L/D) <sub>eq</sub>
Válvula Globo Abierta por completo	340
Válvula de ángulo Abierta por completo	150
Válvula de compuerta abierta por completo	8
3/4 Abierta	35
1/2 Abierta	160
1/4 Abierta	900
Válvula de Verificación Tipo giratorio	100
Válvula de verificación Tipo Bola	150
Válvula Mariposa Abierta por completo de 2 a 8 pulgadas	45
10 a 14 pulgadas	35
16 a 24 pulgadas	25
Válvula de pie tipo disco de vástago	420
Válvula de pie tipo disco de bisagra	75
Codo estándar de 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo roscado de 45°	26
Vuelta Cerrada de Retorno	50
Te estándar con flujo directo	20
Te estándar con flujo en el ramal	60

Tabla 3. Dimensiones estándar de tuberías de Acero Comercial.

Medida Nominal de la Tubería (pulg)		Diámetro Ext (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Interior (mm)	Medida Nominal de la Tubería (pulg)		Diámetro Ext (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Interior (mm)
Cedula 10	14	355,6	6,35	342,9	Cedula 80	1 1/2	48,3	5,08	38,1
	16	406,4	6,35	393,7		2	60,3	5,34	49,2
	18	457,2	6,35	444,5		2 1/2	73	7,01	59,0
	20	508,0	6,35	495,3		3	88,9	7,62	73,7
	24	609,6	6,35	596,9		3 1/2	101,6	8,08	85,4
Cedula 20	30	762,0	7,92	746,2		4	114,3	8,56	97,2
	8	219,1	6,35	206,4		5	141,3	9,52	122,3
	10	273,0	6,35	260,3		6	168,3	10,97	146,4
	12	323,9	6,35	311,2		8	219,1	12,7	193,7
	14	355,6	7,92	339,8		10	273,0	15,09	242,8
	16	406,4	7,92	390,6		12	323,9	17,47	289,0
	18	457,2	7,92	441,4		14	355,6	19,05	317,5
	20	508,0	9,52	489,0		16	406,4	21,44	363,5
Cedula 30	24	609,6	9,52	590,6		18	457,2	23,82	409,6
	30	762,0	12,70	736,6		20	508,0	26,19	455,6
	8	219,1	7,040	205,0	Cedula 100	24	609,6	30,96	547,7
	10	273,0	7,800	257,4		8	219,1	15,09	188,9
	12	323,9	8,380	307,1		10	273,0	18,26	236,5
	14	355,6	9,520	336,6		12	323,9	21,44	281,0
	16	406,4	9,520	387,4		14	355,6	23,82	308,0
	18	457,2	11,130	434,9		16	406,4	26,19	354,0
	20	508,0	12,700	482,6		18	457,2	29,36	398,5
	24	609,6	14,270	581,1		20	508,0	32,54	442,9
Cedula 40	30	762,0	15,880	730,2		24	609,6	38,89	531,8
	1/8	10,3	1,73	6,8	Cedula 120	4	114,3	11,13	92,0
	1/4	13,7	2,24	9,2		5	141,3	12,7	115,9
	3/8	17,1	2,31	12,5		6	168,3	14,27	139,8
	1/2	21,3	2,77	15,8		8	219,1	18,26	182,6
	3/4	26,7	2,87	21,0		10	273,0	21,44	230,1
	1	33,4	3,38	26,6		12	323,9	25,4	273,1
	1 1/4	42,2	3,56	35,1		14	355,6	27,79	300,0
	1 1/2	48,3	3,68	40,9		16	406,4	30,96	344,5
	2	60,3	3,91	52,5		18	457,2	34,92	387,4
	2 1/2	73	5,16	62,7		20	508,0	38,1	431,8
	3	88,9	5,49	77,9	Cedula 140	24	609,6	46,02	517,6
	3 1/2	101,6	5,74	90,1		8	219,1	20,62	177,9
	4	114,3	6,02	102,3		10	273,0	25,4	222,2
	5	141,3	6,55	128,2		12	323,9	28,58	266,7
	6	168,3	7,11	154,1		14	355,6	31,75	292,1
	8	219,1	8,18	202,7		16	406,4	36,52	333,4
	10	273,0	9,27	254,5		18	457,2	39,69	377,8
	12	323,9	10,31	303,3		20	508,0	44,45	419,1
	14	355,6	11,13	333,3		24	609,6	52,39	504,8
	16	406,4	12,7	381,0	Cedula 160	1/2	21,3	4,78	11,7
	18	457,2	14,27	428,7		3/4	26,7	5,56	15,6
	20	508,0	15,09	477,8		1	33,4	6,35	20,7
	24	609,6	17,48	574,6		1 1/4	42,2	6,35	29,5
Cedula 60	8	219,1	10,31	198,5		1 1/2	48,3	7,14	34,0
	10	273,0	12,7	247,6		2	60,3	8,74	42,8
	12	323,9	14,27	295,4		2 1/2	73	9,52	54,0
	14	355,6	15,09	325,4		3	88,9	11,13	66,6
	16	406,4	16,64	373,1		4	114,3	13,49	87,3
	18	457,2	19,05	419,1		5	141,3	15,88	109,5
	20	508,0	20,62	466,8		6	168,3	18,26	131,8
	24	609,6	24,61	560,4		8	219,1	23,01	173,1
Cedula 80	1/8	10,3	2,41	5,5		10	273,0	28,58	215,8
	1/4	13,7	3,02	7,7		12	323,9	33,34	257,2
	3/8	17,1	3,2	10,7		14	355,6	35,71	284,2
	1/2	21,3	3,73	13,8		16	406,4	40,49	325,4
	3/4	26,7	3,91	18,9		18	457,2	45,24	366,7
	1	33,4	4,55	24,3		20	508,0	50,01	408,0
	1 1/4	42,2	4,85	32,5		24	609,6	59,54	490,5

## ANEXO O: TABLA DE VAPOR DE AGUA

## PROPIEDADES DEL VAPOR DE AGUA

## VAPOR DE AGUA SATURADO (entrada por temperaturas)

Temp. °C	Presión absoluta bar	Entalpía específica kWh/kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Volumen específico m <sup>3</sup> /kg	Viscosidad dinámica cP	Viscosidad cinemática cSt	Calor específico kWh/kg·K
50	0,12	0,719808	0,083140	12,027884	0,010616	127,691525	0,0005412
60	0,20	0,724679	0,130418	7,667656	0,010935	83,842200	0,0005462
70	0,31	0,729472	0,198423	5,039733	0,011260	56,749423	0,0005520
80	0,47	0,734171	0,293663	3,405265	0,011592	39,475082	0,0005589
90	0,70	0,738758	0,423882	2,359149	0,011929	28,142389	0,0005671
100	1,01	0,743214	0,598136	1,671861	0,012269	20,512441	0,0005771
101	1,05	0,743652	0,618373	1,617147	0,012303	19,896408	0,0005782
102	1,09	0,744088	0,639165	1,564542	0,012338	19,302688	0,0005793
103	1,13	0,744523	0,660522	1,513953	0,012372	18,730345	0,0005805
104	1,17	0,744956	0,682458	1,465292	0,012406	18,178489	0,0005817
105	1,21	0,745387	0,704982	1,418475	0,012440	17,646270	0,0005829
106	1,25	0,745817	0,728108	1,373422	0,012475	17,132880	0,0005841
107	1,30	0,746245	0,751847	1,330058	0,012509	16,637546	0,0005853
108	1,34	0,746671	0,776211	1,288310	0,012543	16,159533	0,0005866
109	1,39	0,747096	0,801212	1,248109	0,012578	15,698138	0,0005879
110	1,43	0,747519	0,826863	1,209390	0,012612	15,252691	0,0005892
111	1,48	0,747940	0,853177	1,172090	0,012646	14,822552	0,0005906
112	1,53	0,748359	0,880165	1,136150	0,012681	14,407111	0,0005919
113	1,58	0,748777	0,907842	1,101513	0,012715	14,005784	0,0005933
114	1,64	0,749193	0,936219	1,068126	0,012749	13,618014	0,0005948
115	1,69	0,749607	0,965311	1,035936	0,012784	13,243268	0,0005962
116	1,75	0,750019	0,995130	1,004894	0,012818	12,881038	0,0005977
117	1,81	0,750429	1,025690	0,974954	0,012853	12,530837	0,0005992
118	1,86	0,750838	1,057004	0,946070	0,012887	12,192201	0,0006007
119	1,92	0,751244	1,089087	0,918201	0,012922	11,864685	0,0006023
120	1,99	0,751648	1,121952	0,891304	0,012956	11,547863	0,0006039
121	2,05	0,752051	1,155613	0,865341	0,012991	11,241329	0,0006055
122	2,12	0,752451	1,190085	0,840276	0,013025	10,944693	0,0006072
123	2,18	0,752850	1,225383	0,816072	0,013060	10,657582	0,0006088
124	2,25	0,753246	1,261520	0,792695	0,013094	10,379640	0,0006105
125	2,32	0,753640	1,298512	0,770112	0,013129	10,110524	0,0006123
126	2,39	0,754033	1,336373	0,748294	0,013163	9,849909	0,0006140
127	2,47	0,754423	1,375118	0,727210	0,013198	9,597479	0,0006158
128	2,54	0,754811	1,414764	0,706832	0,013232	9,352935	0,0006177
129	2,62	0,755196	1,455325	0,687132	0,013267	9,115988	0,0006195
130	2,70	0,755580	1,496817	0,668094	0,013301	8,886363	0,0006214
131	2,78	0,755961	1,539255	0,649665	0,013336	8,663795	0,0006233
132	2,87	0,756340	1,582656	0,631849	0,013370	8,448031	0,0006253
133	2,95	0,756717	1,627036	0,614614	0,013405	8,238826	0,0006272
134	3,04	0,757092	1,672411	0,597939	0,013439	8,035947	0,0006292
135	3,13	0,757464	1,718798	0,581802	0,013474	7,839170	0,0006313
136	3,22	0,757834	1,766213	0,566183	0,013508	7,648281	0,0006333

## ANEXO P: FICHA TÉCNICA DE REGULADOR DE VAPOR




SDS SA0000-S

# VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN PARA VAPOR

## MODELO COS-3/COS-16

VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN AUTO-ACTUANTE CON PISTÓN PARA ABSORCIÓN DE GOLPES

### Características

Válvula reductora de presión, de tecnología avanzada, combinada con separador de condensado y trampa de vapor, para proveer un control preciso e incrementar el rendimiento del proceso.

1. Ahorro de espacio simplificando el diseño del sistema, cañerías y mantenimiento.
2. Pistón esférico con auto alineación y absorción de golpes, con diseño avanzado del regulador piloto que mantiene la precisión en la presión secundaria del vapor, aún durante condiciones desfavorables en el proceso.
3. Separador de condensado incorporado, con una eficiencia del 98%, y trampa de vapor de flotador libre proveen vapor seco de alta calidad.
4. Mayoría de componentes internos hechos de acero inoxidable para una larga vida de servicio.
5. Gran superficie con filtro integrado para la válvula principal y la del piloto extienden la vida del servicio libre de problemas.
6. Canal de sensor de presión secundaria interno hace que el sensor de línea externo sea innecesario.
7. COS-16, medida de 65 mm y más grandes tienen silenciador para reducción de ruido.



### Especificaciones técnicas

Modelo	COS-3		COS-16	
Conexión	Roscada	Bridada	Roscada	Bridada
Tamaño (mm)	20, 25	20, 25, 32, 40, 50	15, 20, 25	15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100
Material de Cuerpo	Fundición Hierro			
Presión Máxima de Operación (barg) PMO	3		16	
Temperatura Máxima de Operación (°C) TMO	—		220	
Rango de presión primaria (barg)	1 - 3		2 - 16	
Rango de presión ajustada (todas las condiciones deben cumplirse)	0.1 - 0.5 barg		Dentro de 10 - 84% de la presión primaria per con una presión mínima de 0.3 barg	
	—		Presión diferencial entre 0.7 - 8.5 bar	
Rango de Flujo Mínimo Ajustable	5% del caudal nominal		5% del caudal nominal (65 mm - 100 mm: 10% del caudal nominal)	

PRESIÓN DE DISEÑO (NO CONDICIONES DE OPERACIÓN):

Presión máxima permitida (barg) PMA: 16

Temperatura máxima permitida (°C) TMA: 220

1 bar = 0.1 MPa



**ATENCIÓN**

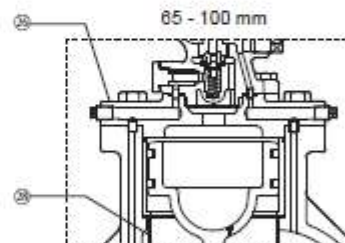
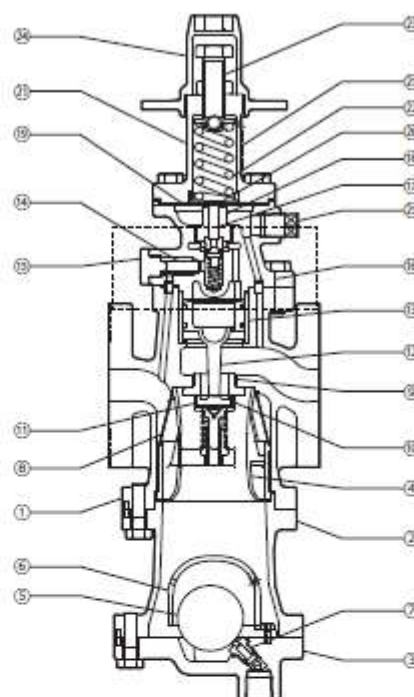
Para evitar operación anormal, accidentes o lesiones serias, NO USE este producto fuera del rango de especificaciones. Regulaciones locales pueden restringir el uso de este producto debajo de las condiciones especificadas.



## Configuración

Nº	Descripción	Material	JIS	ASTM/AISI*
①	Cuerpo Principal	Fundición Hierro	FC250	A126 CLB
②	Cuerpo de la Trampa	Fundición Hierro	FC250	A126 CLB
③	Cubierta Trampa	Fundición Hierro	FC250	A126 CLB
④	Separador	Acero Inoxidable	—	—
⑤	Flotador	Acero Inoxidable	—	—
⑥	Cubierta Flotador	Fundición Hierro	FC250	A126 CLB
⑦	Asiento de Válvula de la Trampa	Acero Inoxidable	—	—
⑧	Filtro Separador	Acero Inoxidable	—	—
⑨	Asiento Válvula Principal	Acero Inoxidable	—	—
⑩	Válvula Principal	Acero Inoxidable	—	—
⑪	Soporte Válvula Principal	Acero Inoxidable	—	—
⑫	Pistón	Acero Inoxidable	—	—
⑬	Cilindro	Acero Inoxidable	—	—
⑭	Filtro Piloto	Acero Inoxidable	—	—
⑮	Porta Filtro Piloto	Acero al Carbón	S25C	AISI1025
⑯	Cuerpo Piloto	Fundición dúctil	FCD450	A536
⑰	Válvula Piloto	Acero Inoxidable	—	—
⑱	Asiento Válvula Piloto	Acero Inoxidable	—	—
⑲	Diafragma	Acero Inoxidable	—	—
⑳	Soporte Diafragma	Latón	—	—
㉑	Boneta Resorte	Fundición Hierro	FC250	A126 CLB
㉒	Resorte	Acero al Carbón	—	—
㉓	Tornillo Ajuste	Acero Cr-Mo	—	—
㉔	Tapa de llave inglesa	Aluminio Inyectado	—	—
㉕	Tapón - Conexión Línea Sensora	Acero al Carbón	SS400	A6
㉖	Cubierta Piloto	Fundición Hierro	FCV400	A842 Gr.400
㉗	Placa de Identificación	Acero Inoxidable	—	—
㉘	Silenciador	Acero Inoxidable	—	—

\* Equivalente

Contacte a TLV para piezas de reemplazo disponibles.  
Todas los empaques son de PTFE.

La configuración de las piezas de los tamaños de 65 a 100 mm difiere ligeramente de la de los tamaños de 15 a 50 mm.

## Tabla de capacidades COS-3

Con línea/canal de sensado externo (opción)/interno (estándar de fábrica) de la presión secundaria (kg/h)

Presión de Vapor Primaria (barg)	Presión de vapor secundaria (Ajuste) (barg)		Tamaño Nominal de Válvula (mm)				
	Canal interno	Línea externa (opcional)	20	25	32	40	50
1 < 2	*0.5	**0.5 - **0.1	120	180	540	750	950
	0.4		130	190	520	700	920
	0.3		135	195	510	680	900
	0.2		140	200	390	500	690
	**0.1		100	180	290	380	500
2 - 3	*0.5	**0.5 - **0.1	240	340	540	750	950
	0.4		230	330	520	700	920
	0.3		220	320	510	680	900
	0.2		160	250	390	500	690
	**0.1		100	180	290	380	500

\* Máximo ajuste de la presión secundaria \*\* Mínimo ajuste de la presión secundaria

Copyright © TLV

1 bar = 0.1 MPa

SDS SA0000-35

# **Tabla de capacidades COS-16**

Con línea/canal de sensado externo (opción)/interno (estándar de fábrica) de la presión secundaria (kg/h)

Presión de Vapor Primaria (bar)	Presión de vapor secundaria (Ajuste) (bar)		Tamaño Nominal de Válvula (mm)								
	Canal interno	Línea externa (opcional)	15	20	25	32	40	50	65	80	100
2	*1.3	*1.3	170	240	340	540	670	920	1460	2090	3150
	1.1	1.1	180	260	370	570	720	990	1570	2250	3400
	1	**0.3 - 1	185	270	380	580	730	1010	1610	2310	3480
	0.7		60	160	360	560	700	1000	1600	2300	3470
3	**0.3		50	140	340	520	660	990	1590	2290	3460
	*2.3	*2.3	190	280	400	600	710	1090	1740	2500	3760
	2	2	200	290	430	620	800	1240	1790	2820	4250
	1.5	**0.3 - 1.5	210	310	450	660	880	1370	2180	3120	4700
4	1		80	190	400	600	840	1300	2060	2980	4480
	**0.3		50	140	340	520	740	1150	1830	2630	3950
	*3.3	*3.3	200	290	410	610	800	1250	1960	2840	4280
	3	3	220	310	450	650	920	1420	2270	3250	4900
5	2.5	2.5	230	320	480	690	1040	1610	2570	3690	5560
	2	**0.4 - 2	240	350	520	730	1130	1750	2790	3990	6020
	1		80	280	440	620	960	1490	2370	3390	5110
	**0.4		60	150	390	550	850	1310	2090	3000	4510
6	*4.2	*4.2	220	320	370	610	940	1460	2320	3330	5010
	4	4	240	340	470	660	1030	1590	2530	3630	5470
	3	3	260	380	590	820	1270	1980	3050	4510	6800
	2.5	**0.5 - 2.5	270	400	620	870	1350	2090	3320	4760	7170
7	1.5		170	320	520	720	1120	1730	2760	3950	5850
	**0.5		60	150	410	570	890	1380	2190	3140	4730
	*5	*5	250	350	520	720	1120	1740	2770	3970	5980
	4	4	280	410	660	920	1420	2210	3520	5040	7590
8	3.5	3.5	290	440	690	970	1500	2330	3710	5320	8010
	3	**0.6 - 3	300	460	720	1010	1560	2420	3860	5530	8330
	1.5		170	320	490	670	1030	1600	2550	3800	5500
	**0.6		60	150	420	590	920	1420	2260	3250	4890
9	*5.8	*5.8	250	370	600	840	1300	2020	3220	4610	6940
	5	5	290	450	720	1010	1560	2420	3850	5520	8320
	4	4	330	500	800	1110	1720	2670	4260	6110	9200
	3.5	**0.7 - 3.5	350	510	820	1150	1780	2750	4390	6290	9480
10	2		200	380	610	850	1310	2040	3250	4660	7010
	**0.7		70	230	430	600	930	1450	2310	3310	4980
	*6.7	*6.7	290	410	670	930	1440	2230	3550	5100	7620
	6	6	300	480	780	1090	1680	2610	4160	5970	8980
12	5	5	340	540	870	1220	1890	2930	4670	6690	10100
	4	**0.8 - 4	400	570	920	1290	1990	3090	4920	7060	10600
	2		200	380	610	850	1310	2040	3250	4660	7010
	**0.8		70	160	410	580	900	1390	2220	3180	4780
14	*8.4	*8.4	310	500	810	1130	1750	2720	4330	6210	9360
	7	7	390	630	1010	1410	2180	3380	5390	7730	11600
	6	6	470	670	1090	1510	2340	3620	5780	8280	12500
	5	**1.5 - 5	500	700	1120	1560	2420	3750	5990	8580	12900
16	3		300	460	740	1030	1600	2480	3950	5790	8520
	**1.5		170	320	490	680	970	1510	2390	3430	5170
	*10	*10	350	610	990	1380	2110	3270	5220	7480	11300
	8	8	500	760	1230	1710	2650	4110	6560	9400	14200
18	7	7	570	800	1290	1800	2780	4310	6870	9850	14800
	6	**3.5 - 6	600	820	1320	1840	2850	4420	7050	10100	15200
	5		500	660	1090	1530	2370	3670	5850	8380	12600
	**3.5		360	550	890	1240	1930	2980	4760	6820	10300
20	*11.7	*11.7	410	700	1120	1570	2430	3760	6000	8590	12400
	10	10	540	840	1360	1900	2940	4550	7260	10400	15600
	8	8	670	980	1490	2300	3220	4990	7950	11400	17200
	7	**5.5 - 7	730	1050	1520	2450	3280	5090	8110	11600	17500
22	6		600	840	1240	2000	2890	4170	6650	9530	14300
	**5.5		550	770	1130	1590	2450	3790	6040	8660	13000
	*13.4	*13.4	470	790	1270	1770	2740	4250	6770	9710	14600
	10	10	730	1100	1650	2400	3560	5520	8800	12600	19000
24	9	9	790	1200	1750	2600	3650	5660	9000	12900	19500
	8	**7.5 - 8	880	1300	2000	2700	3710	5750	9170	13100	19800
26	**7.5		820	1250	1800	2600	3400	5260	8390	12000	18100

\* Máximo ajuste de la presión secundaria \*\* Mínimo ajuste de la presión secundaria

1 bar = 0.1 MPa

Copyright © TLV

SDS SA0000-35

## ANEXO Q: FICHA TECNICA DE VENTILADOR DE CENTRIFUGO

**KM-R**

KM 251 R1A LG270 NP 1.5KW/2-4302RPM-60HZ 90L



Ventilador centrífugo con accionamiento por poleas y correas y simple aspiración. Fabricado en acero al carbono protegido contra la corrosión mediante tratamiento por catodoforesis + pintura poliuretano RAL7043.

Temperaturas del aire a transportar: -208C/+1008C en continuo. Versión con rodete de refrigeración hasta +3008C.

**Ejecuciones**

- Ejecución 1: Eje libre, para acoplamiento mediante poleas y correas.
- Ejecución 9: Acoplamiento a transmisión. Motor montado en el lateral del pie soporte rodamientos.
- Ejecución 12: Acoplamiento a transmisión. Ventilador y motor montados sobre bancada común.

**Motores**

De 2, 4 ó 6 polos, de alta eficiencia IE3\* (las r.p.m. de cada motor se adaptarán al cálculo de cada transmisión), tensión de alimentación trifásica 230/400V 50Hz tamaño motor 112 y 400/690V 50Hz para motores de mayor dimensión. Protección IP55, Clase F.

\*Para potencias entre 75 kW y 200 kW, el motor será IE4.

**Bajo pedido**

- Fabricación en diferentes materiales constructivos.
- Pintura externa en diferentes RAL.
- Galvanizado en caliente de las piezas estáticas del ventilador.
- Construcción para ambiente corrosivo.
- Versiones con materiales antidesgaste.
- Motores para aplicaciones especiales.
- Versión para alta temperatura (hasta +6008C).
- Motores aptos para regulación con variador de frecuencia.
- Accesorios disponibles: conexiones flexibles, puerta de inspección, purga de drenaje, amortiguadores, redes de protección, filtros, silenciadores, regulador de caudal, válvulas y compuertas.
- Ventiladores estancos.
- Calorífugo.

**Versiones ATEX**

Bajo pedido, versiones antiexplosivas según la Directiva 2014/34/UE (ATEX):

**• Gas:**

2G IIB T2-T3  
2G IIB+H2 T2-T3  
3G IIB T2-T3  
3G IIB+H2 T2-T3

**• Polvo no conductivo:**

2D IIIB T195°C-T295°C  
3D IIIB T195°C-T295°C

**• Polvo conductivo (con motor IP 65 III C):**

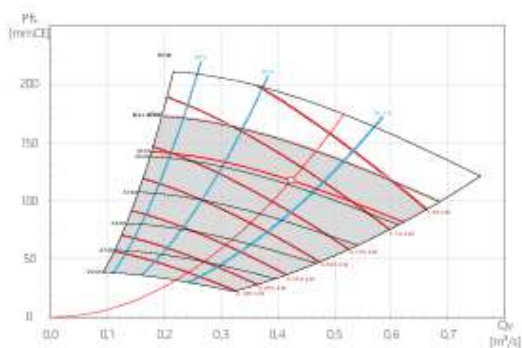
2D IIIC T195°C-T295°C  
3D IIIC T195°C-T295°C

**Punto requerido**

Caudal: 0,424 m³/s  
Presión Estática: 118 mmwg  
Temperatura: 20 °C  
Altitud: 3400 m  
Densidad: 0,8 Kg / m³  
Frecuencia: 60 Hz

**Punto de trabajo**

Caudal: 0,424 m³/s  
Presión estática: 118 mmwg @ 0,8 kg/m³  
Presión dinámica: 9,40 mmwg @ 0,8 kg/m³  
Presión total: 127 mmwg @ 0,8 kg/m³  
Presión estática estándar: 176 mmwg @ 1,2 kg/m³  
Presión dinámica estándar: 14,1 mmwg @ 1,2 kg/m³  
Presión total estándar: 190 mmwg @ 1,2 kg/m³  
Rend Total: 54,8 %  
Rend Estático: 50,7 %  
Potencia útil: 0,964 kW @ 0,8 kg/m³  
Potencia útil estándar: 1,44 kW @ 1,2 kg/m³  
Factor de servicio disponible: 42 %  
Velocidad descarga: 15,1 m/s

**Curva(s)**







## ANEXO R: TABLA DE VAPOR PARA BOMBAS DE VACIO DE ANILLO LIQUIDO

Technical Information  
Basic Principles for the Design of  
Liquid Ring Vacuum Pumps and Compressors



## 9 Water Vapour Chart (Saturation State)

t, T = temperature  
p = vapour pressure  
v" = specific volume of water vapour  
r = evaporation heat

t °C	T K	p mbar	v" m³/kg	r kJ/kg
-40	233.16	0.1284	8382	2839
-39	234.16	0.1437	7521	2839
-38	235.16	0.1607	6755	2839
-37	236.16	0.1795	6072	2839
-36	237.16	0.2003	5464	2839
-35	238.16	0.2233	4921	2839
-34	239.16	0.2488	4436	2839
-33	240.16	0.2769	4002	2839
-32	241.16	0.3080	3614	2839
-31	242.16	0.3422	3266	2838
-30	243.16	0.3799	2954	2838
-29	244.16	0.4213	2674	2838
-28	245.16	0.4669	2423	2838
-27	246.16	0.5170	2197	2838
-26	247.16	0.5720	1994	2838
-25	248.16	0.6324	1811	2838
-24	249.16	0.6985	1646	2838
-23	250.16	0.7709	1497	2838
-22	251.16	0.8502	1363	2838
-21	252.16	0.9369	1242	2838
-20	253.16	1.032	1132	2838
-19	254.16	1.135	1033	2838
-18	255.16	1.248	943.5	2837
-17	256.16	1.371	862.2	2837
-16	257.16	1.505	788.4	2837
-15	258.16	1.651	721.5	2837
-14	259.16	1.810	660.7	2837
-13	260.16	1.983	605.4	2837
-12	261.16	2.171	555.2	2837
-11	262.16	2.375	509.5	2836
-10	263.16	2.596	467.8	2836
-9	264.16	2.836	429.9	2836
-8	265.16	3.096	395.2	2836
-7	266.16	3.378	363.6	2836
-6	267.16	3.683	334.8	2836

t °C	T K	p mbar	v" m³/kg	r kJ/kg
-5	268.16	4.012	308.4	2835
-4	269.16	4.369	284.3	2835
-3	270.16	4.754	262.3	2835
-2	271.16	5.170	242.0	2835
-1	272.16	5.619	223.5	2835
0	273.16	6.108	206.3	2502
1	274.16	6.567	192.6	2499
2	275.16	7.057	179.9	2497
3	276.16	7.578	168.2	2495
4	277.16	8.132	157.3	2492
5	278.16	8.720	147.2	2490
6	279.16	9.346	137.8	2487
7	280.16	10.011	129.1	2485
8	281.16	10.718	121.0	2483
9	282.16	11.469	113.4	2480
10	283.16	12.266	106.4	2478
11	284.16	13.112	99.91	2476
12	285.16	14.010	93.84	2473
13	286.16	14.961	88.18	2471
14	287.16	15.970	82.90	2469
15	288.16	17.038	77.98	2466
16	289.16	18.168	73.38	2464
17	290.16	19.364	69.09	2461
18	291.16	20.63	65.09	2459
19	292.16	21.96	61.34	2457
20	293.16	23.37	57.84	2454
21	294.16	24.86	54.56	2452
22	295.16	26.43	51.49	2450
23	296.16	28.09	48.62	2447
24	297.16	29.84	45.92	2445
25	298.16	31.68	43.40	2443
26	299.16	33.61	41.03	2440
27	300.16	35.65	38.81	2438
28	301.16	37.80	36.73	2435
29	302.16	40.06	34.77	2433

Editor	VTF - Dr. Jünemann	Replaces No.	---
Date	August 1998	No.	120.70004.52.43E

**Technical Information**  
 Basic Principles for the Design of  
 Liquid Ring Vacuum Pumps and Compressors



Water Vapour Chart (Saturation State)

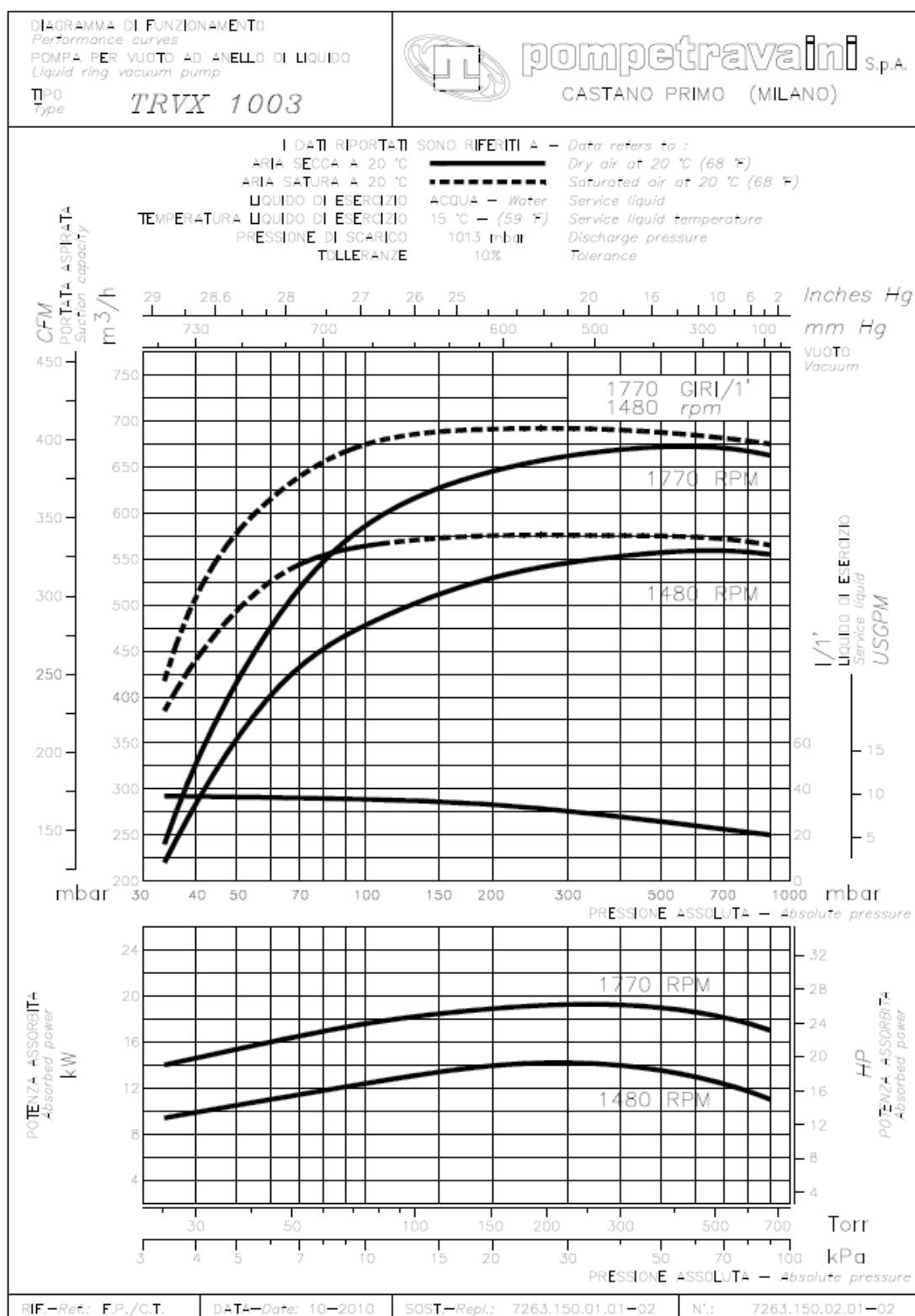
t, T = temperature  
 p = vapour pressure  
 v" = specific volume of water vapour  
 r = evaporation heat

t °C	T K	p mbar	v" m³/kg	r kJ/kg
30	303.16	42.43	32.93	2431
31	304.16	44.93	31.20	2428
32	305.16	47.55	29.57	2426
33	306.16	50.30	28.04	2424
34	307.16	53.19	26.60	2421
35	308.16	56.23	25.24	2419
36	309.16	59.41	23.97	2416
37	310.16	62.74	22.76	2414
38	311.16	66.24	21.63	2412
39	312.16	69.91	20.56	2409
40	313.16	73.75	19.55	2407
41	314.16	77.77	18.59	2405
42	315.16	81.98	17.69	2402
43	316.16	86.38	16.84	2400
44	317.16	90.99	16.04	2397
45	318.16	95.80	15.28	2395
46	319.16	100.83	14.56	2393
47	320.16	106.10	13.88	2390
48	321.16	111.60	13.23	2388
49	322.16	117.33	12.62	2385
50	323.16	123.33	12.05	2383
51	324.16	129.59	11.50	2381
52	325.16	136.11	10.98	2378
53	326.16	142.91	10.49	2376
54	327.16	150.01	10.02	2373
55	328.16	157.40	9.579	2371
56	329.16	165.10	9.159	2368
57	330.16	173.12	8.760	2366
58	331.16	181.47	8.381	2364
59	332.16	190.16	8.021	2361
60	333.16	199.21	7.679	2359
61	334.16	208.6	7.353	2356
62	335.16	218.4	7.044	2354
63	336.16	228.6	6.749	2351
64	337.16	239.2	6.469	2349

t °C	T K	p mbar	v" m³/kg	r kJ/kg
65	338.16	250.1	6.202	2346
66	339.16	261.6	5.948	2344
67	340.16	273.4	5.706	2341
68	341.16	285.7	5.476	2339
69	342.16	298.5	5.256	2337
70	343.16	311.7	5.046	2334
71	344.16	325.4	4.846	2332
72	345.16	339.7	4.656	2329
73	346.16	354.5	4.474	2327
74	347.16	369.8	4.300	2324
75	348.16	385.6	4.134	2322
76	349.16	402.0	3.976	2319
77	350.16	419.0	3.824	2316
78	351.16	436.7	3.680	2314
79	352.16	454.9	3.541	2311
80	353.16	473.8	3.409	2309
81	354.16	493.3	3.283	2306
82	355.16	513.4	3.162	2304
83	356.16	534.3	3.046	2301
84	357.16	555.9	2.935	2299
85	358.16	578.2	2.829	2296
86	359.16	601.2	2.727	2294
87	360.16	625.0	2.630	2291
88	361.16	649.6	2.536	2288
89	362.16	675.0	2.447	2286
90	363.16	701.2	2.361	2283
91	364.16	728.3	2.279	2281
92	365.16	756.1	2.200	2278
93	366.16	784.9	2.124	2275
94	367.16	814.7	2.052	2273
95	368.16	845.3	1.982	2270
96	369.16	876.9	1.915	2268
97	370.16	909.5	1.851	2265
98	371.16	943.0	1.789	2262
99	372.16	977.6	1.730	2260

Editor	VTF - Dr. Jünemann	Replaces No.	---
Date	August 1998	No.	120.70004.52.44E

## ANEXO S: TABLA DE VAPOR PARA BOMBAS DE VACIO DE ANILLO LIQUIDO



## ANEXO T: CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE MATERIAL

<b>Martin</b>	<b>Tabla 1-1</b> <b>Código de Clasificación del Material</b>
---------------	---

Clase	Características de Material	Código
Densidad	Densidad a Granel, Sin Compactar	Libras por pie cúbico
Tamaño	Muy Fino Malla No. 200 (.0029") y menor Malla No. 100 (.0059") y menor Malla No. 40 (.016") y menor	A <sub>200</sub> A <sub>100</sub> A <sub>40</sub>
	Fino Malla No. 6 (.132) y menor	B <sub>6</sub>
	Granular ½" y menor (malla 6" a ½") 3" y menor (½" a 3") 7" y menor (3" a 7")	C <sub>½</sub> D <sub>3</sub> D <sub>7</sub>
	Terrones 16" y por debajo (0" a 16") Arriba de 16" a ser especificado X=Tamaño Máximo	D <sub>16</sub> D <sub>X</sub>
	Irregular Fibroso, Cilíndrico, etc.	E
Fluidez	Fluido Muy Libre	1
	Fluido Libre	2
	Fluido Promedio	3
	Fluido Lento	4
Abrasividad	Abrasividad Media	5
	Abrasividad Moderada	6
	Abrasividad Extrema	7
Propiedades Misceláneas o Peligrosas	Acumulación y Endurecimiento Genera Eléctrica Estática Descomposición — Se Deteriora en Almacenamiento Inflamabilidad Se Hace Plástico o Tiende a Suavizarse Muy Polvoso Al Airearse Se Convierte en Fluido Explosividad Pegajoso — Adhesión Contaminable — Afecta Uso Degradable — Afecta Uso Emite Humos o Gases Tóxicos Peligrosos Altamente Corrosivo Medianamente Corrosivo Higroscópico Se Entrelaza, Enreda o Aglomera Presencia de Aceites Se Comprime Bajo Presión Muy Ligero — Puede Ser Levantado por el Viento Temperatura Elevada	F G H J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z



## Tabla 1-2 Características de los Materiales



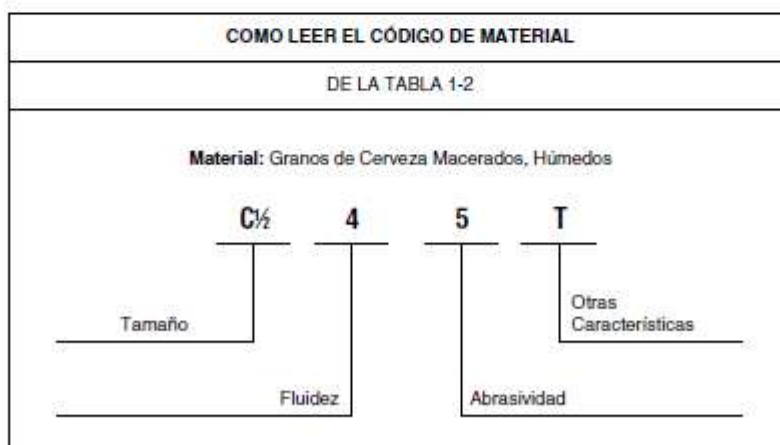
### Características de los Materiales

La tabla de Características de los Materiales contiene la información siguiente:

- A. El peso por pie cúbico (densidad) que puede ser usado para calcular la capacidad del transportador en pies cúbicos por hora.
- B. El código de material para cada material tal y como se describe en la Tabla 1-1 y que se interpreta abajo en ésta página.
- C. El código para la selección del Rodamiento Intermedio se usa para seleccionar el material adecuado para el buje del colgante. Tabla 1-11 (página H-22).
- D. El código para la Serie de Componentes se usa para determinar los componentes correctos que deben utilizarse (página H-21).
- E. El Factor del Material,  $F_m$  se usa para determinar la potencia como se indica en las páginas H-23 a H-25.
- F. La columna de la carga de artesa indica el porcentaje de llenado que debe utilizarse para determinar el diámetro y la velocidad del transportador.

Para propósitos de diseño del transportador, los materiales a transportar están clasificados de acuerdo al código de la Tabla 1-1 y listados en la Tabla 1-2.

La Tabla 1-2 contiene muchos materiales que pueden ser transportados efectivamente en un transportador helicoidal. Si algún material no está en la Tabla 1-2, debe ser clasificado de acuerdo a la Tabla 1-1 o puede tomarse un material similar en cuanto al peso (densidad), tamaño de partícula u otras características.





## Tabla 1-2

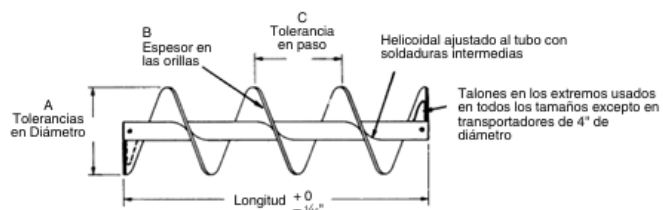
### Características de los Materiales

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Series de Componentes	Factor de Material F <sub>s</sub>	Carga de Artesa
Mica, pulverizada	13-15	A100-36M	H	2	1	30B
Migajas de Pan	20-25	B6-35PQ	L-S-B	1	0.6	30A
Mineral de Aluminio (Bauxita)	-	-	-	-	-	-
Mineral de Asbesto	81	D3-37R	H	3	1.2	15
Molibdenita, en polvo	107	B6-26	H	2	1.5	30B
Mortero, mojado*	150	E-46T	H	3	3	30B
Mostaza, semilla	45	B6-15N	L-S-B	1	0.4	45
Naftalina, hojuelas	45	B6-35	L-S-B	1	0.7	30A
Negro de Humo, pelletizado	-	-	-	-	-	-
Negro de Humo, polvo*	-	-	-	-	-	-
Niacina (Ácido Nicotínico)	35	A40-35P	H	2	2.5	30A
Nitrato de Amonio	45-62	A40-35NTU	H	3	1.3	30A
Nitrato de Potasio - ½"	76	C1/2-16NT	H	3	1.2	30B
Nitrato de Potasio - ⅓"	80	B6-26NT	H	3	1.2	30B
Nitrato de Sodio	70-80	D3-25NS	L-S	2	1.2	30A
Nuez de Acaju	32-37	C1/2-45	H	2	0.7	30A
Óxido de Aluminio	60-120	A100-17M	H	3	1.8	15
Óxido de Arsénico (Arsenolita)	100-120	A100-35R	L-S-B	-	-	30A
Óxido de Calcio (ver Cal Viva, molida)	-	-	-	-	-	-
Óxido de Manganeseo (Braunita)	120	A100-36	H	2	2	30B
Óxido de Plomo (Plomo Rojo) - malla 100	30-150	A100-35P	H	2	1.2	30A
Óxido de Plomo (Plomo Rojo) - malla 200	30-180	A200-35LP	H	2	1.2	30A
Óxido de Zinc, ligero	10-15	A100-45XY	L-S	1	1	30A
Óxido de Zinc, pesado	30-35	A100-45X	L-S	1	1	30A
Papel, pulpa (4% o menos)	62	E-45	L-S	2	1.5	30A
Papel, pulpa (6% a 15%)	60-62	E-45	L-S	2	1.5	30A
Parafina, en pasta - ½"	45	C1/2-45K	L-S	1	0.6	30A
Perlita - expandida	8-12	C1/2-36	H	2	0.6	30B
Pescado, pedacería y desperdicio	40-50	D7-45H	L-S-B	2	1.5	30A
Piedra Caliza, para agricultura	68	B6-35	H	2	2	30A
Piedra Caliza, polvo	55-95	A40-46MY	H	2	1.6-2.0	30B
Piedra Caliza, triturada	85-90	DX-36	H	2	2	30B
Piedra Pómez ⅓"	42-48	B6-46	H	3	1.6	30B
Pirita de Hierro (ver Sulfuro Ferroso)	-	-	-	-	-	-
Pirita, pellets	120-130	C1/2-26	H	3	2	30B
Pizarra molida ⅓"	82-85	B6-36	H	2	1.6	30B
Pizarra triturada	85-90	C1/2-36	H	2	2	30B
Pizarra triturada ½"	80-90	C1/2-36	H	2	2	30B
Plaster de Paris (ver Yeso)	-	-	-	-	-	-
Plombagina (ver Grafito)	-	-	-	-	-	-
Plomo Blanco, seco	75-100	A40-36MR	H	2	1	30B
Plomo, mineral ½"	180-230	C1/2-36	H	3	1.4	30B
Plomo, mineral ⅓"	200-270	B6-35	H	3	1.4	30A
Poliestireno en perlas	40	B6-35PQ	S	1	0.4	30A
Poliétileno, resina en pellets	30-35	C1/2-45Q	L-S	1	0.4	30A
Polvo de chimenea, alto horno	110-125	A40-36	H	3	3.5	30B
Polvo de chimenea, horno de oxígeno	45-60	A40-36LM	H	3	3.5	30B
Polvo para Hornear	40-55	A100-35	S	1	0.6	30A
-	-	-	-	-	-	-

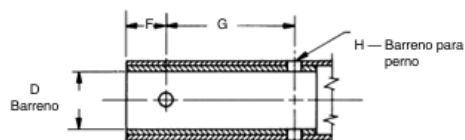
# Martin

## Estándares CEMA

### Helicoidales Continuos



Talones en los extremos usados en todos los tamaños excepto en transportadores de 4\" de diámetro



Diámetro del Helicoidal y Paso	Diámetro del Ejes	Designación de Tamaño	Tamaño de tubo Cédula 40	Longitud, Pies y Pulgadas	A		B		C		D		F	G	H
					Tolerancia en Diámetro		Espesor		Tolerancia en Paso		Diámetro Interno del Buje		Distancia al 1º Barreno del perno	Centros al 2º Barreno del perno	Tamaño Nominal Perforación del Tornillo
					Más	Menos	Orilla Interior	Orilla Exterior	Más	Menos	Mínimo	Máximo			
4	1	4H206	1 1/4	9-10 1/2	1/16	3/16	3/16	3/16	1/2	1/4	1.005	1.016	1/2	2	13/32
6	1 1/2	6H304	2	9-10	1/16	3/16	1/4	1/4	1/2	1/4	1.505	1.516	3/4	3	17/32
6	1 1/2	6H308	2	9-10	1/16	3/16	1/4	1/4	1/2	1/4	1.505	1.516	3/4	3	17/32
6	1 1/2	6H312	2	9-10	1/16	3/16	3/8	3/8	3/4	1/4	1.505	1.516	3/4	3	17/32
9	1 1/2	9H306	2	9-10	1/16	3/16	3/16	3/16	3/4	1/4	1.505	1.516	3/4	3	17/32
9	1 1/2	9H312	2	9-10	1/16	3/16	3/8	3/8	3/4	1/4	1.505	1.516	3/4	3	17/32
9	2	9H406	2 1/2	9-10	1/16	3/16	3/16	3/16	3/4	1/4	2.005	2.016	3/4	3	21/32
9	2	9H412	2 1/2	9-10	1/16	3/16	3/8	3/8	3/4	1/4	2.005	2.016	3/4	3	21/32
9	2	9H414	2 1/2	9-10	1/16	3/16	3/16	3/16	3/4	1/4	2.005	2.016	3/4	3	21/32
10	1 1/2	10H306	2	9-10	1/16	3/16	3/16	3/16	3/4	1/4	1.505	1.516	3/4	3	17/32
10	2	10H412	2 1/2	9-10	1/16	3/16	3/8	3/8	3/4	1/4	2.005	2.016	3/4	3	21/32
12	2	12H408	2 1/2	11-10	1/8	3/16	1/4	1/4	1	1/4	2.005	2.016	3/4	3	21/32
12	2	12H412	2 1/2	11-10	1/8	3/16	3/8	3/8	1	1/4	2.005	2.016	3/4	3	21/32
12	2 1/16	12H508	3	11-9	1/8	3/16	1/4	1/4	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
12	2 1/16	12H512	3	11-9	1/8	3/16	3/8	3/8	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
12	3	12H614	3 1/2	11-9	1/8	3/8	3/16	3/16	1	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
14	2 1/16	14H508	3	11-9	1/8	3/16	1/4	1/4	1	1/4	2.443	2.458	15/16	3	21/32
14	3	14H614	3 1/2	11-9	1/8	3/8	3/16	3/16	1	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
16	3	16H610	3 1/2	11-9	1/8	3/8	3/16	3/16	1 1/2	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32
16	3	16H614	4	11-9	1/8	3/8	3/16	3/16	1 1/2	1/4	3.005	3.025	1	3	25/32

NOTA: Todas las dimensiones están en pulgadas.

## ANEXO U: COTIZACIONES



RUC: 20101256422  
 Central: Calle Omicron 215 - Callao  
 Sucursal: Calle Emilio Fort del Solar N° 161/169 - Santa Anita  
 Central Telefónica: (01) 319-6160  
 Email: ventas@fiorellarepre.com.pe  
 www.fiorellarepre.com.pe

Asesor de Ventas: GOMEZ COCHACHIN, KIMBERLY OLGA BRISSET  
 Email: VENTAS1\_SA@FIORELLAREPRE.COM.PE  
 Teléfono: 994037343

## COTIZACIÓN

Cotización N° CC\*2025-0012200507  
 Fecha: 20/06/2025  
 Moneda: Dolares Americanos

## TIPO DE CAMBIO

3.6300

## DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: INDEC PERU CONSULTORIA Y EJECUCION SOCIEDAD ANONIM  
 RUC: 20490217127  
 Dirección: MZA. F LOTE. 5 URB. LOS ALAMOS (COS.REST.WALY 2 PDR.KIOSK 1P.PTA.GARAGE)  
 Referencia:  
 Atención:

Nacional (Local): ☒  
 Exportación: ☐ Incoterm:  
 Teléfono:  
 Correo:

Estimados señores:  
 Por la presente nos es grato hacerles llegar nuestra cotización por el siguiente material:

ITEM	CANT.	UDM	PESO UNI	CODIGO	PRODUCTO	V. UNIT	V. TOTAL
1	4.00	Pza	178.64	605020298	PLANCHA ACERO A-36 (7.9 MM) 5/16" X 1200 MM X 2400 MM	135.52	542.07
2	1.00	Pza	568.59	605020600	PLANCHA ACERO A-36 (25.0 MM) 1" X 1200 MM X 2400 MM	454.05	454.05
3	6.00	Pza	41.08	803012453	TUBO CUADRADO LAC A500 X 3.0 MM X 6 MT. (3" X 3") 75 X 75	33.64	201.83
4	6.00	Pza	110.71	803012607	TUBO CUADRADO LAC A500 X 4.0 MM X 6 MT. (6" X 6") 150 X 150	82.15	492.92
5	6.00	Pza	96.45	804510520	TUBO ACERO SCH-40 S/C A-53 /A-106/API 5L GR-B X 6 MT. 4"	79.66	477.97
6	15.00	Pza	3.85	105015520	CODO ACERO A234 WPB B16.9 STD/SCH-40 FR 90 X 4"	4.10	61.44
7	5.00	Pza	5.45	105045520	TEE ACERO A234 WPB B16.9 STD/SCH-40 FR 4"	6.15	30.74
8	5.00	Pza	51.79	804510400	TUBO ACERO SCH-40 S/C A-53 /A-106/API 5L GR-B X 6 MT. 2.1/2"	41.38	206.92
9	4.00	Pza	1.29	105015400	CODO ACERO A234 WPB B16.9 STD/SCH-40 FR 90 X 2.1/2"	1.67	6.67
10	10.00	Pza	5.75	050120520	BRIDA SLIP ON DE ACERO A-105 B16.5 X 150 LBS. RF 4"	7.36	73.60
11	8.00	Pza	3.32	050120400	BRIDA SLIP ON DE ACERO A-105 B16.5 X 150 LBS. RF 2 1/2"	4.71	37.68
12	2.00	Pza	7.13	050160520	BRIDA CIEGA DE ACERO A-105 B16.5 X 150 LBS. RF 4"	8.32	16.64

## CONDICIONES DE VENTA

Forma de Pago: CONTADO  
 Los precios unitarios no incluyen IGV (18%)  
 Validez de la Oferta: 20/06/2025 12:12:29  
 Tiempo de Entrega:  
 Esta cotización esta sujeta a variación sin previo aviso.  
 Confirmar su pedido con orden de compra  
 (\*) Cancelación en soles T/C valido a la fecha de facturación, consultar con su vendedor  
 Todo pago del exterior por transferencia sera tipo OUR  
 "El cliente indicará si requiere los certificados de calidad"  
 La entrega de materiales sera AL PIE DEL CAMION.  
 Plazo maximo para Cancelacion de venta al Contado : 2 días  
 Observaciones:

## PESO TOTAL APROX.

3,220.02 KG

VALOR DE VENTA	\$ 2,602.53
I.G.V.	\$ 468.46
IMPORTE TOTAL	\$ 3,070.99

SON: TRES MIL SETENTA Y  
 99/100 DÓLARES  
 AMERICANOS



Sin otro particular y a la espera de sus gratas órdenes, quedamos de usted.



CUENTA CORRIENTE:  
 DOL: 191-7395761-1-64  
 SOL: 191-9411616-0-26  
 SWIFT: BCPLEPEL



CUENTA CORRIENTE:  
 DOL: 000-5174867  
 SOL: 000-2846258  
 SWIFT: BSUDPELXXX



CUENTA CORRIENTE:  
 DOL: 0011-0140-01-00007454  
 SOL: 0011-0140-01-00002622  
 SWIFT: BCONPEPL



CUENTA DE AHORROS:  
 DOL: 200-3327690277  
 SOL: 200-3327689601  
 SWIFT: BINPPEPL



CUENTA CORRIENTE:  
 DOL: 000-5174867  
 SOL: 000-2846258  
 SWIFT: BSUDPELXXX







## INGENIERIA - DISEÑO & FABRICACIÓN

Reparación de piezas de materiales metálicos o termoplásticos para la Industria y Minería  
Fabricación estructural Mantenimiento industrial



COTIZACIÒN 001- 0005325

**DATOS DE CLIENTE**

Razon social:	INDEC PERU CONSULTORIA Y EJECUCION S
Ruc:	20490217127
Dirección	
Atención:	

FECHA: 8/08/2025

**Asesor de venta:** ALMARLUC TORRES

Email : [veritas@clirjati.com](mailto:veritas@clirjati.com)

Telefono: 947229213

**MONEDA:** DOLARES

Estimados Señores:

En atención a su solicitud, nos permitimos cotizar los siguientes artículos

ITEM	CANT	UND	DESCRIPCION	PI/UNT	IMPORTE
1	2	UND	<b>SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 1</b>  <b>MATERIAL: ACERO A36</b> <b>MEDIDAS SEGÚN PLANO</b>	60.27	120.54
			<p>Technical drawing of Piece 1 (a bracket) showing front and side views with dimensions and finish specifications.</p>		
2	2		<b>SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 2</b>  <b>MATERIAL: ACERO A36</b> <b>MEDIDAS SEGÚN PLANO</b>	86.3	172.6
			<p>Technical drawing of Piece 2 (a bracket) showing front and side views with dimensions and finish specifications.</p>		



## INGENIERIA - DISEÑO & FABRICACIÓN

Reparación de piezas de materiales metálicos o termoplásticos para la Industria y Minería  
Fabricación estructural Mantenimiento industrial



2 SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 3

MATERIAL: ACERO A36  
MEDIDAS SEGÚN PLANO

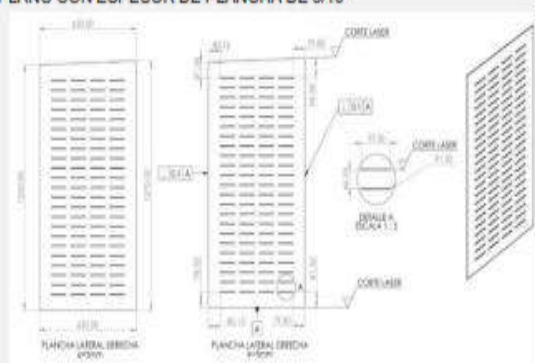


3 2 SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 4

273.97

547.94

MATERIAL: ACERO A36  
MEDIDAS SEGÚN PLANO CON ESPESOR DE PLANCHA DE 3/16"



4 1 UND SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 5

328.77

328.77

MATERIAL: ACERO A36  
MEDIDAS SEGÚN PLANO







**FLUIDTECH** S.R.L.  
NEUMÁTICA HIDRÁULICA VALVULAS MULTIPULSOS



### COTIZACION N° MBL-00126998-MB

**SEÑORES**  
**INGENIERIA & METALICA VARGAS EIRL - INMETVA E.I.R.L.**  
**CUSCO**  
LIMA 07

**ATE** Sr. Luis Morocco  
TEL: 719-2299 719-2288  
FAX: 717-2005

De nuestra mayor consideración:

En atención a su amable solicitud de cotización, tenemos el agrado de presentarles nuestra oferta económica por los componentes mencionados de la referencia.

**FECHA** 17/07/2023  
**RESPONSABLE** Ing. Marco Balle  
**REFERENCIA** HIDRÁULICA

POS	N.º DE PEDIDO	DESCRIPCION	CANT	Precio Unitario		Precio Total
1	SISTE.PAN	<b>SISTEMA OLEOHIDRAULICO DE ACCIONAMIENTO DE COMPUERTAS</b> Incluye los siguientes componentes:	1.00	14598.50		14598.50
	CH-50x32x490ARPP	<b>ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA</b> <b>Descripción Técnica:</b> DIAMETRO DE EMBOLO : 50mm DIAMETRO DE VASTAGO : 40mm CARRERA : 490mm SUECIÓN DE CILINDRO : PIVOTE POSTERIOR SUECIÓN VASTAGO : ROTULA CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CROMADO CK 45 SELLOS PERDUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE	2.00	899.00	1798.00	
	CH-40x20x650ARPA	<b>ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA</b> <b>Descripción Técnica:</b> DIAMETRO DE EMBOLO : 40mm DIAMETRO DE VASTAGO : 20mm CARRERA : 650mm SUECIÓN DE CILINDRO : BRIDA POSTERIOR SUECIÓN VASTAGO : CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CROMADO CK 45 SELLOS PERDUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE	2.00	650.00	1300.00	
	CH-40x20x65ARPA	<b>ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA</b> <b>Descripción Técnica:</b> DIAMETRO DE EMBOLO : 40mm DIAMETRO DE VASTAGO : 20mm CARRERA : 65mm SUECIÓN DE CILINDRO : BRIDA ANTERIOR SUECIÓN VASTAGO : CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CROMADO CK 45 SELLOS PERDUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE	1.00	500.00	500.00	
	UPH-2,15.30-850	<b>UNIDAD DE PRESION HIDRAULICA</b> Diseñada para trabajar hasta 4200 mmHg. Desarrollo de caudal de 28 l/min con motor de HP.; Movimiento independiente de cada compuerta. <b>LA UNIDAD INCLUYE:</b> MOTOR ELECTRIC 2HP 4 POLOS MARCA : WEG CARBINA PROTECTORA ESPECIAL MOTOR - BOMBA ACOPLE FLEXIBLE ESPECIAL MOTOR BOMBA BOMBA ENGRANAJES BRIDA SAZ 14 CC/REV 250 BAR 02/20 10,03 FILTRO DE SUCCION G 1/4" 160090 MAG BY PASI 400/MIN 118020027	1.00	5948.50	5948.50	

## COTIZACION N° MBL-00126998-MB

SEÑORES  
INGENIERIA & METALICA VARGAS EIRL - INMETVA E.I.R.L.  
CUSCO  
LIMA 07

FECHA 17/07/2025  
RESPONSABLE Ing. Marco Balle  
REFERENCIA HIDRAULICA

ATE Sr. Luis Moricono

TEL.: 719-2299-719-2298

FAX: 717-1895

De nuestra mayor consideración:

En atención a su amable solicitud de cotización, tenemos el agrado de presentarles nuestra oferta económica por los componentes mencionados de la referencia.

POS	N.º DE PEDIDO	DESCRIPCION	CANT	Precio Unitario	Precio Total
1	SISTE.PAN	<b>SISTEMA OLEOHIDRAULICO DE ACCIONAMIENTO DE COMPUERTAS</b> Incluye los siguientes componentes:	1.00	14598.50	14598.50
	CH-50x32x490ARPP	<b>ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA</b> <b>Descripción Técnica:</b> DIAMETRO DE EMBOLO 53mm DIAMETRO DE VASTAGO 40mm CARRERA 490mm SUECIÓN DE CILINDRO PINTE POSTERIOR SUECIÓN VASTAGO ROTULA CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CROMADO CK 45 SELLOS PERBUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE	2.00	850.00	1700.00
	CH-40x20x650ARPA	<b>ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA</b> <b>Descripción Técnica:</b> DIAMETRO DE EMBOLO 40mm DIAMETRO DE VASTAGO 20mm CARRERA 650mm SUECIÓN DE CILINDRO BRIDA POSTERIOR SUECIÓN VASTAGO CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CROMADO CK 45 SELLOS PERBUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE	2.00	850.00	1700.00
	CH-40x20x65ARPA	<b>ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA</b> <b>Descripción Técnica:</b> DIAMETRO DE EMBOLO 40mm DIAMETRO DE VASTAGO 20mm CARRERA 65mm SUECIÓN DE CILINDRO BRIDA ANTERIOR SUECIÓN VASTAGO CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CROMADO CK 45 SELLOS PERBUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE  <b>Marcas para Armado de Pistones:</b> Sellos: Paktas (USA) Tubos y Vástagos IMPORTADOS ESPECIALES: AL (Nemasa) Garantía: 1 Año Repuestos: Garantizado 5 años	1.00	500.00	500.00
	UPH-2,15,30-850	<b>UNIDAD DE PRESION HIDRAULICA</b> Diseñada para trabajar hasta 4200 mm. Desarrollo de caudal de 25 l/min con motor de 1HP.; Movimiento independiente de cada compuerta. <b>LA UNIDAD INCLUYE:</b> MOTOR ELECTRICO 10HP 4 POLOS MARCA: WEG 1.00 CARRISA PROTECTORA ESPECIAL MOTOR - BOMBA 1.00 ACOPLE FLEXIBLE ESPECIAL MOTOR-BOMBA 1.00 BOMBA ENGRANAJES BRIDA SAS 14 C/REV 250 BAR GE/GO DUB 1.00 FILTRO DE SUCCION C 3/8 AG099 MAG 8H PAS 40L/MIN HH000027 1.00	1.00	5348.50	5348.50





**FLUIDTEK S. R. L.**  
NEUMÁTICA HIDRÁULICA VALVULAS MULTIPORTOS



	FILTRO DE RETORNO G 1/2" 10000 PSI 1/2" 10000 PSI	1.00		
	FILTRO DE LLENADO M20 - 1/2" 10000 PSI	1.00		
	INDICADOR DE NIVEL Y TEMPERATURA - 1/2" 10000 PSI	1.00		
	SWITCH DE NIVEL DE ACEITE MAYOR	2.00		
	VALVULA CHECK 40 L/MIN (APERTURA 2 BAR)	1.00		
	VALVULA DE BOLA DN 10 - G 1/8" PRESION 500 BAR	4.00		
	VALVULA LIMITADORA DE PRESION 35-200 BAR 40 L/MIN	1.00		
	MANOMETRO 60 MM CON IMP G 1/4" 0-200 BAR	1.00		
	BLOQUE MANIFOLD DE CONEXIONES	1.00		
	VALVULA DE DISTRIBUCION 4/3 DIN (010) 0.1 FT CON 10 L/MIN	1.00		
	VALV. ESTRANGULADORA CON CHECK DN10 G 1/8" 400BAR	8.00		
	VALV. ESTRANGULADORA CON CHECK DN10 G 1/4" 400BAR	2.00		
	TANQUE 300 LITROS	1.00		
	ACCESORIOS INTERIORS 300	1.00		
<b>TAB-01</b>	<b>TABLERO ELECTRICO DE UPH</b>	<b>1.00</b>	<b>4250.00</b>	<b>4250.00</b>
	Considerando la potencia total de 10 HP.			
	Incluye: Panel de Control y <b>Tablero Eléctrico</b> ,			
	<b>INCLUYE LIMIT SWITCH ( para los cilindros hidráulicos)</b>			
	PULSADOR DE EMERGENCIA - PILOTOS - SELECTOR DE 2 POSICIONES -			
	PULSADORES HERMETICOS - CONTACTORES - LLAVE DE FUERZA - BOMBERAS -			
	RELE TERMICO - CAJA METALICA - RIEL DIN - DEMAS ACCESORIOS			
	SISTEMA PARA CONTROL TOTAL DE PAJAS ASI COMO DE PISTONES DE POSICIONAMIENTO DE CUPIERTA			
	INCLUYE GABINETE DE CONTROL Y FUERZA			
	CONTROL ESPECIALIZADO PARA CILINDRO HIDRAULICO			
	INCLUYE CONTROLADOR LOGO SIEMENS - MODULO DE COMUNICACION ETHERNET			
<b>INST-01</b>	<b>ACCESORIOS DE INSTALACION HIDRAULICA</b>	<b>1.00</b>	<b>900.00</b>	<b>900.00</b>
	Todos los accesorios considerados para altas presiones y caudales.			
	CONECTOR RECTO - CODOS 90 GRADOS			
	MANGUERAS Y CONECTORES DE INSTALACION -			
	ACCESORIOS ADICIONALES			
	<b>MANEJO: BELL HERMETICO</b>			
	<b>NOTA:</b> Esta considerado la distancia entre UPH y el Cilindro hidráulico no mayor a 10 metros para las tuberías y/o mangueras			
	(distancias mayores se tendrá que recopilar los accesorios)			
	<b>PERSONAL PARA CANTABILIDAD DE PERSONAL PARA EL USO DE LOS EQUIPOS EN LIMA</b>			
	<b>NO INCLUYE INSTALACION DE LOS EQUIPOS</b>			
<b>2 ACCINST-389 HID</b>	<b>PERSONAL PARA INSTALACION Y PRUEBAS DE SISTEMA ELECTROHIDRAULICO EN OBRA - CUSCO</b>	<b>1.00</b>	<b>5382.40</b>	<b>5382.40</b>
	Incluye: 2 Tecnicos - 1 Supervisor.			
	Traslados de personal <b>Lima-Planta Cusco-Lima.</b>			
	Personal técnico para mantenimiento			
	Viajes y hospedajes para personal.			
	Traslados a Odra.			
	Traslados de herramientas y equipo de instalación			
	Considerando			
	• <b>Supervisión a la puesta en marcha / Mantenimiento Electrohidráulico</b>			
	Herramientas de personal, bandejas para demoras de aceite.			
	Herramientas para mantenimiento. No Incluye Maquinaria para trazar, se considera que el cliente apoyara con maquinarias para el trabajo fuera necesario.			
	Incluye Viajes para el personal, seguro SCTR.			
	<b>TIEMPO ESTIMADO: 3 DIAS, CADA DIA DE 8 HORAS, DE HABER HORAS ADICIONALES SE CONSIDERARA UN MONTO POR SOBRETIEPO.</b>			
	• <b>Comisionamiento / Puesta en operación de los equipos</b>			
<b>INCLUYE:</b>	<b>La cotización incluye los siguientes ítems:</b>			
	1. Planos de Ingeniería de construcción (Fabricación y Montaje). La fabricación de las estructuras será de acuerdo a los planos de Fabricación aprobados previamente por <b>INMETVA E.I.R.L.</b>			
	2. Cronograma de Ingeniería y Fabricación.			
	3. Memoria de Cálculo.			
	4. Esquemas hidráulicos.			
	5. Listado de Repuestos Críticos.			
	6. Manual de mantenimiento.			

# COTIZACIÓN: 001-00017937



FECHA : 03/07/2025 RUC : 20490217127  
 SEÑORES : INDEC PERU CONSULTORIA Y EJECUCION TELEFONO : 51916764450  
 CONTACTO : REFERENCIA :  
 DIRECCION : URB. LOS ALAMOS MZ. F LT. 5 CUSCO - CUSCO - WACHAQ

RUC: 20604544271  
 JR. GARCIA VILLON NRO. 536 LIMA - LIMA -  
 LIMA  
 TELEFONO: (01) 691-3940  
 ventas@hprsac.com  
 www.hprsac.com

## Estimados señores:

Por medio de la presente nos es grato enviarles nuestra cotización de acuerdo a lo solicitado.

ITEM	CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	U.M.	P. UNIT	DSCTO.	TOTAL
1	1	AD03P32B	MANIFOLD NG6 3 ESTACIONES G1/2 ALUMOLD	UND	118.6440	0.00	118.64
2	12	06MP-04MJ	ADAPTADOR 3/8 NPT Macho - 1/4 JIC Macho	UND	1.4320	0.00	17.18
3	6	08MP-06MJ	ADAPTADOR 1/2 NPT Macho - 3/8 JIC Macho	UND	1.8640	0.00	11.18
4	6	08MP-08MJ	ADAPTADOR 1/2 NPT Macho - 1/2 JIC Macho	UND	1.8640	0.00	11.18
5	1	GF2GGT230110000	VALVULA REGULADOR DE FLUJO C/CHECK 3/8 BSP 5075 PSI	UND	42.3730	0.00	42.37
6	1	GF2NNT13011000	VALVULA REGULADOR DE FLUJO C/CHECK 1/4" NPT 5075 PSI	UND	38.1360	0.00	38.14


VALOR VENTA : US\$ 238.70		IGV : US\$42.97	TOTAL NETO : USD 281.67	
CUENTAS BANCARIAS. DIVISIÓN: HIDRÁULICA				
CTA CTE BCP		CCI BCP	CTA CTE BBVA	CCI BBVA
\$ 191-2567763-1-08		\$ 002-191-002567763108-54	\$ 0011-0609-01-00018064	\$ 011-609-000100018064-54
S/ 191-2554612-0-60		S/ 002-191-002554612060-58	S/ 0011-0609-01-00018056	S/ 011-609-000100018056-50
CUENTAS BANCARIAS. DIVISIÓN: BARRAS CROMADAS Y TUBOS MICRO BRUÑIDOS				
CTA CTE BCP		CCI BCP		
\$ 191-7395309-1-98		\$ 00219100739530919857		
S/ 191-7001059-0-66		S/ 00219100700105906652		
CUENTA DE DETRACCIONES				
S/ 00-002-214989				

CONDICION DE PAGO :  
 FORMA DE PAGO : TRANSFERENCIA  
 TIEMPO DE ENTREGA :  
 VALIDEZ DE OFERTA : 5 días Calendarios, Sujeto a disponibilidad de stock  
 GARANTIA :



Sin otro particular, quedamos a la espera de sus comentarios y/o aclaración que desee oportuno plantear.  
 Saludos Cordiales.

CHRISITIAM CHAVEZ

Asesor Técnico  
 Telf / Cel : 986 350 124 /  
 ventas@hprsac.com

		<b>RUC: 20514706302</b> Cal. Pablo de Olavide N° 110, San Isidro-Lima Tel: 040-1000 ventas@inprocess.com.pe www.inprocess.com.pe		<b>COTIZACION</b>	
				Fecha: 27/06/2025 Numero: 00094030	
Empresa:	INDEL PERU CONSULTORIA Y EJECUCION SOCIEDAD ANONIMA		RUC:		
Dirección:	-				
Atención:			Area:		
Referencia:					

Atendiendo su solicitud, enviamos nuestra cotización por los siguientes productos:

Item	Codigo	Descripción	Cantidad	U Med	Precio Unit	Importe
1.00	TBM41040B34	 <p>           TERMOMETRO BIMETALICO, DIAL 4", 0-300°C, 6MMX100MM,            1/2" NPT INFERIOR            Termometro Bimetalico            Marca: Winters            Modelo: TBM            Dial: 4" (100mm)            Rango: 0-300°C            Longitud del vástago: 100 mm            Diametro del vástago: 6 mm            Material: Acero inoxidable AISI 304SS            Rosca al proceso: 1/2" NPT inferior              Nota: En caso se requiera termopozo, considerar el código:            TBR3350-1              STOCK 1 DÍA HÁBIL         </p>	1	UNI	41.33	41.33
2.00	084Z8067	 <p>           MBT5250, -50 A 200°C, 100mm, 1/2" NPT, PT100, Sin Transmisor            Sensor de Temperatura PT100            Modelo: MBT5250            Marca: Danfoss            Longitud de inserción: 100 mm            Rango de Temperatura: -50 a 200 °C            Diámetro del tubo protector: 8 mm            Conexión al Proceso: 1/2" NPT            Elemento del Sensor: PT100            Clase: B            Conector: DIN 43650            Grado de protección: IP65              STOCK 1 DÍA HÁBIL         </p>	1	UNI	85.28	85.28





RUC: 20507050990

JR. RAMON CÁRCAMO 565 INT. 144 - LIMA 1

TELÉFONO: (01) 332-2536 / (01) 7172611 / (01) 7172612

correo: ventas1@destacoringenieros.com

www.destacoringenieros.com



20507050990

COTIZACIÓN

N° 0018856

Emotora : Indec Peru Consultoría y Ejecución Sociedad Anónima Cerrada

Dirección :

RUC: 20490217127

Atención:

Pedido por:

Cargo:

Correo :

Código Proveedor :

Estimados :-

Por la presente nos es grato hacerles llegar nuestra cotización por el siguiente material :

Lima 03 de Julio del 2025

ITEM	CANT.	U.M.	DESCRIPCIÓN	P.UNIT.	TOTAL
1	2.00	UA	9RD0229 - FLOW DIVIDER - RV-1D/4.9 x 2 - 1 IN 1/2" BSP - OUT 3/8" BSP	1,500.00	3,000.00
2	2.00	UA	9RD0236 - FLOW DIVIDER - RV-1D/9.8 x 2 - 1 IN 1/2" BSP - OUT 3/8" BSP	1,500.00	3,000.00
Referencia:				Valor de Venta	US\$ 6,000.00
Precios :				Descuento	US\$ 0.00
Pago : 50 % adelanto 50% entrega				Sub Total	US\$ 6,000.00
Validez : 4 días				IGV 18%	US\$ 1,080.00
Entrega : Importación Exclusiva de 6 a 8 semanas				Total general	US\$ 7,080.00
Garantía : Únicamente bajo las condiciones de falla de fábrica					
Lugar de Entrega :					

En espera de sus gratas noticias :

Nota: Precios válidos por orden no dividida, en caso de cambio en las cantidades, el precio será revisado  
 Lugar de entrega en nuestros almacenes. Para despachos a los almacenes del cliente dentro de Lima Metropolitana debe ser por montos igual o mayor a 500 soles

El tiempo de entrega está expresado en días hábiles.

Todos los materiales están sujetos a venta previa, serán confirmados al momento de recibir la orden de compra

Las ordenes de compras recibidas después de las 12:00 horas serán procesadas al siguiente día útil

La atención de órdenes de compras es de lunes a viernes

La entrega es salvo venta previa

Esta oferta es una oferta de venta, válida únicamente con base en las especificaciones y materiales aquí descritos, y está expresamente condicionada por los términos y condiciones estándar de venta de Destaco

Nuestras cuentas bancarias son:



Cuentas Corrientes Bancaria:

BCP Soles: 192-15624090-07

BCP Soles (CCI): 002-192-001562409007-30

BCP Dólares: 192-1555926-1-32

BCP Dólares (CCI): 002-192-001555926132-34

Cuentas Corrientes Bancaria:

BBVA Soles: 0011-0166-01000401-19

BBVA Soles (CCI): 011-0166-000100040119-68

BBVA Dólares: 0011-0166-01000633-99

BBVA Dólares (CCI): 011-166-000100063399-68

JOSE ALONSO ALARCON HEREDIA

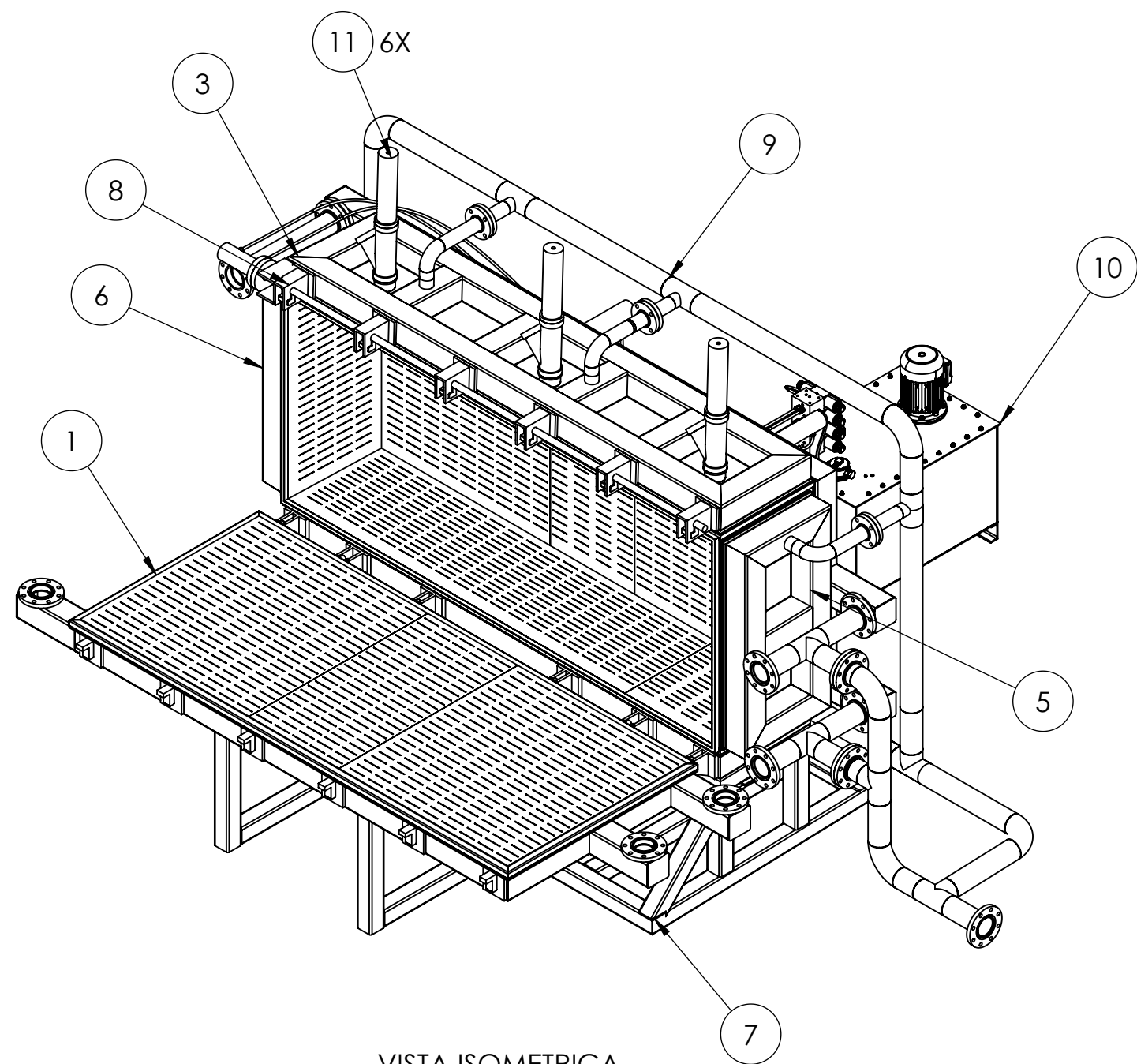
Destaco Ingenieros S.A.C



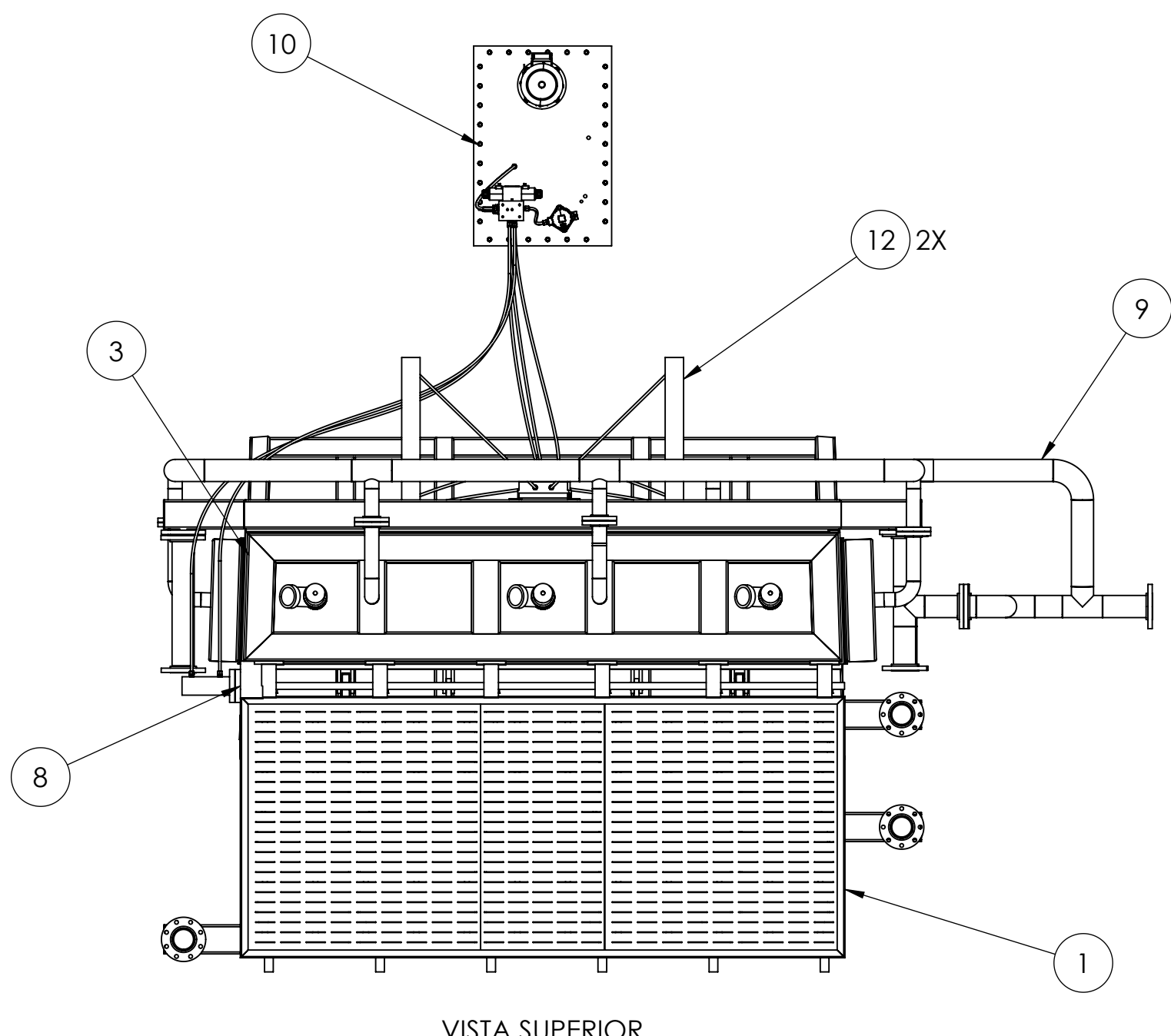
Cuenta Detracción:

Banco de la Nación: 00-024-020584

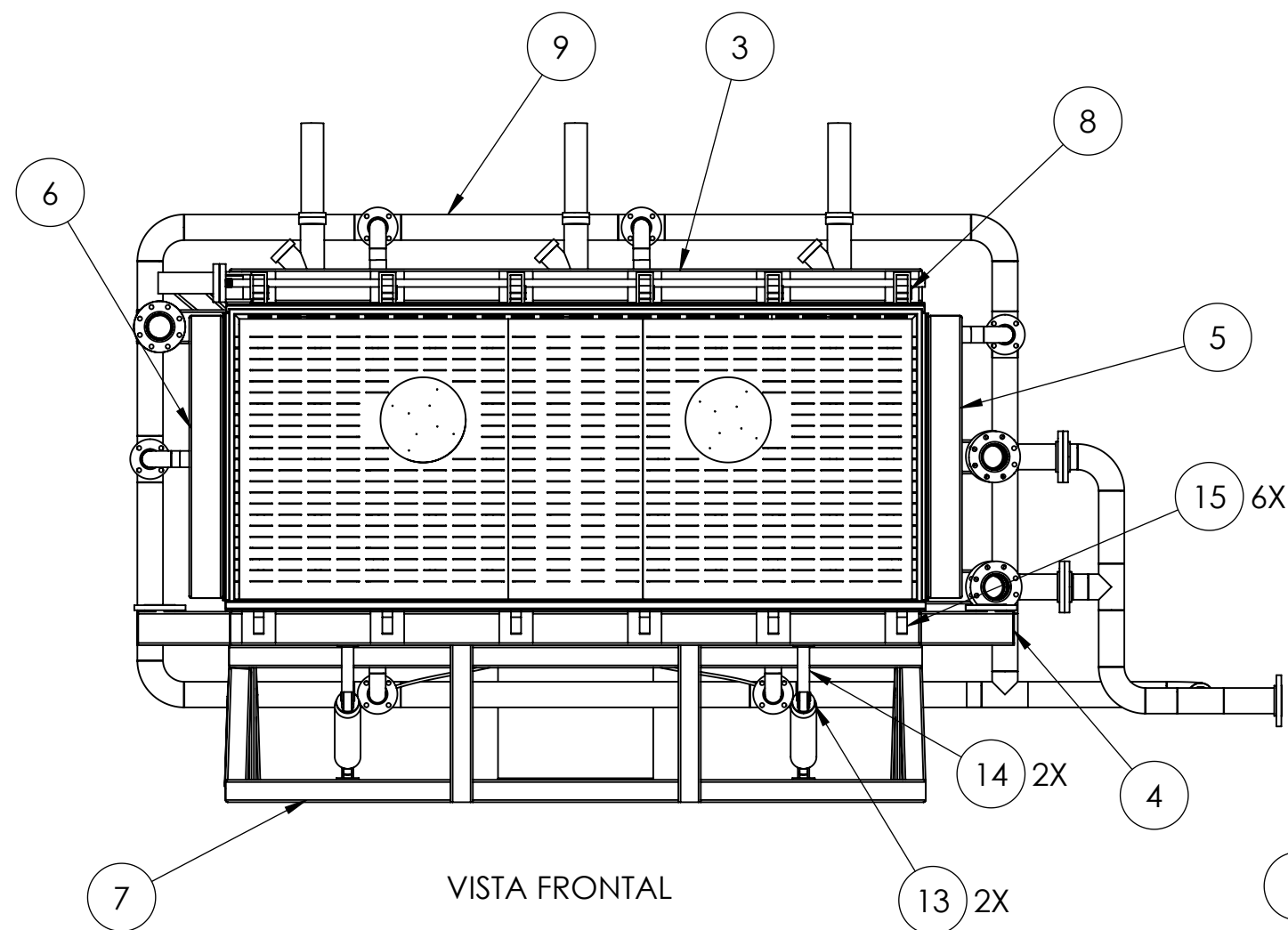
## PLANOS



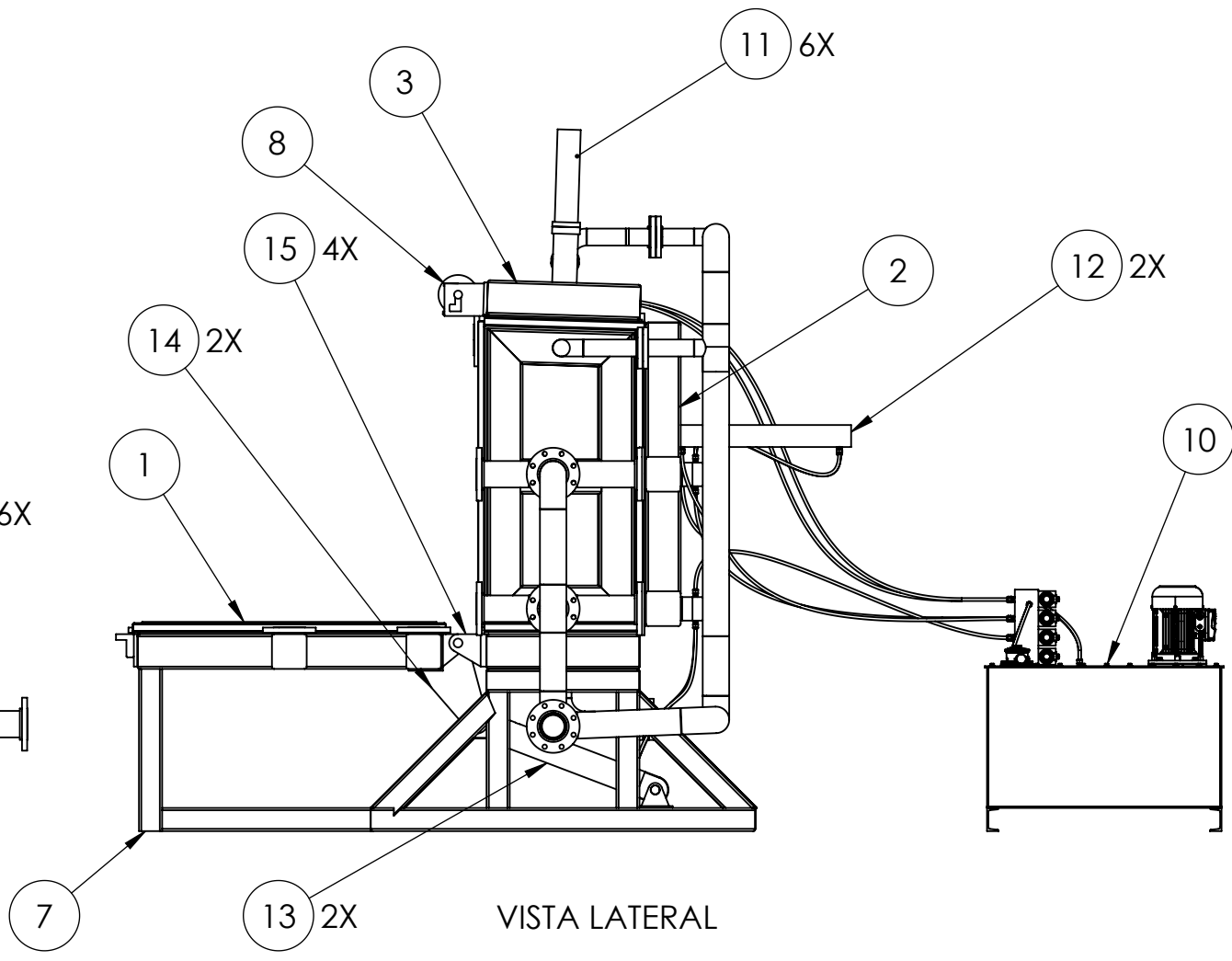
VISTA ISOMETRICA



VISTA SUPERIOR



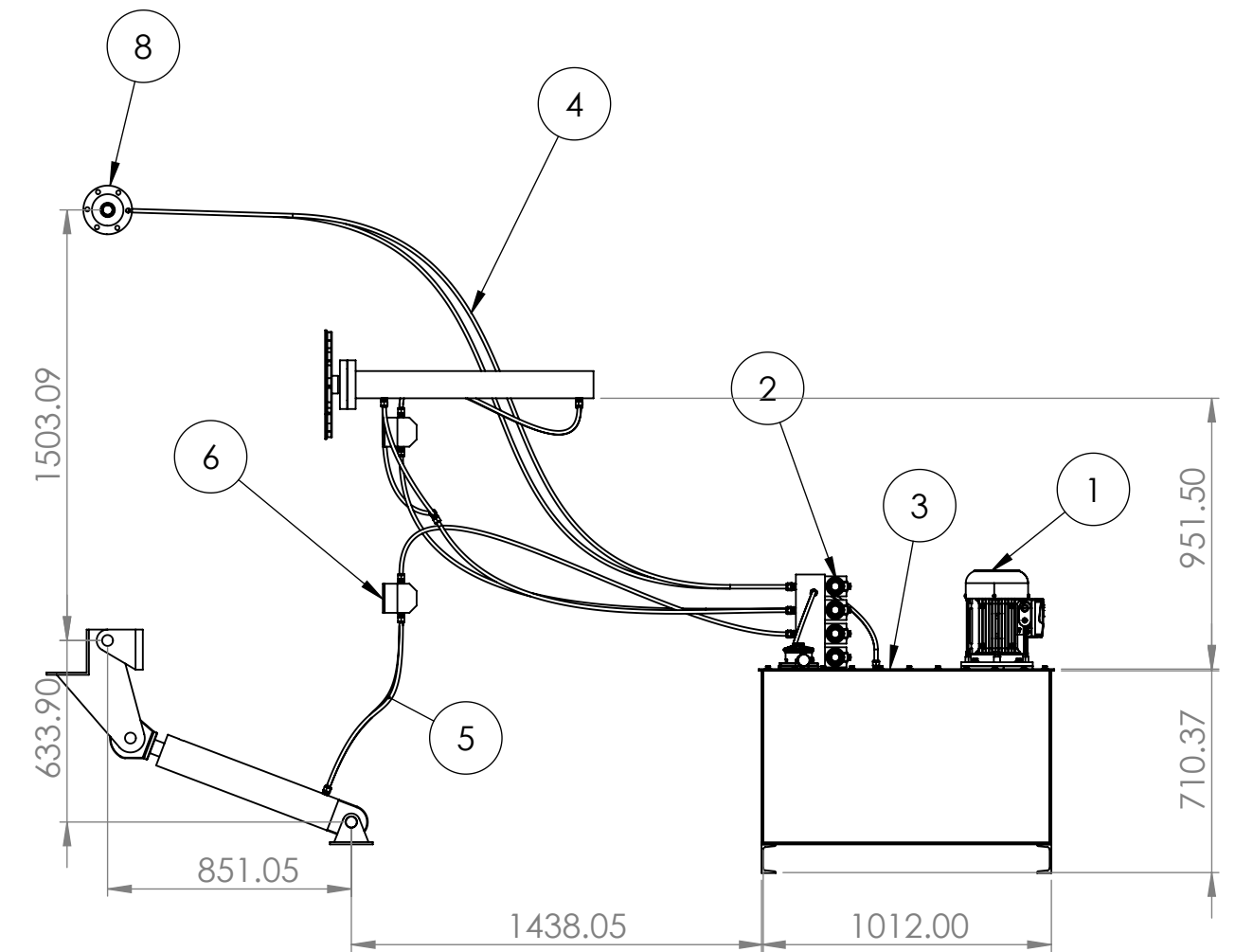
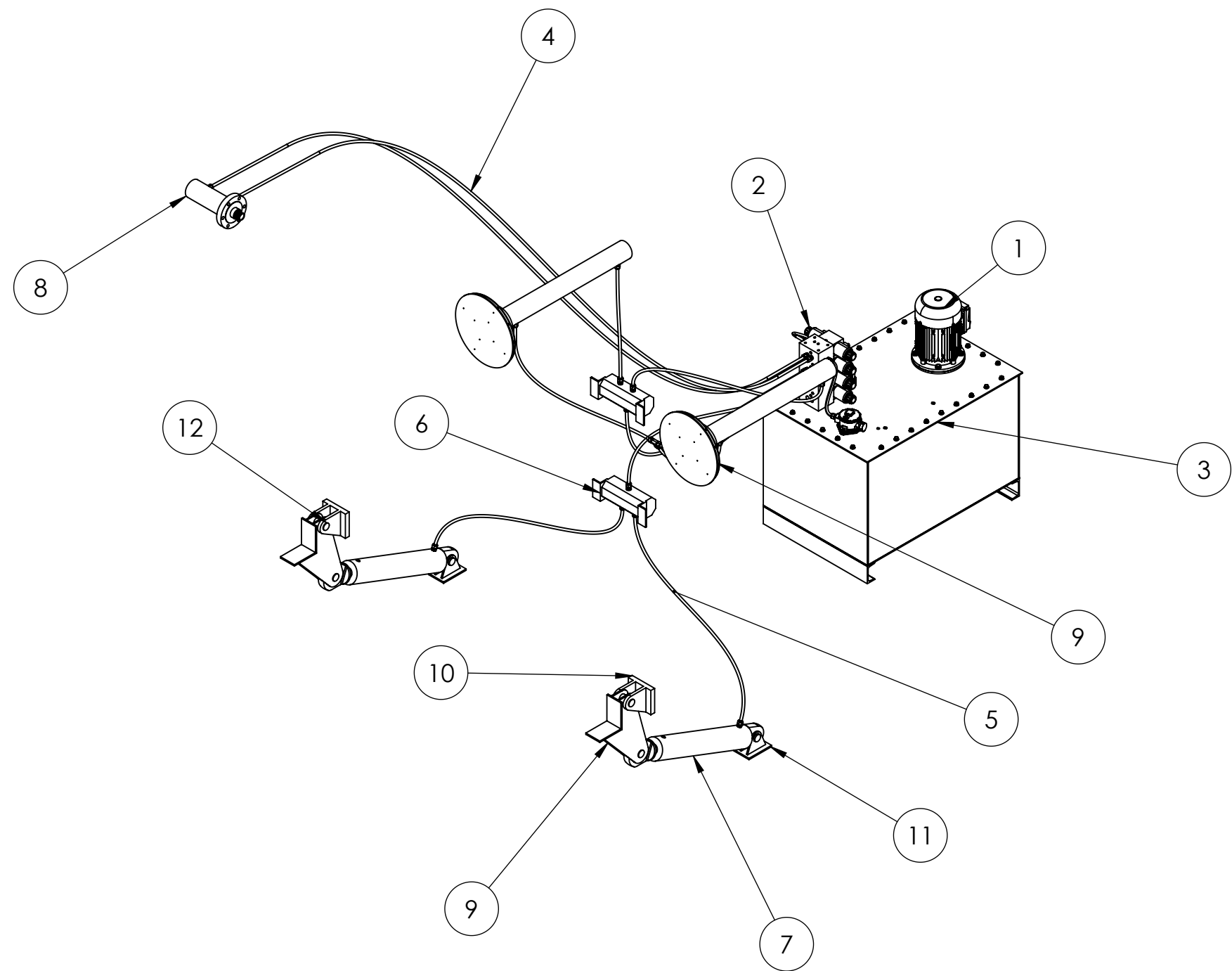
VISTA FRONTAL



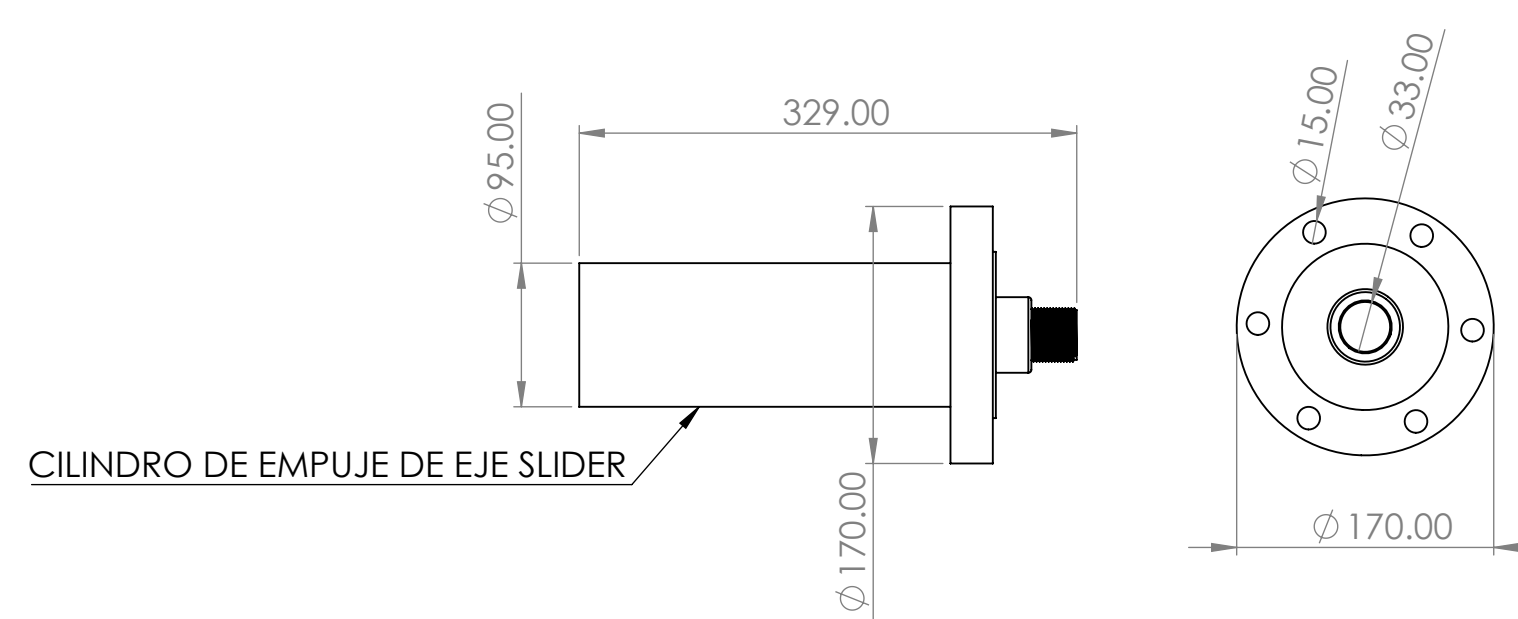
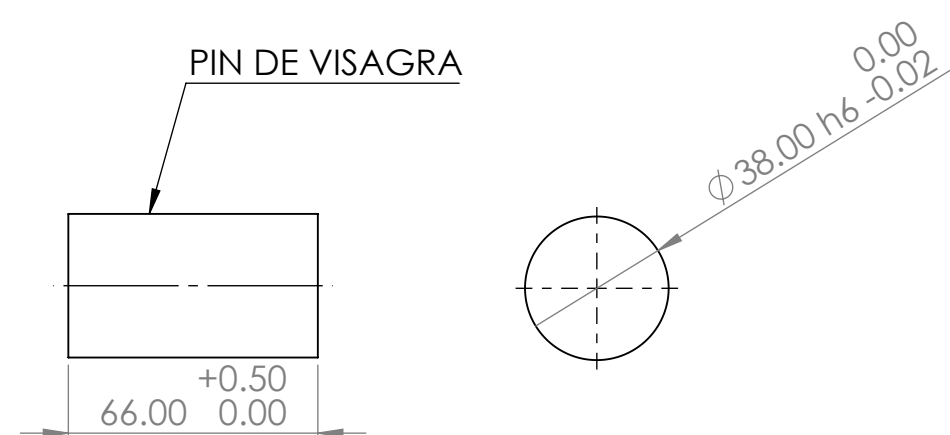
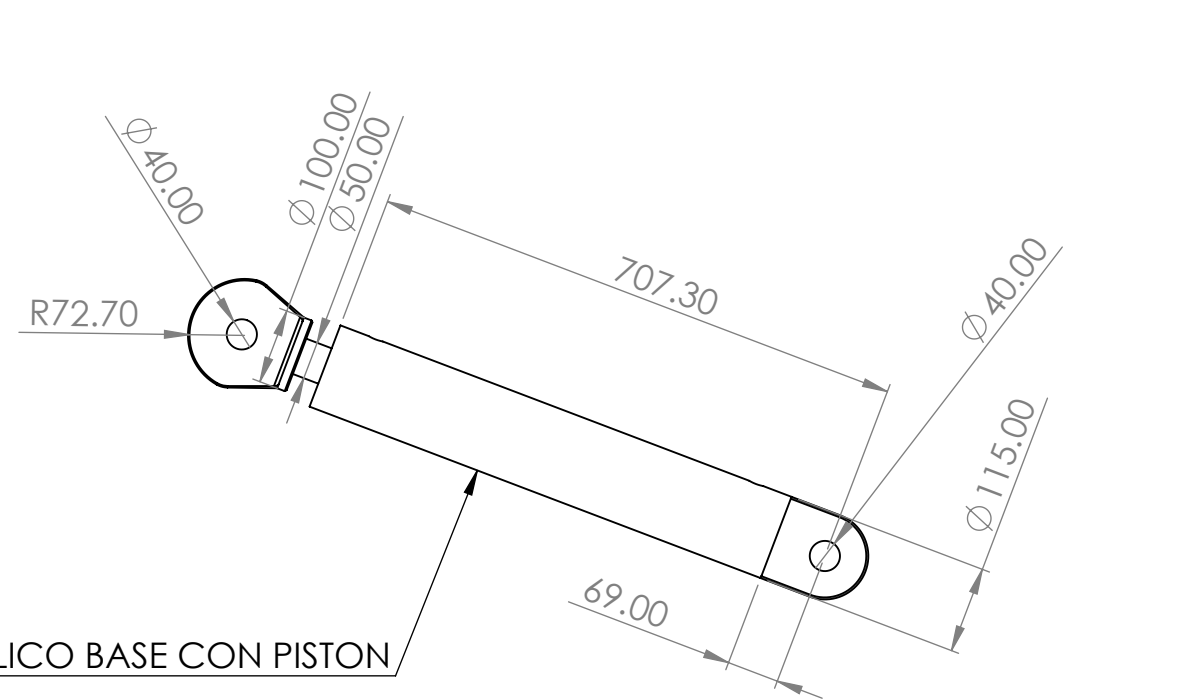
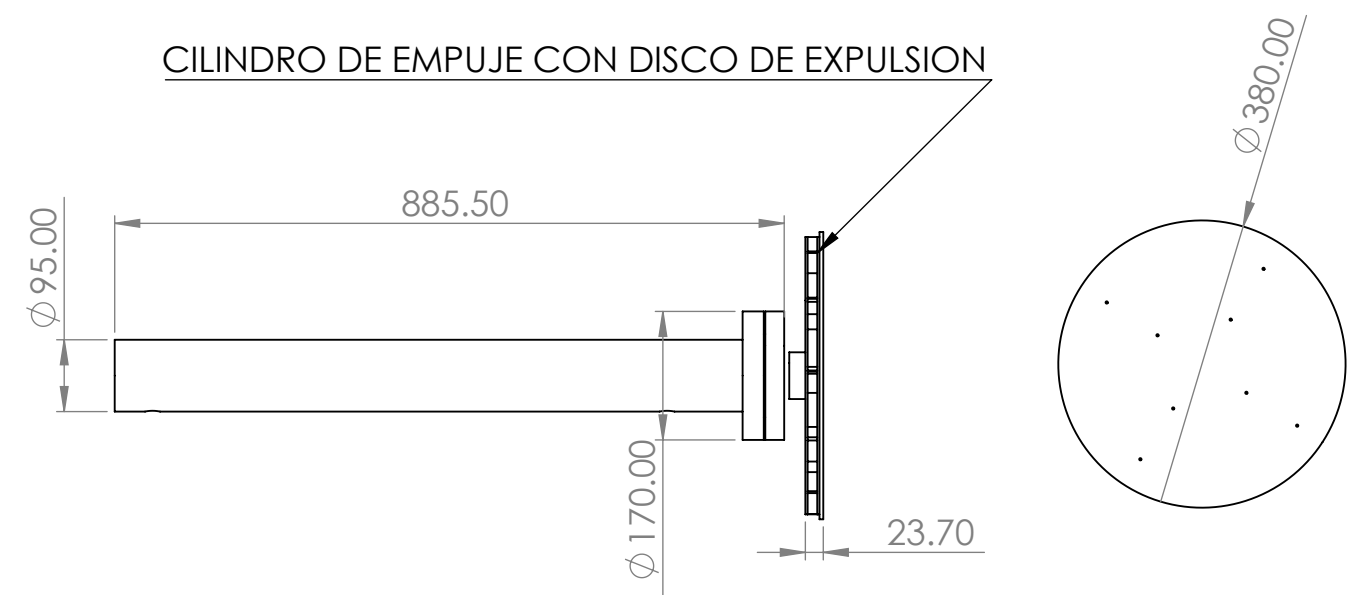
VISTA LATERAL

15	4	VISAGRA INFERIOR	ASTM A36	SE-C-20, SE-C-21
14	2	SOPORTE PISTON (CILINDRO)	ASTM A36	SE-C-22
13	2	PISTON HIDRAULICO BASE	ASTM A36	PLANO EC-02
12	2	CILINDRO EPS	AISI 304	PLANO EC-02
11	6	CILINDRO PISTOLA	AISI 304	PLANO EC-02
10	1	CENTRAL HIDRAULICA	ASTM A36	PLANO EC-02
9	1	SISTEMA DE TUBERIAS	ASTM A53	PLANO EC-03
8	1	EJE SLIDER	ASTM A36	SE-C-16, SE-C-19
7	1	ESTRUCTURA SOPORTE	ASTM A500	PLANO SE-07
6	1	BLOQUE LATERAL IZQUIERDO	ASTM A36	PLANO SE-06
5	1	BLOQUE LATERAL DERECHO	ASTM A36	PLANO SE-05
4	1	BLOQUE INFERIOR	ASTM A36	PLANO SE-04
3	1	BLOQUE SUPERIOR	ASTM A36	PLANO SE-03
2	1	BLOQUE POSTERIOR	ASTM A36	PLANO SE-02
1	1	BLOQUE DELANTERO (PUERTA)	ASTM A36	PLANO SE-01
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN:	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2022"	ESCALA: 1:20	
PLANO: ENSAMBLE COMPLETO DE MAQUINA DE MOLDEO CON APERTURA DE BLOQUE DELANTERO		FECHA: 15/08/25	FORMATO: A2
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil			HOJA: EC-01
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA			



VISTA LATERAL

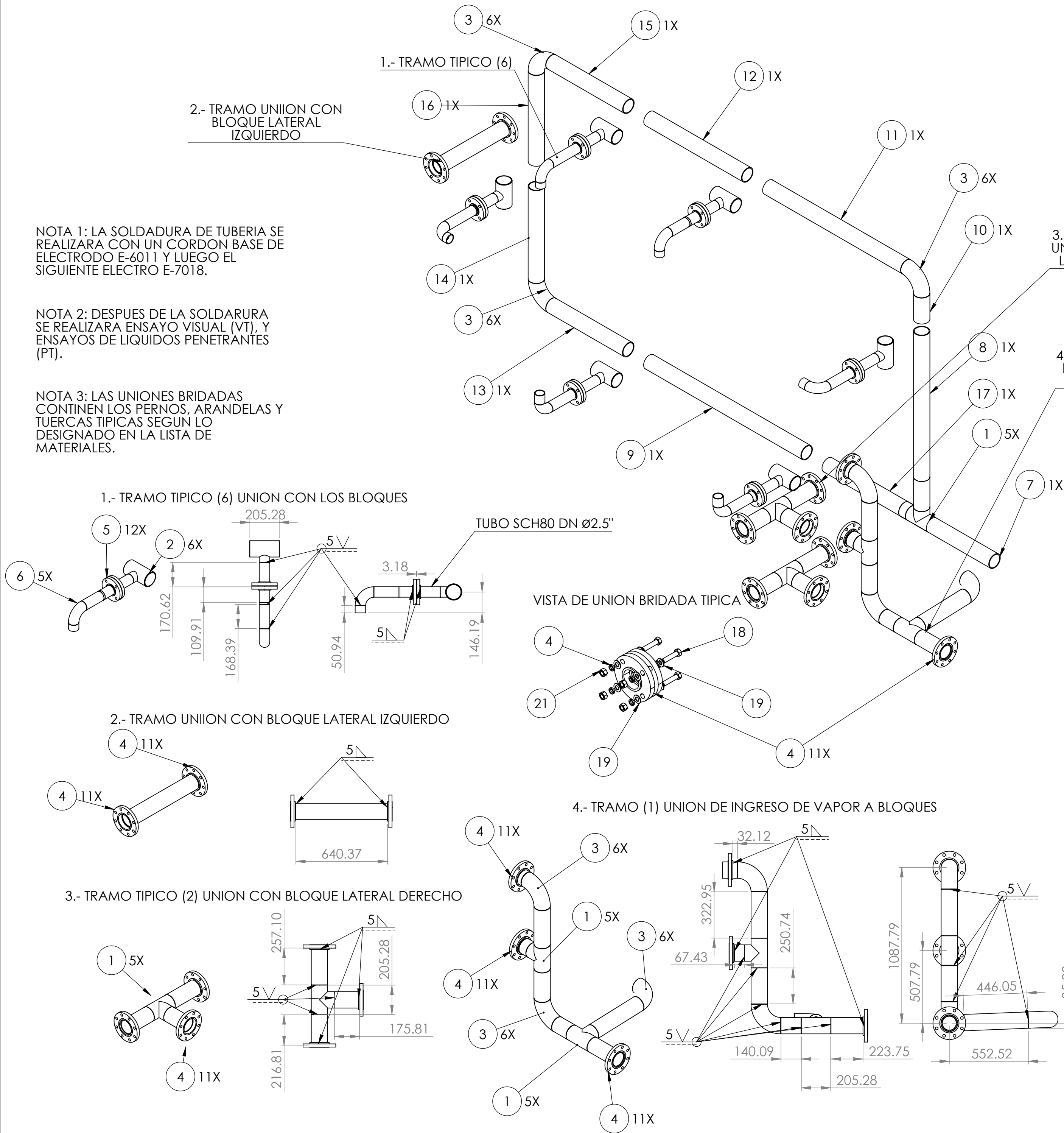


12	8	PIN DE VISAGRA D38x66mm	ASTM A36	-
11	2	BASE DE CILINDRO	ASTM A36	SE-C-23
10	4	VISAGRA INFERIOR	ASTM A36	SE-C-21, SE-C-23
9	2	SOPORTE DE PISTON (CILINDRO)	ASTM A36	SE-C-20
8	1	CILINDRO HIDRAULICO DE EMPUJE	AISI 304	-
7	2	CILINDRO HIDRAULICO DE CIERRE	AISI 304	-
6	2	DIFUSOR DE FLUJO HIDRAULICO	ASTM A36	-
5	2	TUBO-MAGUERA 0.5x0.12plgx1.3m	-	-
4	2	TUBO-MAGUERA 0.5x0.12plgx3.6m	-	-
3	1	MESA DE UND. CENTRAL HIDRAULICO	ASTM A36	-
2	1	MANIFOLD DE VALVULAS	-	-
1	1	UNIDAD MOTRIZ HIDRAULICO	-	-
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2022"		ESCALA:
RESPONSABLES:		Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FECHA:
ASESOR:		Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		FORMATO:
				HOJA:
				EC-02

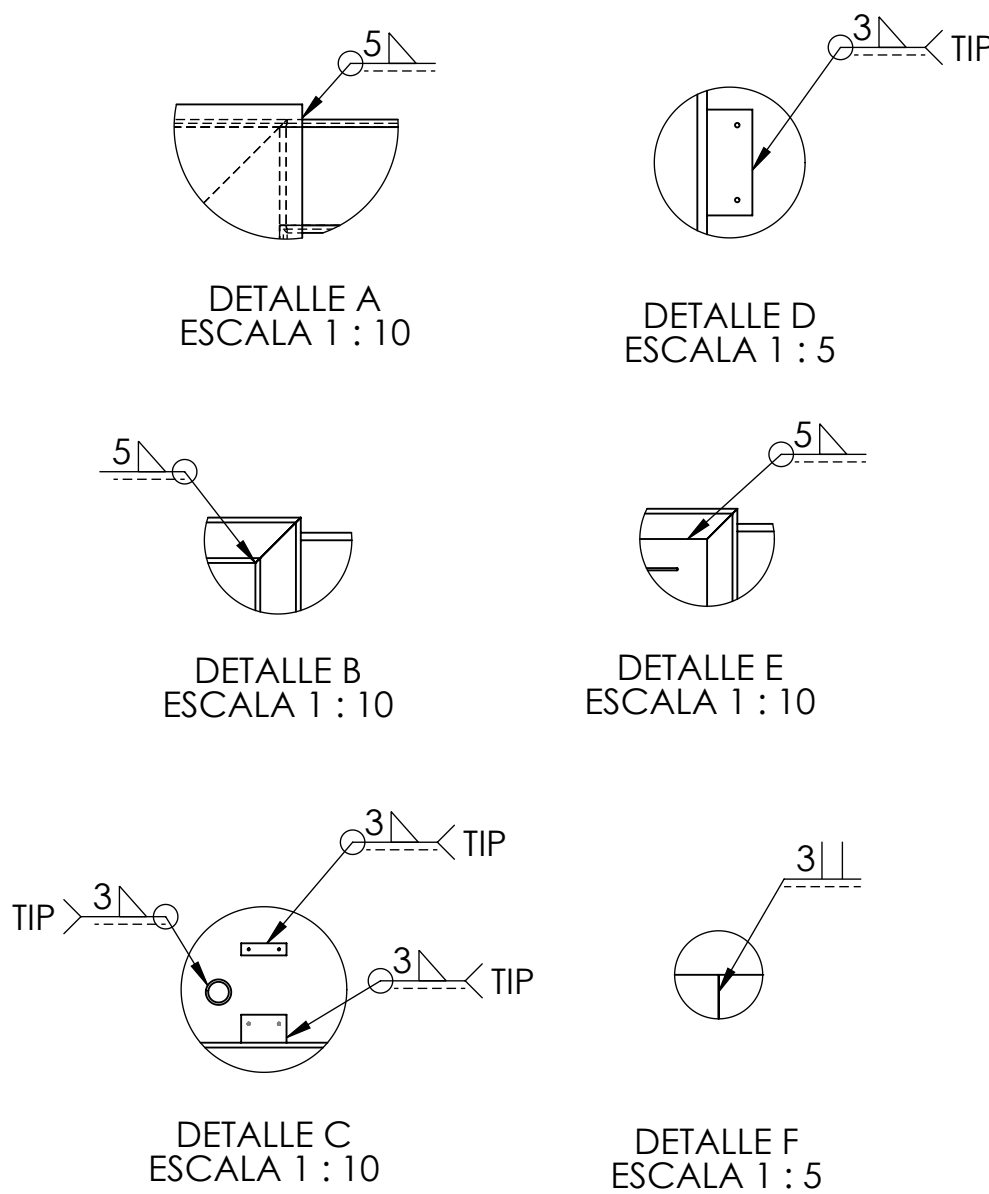
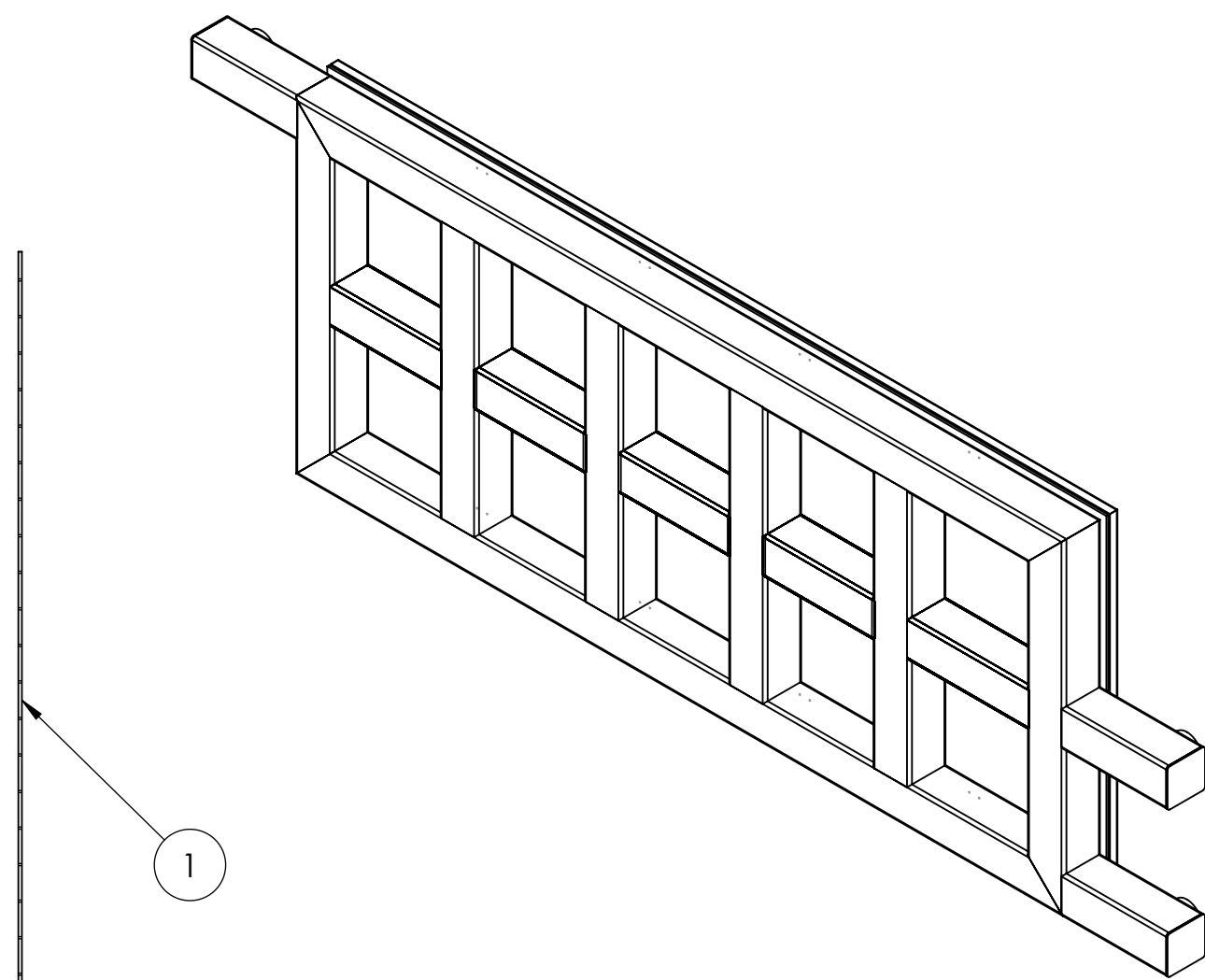
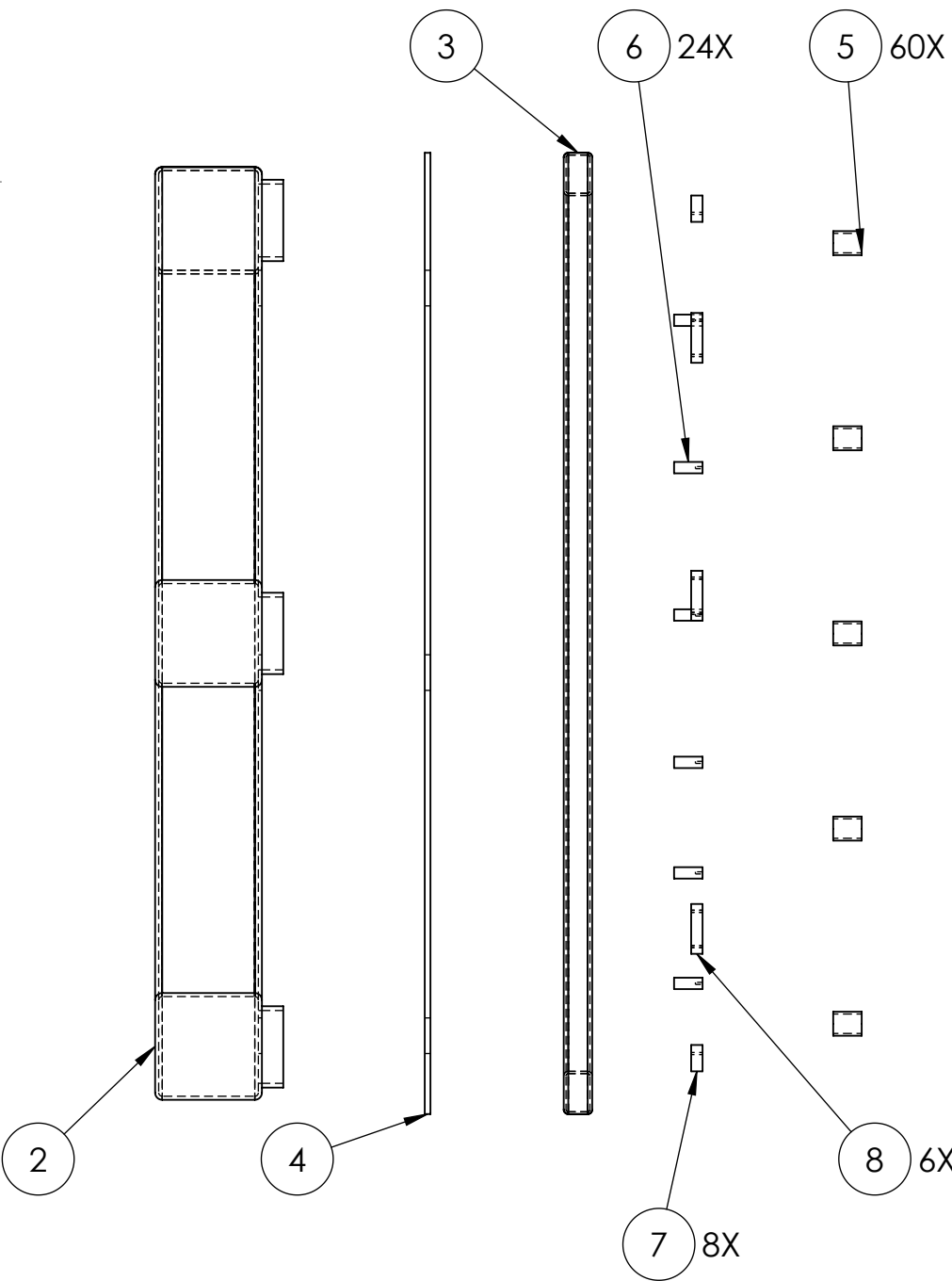
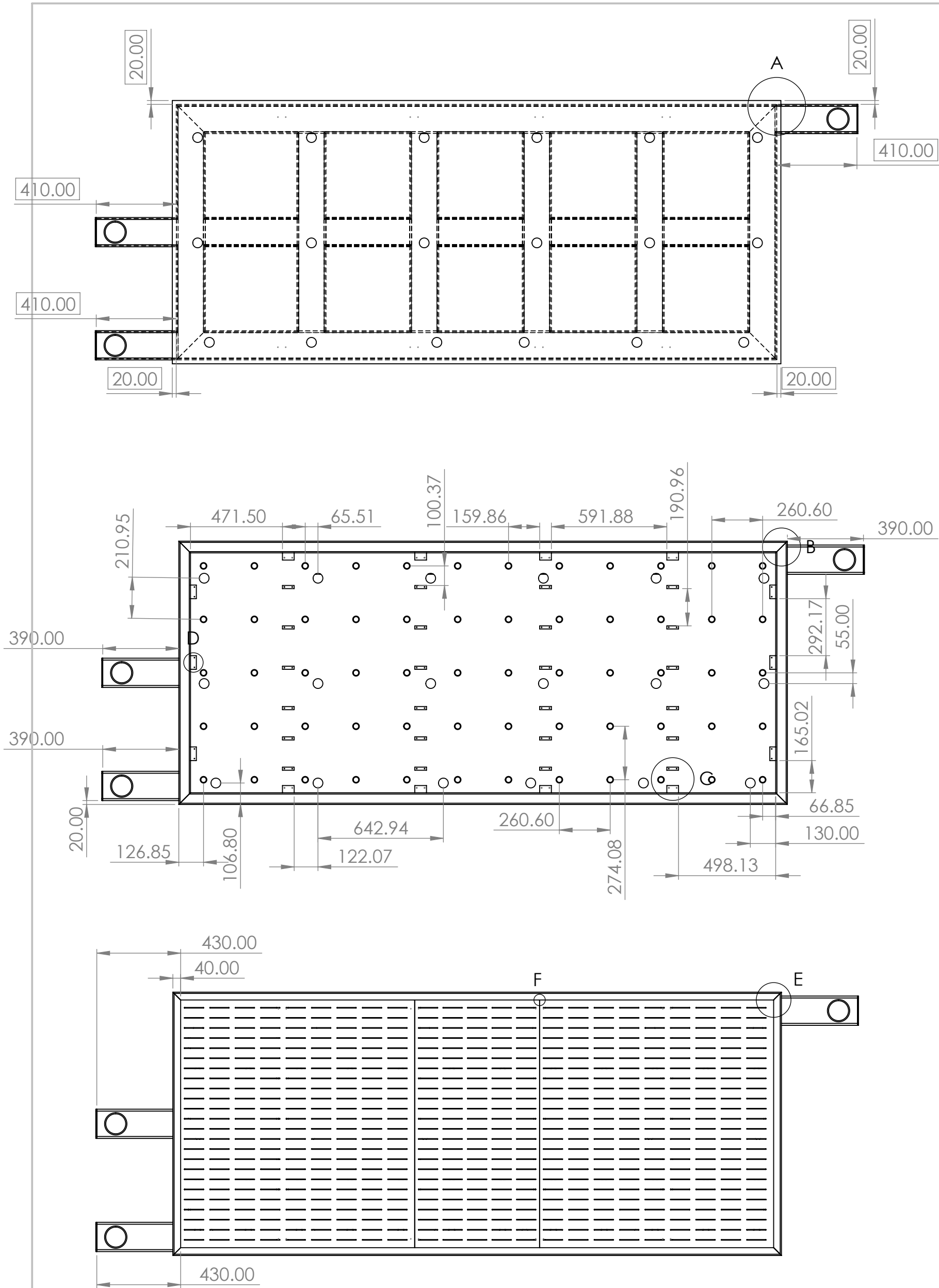
NOTA 1: LA SOLDADURA DE TUBERIA SE REALIZARA CON UN CORDON BASE DE ELECTRODO E-6011 Y LUEGO EL SIGUIENTE ELECTRO E-7018.

NOTA 2: DESPUES DE LA SOLDADURA SE REALIZARA ENSAYO VISUAL (VT), Y ENSAYOS DE LIQUIDOS PENETRANTES (PT).

NOTA 3: LAS UNIONES BRIDADAS CONTINEN LOS PERNOS, ARANDELAS Y TUERCAS TIPCAS SEGUN LO DESIGNADO EN LA LISTA DE MATERIALES.

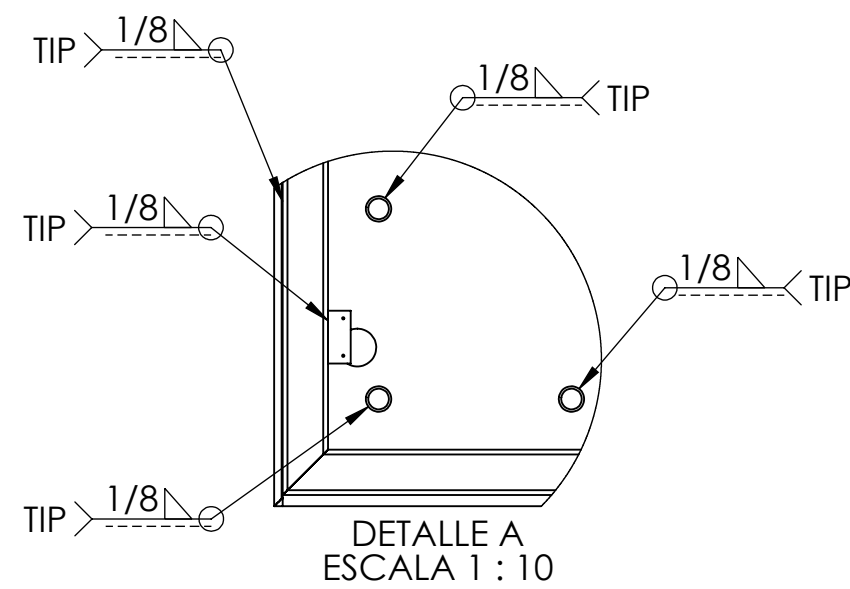
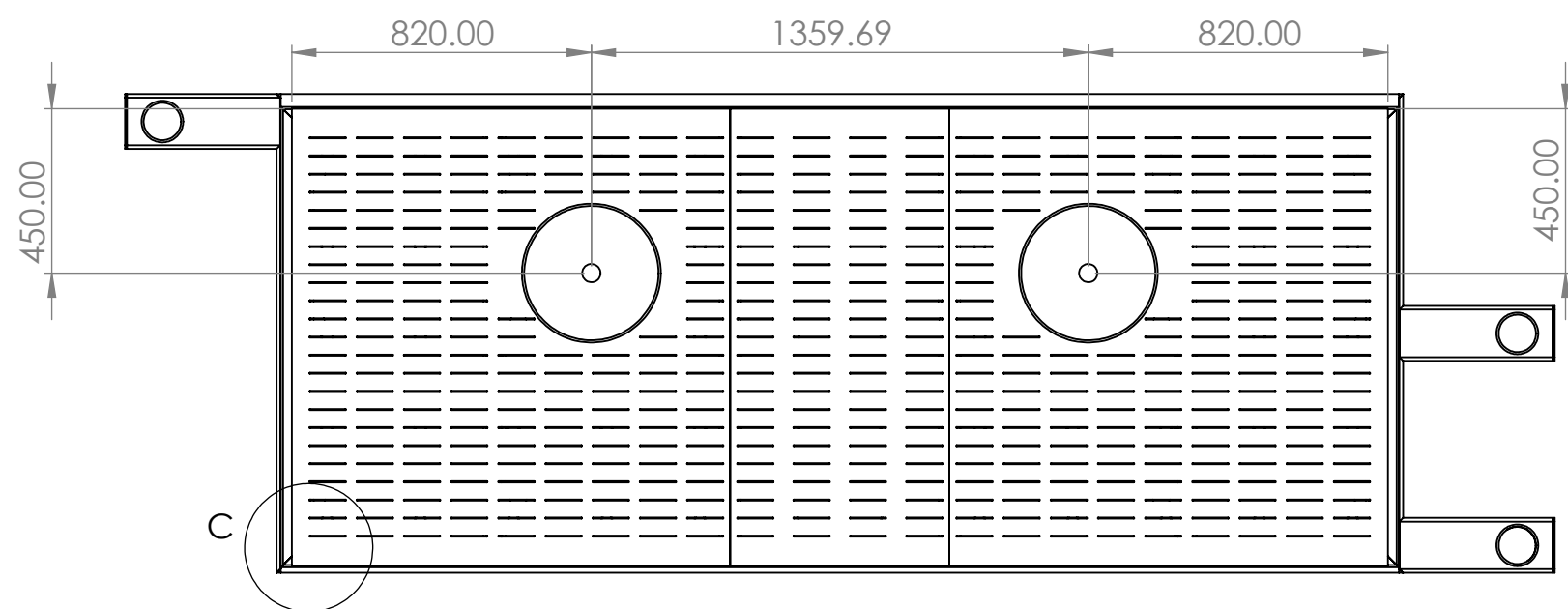
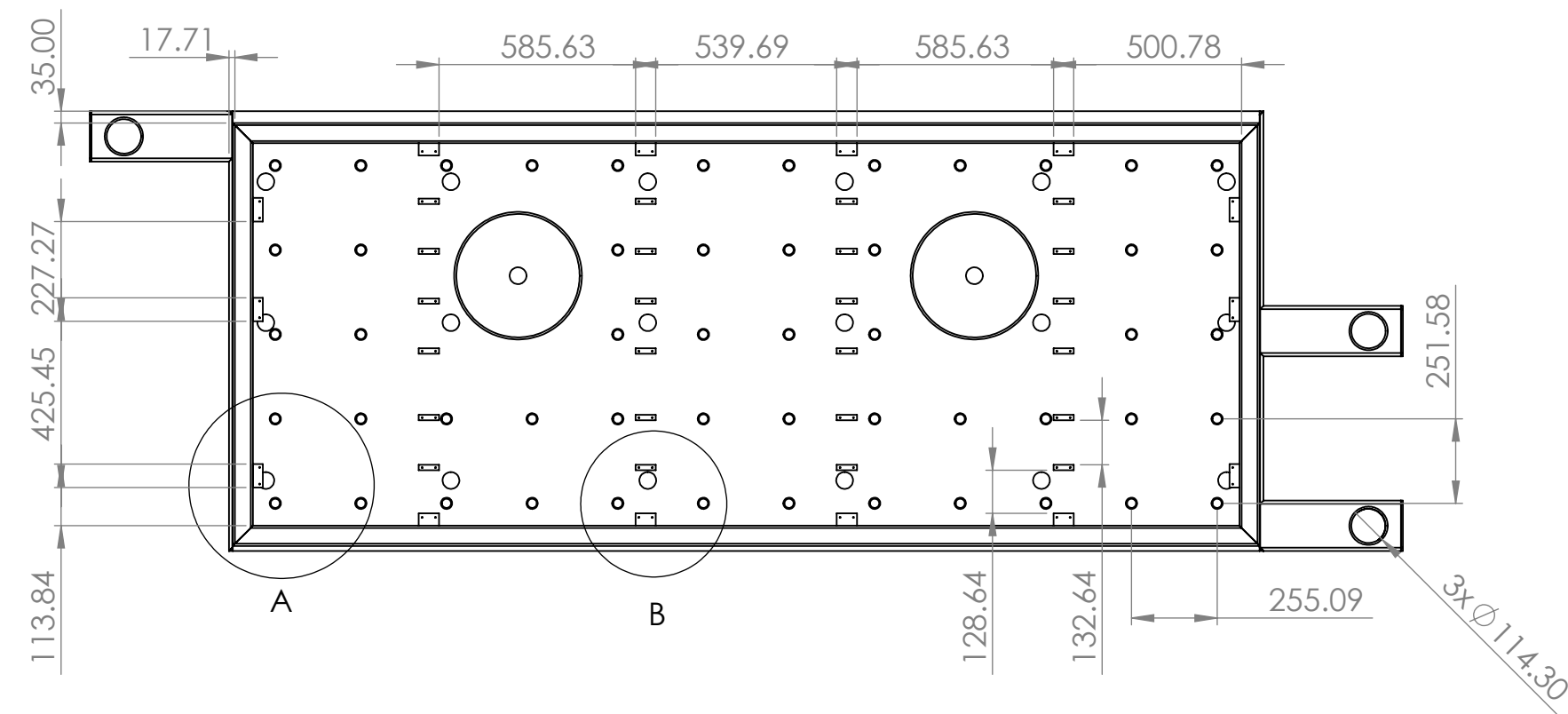


21	224	TUERCA Ø5/8"	---	ASTM 193
20	224	ARANDELA DE PRESION Ø5/8"	---	ASTM 193
19	224	ARANDELA PLANA Ø5/8"	---	ASTM 193
18	112	PERNO Ø5/8" x 3PLG	3PLG	ASTM 193
17	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.82 m	ASTM 53
16	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.77 m	ASTM 53
15	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.76 m	ASTM 53
14	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.79 m	ASTM 53
13	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.76 m	ASTM 53
12	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.96 m	ASTM 53
11	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	1.36 m	ASTM 53
10	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.22 m	ASTM 53
9	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	1.55 m	ASTM 53
8	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	1.5 m	ASTM 53
7	1	TUBO SCH 80 DN 4PLG	0.61 m	ASTM 53
6	5	CODO 90° SCH 80 DN 2.5 PLG	---	ASTM 234
5	12	BRIDA DN 2.5 PLG CLASE 150 NPS2.5	---	ASTM 105
4	11	BRIDA DN 4 PLG CLASE 150 NPS4	---	ASTM 105
3	6	CODO 90° SCH 80 4 PLG	---	ASTM 234
2	6	REDUCCION SCH 40 DN 4x4x2.5 PLG	---	ASTM 234
1	5	REDUCCION SCH 40 DN 4 PLG	---	ASTM 234
POS.	CAN.	DESCRIPCION	LONGITUD	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2022"			ESCALA: 1:20
PLANO: ENSAMBLE COMPLETO DE MAQUINA DE MOLDEO - SISTEMA DE TUBERIAS				FECHA: 15/08/25
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				FORMATO: A2
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				HOJA: EC-03

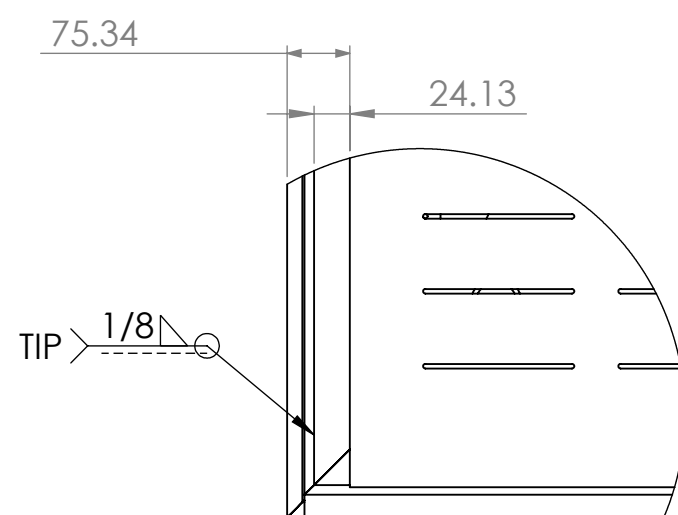


8	6	TOPE DE MARCO CENTRAL	ASTM A36	-
7	8	TOPE DE MARCO	ASTM A36	-
6	24	TOPE ENTRE PLANCHAS	ASTM A36	-
5	60	TOPE DE APOYO CILINDRICO	ASTM A36	-
4	1	PLANCHA PUERTA INTERIOR	ASTM A36	-
3	1	MARCO PUERTA	ASTM A36	-
2	1	DUCTO POSTERIOR	ASTM A500	-
1	1	PLANCHA DE PUERTA	ASTM A36	-
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2022"		ESCALA: 1:20
PLANO:		SUB ENSAMBLE - BLOQUE DELANTERO (PUERTA)		FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES:		Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A2
ASESOR:		Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-01

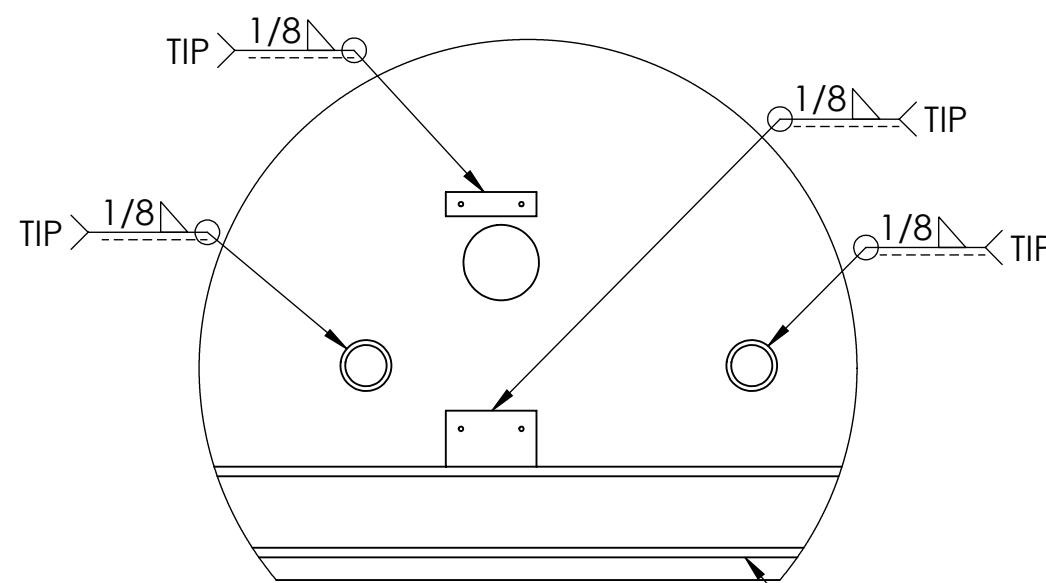




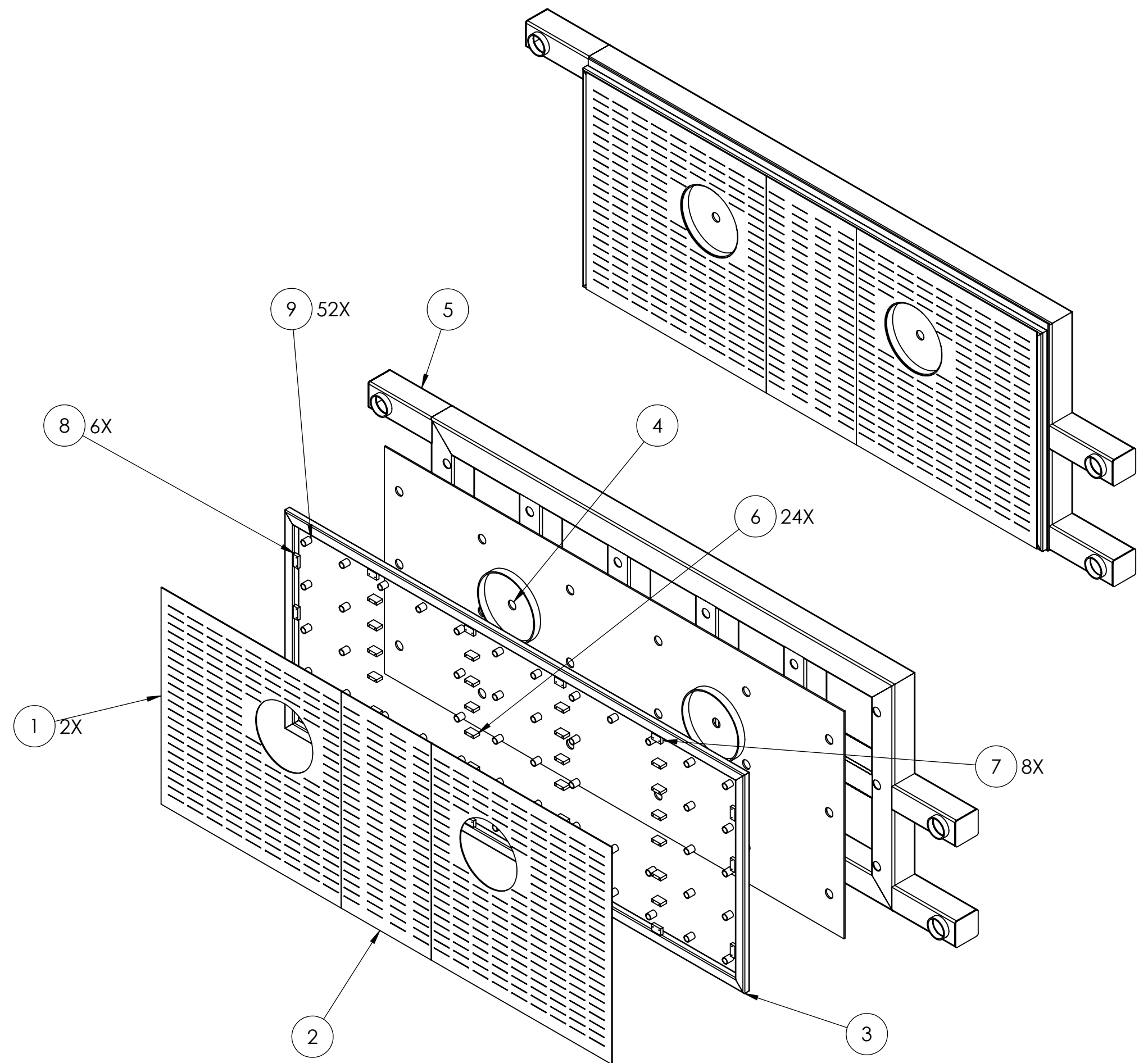
DETALLE A  
ESCALA 1 : 10



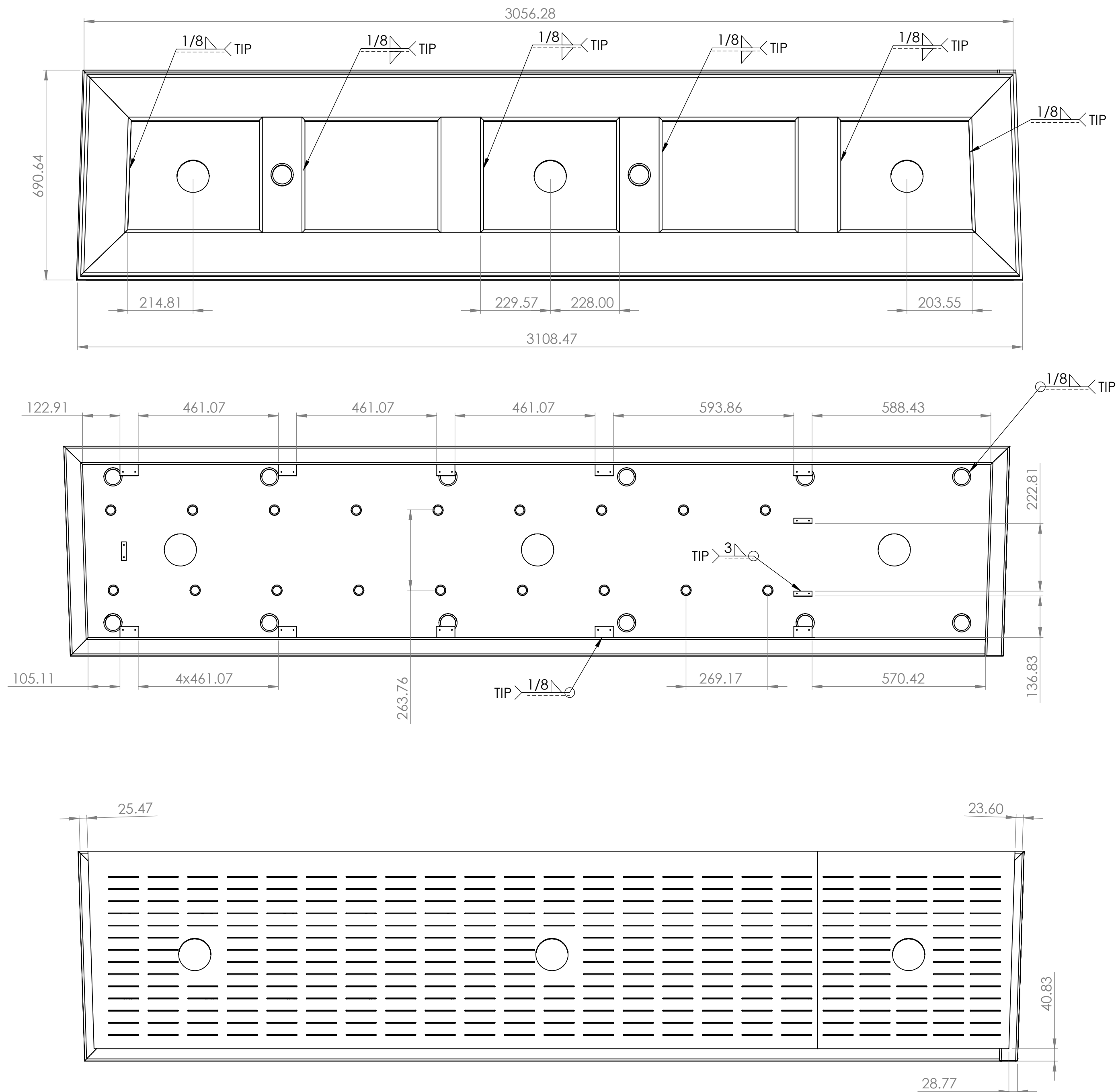
DETALLE C  
ESCALA 1 : 5



DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

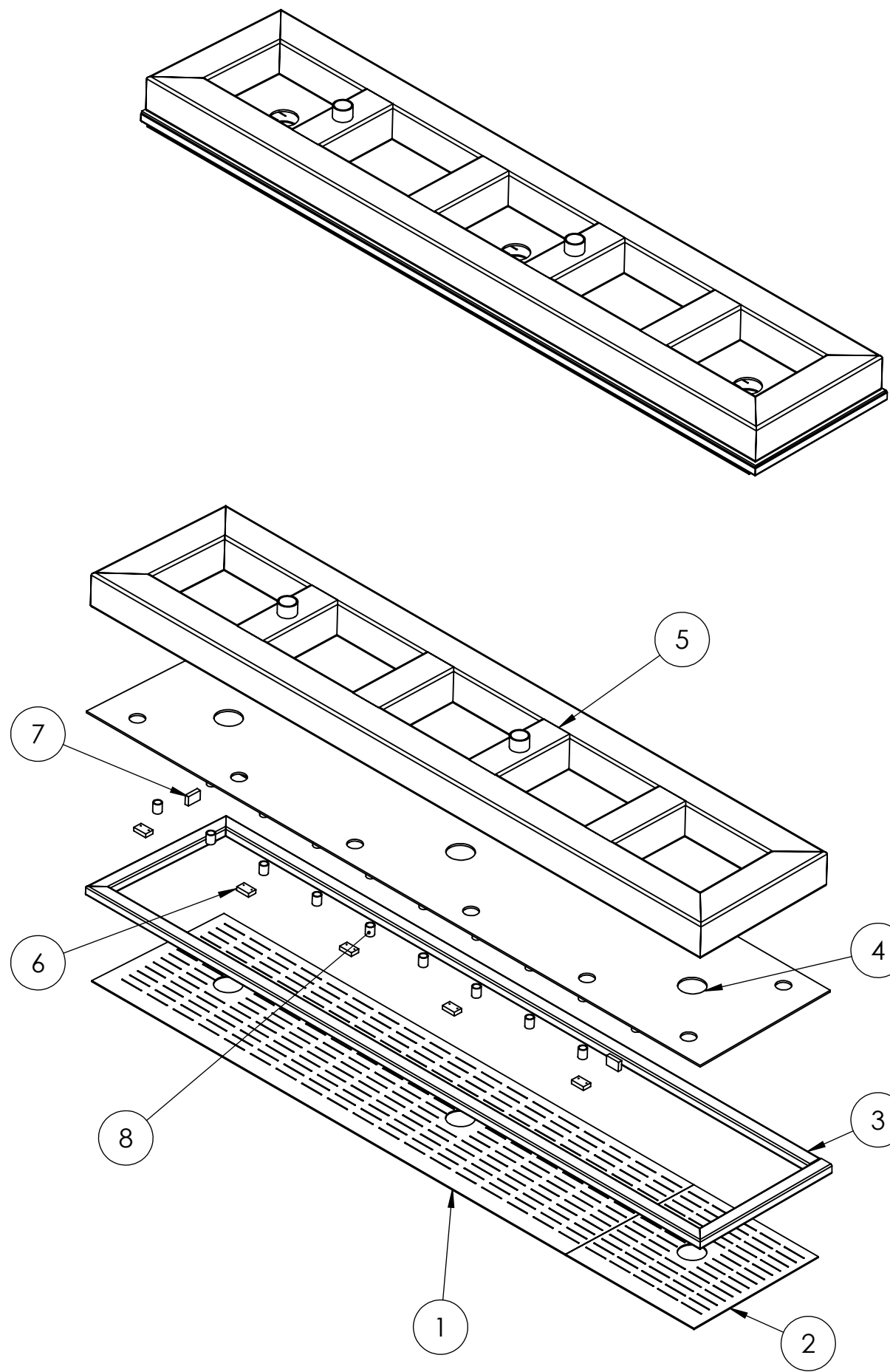



9	52	TOPE DE APOYO CILINDRICO	ACERO	ASTM A36
8	6	TOPE DE MARCO	ACERO	ASTM A36
7	8	TOPE DE MARCO CENTRAL	ACERO	ASTM A36
6	24	TOPE ENTRE PLANCHAS	ACERO	ASTM A36
5	1	DUCTO POSTERIOR	ACERO	ASTM A500
4	1	PLANCHA POSTERIOR INTERIOR	ACERO	ASTM A36
3	1	MARCO PUERTA	ACERO	ASTM A36
2	1	PLANCHA CENTRAL	ACERO	ASTM A36
1	2	PLANCHA POSTERIOR	ACERO	ASTM A36
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA: 1:20
		PLANO: SUB ENSAMBLE - BLOQUE POSTERIOR		FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES:		Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A2
ASESOR:		Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-02



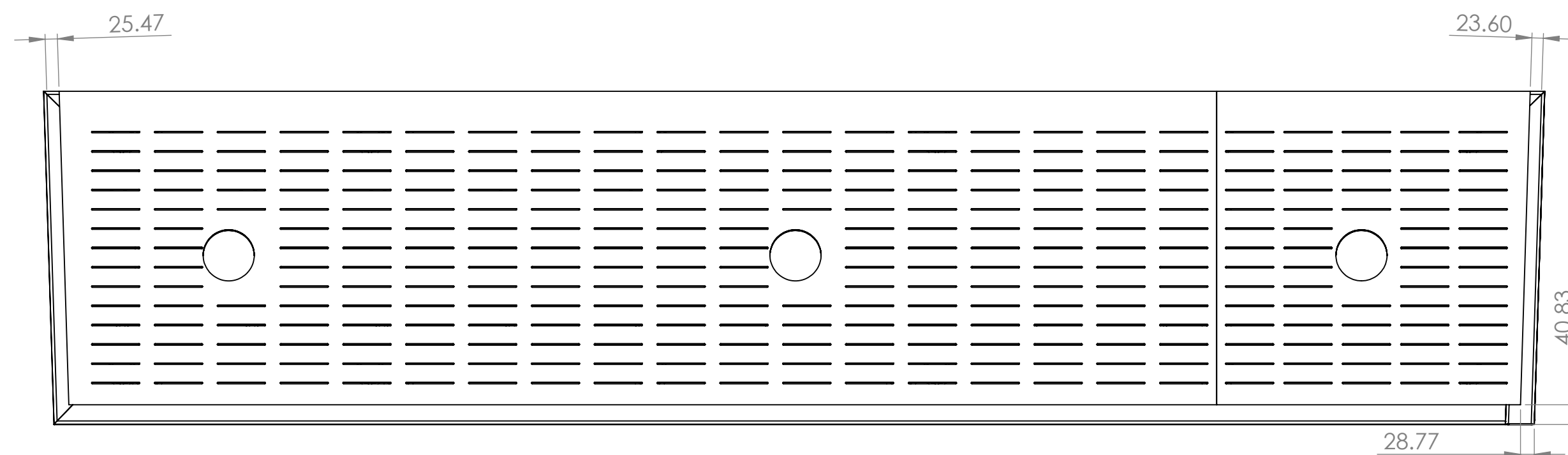
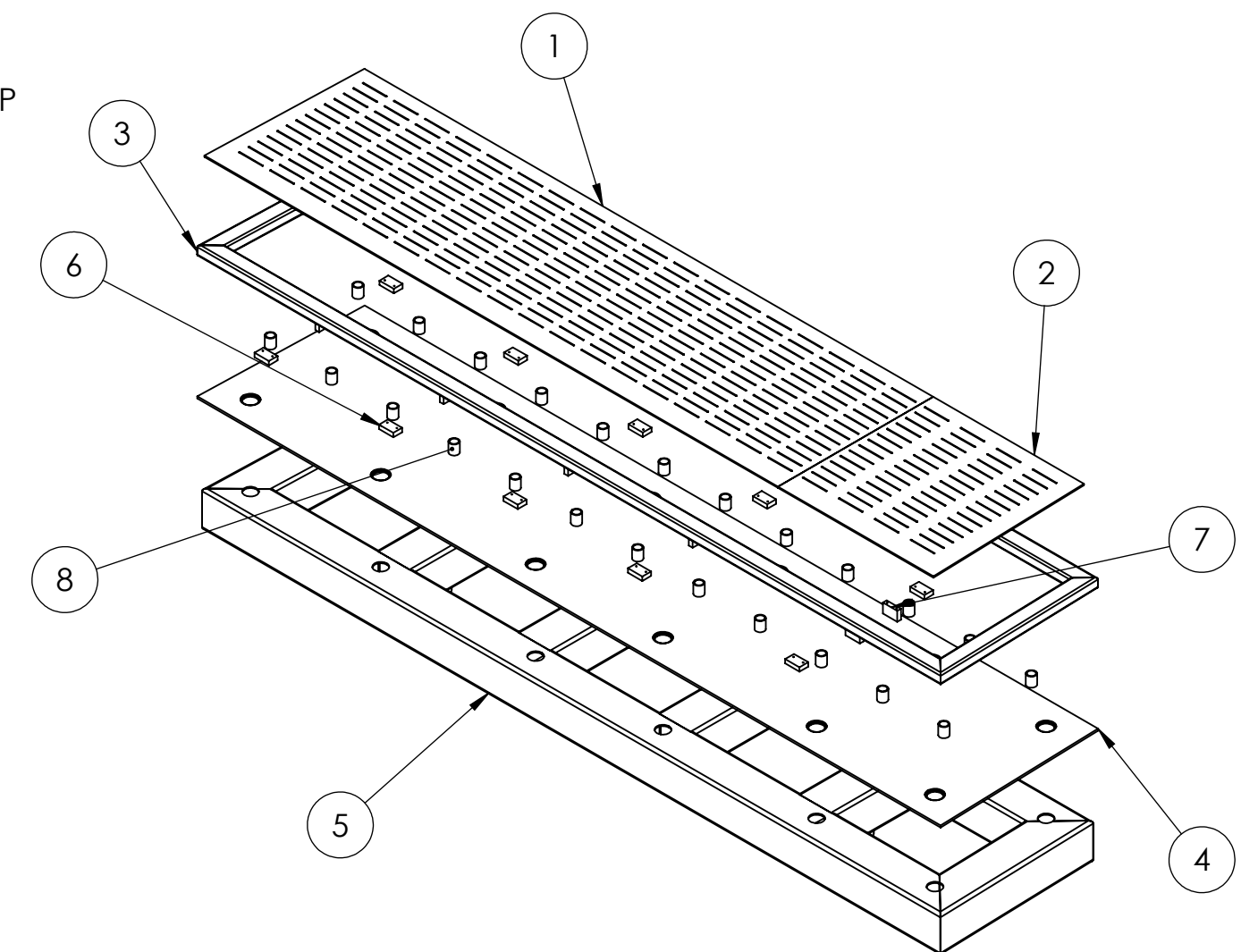
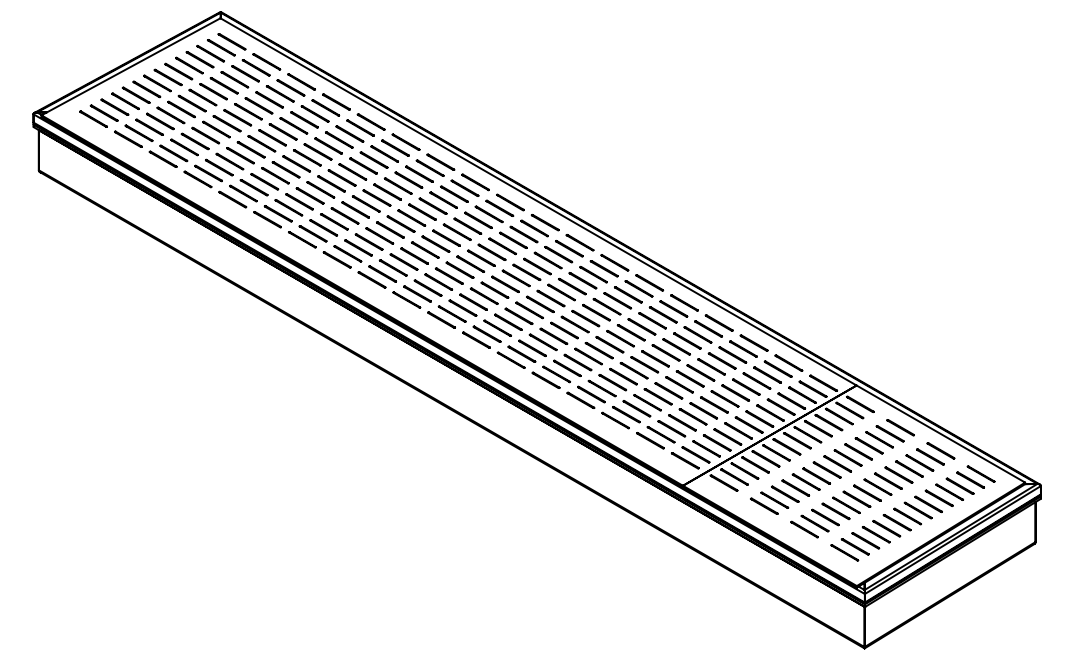
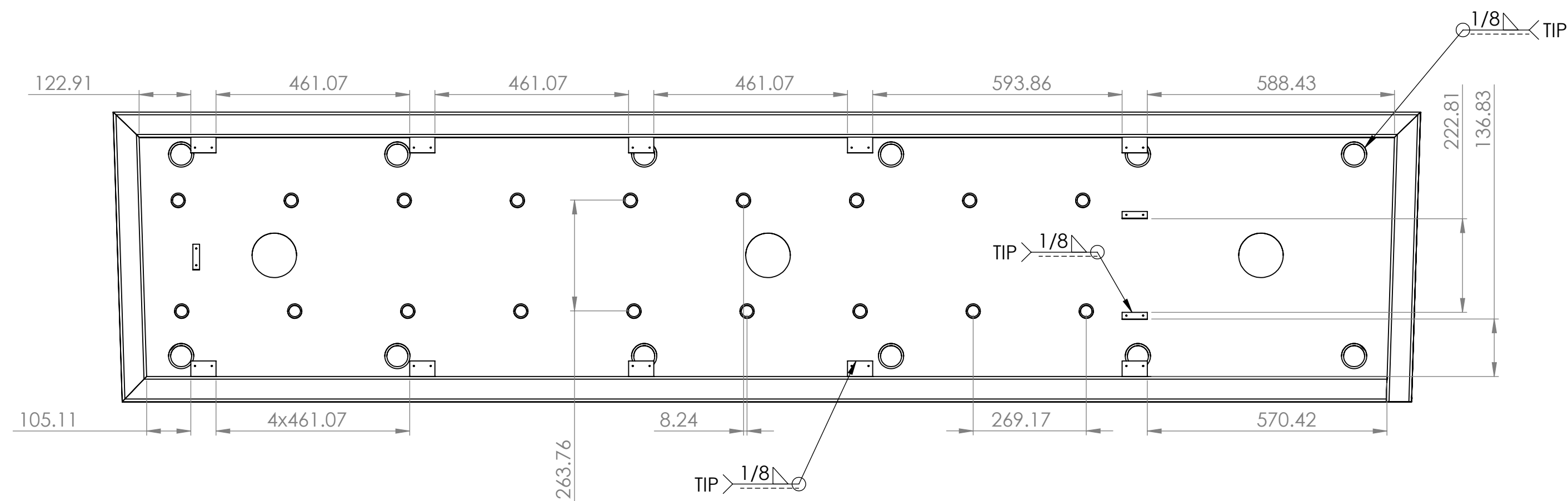
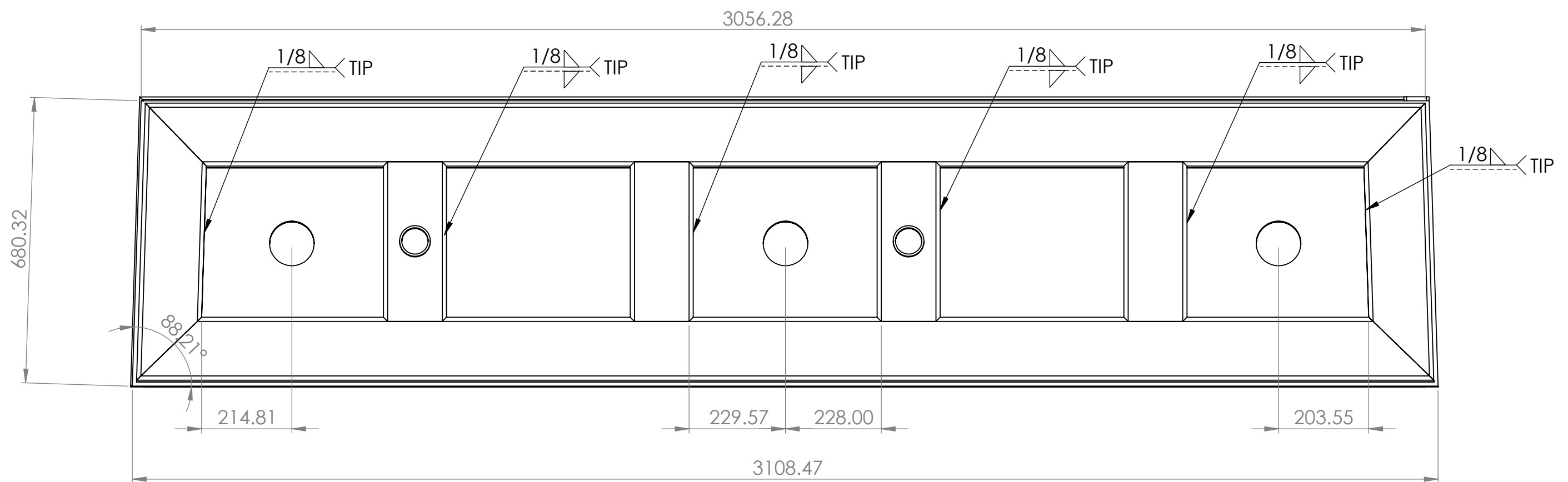
NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.




	8	52	TOPE DE APOYO CILINDRICO	ACERO	ASTM A36
	7	6	TOPE DE MARCO	ACERO	ASTM A36
	6	8	TOPE DE MARCO CENTRAL	ACERO	ASTM A36
	5	1	DUCTO SUPERIOR	ACERO	ASTM A500
	4	1	PLANCHA POSTERIOR INTERIOR	ACERO	ASTM A36
	3	1	MARCO PUERTA	ACERO	ASTM A36
	2	1	PLANCHA CENTRAL	ACERO	ASTM A36
	1	1	PLANCHA POSTERIOR	ACERO	ASTM A36
POS.	CAN.	DESCRIPCION		MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"			ESCALA:
		PLANO:			1:10
		SUB ENSAMBLE - BLOQUE SUPERIOR			FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil					FORMATO: A2
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA					HOJA: SE-03

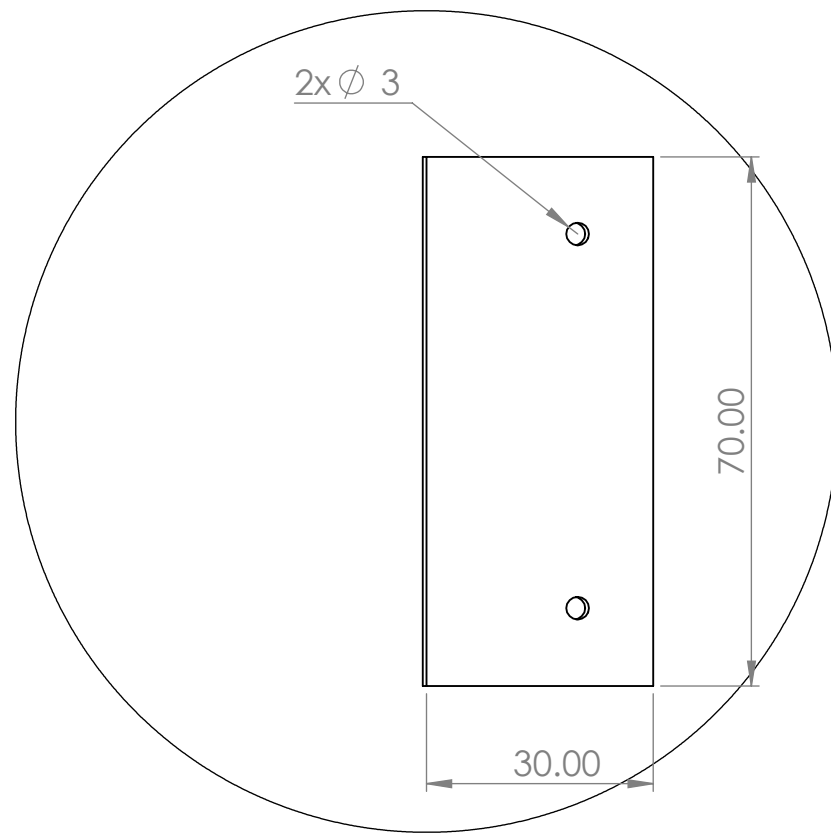
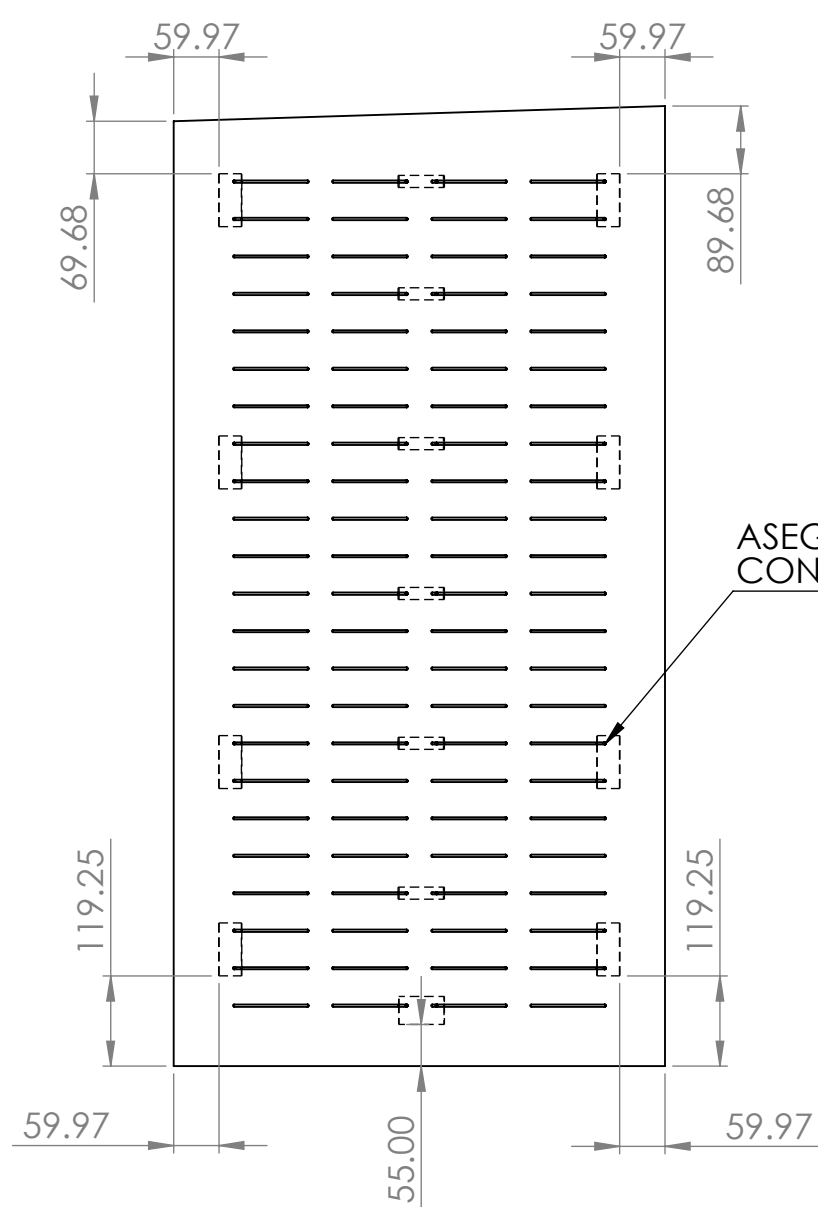
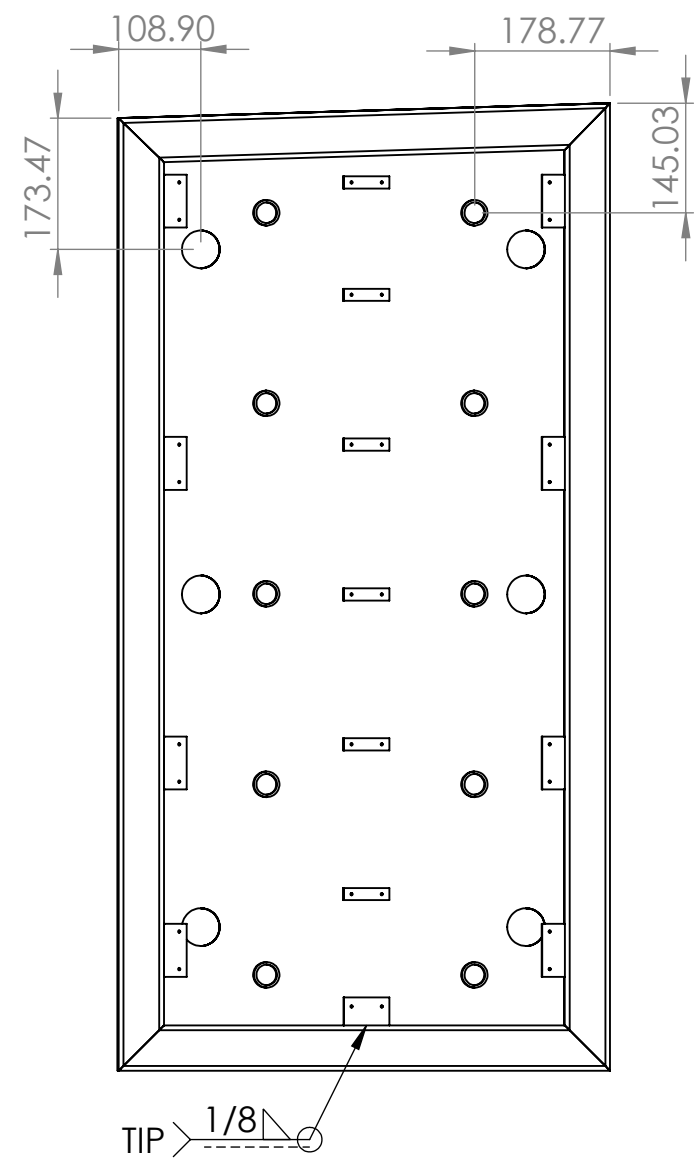
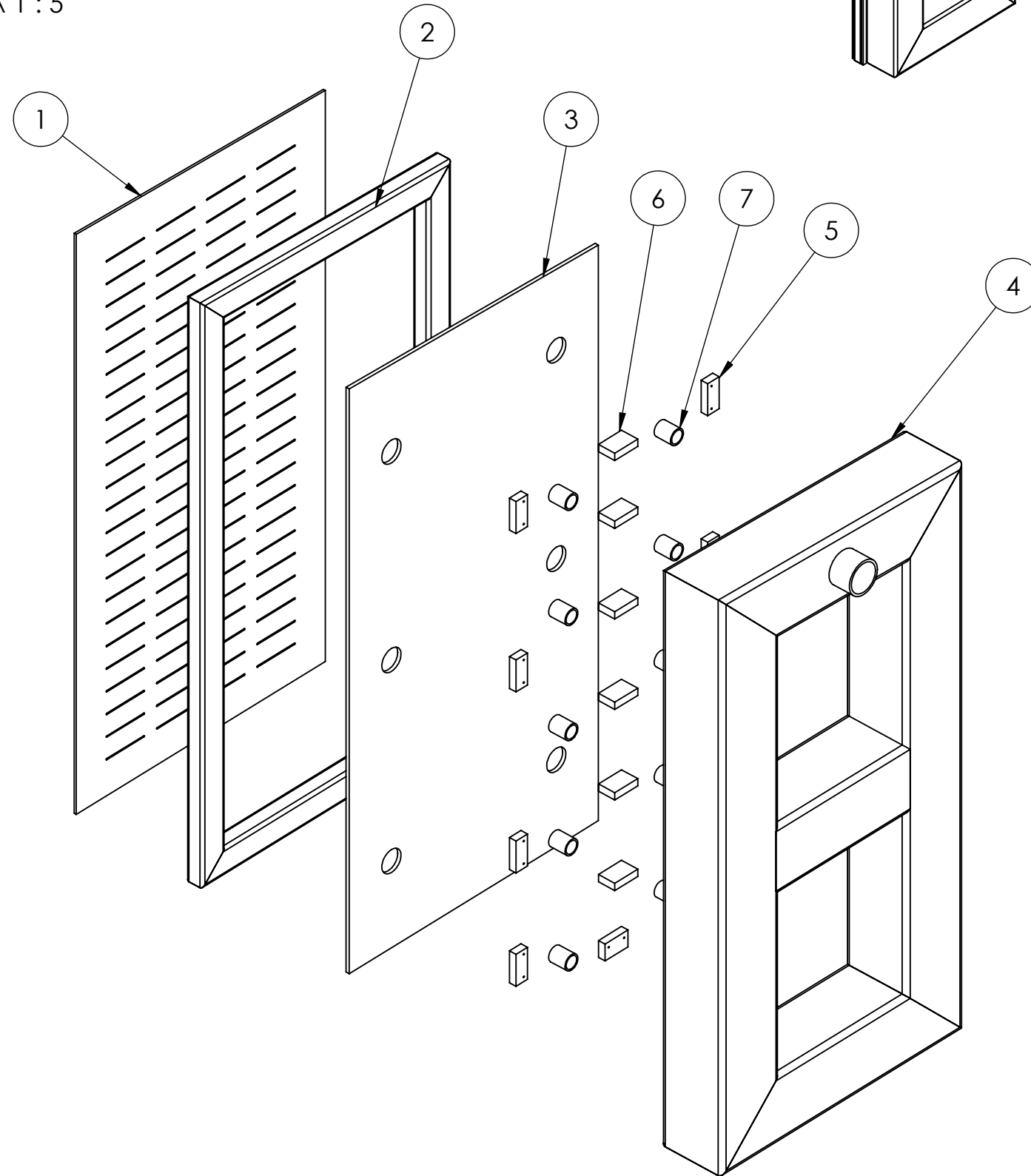
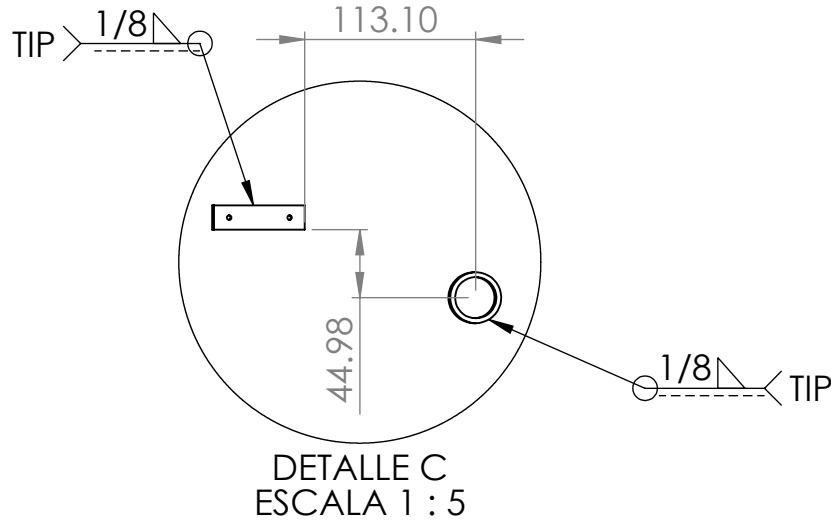
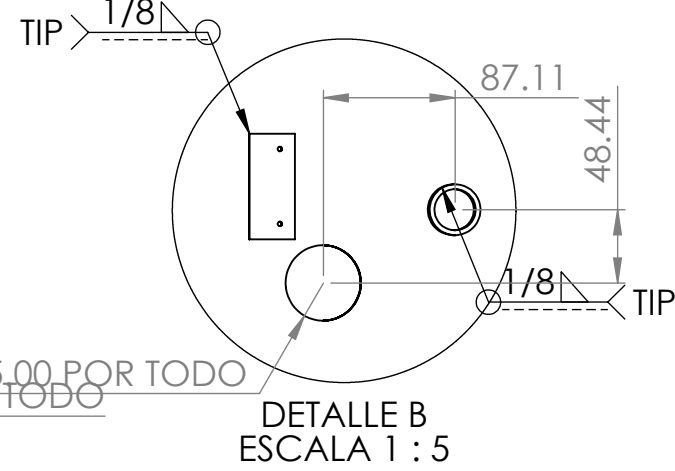
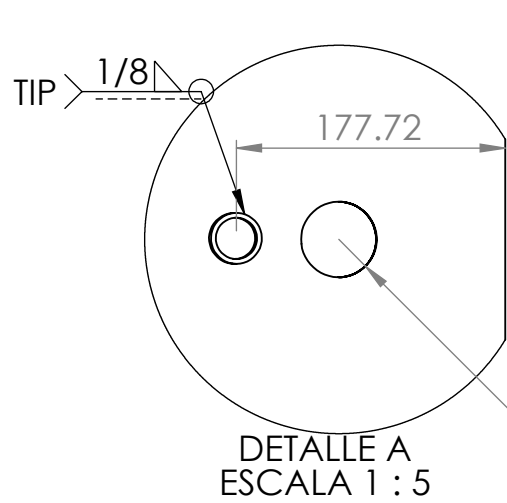
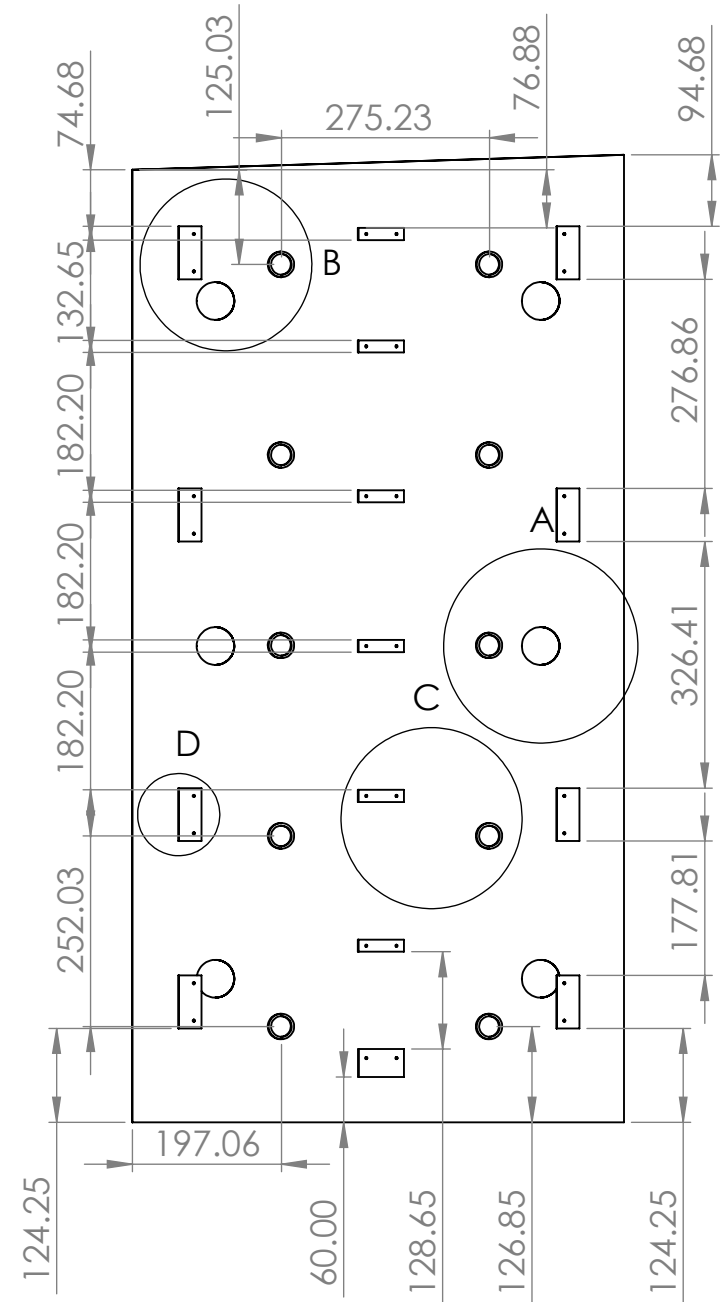
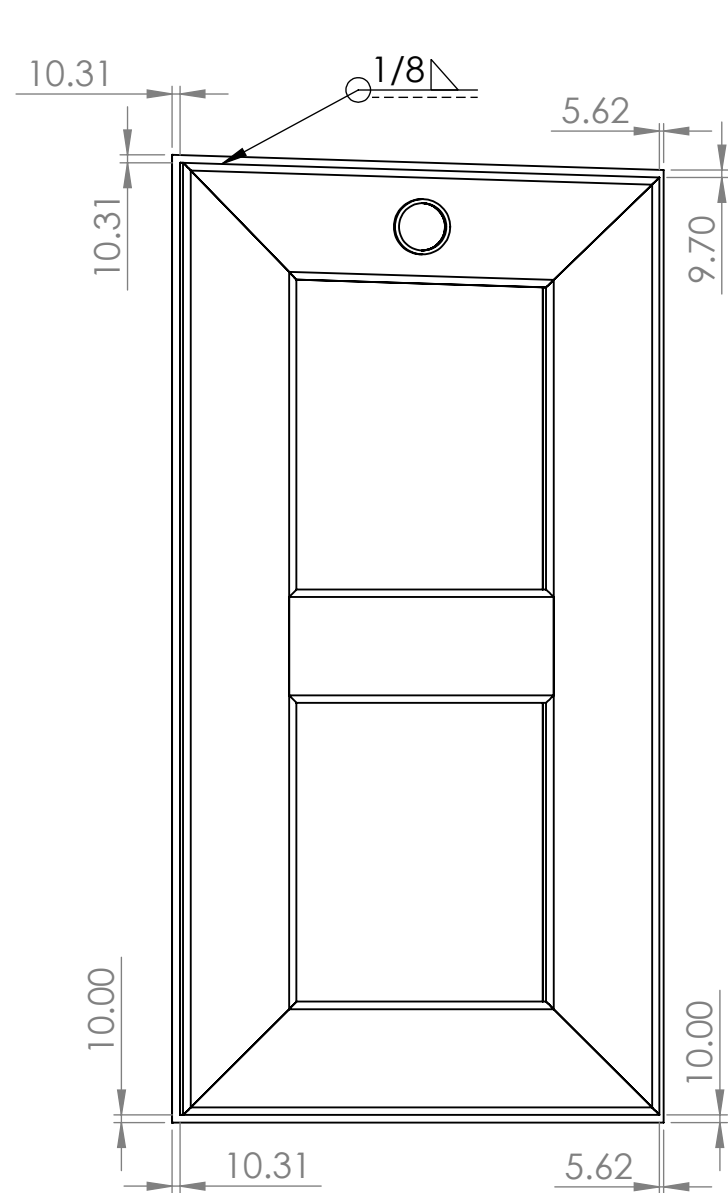




NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

8	52	TOPE DE APOYO CILINDRICO	ACERO	ASTM A36
7	6	TOPE DE MARCO	ACERO	ASTM A36
6	8	TOPE DE MARCO CENTRAL	ACERO	ASTM A36
5	1	DUCTO SUPERIOR	ACERO	ASTM A500
4	1	PLANCHA POSTERIOR INTERIOR	ACERO	ASTM A36
3	1	MARCO PUERTA	ACERO	ASTM A36
2	1	PLANCHA CENTRAL	ACERO	ASTM A36
1	1	PLANCHA POSTERIOR	ACERO	ASTM A36
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO:		1:10
		SUB ENSAMBLE - BLOQUE INFERIOR		FECHA:
RESPONSABLES:				15/06/25
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				FORMATO:
ASESOR:				A2
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				HOJA:
				SE-04

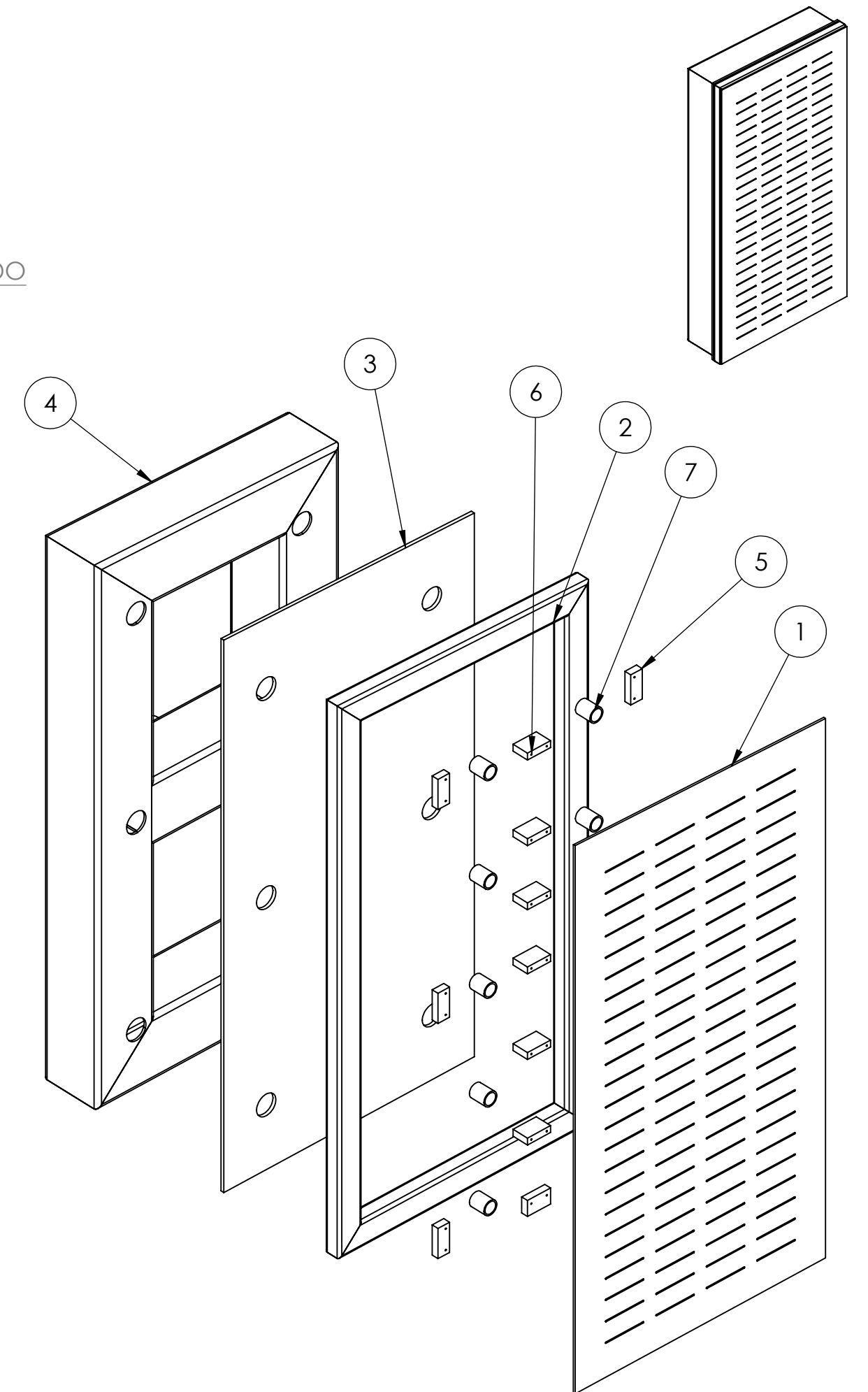
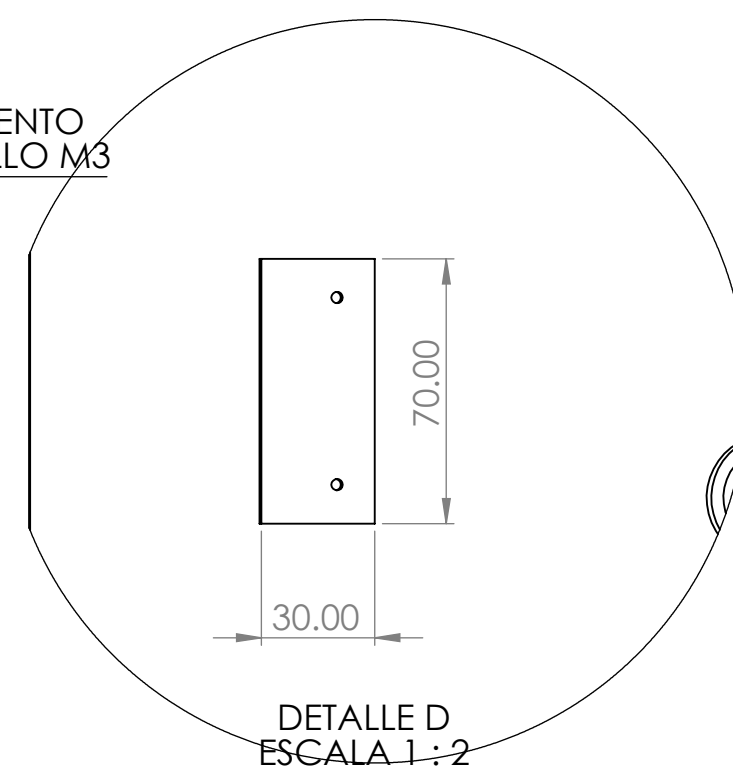
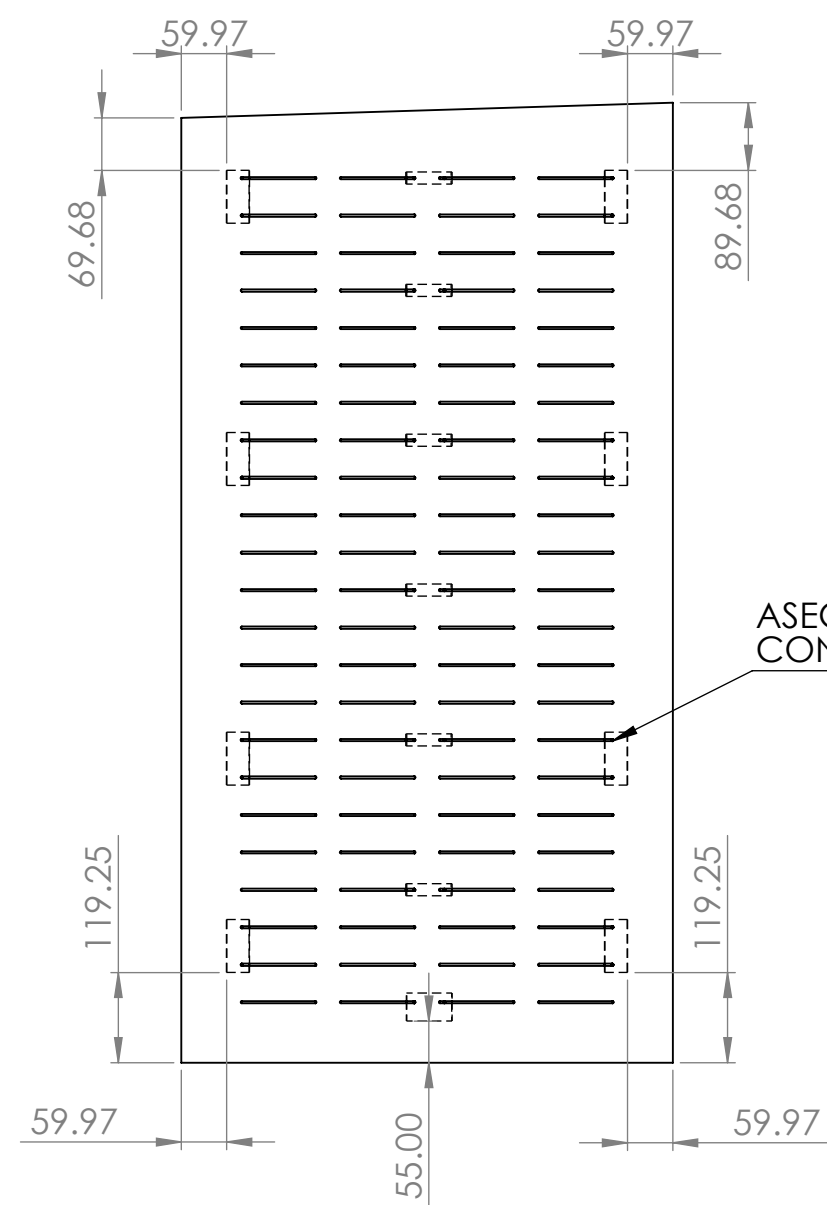
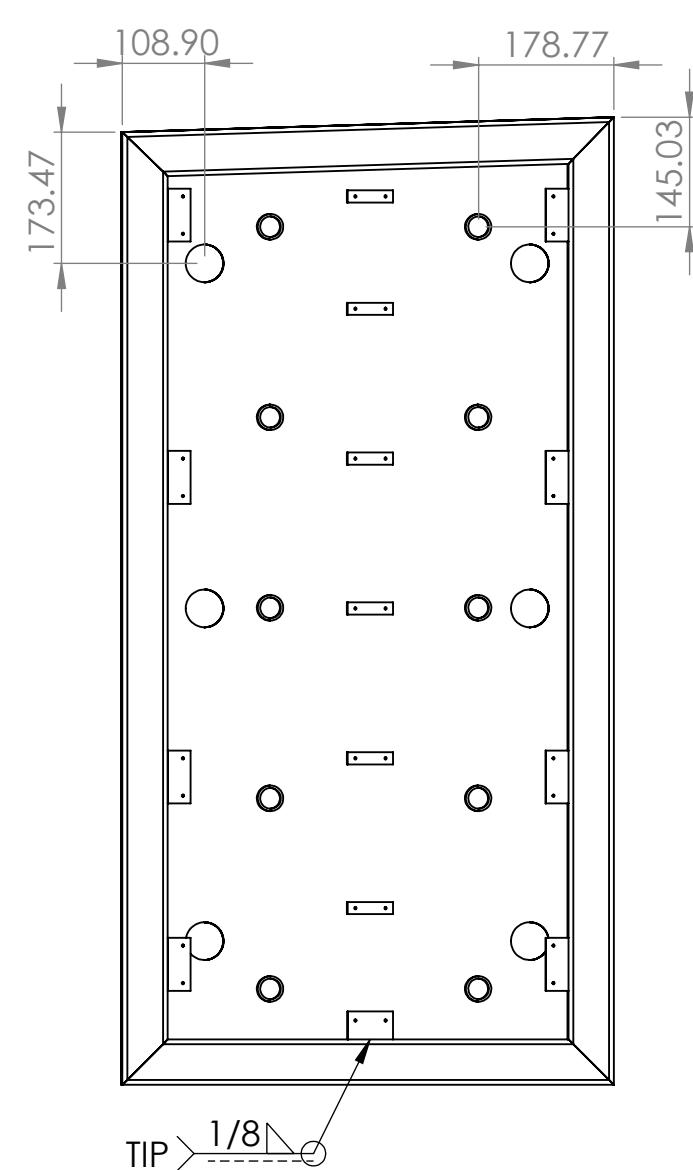
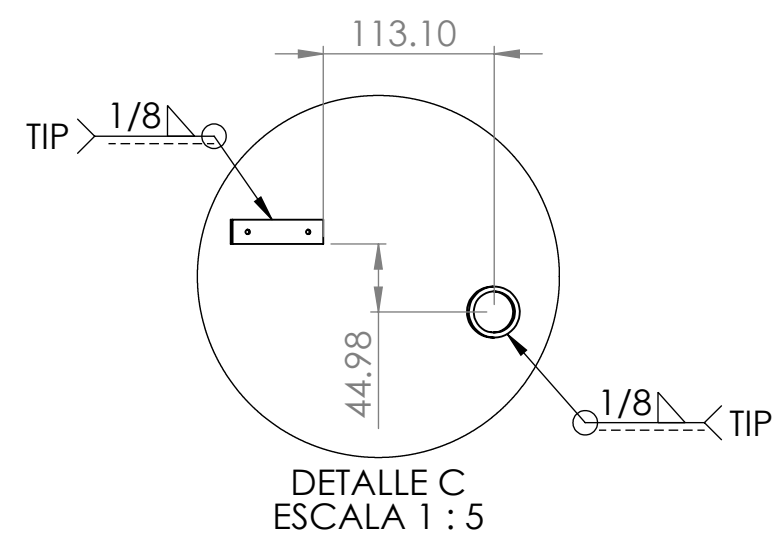
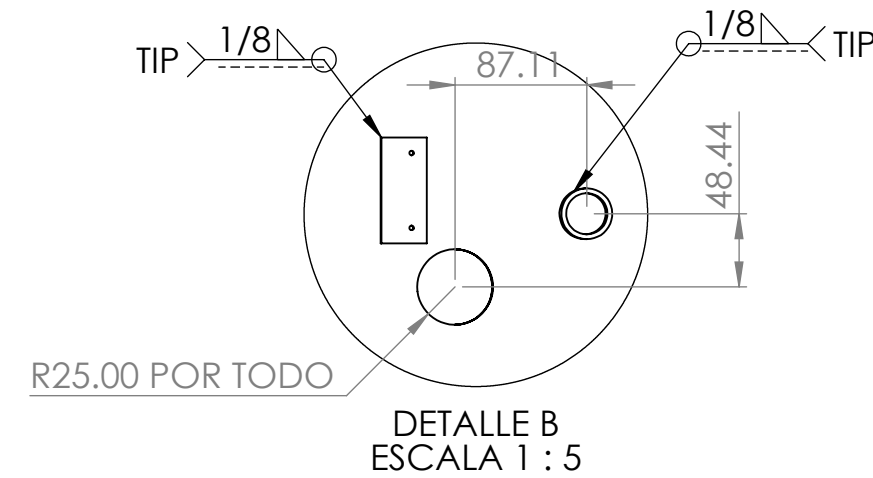
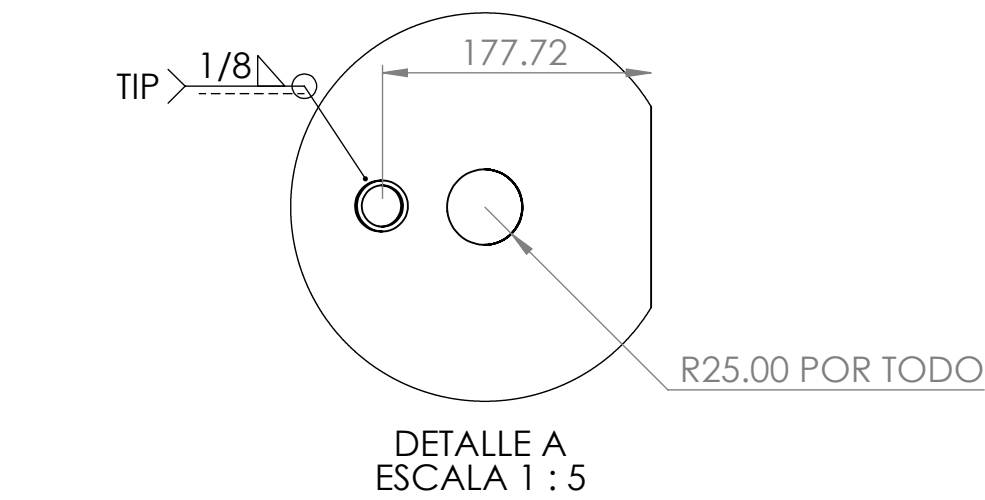
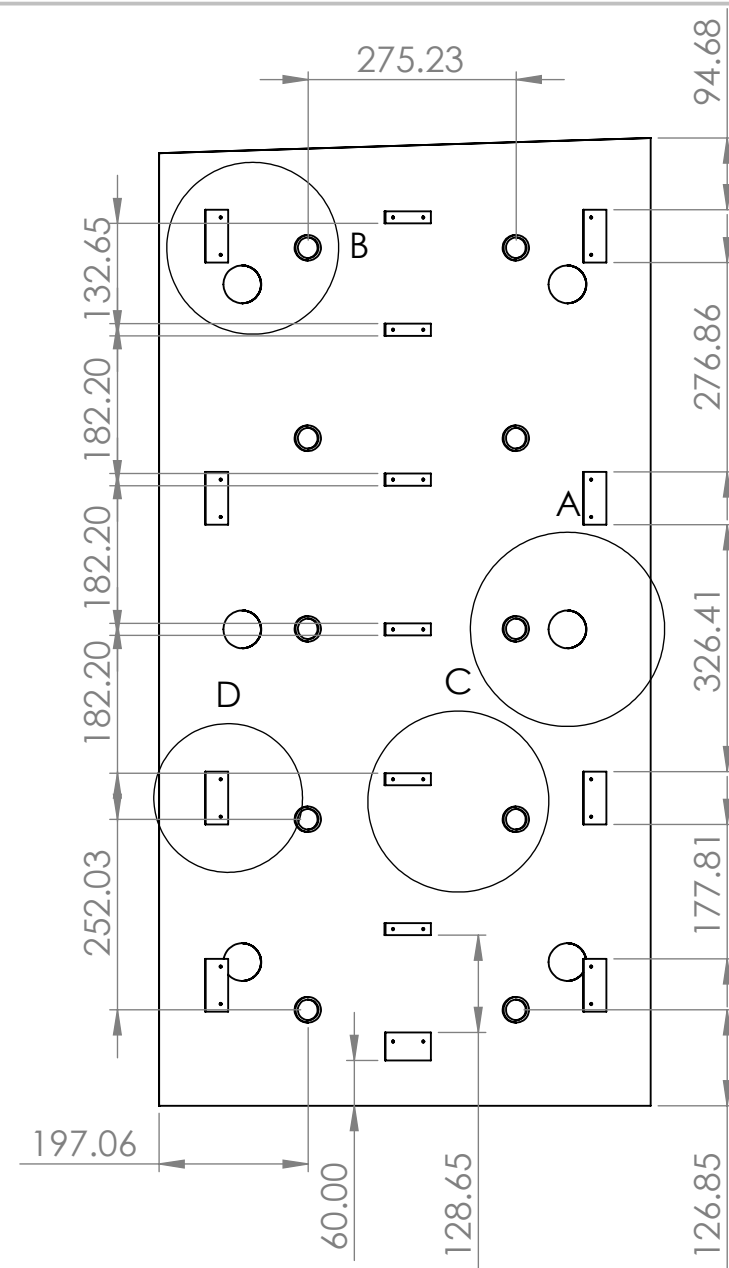
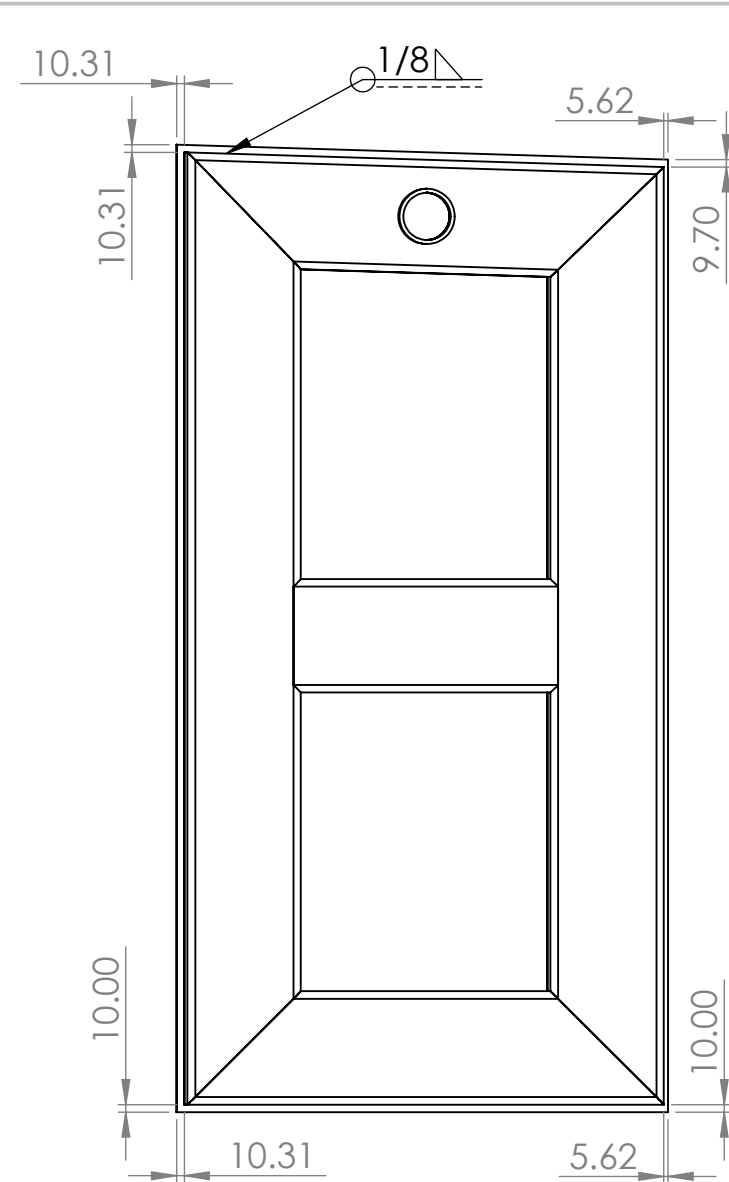


DETALLE D  
ESCALA 1 : 1

NOTA:


- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

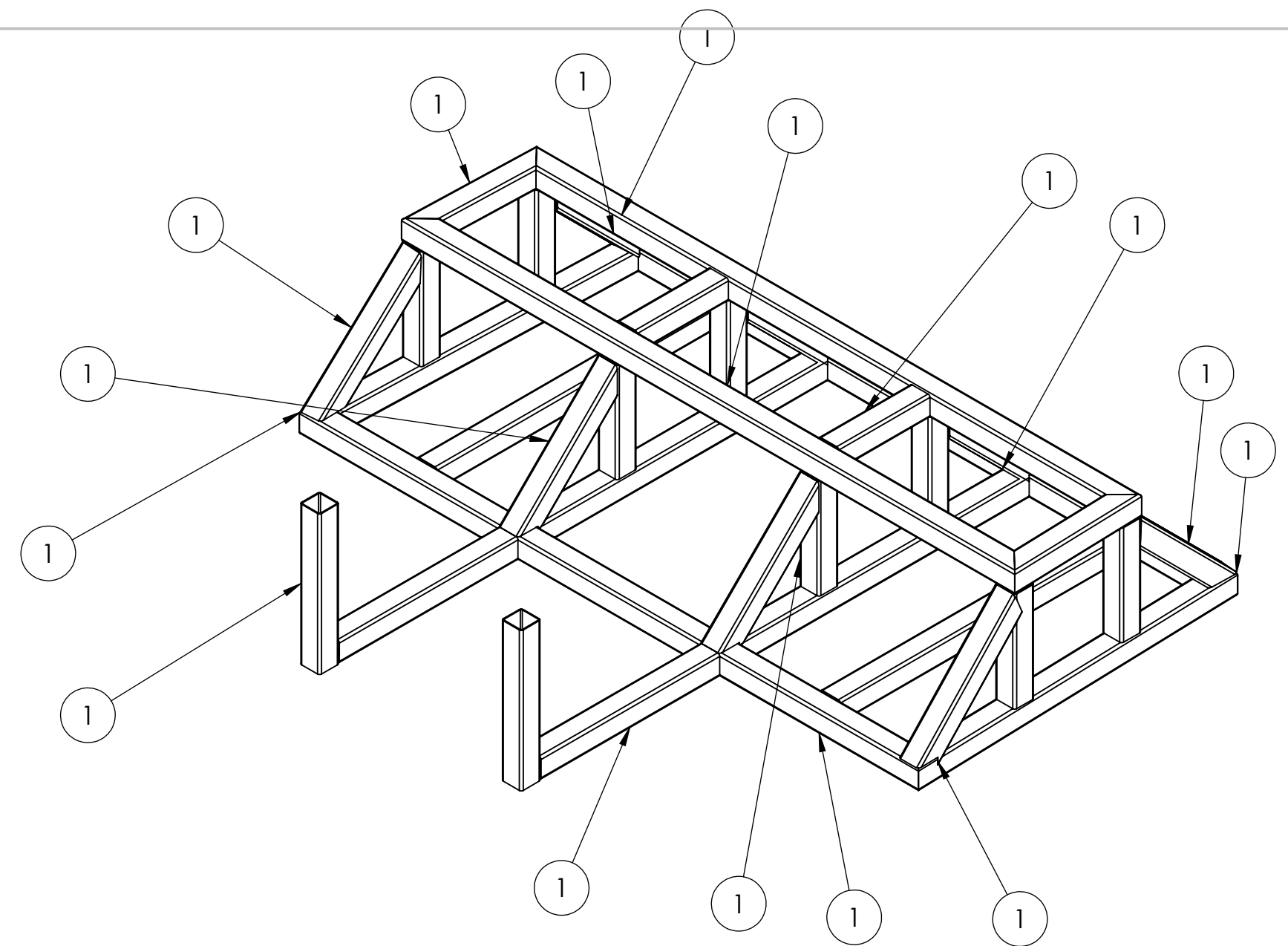
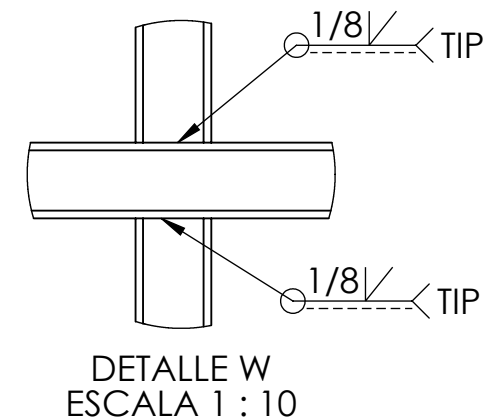
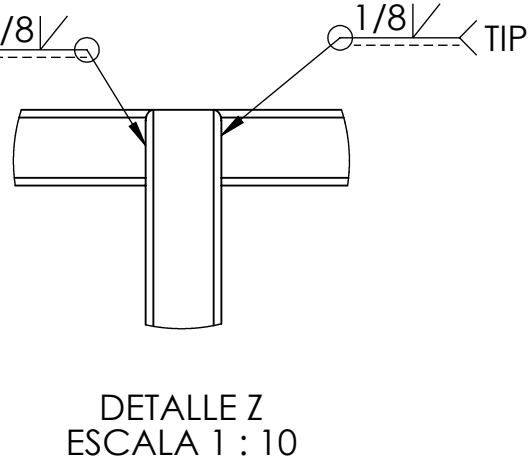
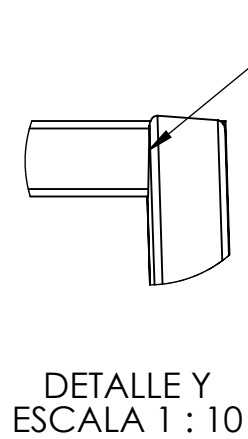
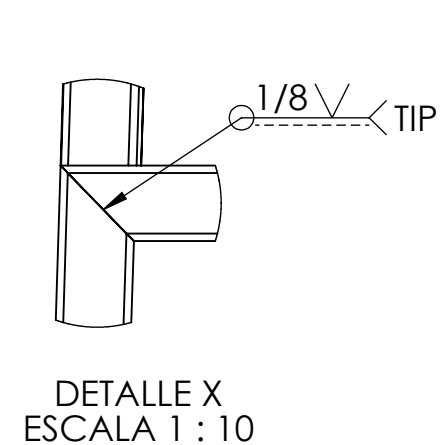
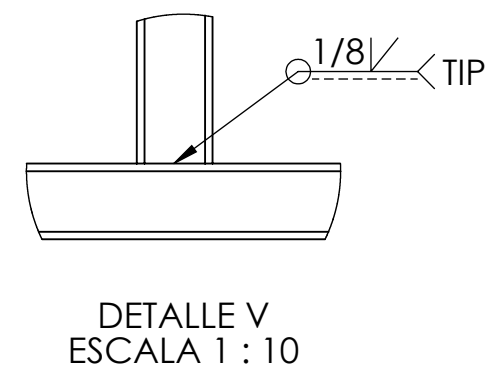
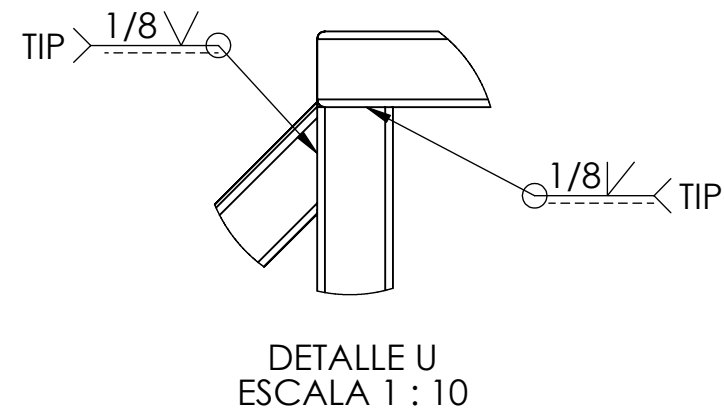
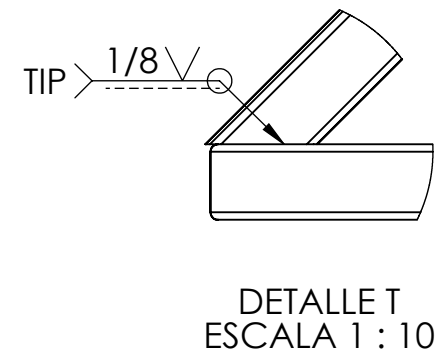
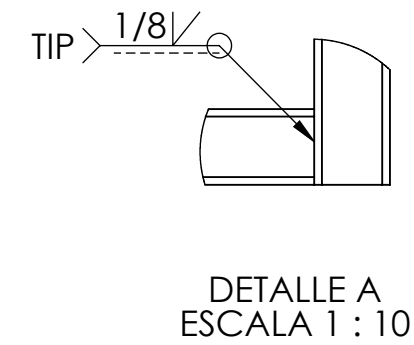
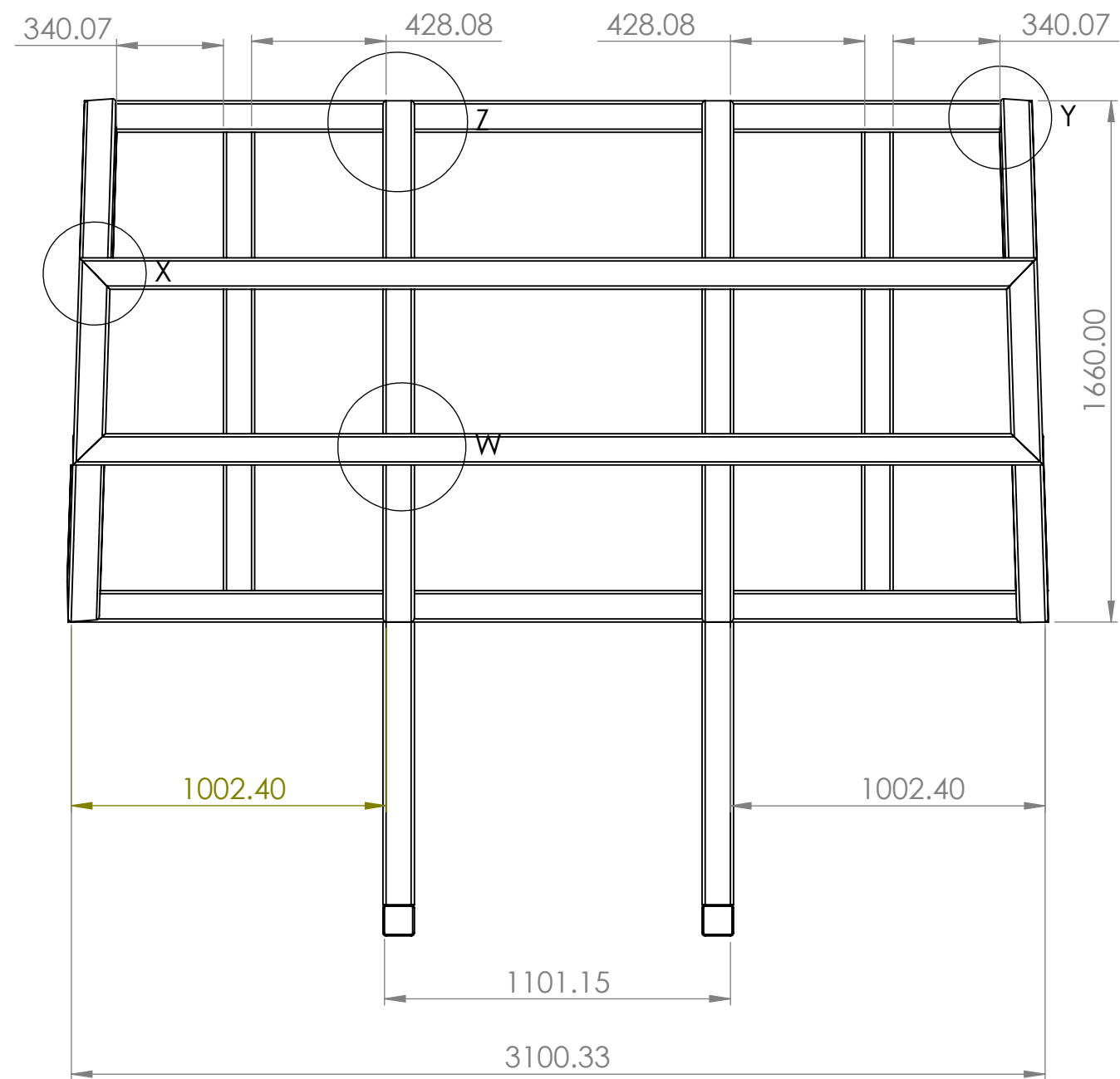
7	10	TOPE DE APOYO CILINDRICO	ACERO	ASTM A36
6	7	TOPE DE MARCO	ACERO	ASTM A36
5	8	TOPE DE MARCO CENTRAL	ACERO	ASTM A36
4	1	DUCTO SUPERIOR	ACERO	ASTM A500
3	1	PLANCHA POSTERIOR INTERIOR	ACERO	ASTM A36
2	1	MARCO PUERTA	ACERO	ASTM A36
1	1	PLANCHA POSTERIOR	ACERO	ASTM A36
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO: SUB ENSAMBLE - BLOQUE LATERAL DERECHA		1:10
RESPONSABLES:		Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FECHA: 15/06/25
ASESOR:		Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		FORMATO: A2
				HOJA: SE-05




NOTA:

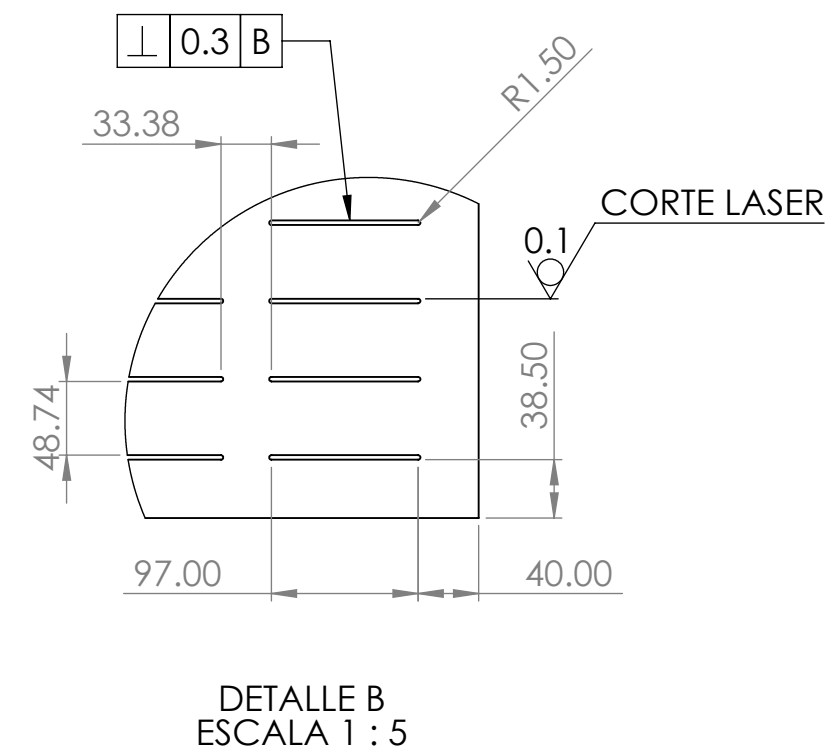
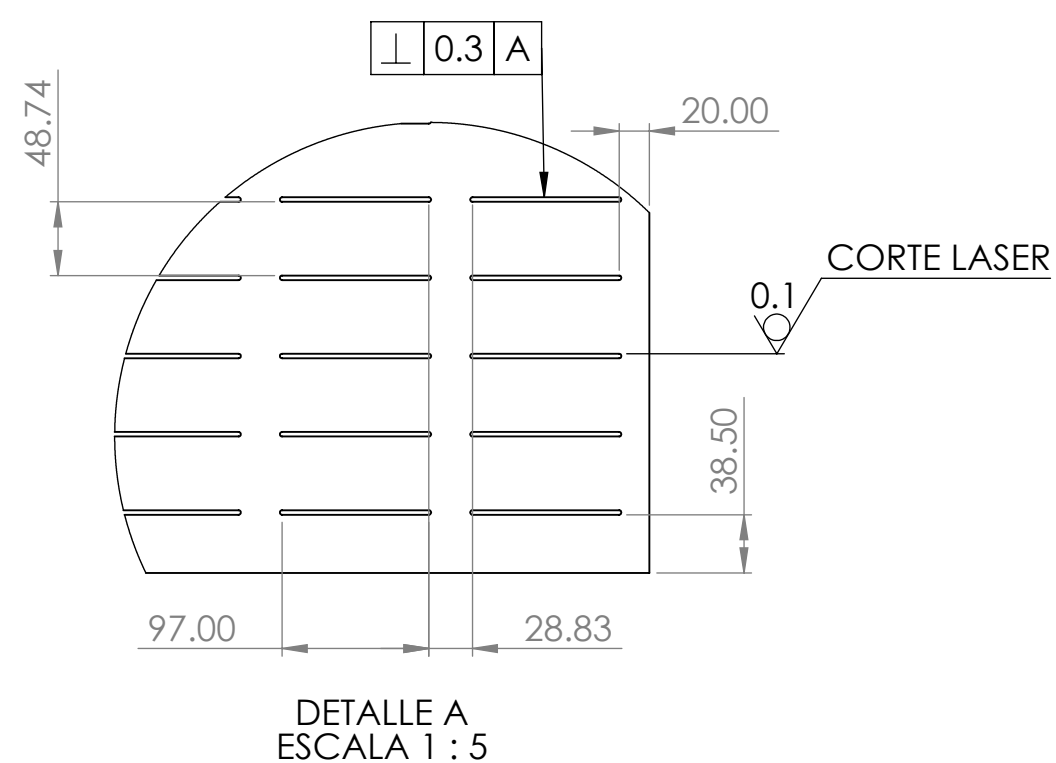
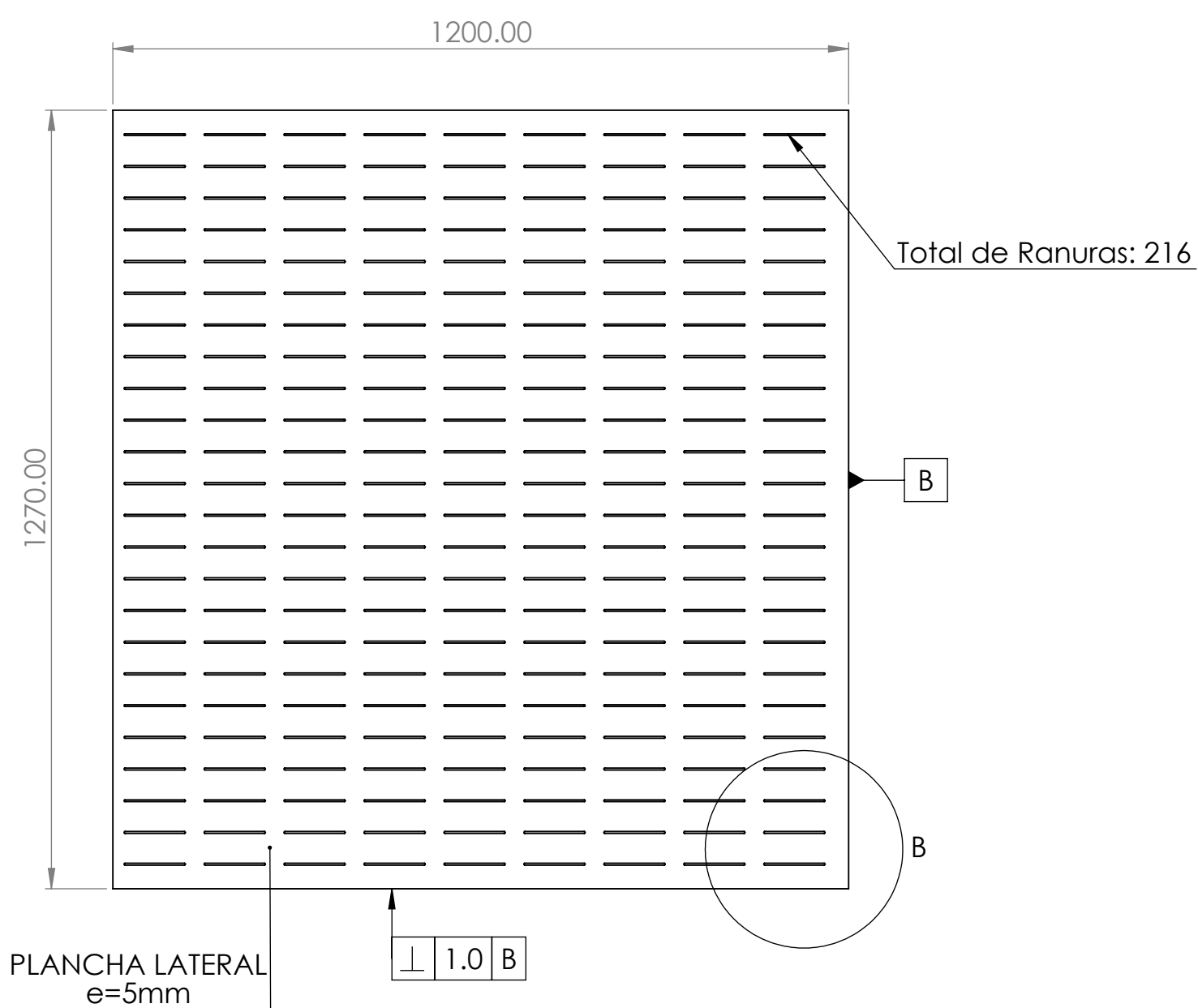
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

7	10	TOPE DE APOYO CILINDRICO	ACERO	ASTM A36
6	7	TOPE DE MARCO	ACERO	ASTM A36
5	8	TOPE DE MARCO CENTRAL	ACERO	ASTM A36
4	1	DUCTO SUPERIOR	ACERO	ASTM A500
3	1	PLANCHA POSTERIOR INTERIOR	ACERO	ASTM A36
2	1	MARCO	ACERO	ASTM A36
1	1	PLANCHA POSTERIOR	ACERO	ASTM A36
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO				
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO:		1:10
		SUB ENSAMBLE - BLOQUE LATERAL IZQUIERDO		FECHA:
RESPONSABLES:				15/06/25
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				FORMATO:
ASESOR:				A2
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				HOJA:
				SE-06




NOTA:  
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.  
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

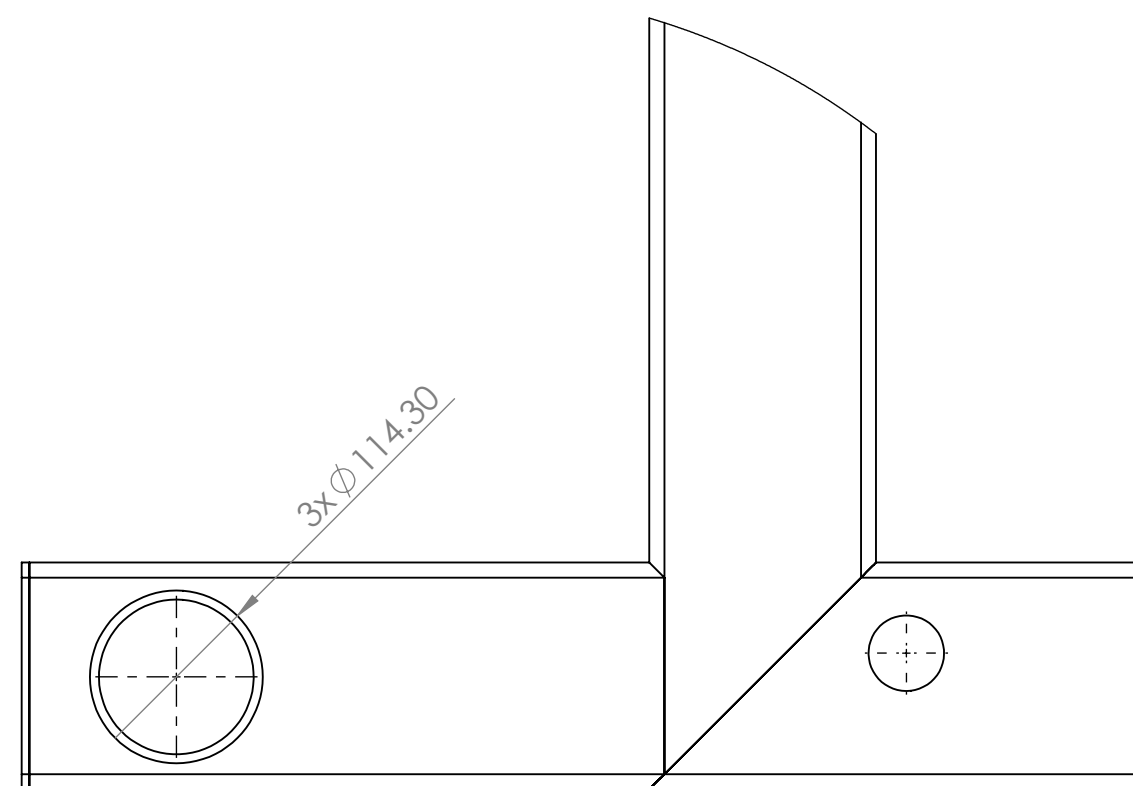
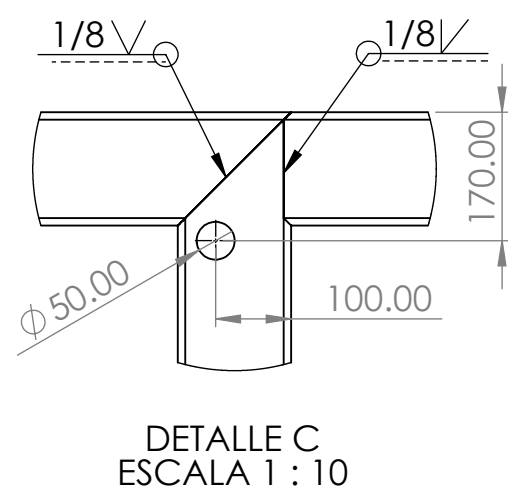
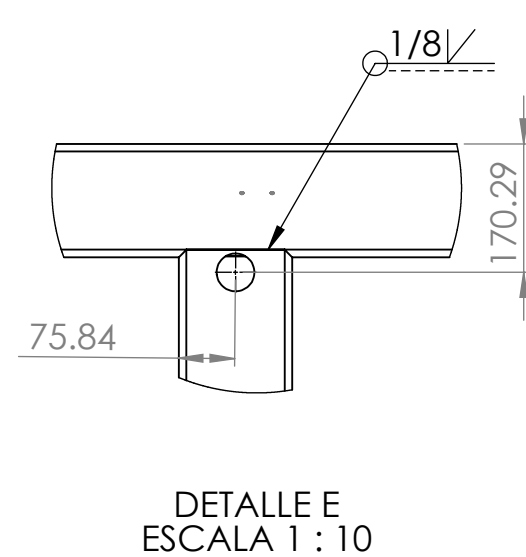
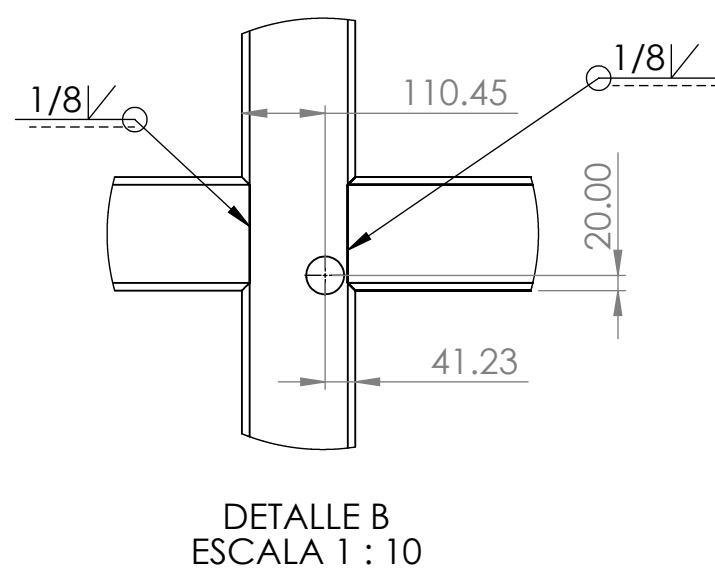
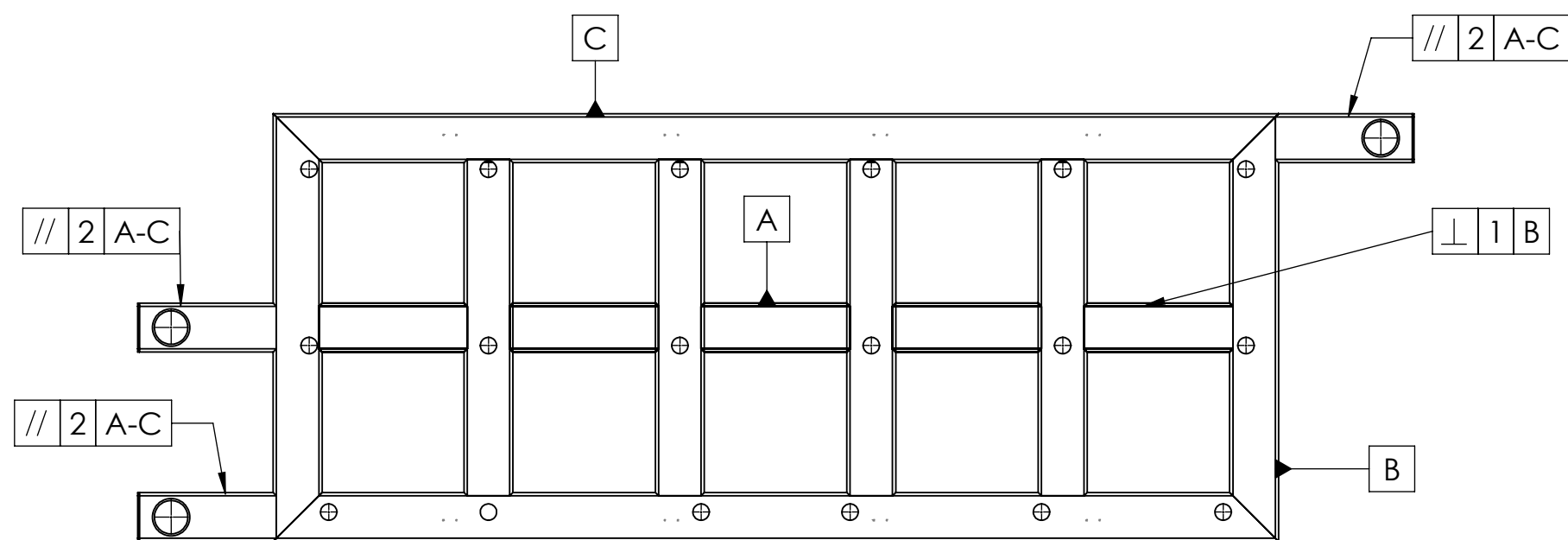
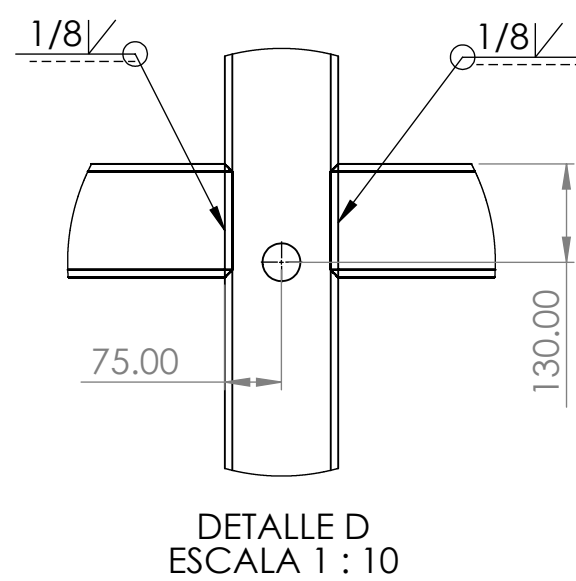
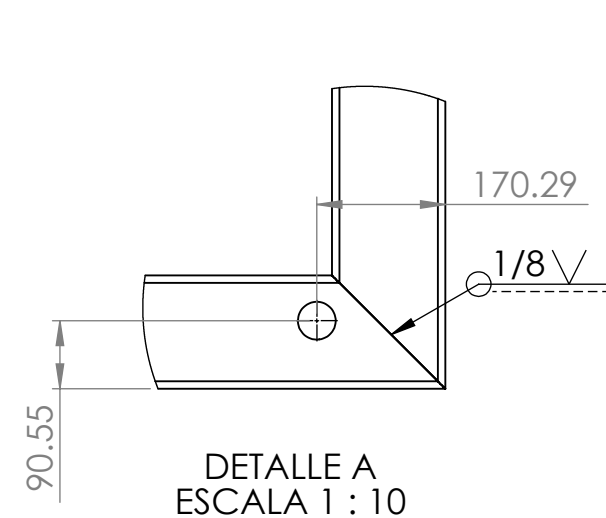
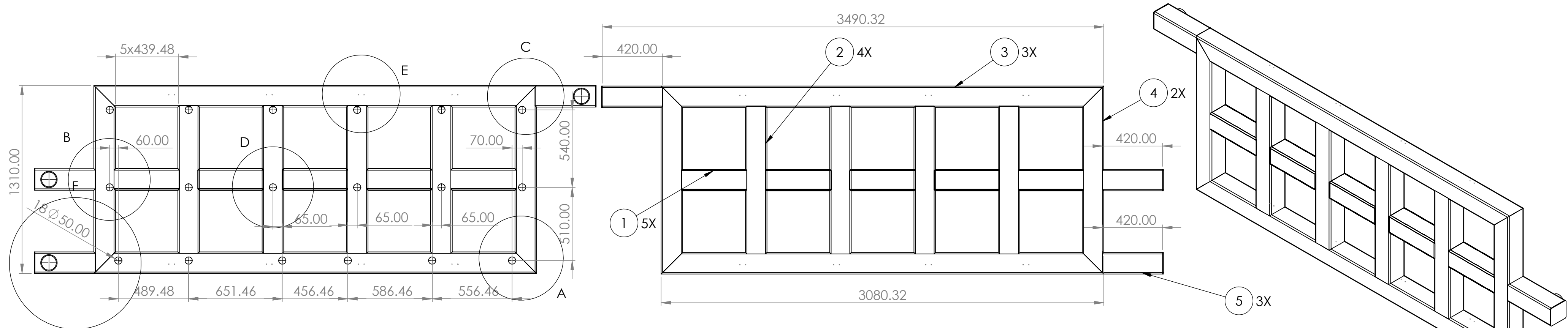
16	2	TUBO CUADRADO 75X75X2-900mm	ACERO	ASTM A500
15	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-3018mm	ACERO	ASTM A500
14	2	TUBO CUADRADO 75X75X2-1661mm	ACERO	ASTM A500
13	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-3121mm	ACERO	ASTM A500
12	4	TUBO CUADRADO 75X75X2-1460mm	ACERO	ASTM A500
11	2	TUBO CUADRADO 75X75X2-1000mm	ACERO	ASTM A500
10	4	TUBO CUADRADO 75X75X2-944mm	ACERO	ASTM A500
9	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-950mm	ACERO	ASTM A500
8	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-950mm	ACERO	ASTM A500
7	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-947mm	ACERO	ASTM A500
6	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-943mm	ACERO	ASTM A500
5	8	TUBO CUADRADO 75X75X2-800mm	ACERO	ASTM A500
4	2	TUBO CUADRADO 75X75X2-460mm	ACERO	ASTM A500
3	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-3049mm	ACERO	ASTM A500
2	2	TUBO CUADRADO 75X75X2-661mm	ACERO	ASTM A500
1	1	TUBO CUADRADO 75X75X2-3090mm	ACERO	ASTM A500
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO:		1:10
		SUB ENSAMBLE - ESTRUCTURA DE SOPORTE		FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				FORMATO: A2
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				HOJA: SE-07



- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000	Más de 2000 hasta 4000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0

2	1	PLANCHA CENTRAL	ACERO	ASTM A36
1	2	PLANCHA LATERAL	ACERO	ASTM A36
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
<p align="center"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA</b></p>				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:			TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m³ CUSCO, 2021"  PLANO: PLANCHA INTERIOR DE MOLDE - BLOQUE DELANTERO (PUERTA)	ESCALA:  1:10
RESPONSABLES:			FECHA:	
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil			15/06/25	
ASESOR:			FORMATO:	
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA			A2	
			HOJA:	
			SF-C-01	





NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.

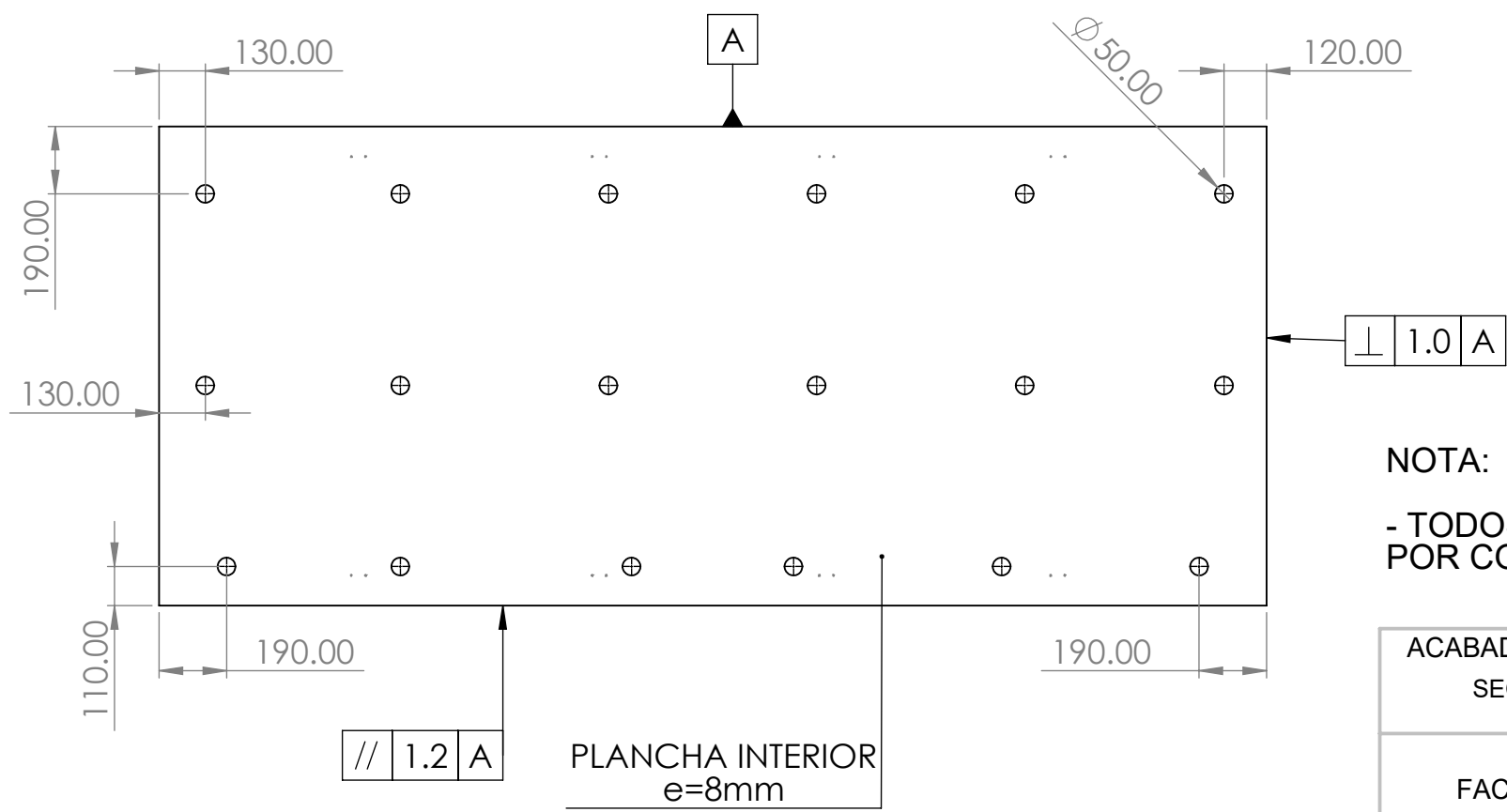
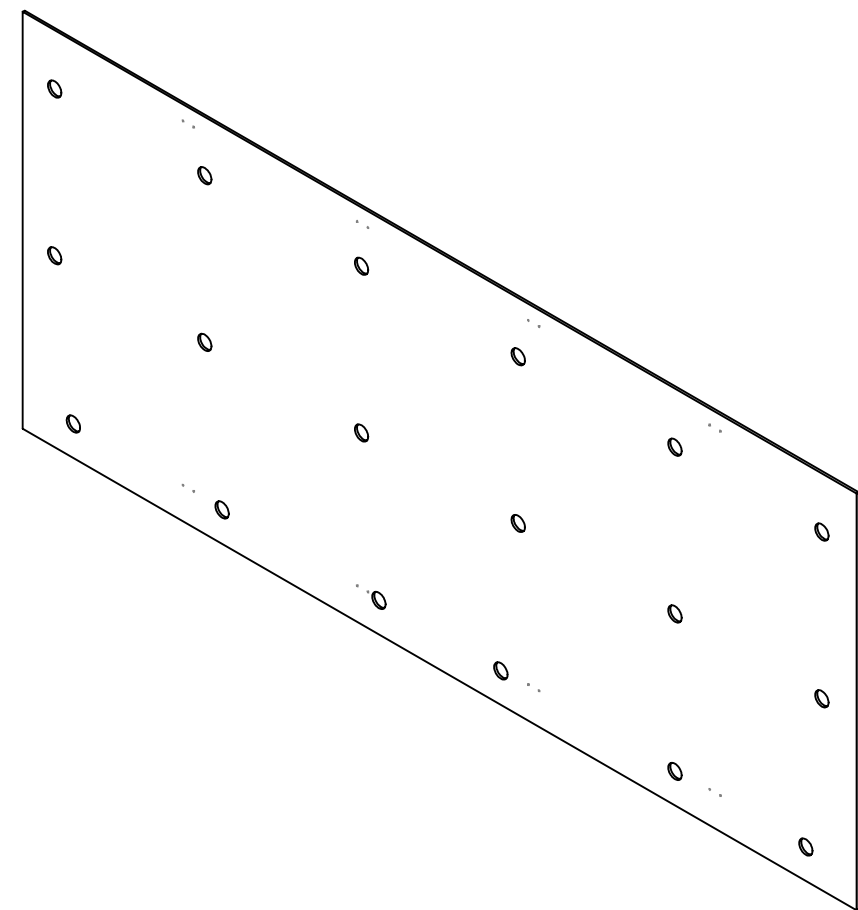
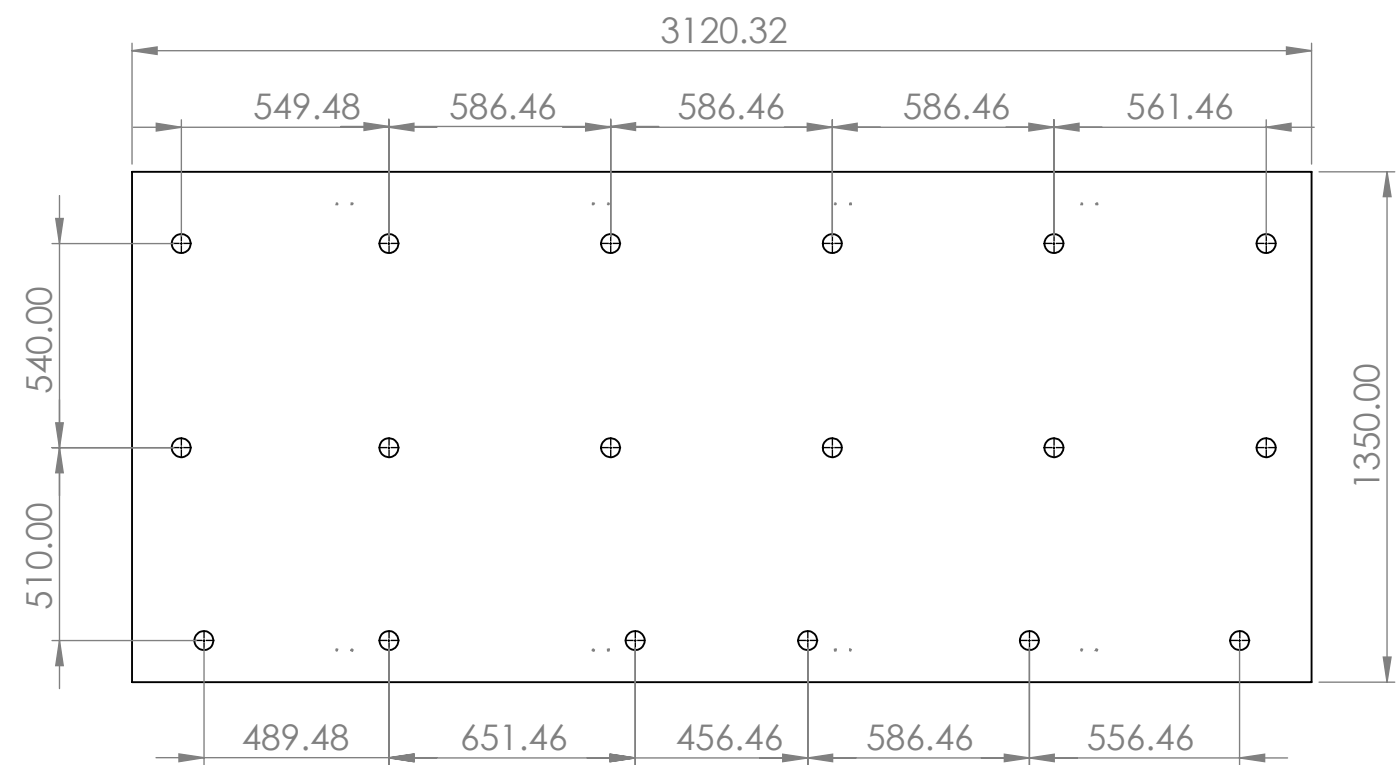
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

5	3	TUBO CUADRADO 150x150x5-310mm	ACERO	ASTM A500
4	2	TUBO CUADRADO 150x150x5-1260mm	ACERO	ASTM A500
3	3	TUBO CUADRADO 150x150x5-3060mm	ACERO	ASTM A500
2	4	TUBO CUADRADO 150x150x5-1030mm	ACERO	ASTM A500
1	5	TUBO CUADRADO 150x150x5-448mm	ACERO	ASTM A500
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN:	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO:  DUCTO POSTERIOR - BLOQUE DELANTERO (PUERTA)	1:20
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil			FECHA: 15/06/25
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		FORMATO: A2	
		HOJA: SE-C-02	

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000	Más de 2000 hasta 4000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0

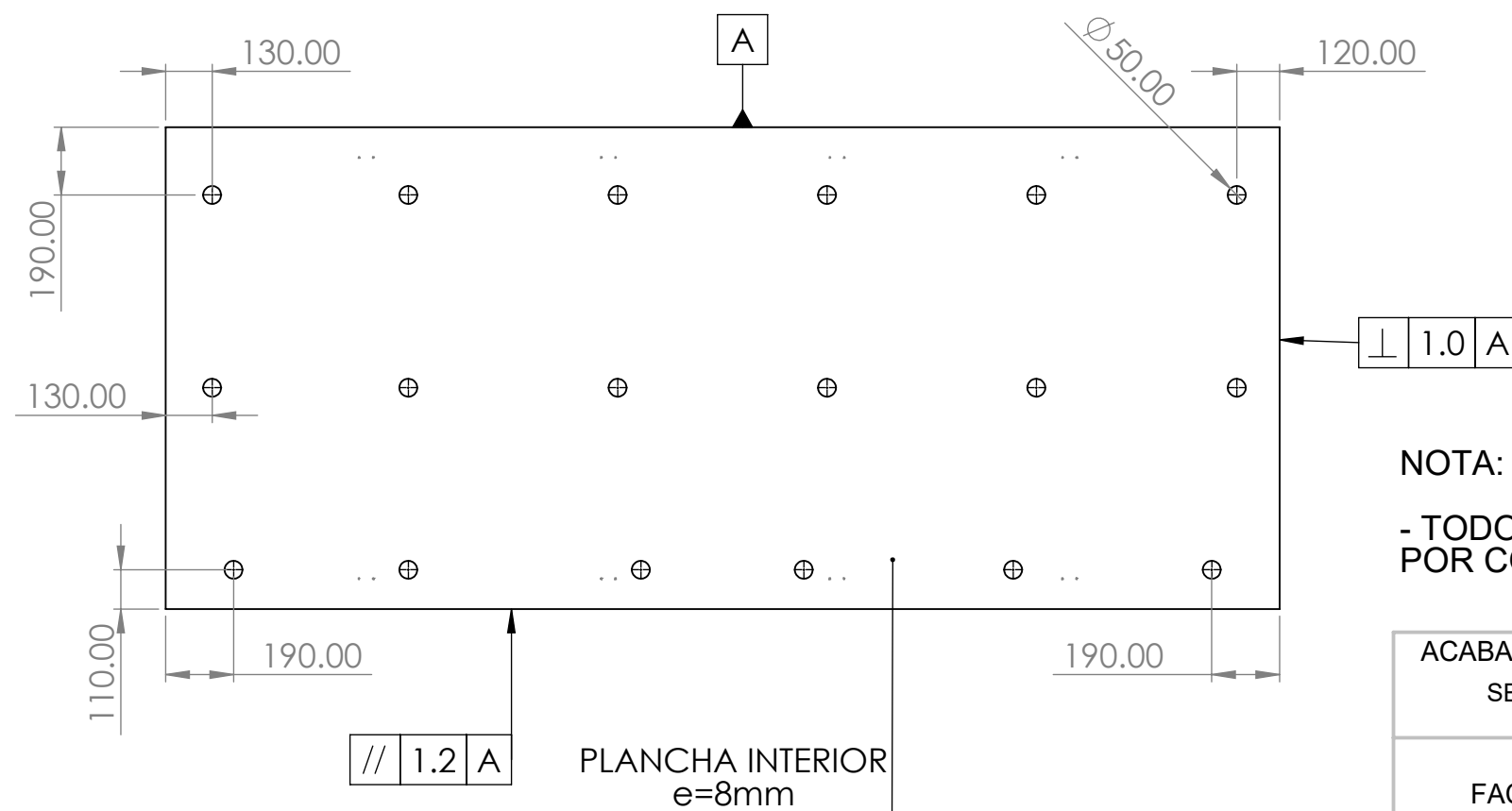
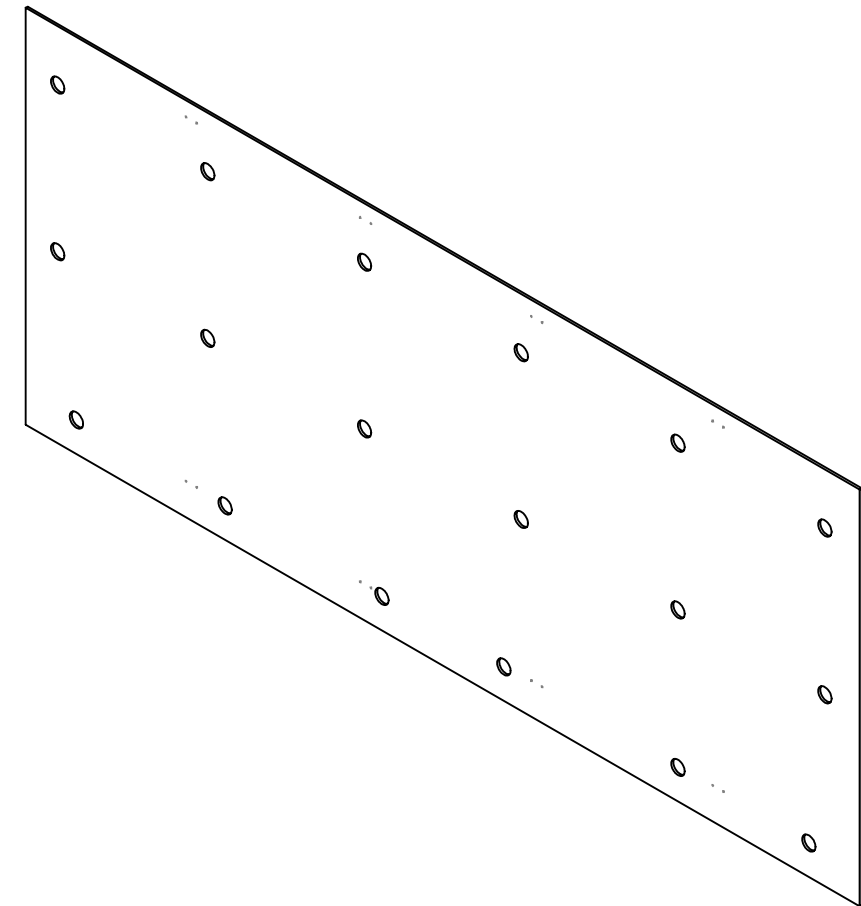
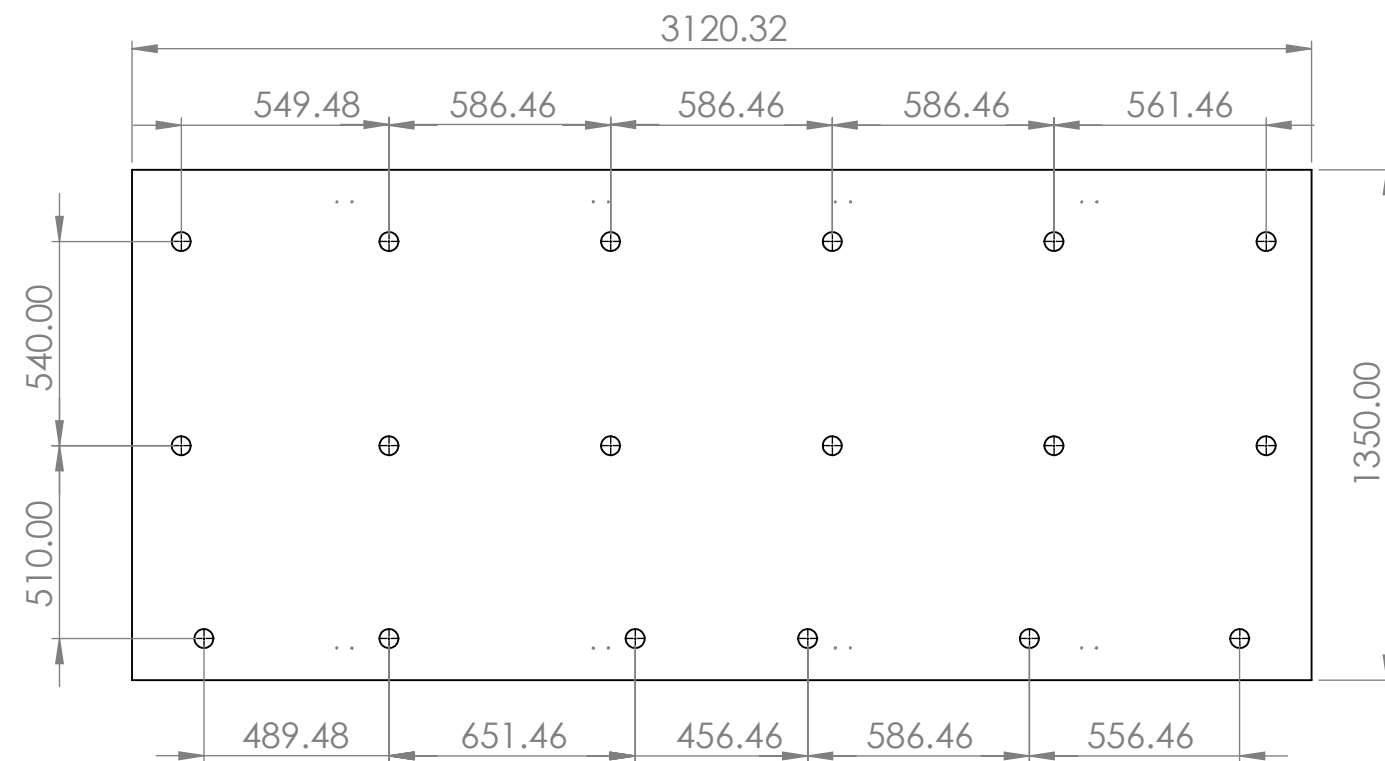




NOTA:  
- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2


ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"	ESCALA: 1:20
	PLANO: PLANCHA PUERTA INTERIOR - BLOQUE DELANTERO (PUERTA)	FECHA: 15/11/24
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A3
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-C-03



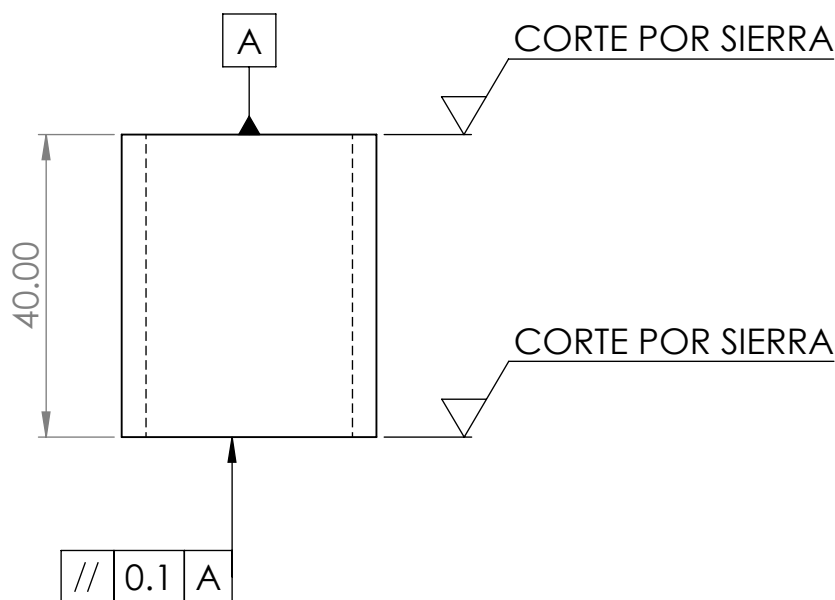
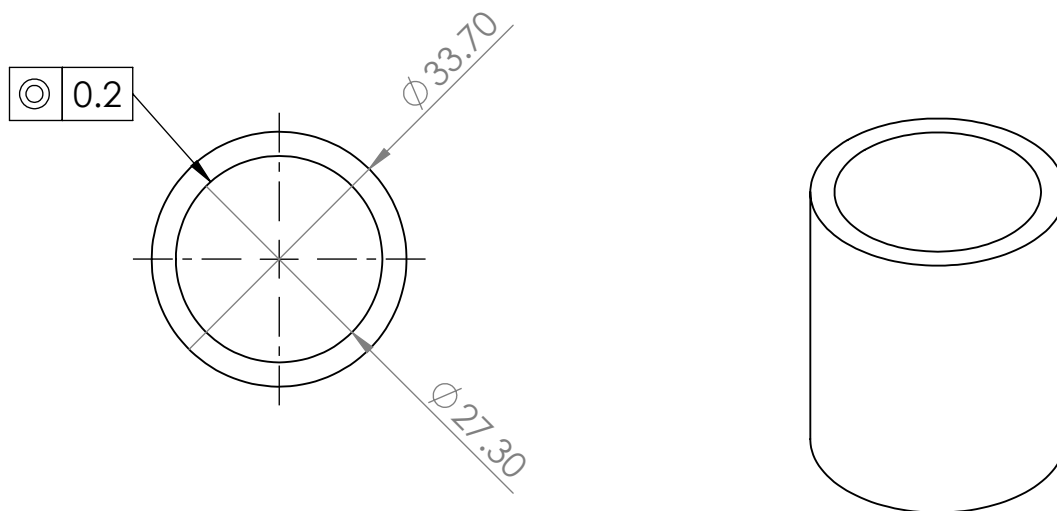
NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"	ESCALA: 1:20
	PLANO: PLANCHA PUERTA INTERIOR - BLOQUE DELANTERO (PUERTA)	FECHA: 15/11/24
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A3
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-C-04





ACABADO SUPERFICIAL  
SEGUN INDICA

TOLERANCIA GENERAL  
SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO

MATERIAL  
ASTM A36

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN:



TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL  
RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO  
EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"

PLANO:

TOPE CILINDRICO

ESCALA:

1:1

FECHA:

15/06/25

RESPONSABLES:

Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

FORMATO:

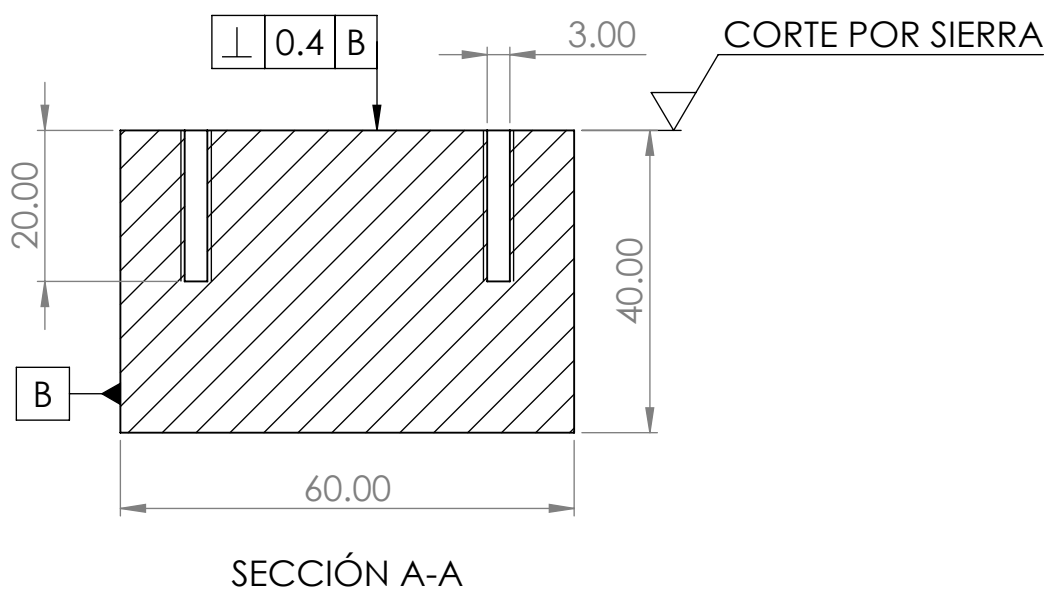
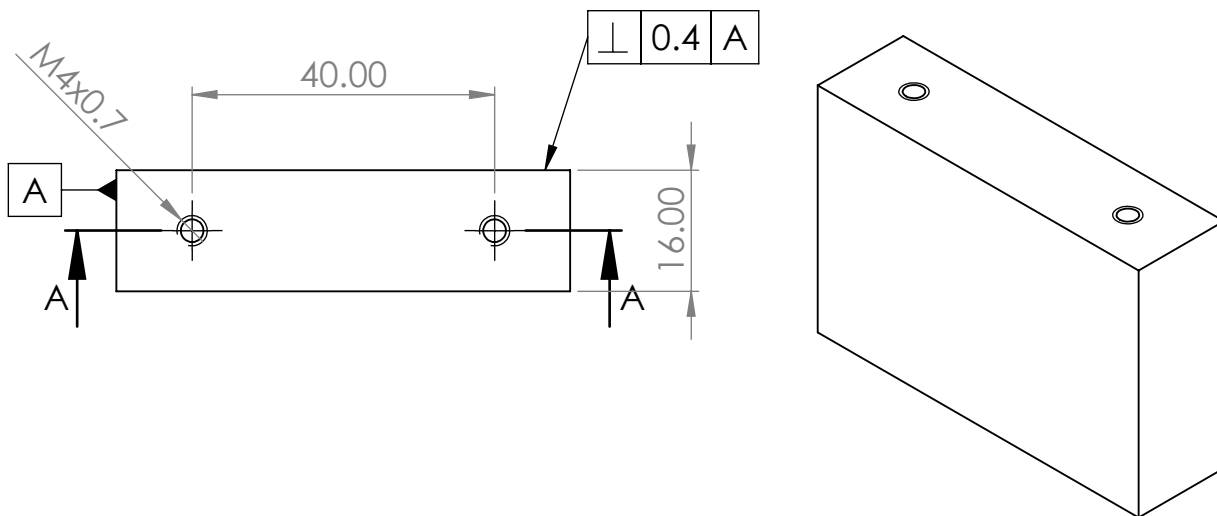
A4


ASESOR:

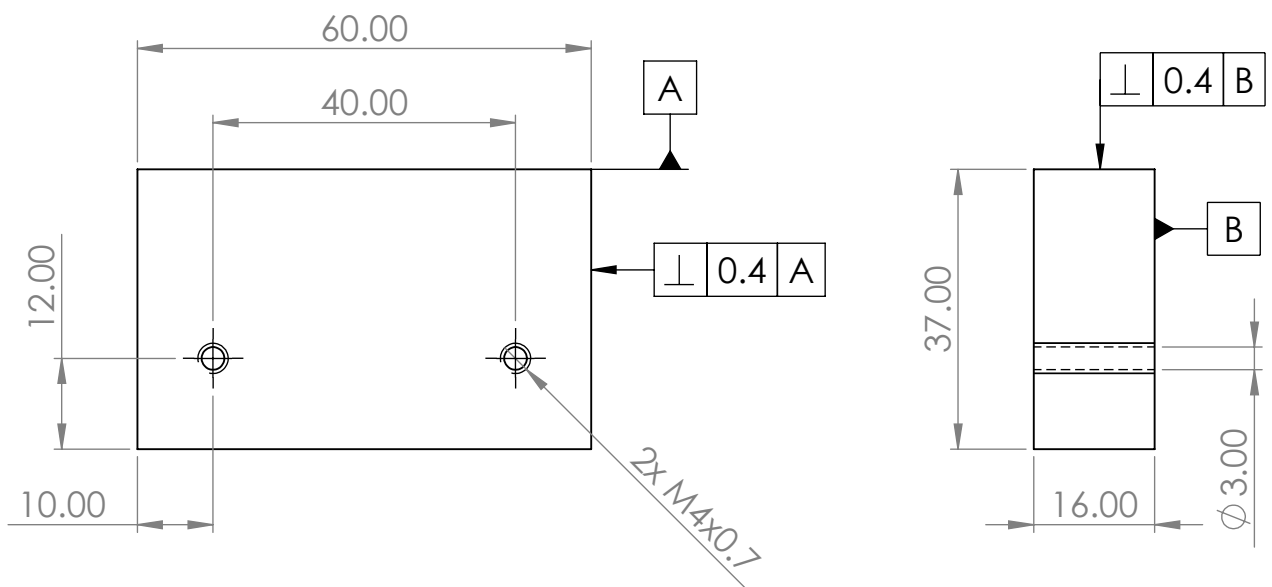
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

HOJA:

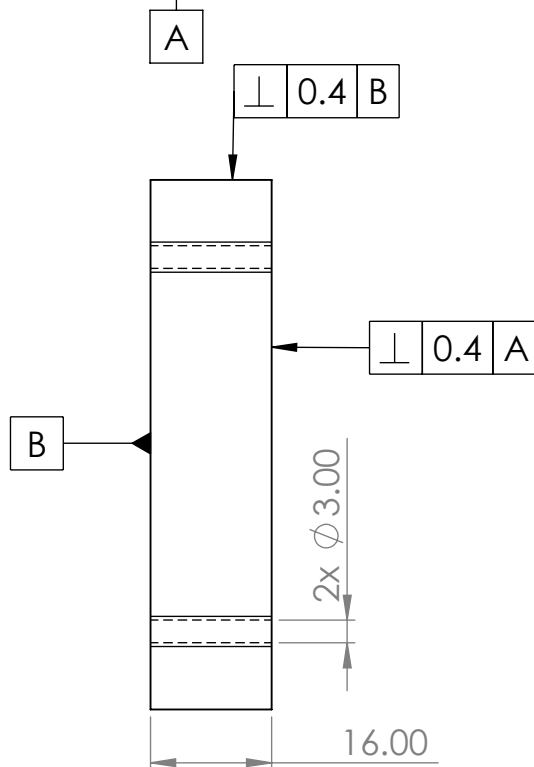
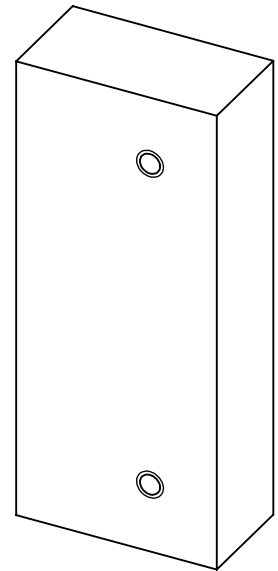
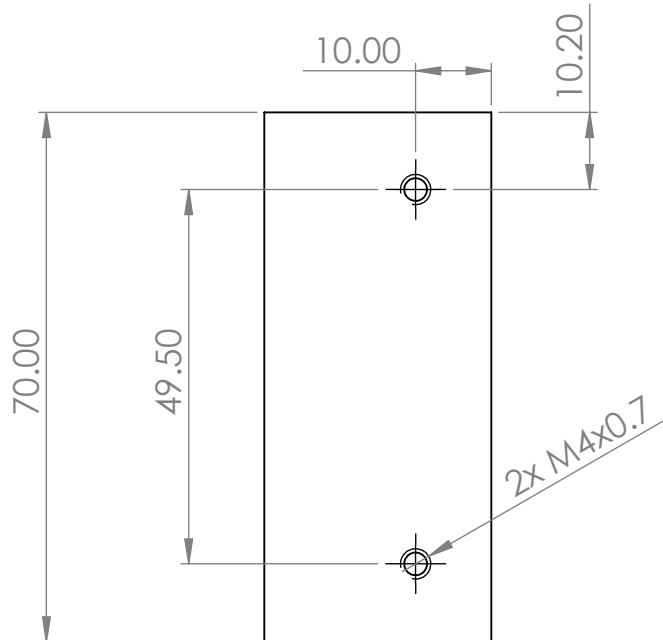
SE-C-04



ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" PLANO: TOPE ENTRE PLANCHAS	ESCALA: 1:1 FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A4
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-C-05



ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
<p align="center"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p>		
<p>MÉTODO DE PROYECCIÓN:</p> 	<p>TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"</p>	<p>ESCALA:</p> <p align="center"><b>1:1</b></p>
	<p>PLANO:</p> <p align="center"><b>TOPE ENTRE MARCO</b></p>	<p>FECHA:</p> <p align="center"><b>15/06/25</b></p>
<p>RESPONSABLES:</p> <p align="center"><b>Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil</b></p>		<p>FORMATO:</p> <p align="center"><b>A4</b></p>
<p>ASESOR:</p> <p align="center"><b>Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA</b></p>		<p>HOJA:</p> <p align="center"><b>SE-C-06</b></p>



ACABADO SUPERFICIAL  
SEGUN INDICA

TOLERANCIA GENERAL  
SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO

MATERIAL  
ASTM A36

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN:



TESIS:

"DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"

PLANO:

SEGUNDO TOPE ENTRE MARCO

ESCALA:

1:1

FECHA:

15/06/25

RESPONSABLES:

Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

FORMATO:

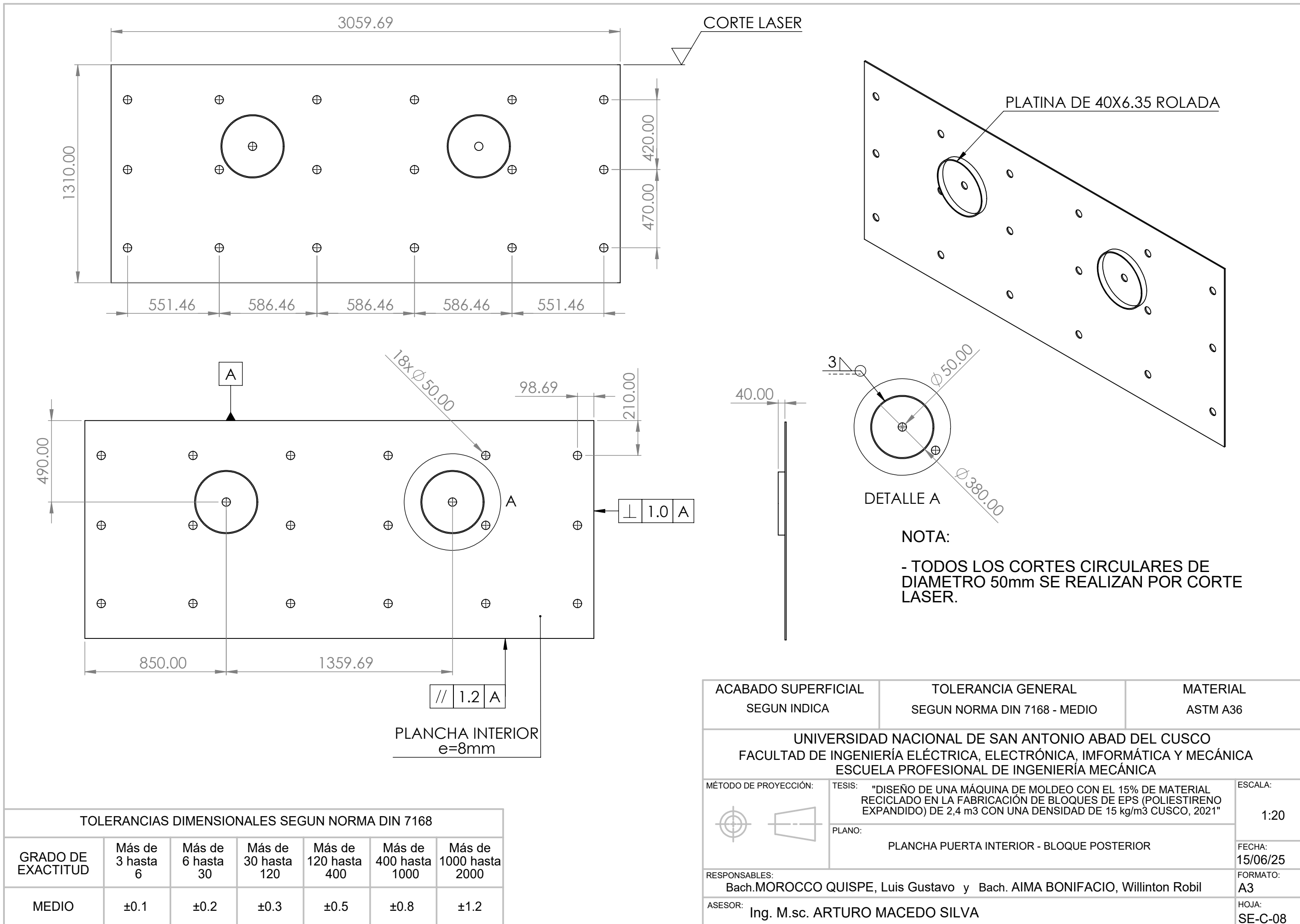
A4

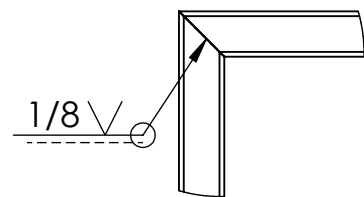
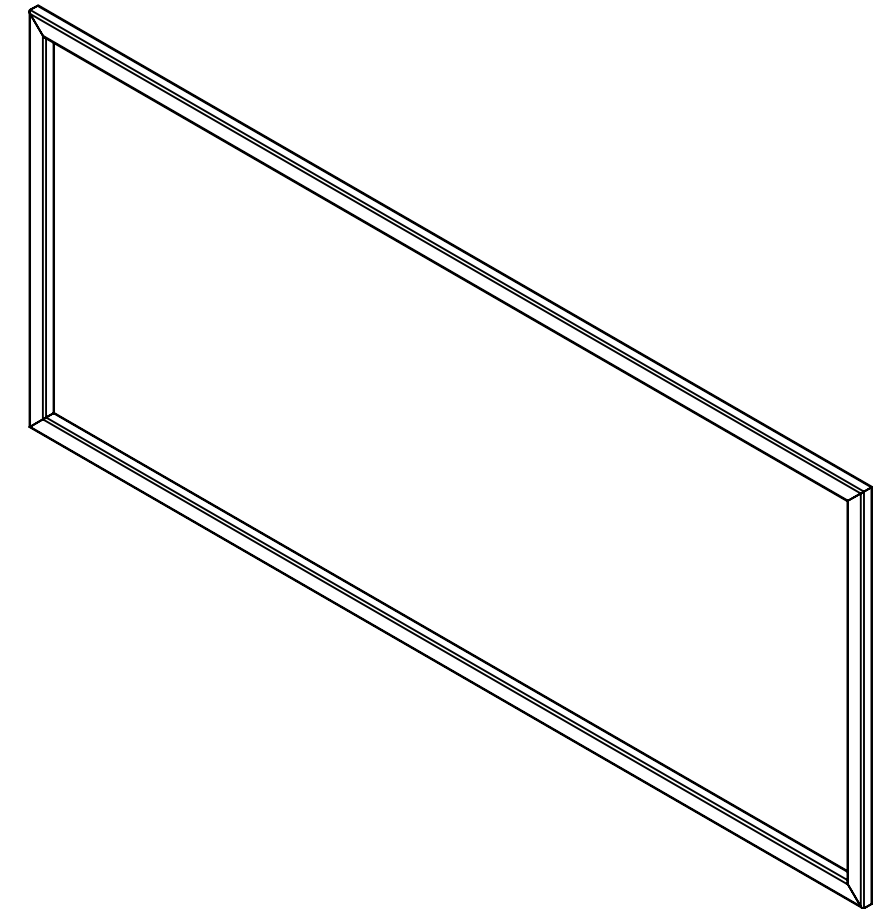
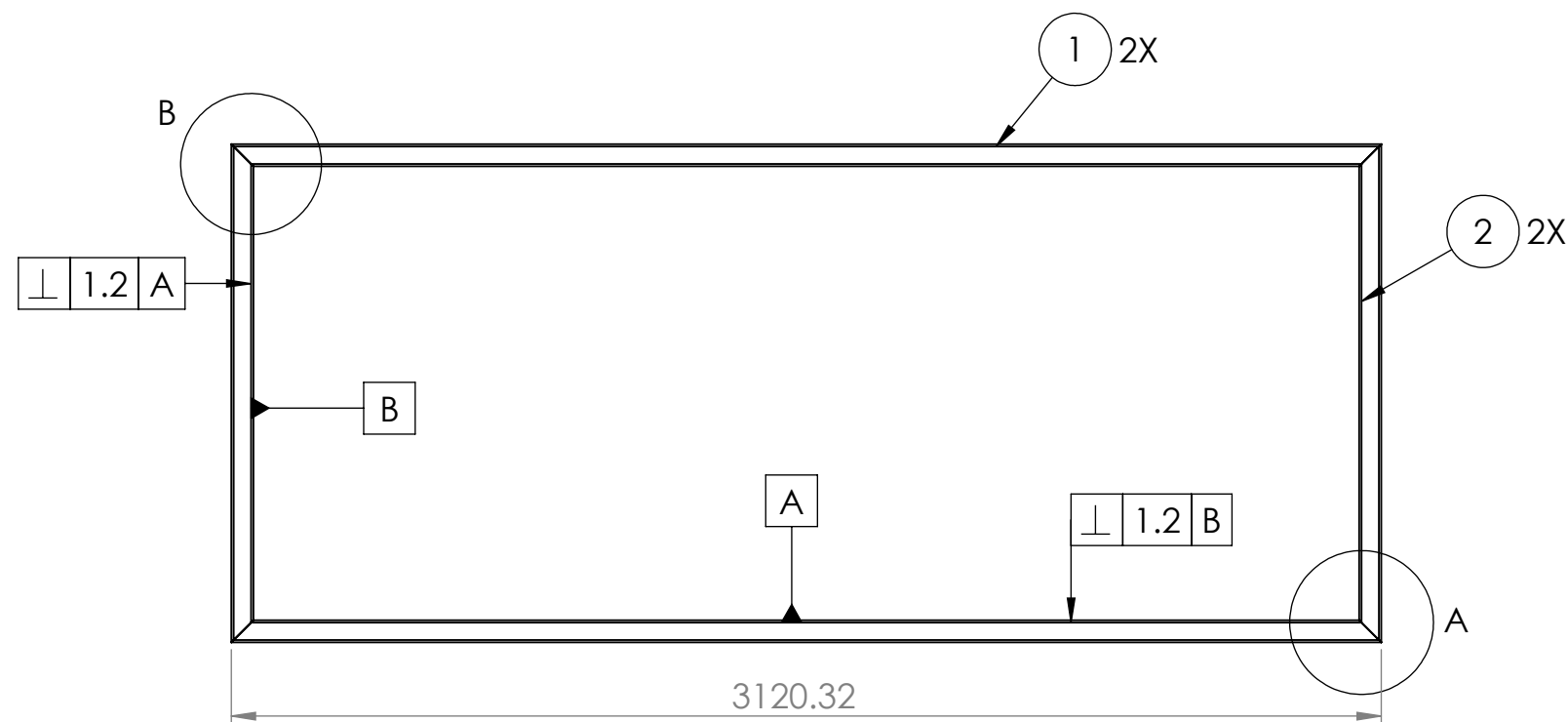
ASESOR:

Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

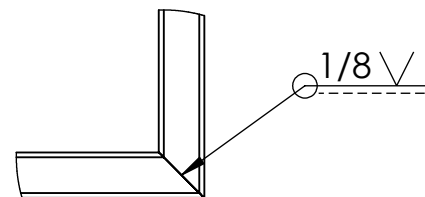
HOJA:

SE-C-07





DETALLE B  
ESCALA 1 : 10




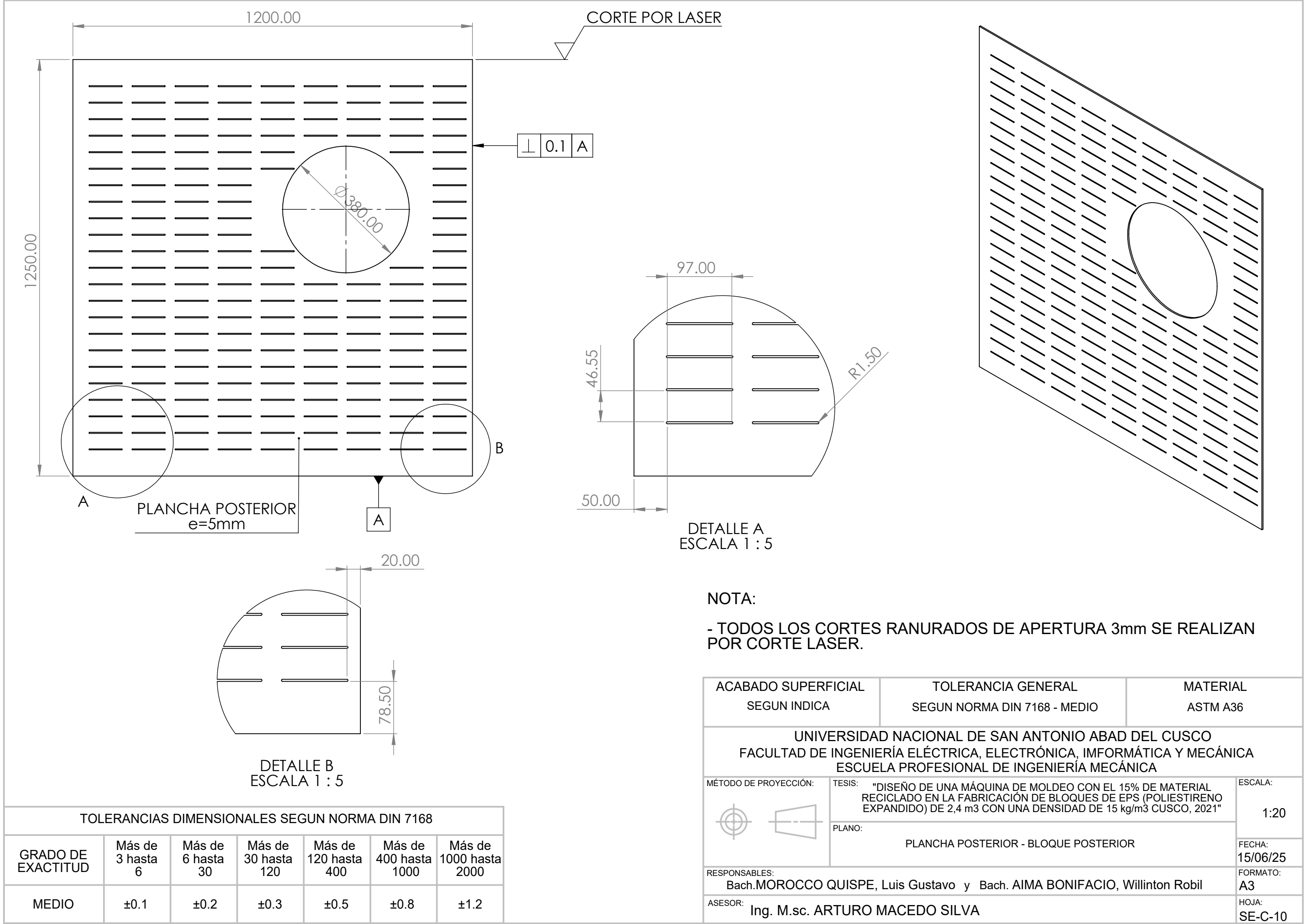
DETALLE A  
ESCALA 1 : 10

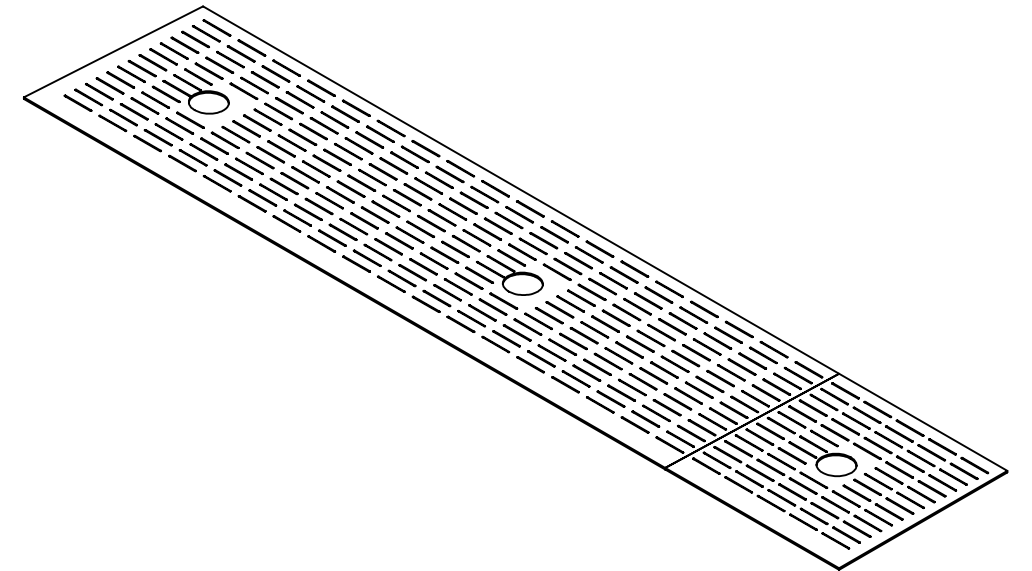
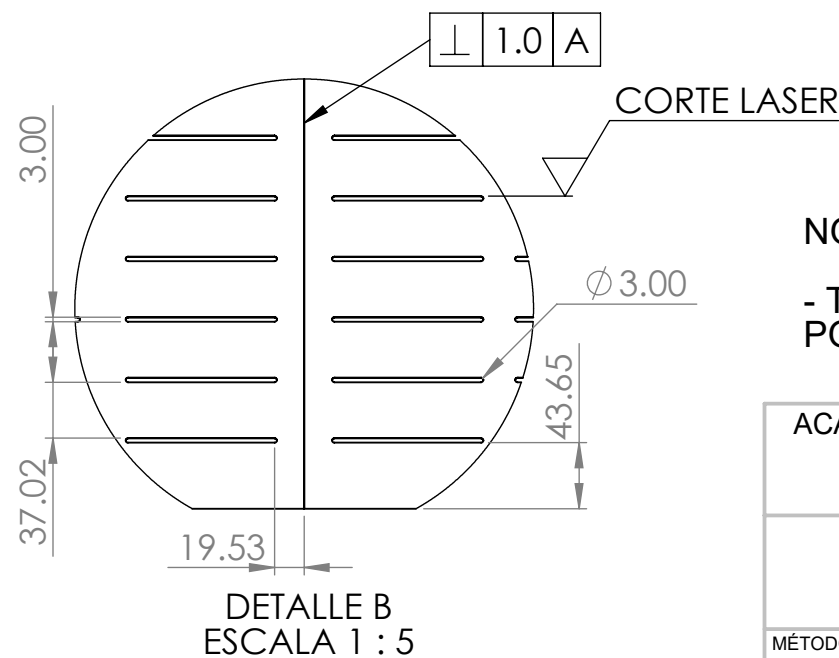
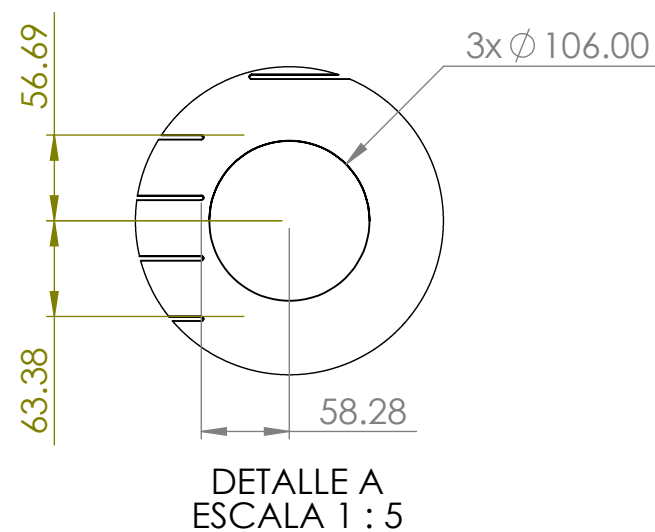
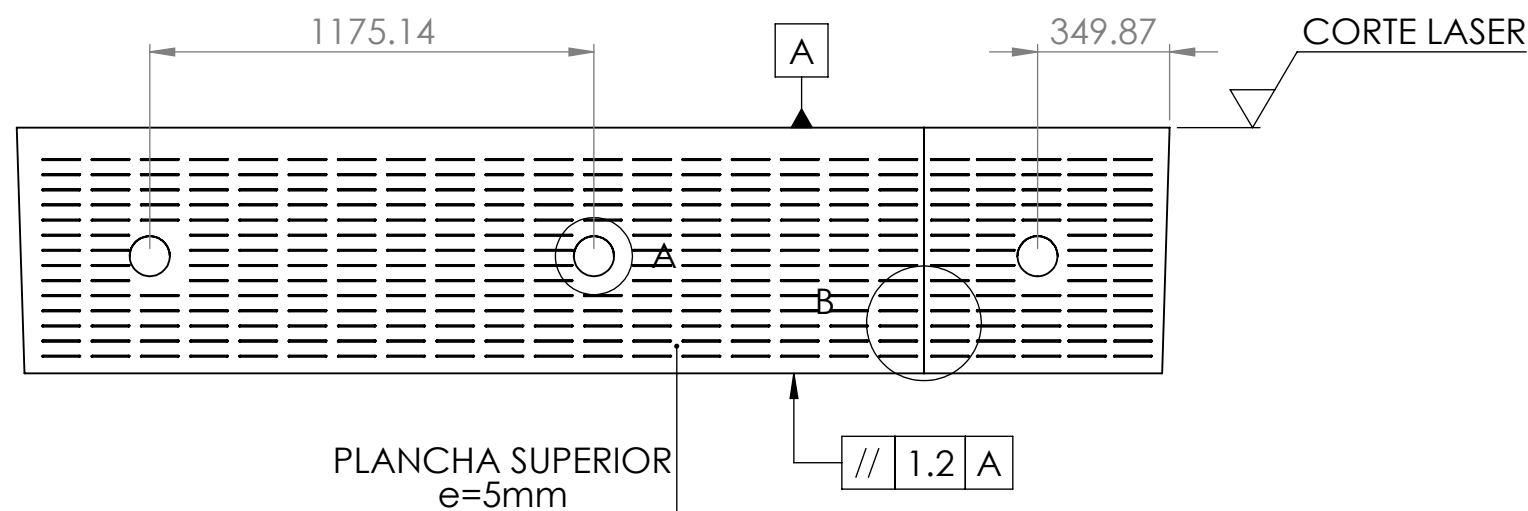
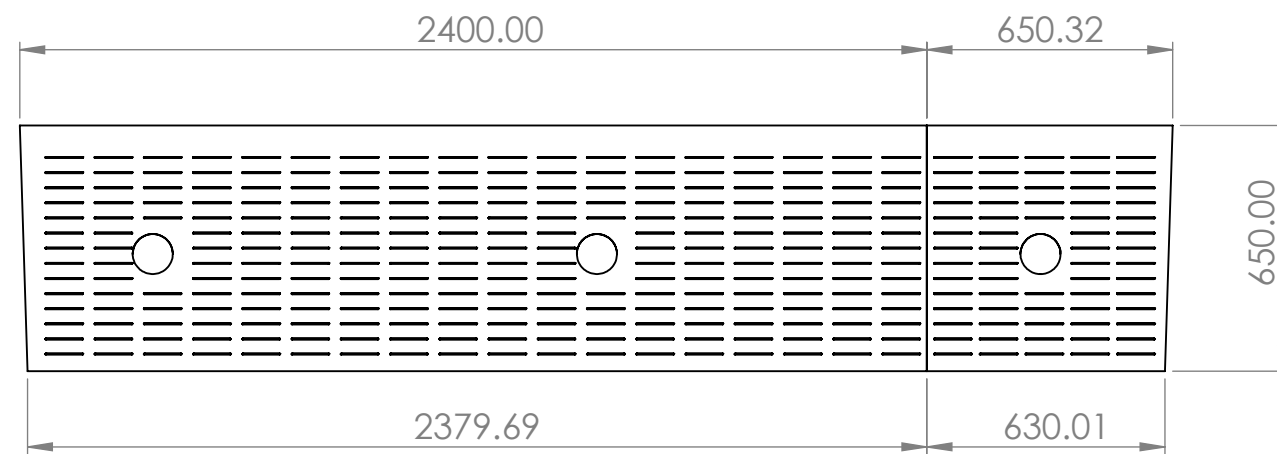
#### NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

2	2	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-1350mm	ACERO	ASTM A500
1	2	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-3120.32mm	ACERO	ASTM A500
ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO		MATERIAL SEGUN INDICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS:		ESCALA:
		"DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		1:5
		PLANO:		FECHA:
		MARCO - BLOQUE POSTERIOR		15/06/25
RESPONSABLES:				FORMATO:
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				A3
ASESOR:				HOJA:
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				SE-C-09





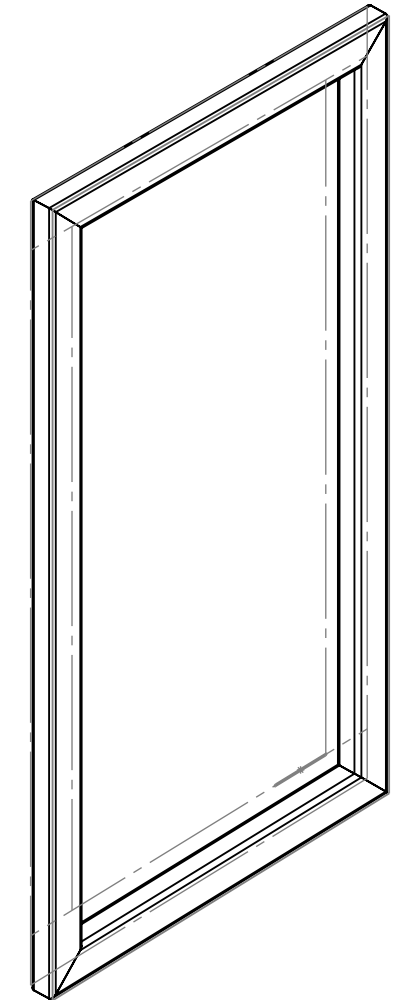
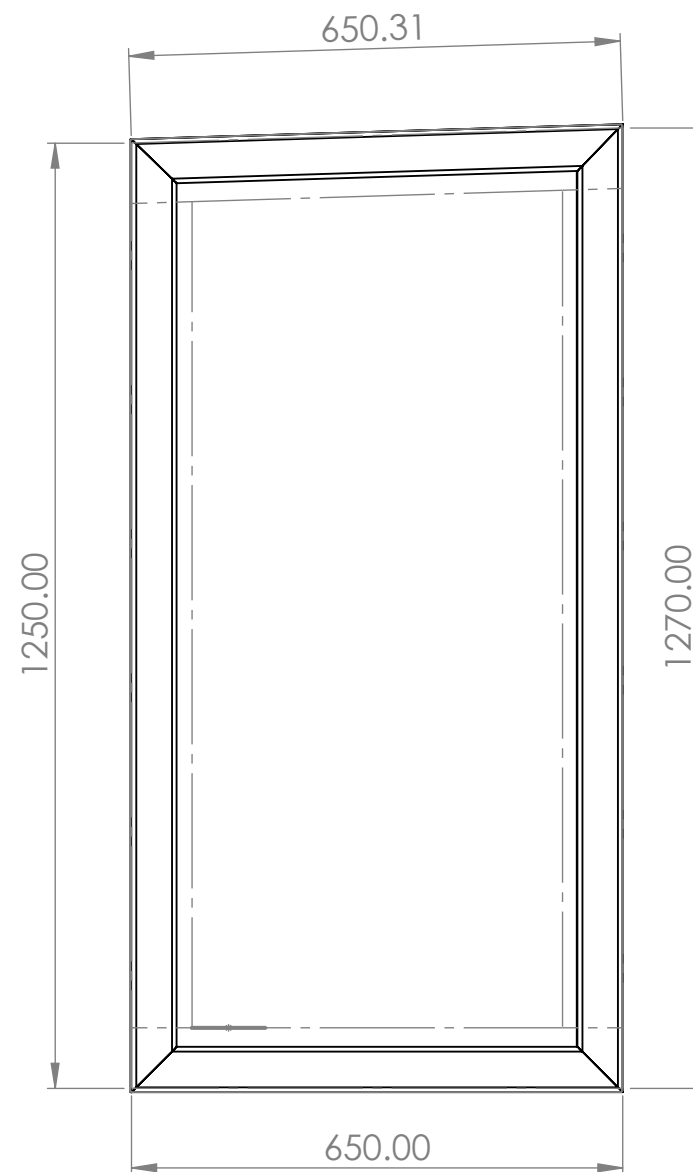
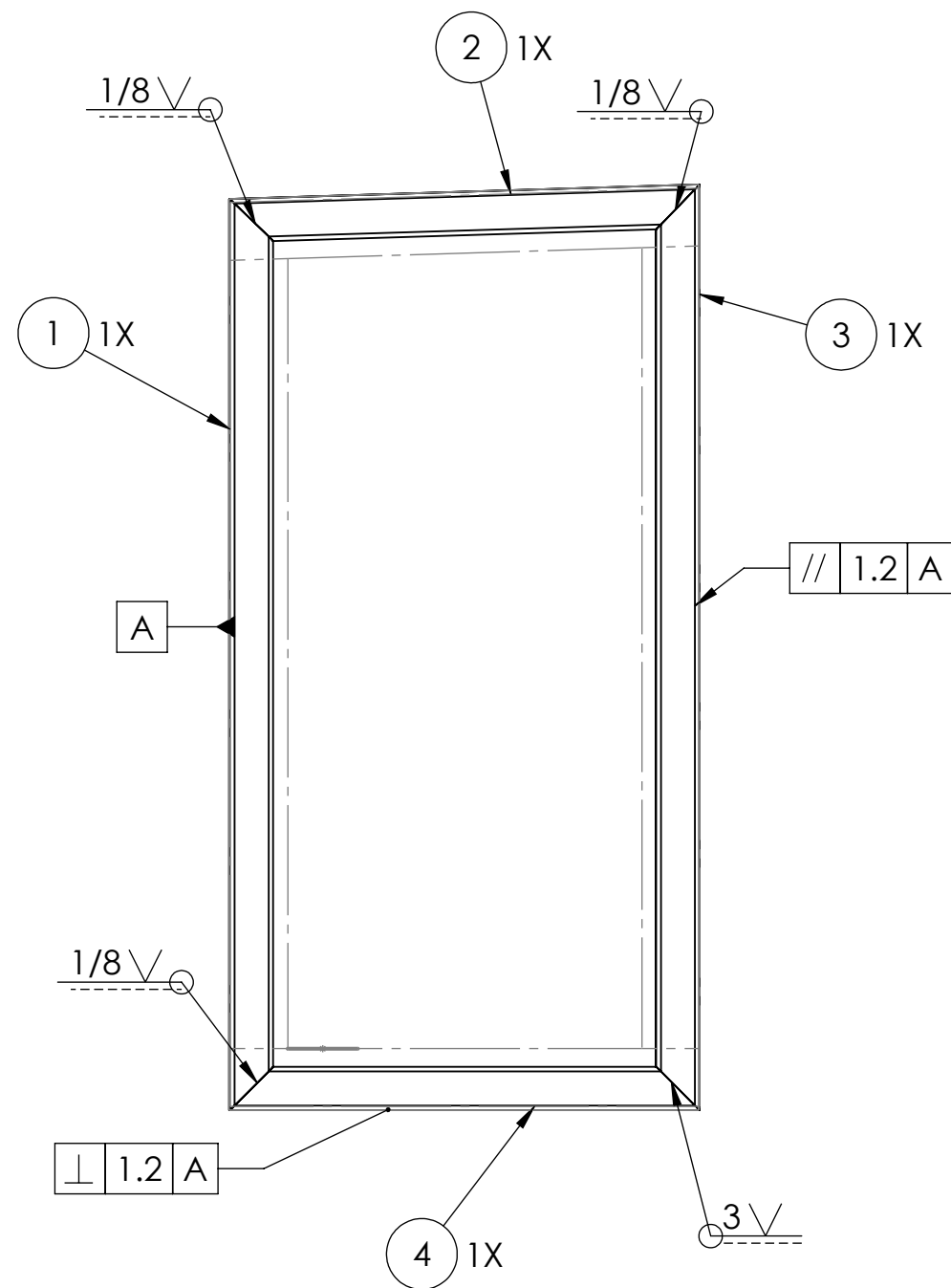
NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 106mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN:	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" PLANO: PLANCHA SUPERIOR Y PLANCHA CENTRAL- BLOQUE SUPERIOR	ESCALA: 1:20 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-11
RESPONSABLES:	Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil	
ASESOR:	Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA	






NOTA:

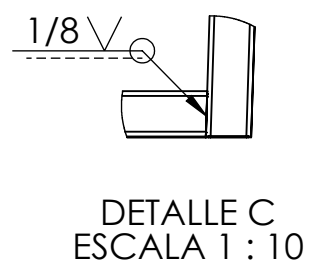
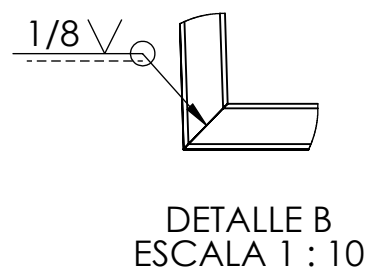
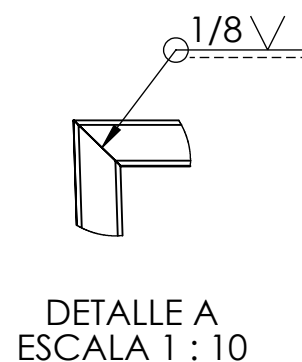
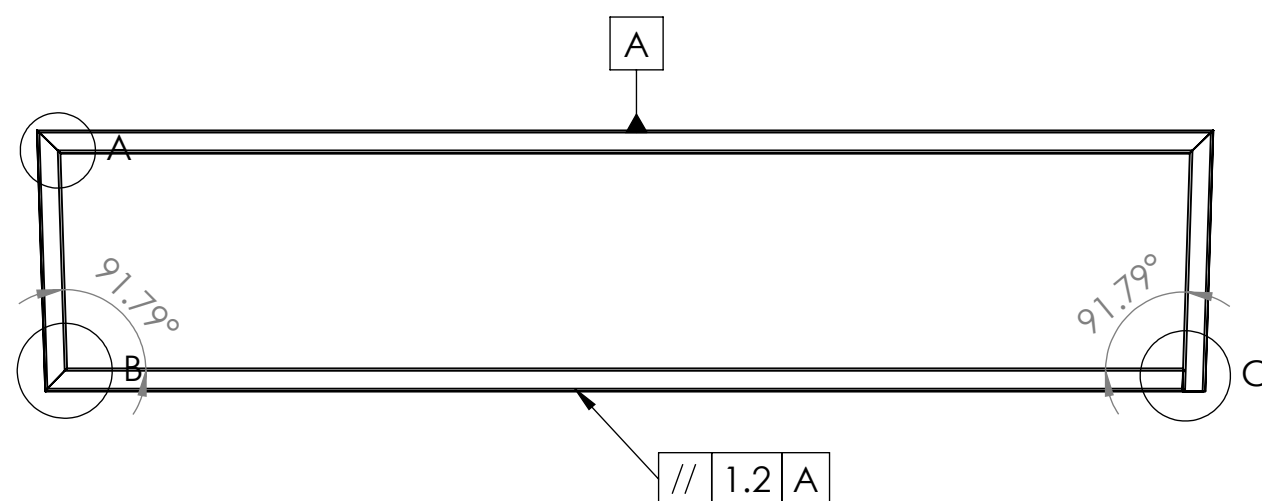
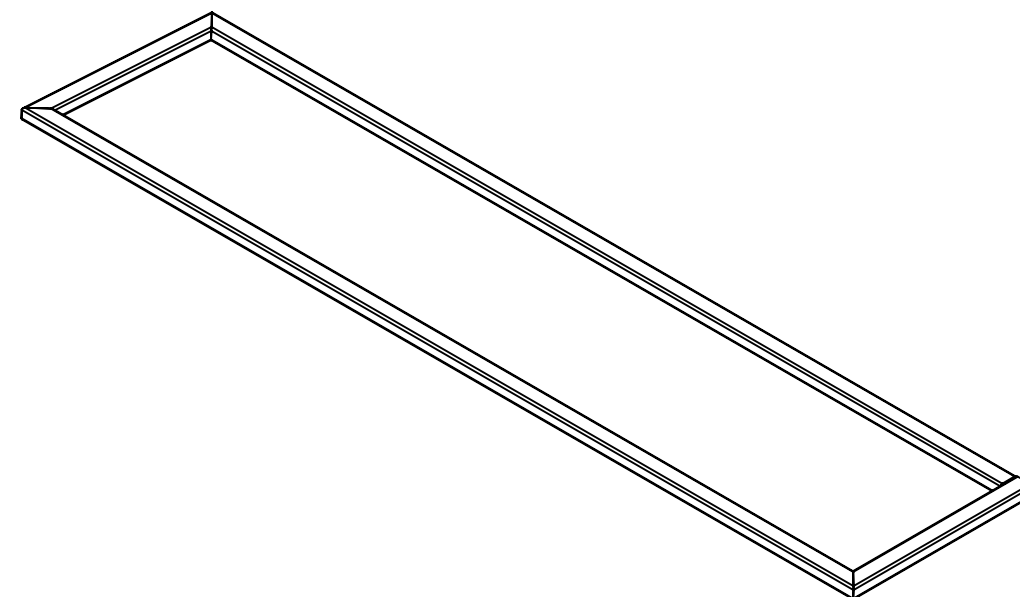
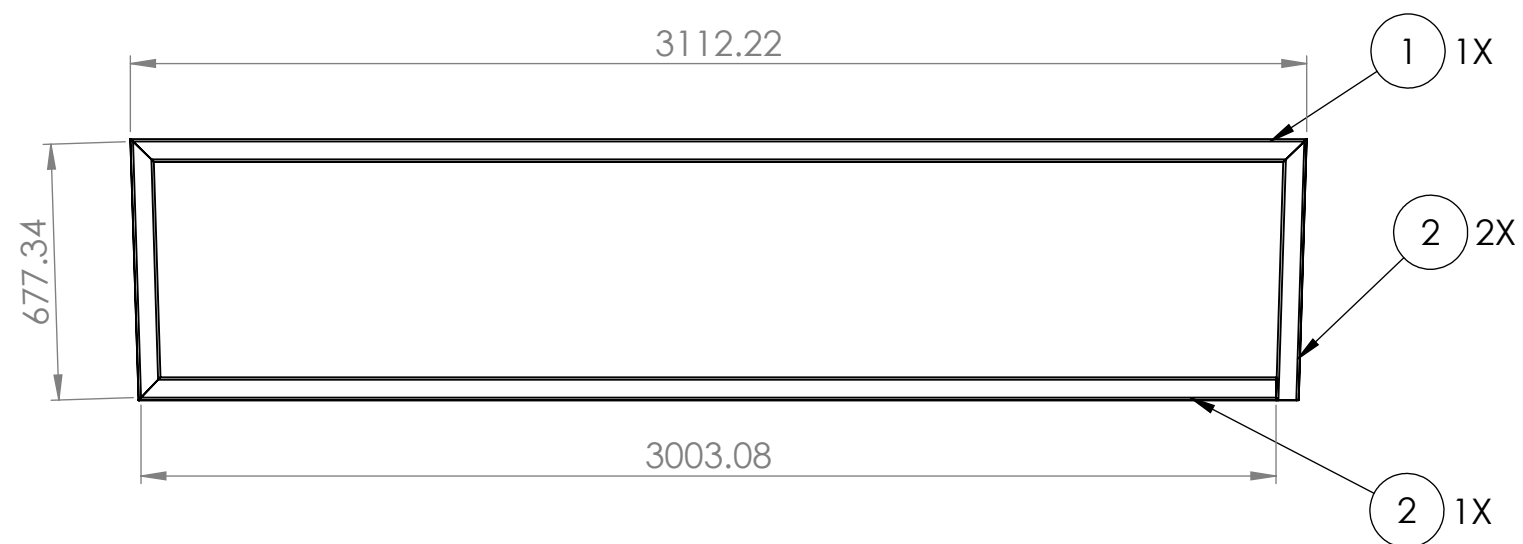
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.

- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

4	1	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-650mm	ACERO	ASTM A500
3	1	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-1270mm	ACERO	ASTM A500
2	1	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-651mm	ACERO	ASTM A500
1	1	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-1250mm	ACERO	ASTM A500
ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO		MATERIAL SEGUN INDICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		
		PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR		
		ESCALA: 1:5		
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FECHA: 15/06/25		
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		FORMATO: A3		
		HOJA: SE-C-12		




**NOTA:**

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.

- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

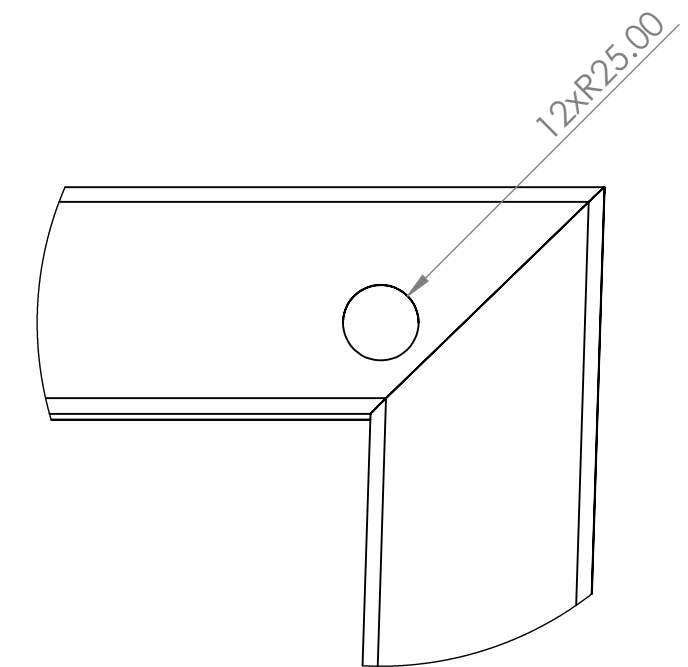
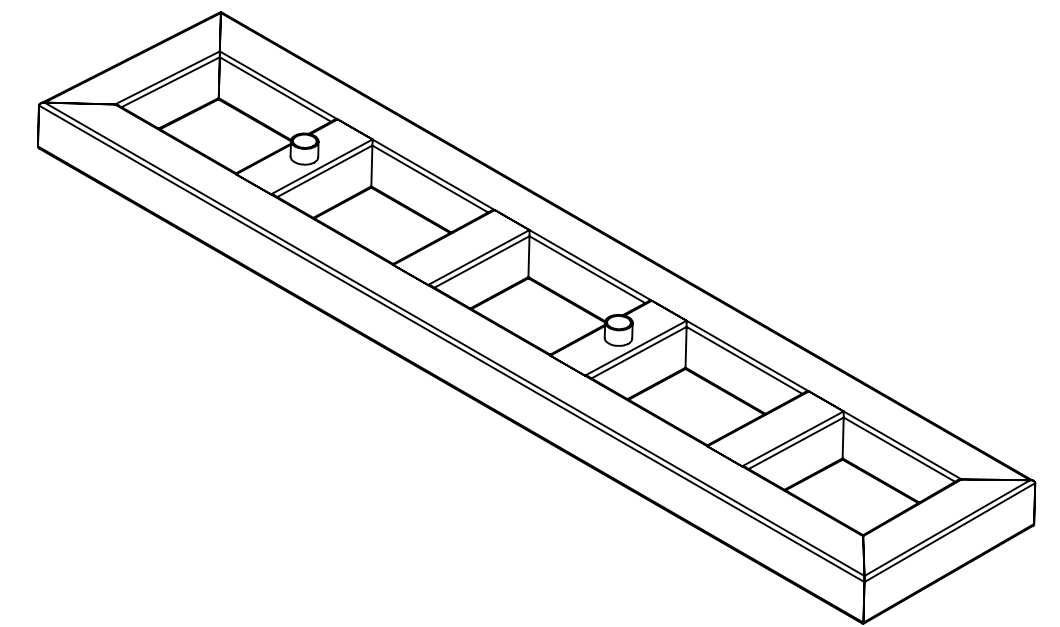
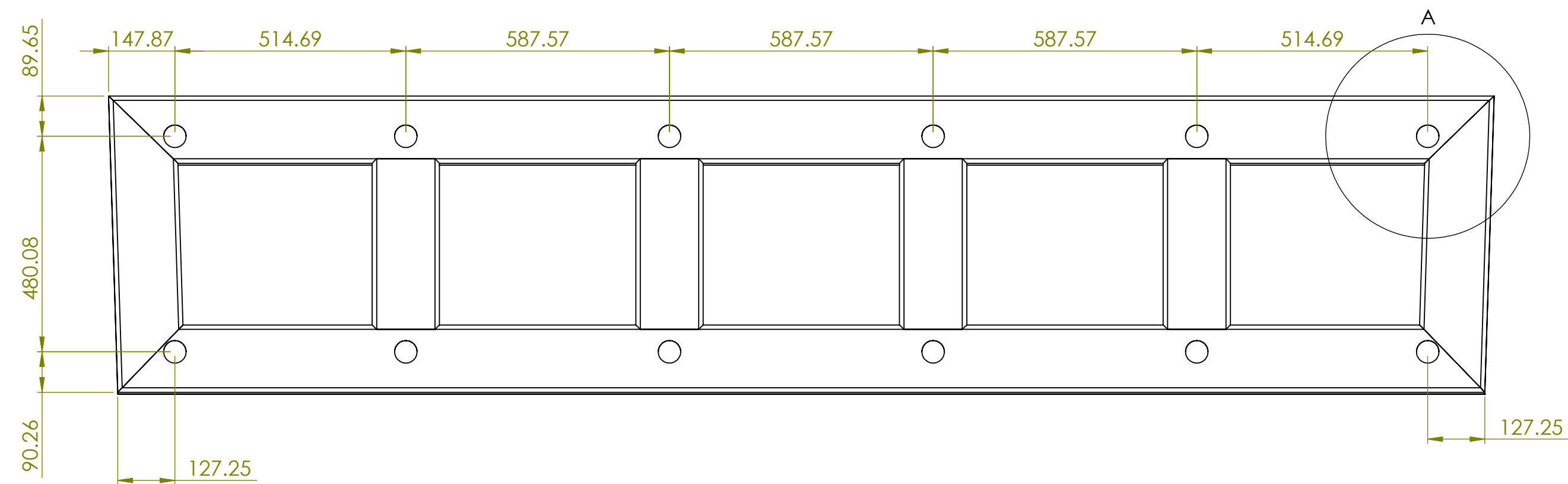
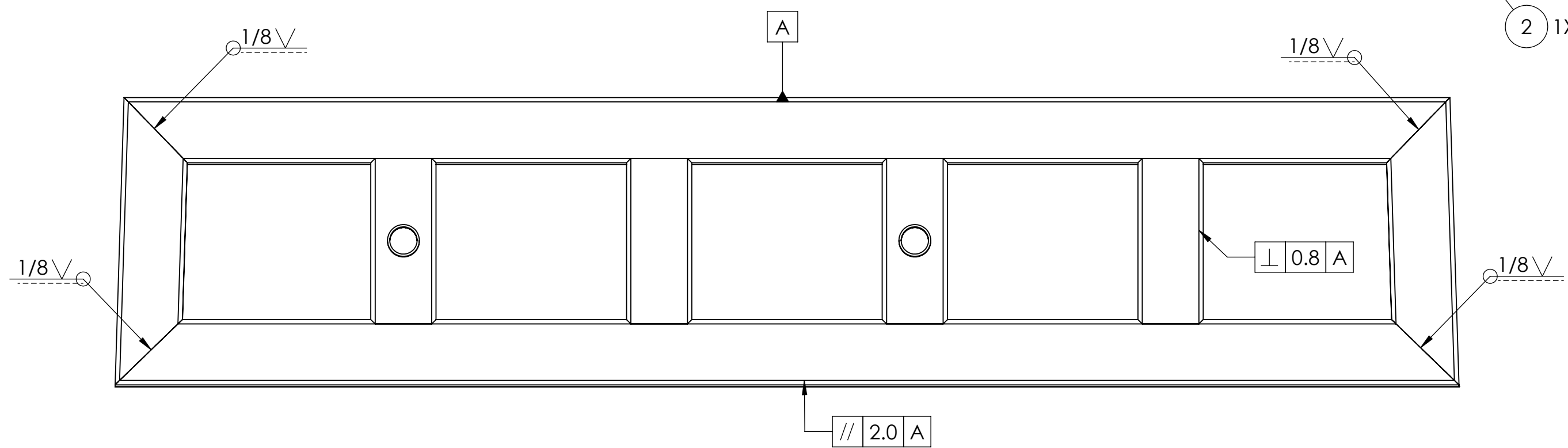
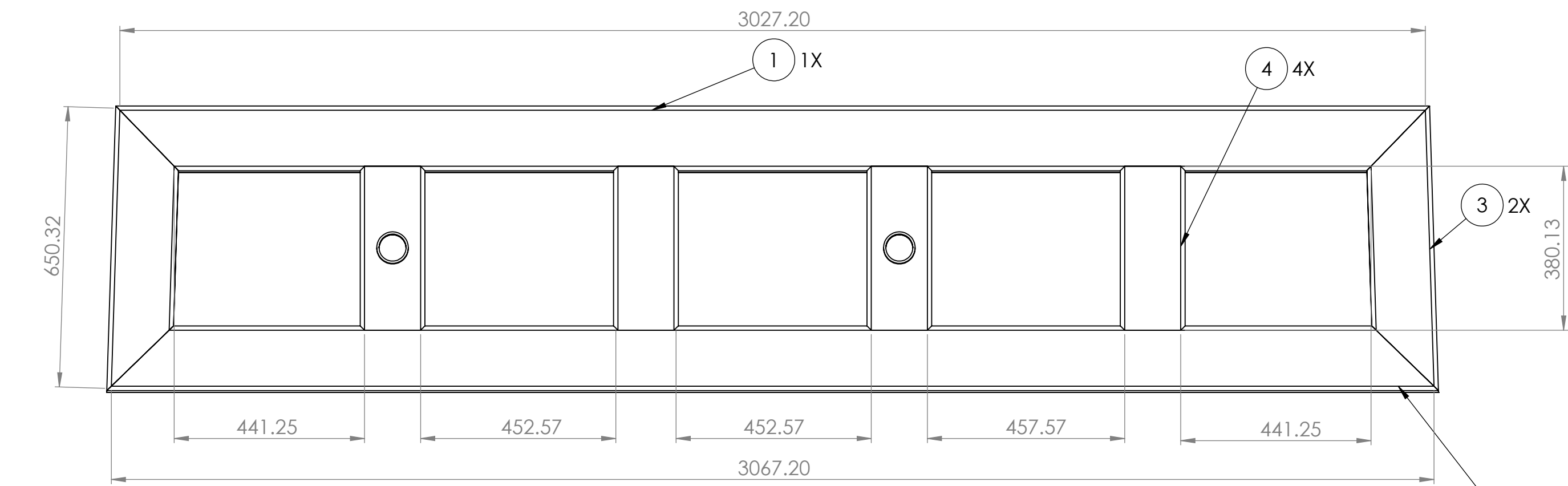
3	1	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-3004mm	ACERO	ASTM A500
2	2	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-678mm	ACERO	ASTM A500
1	1	TUBO CUADRADO 40x60x3.2-3113mm	ACERO	ASTM A500
ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO		MATERIAL SEGUN INDICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: 	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"	ESCALA: 1:5
	PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR	FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A3
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-C-13

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168**

GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2




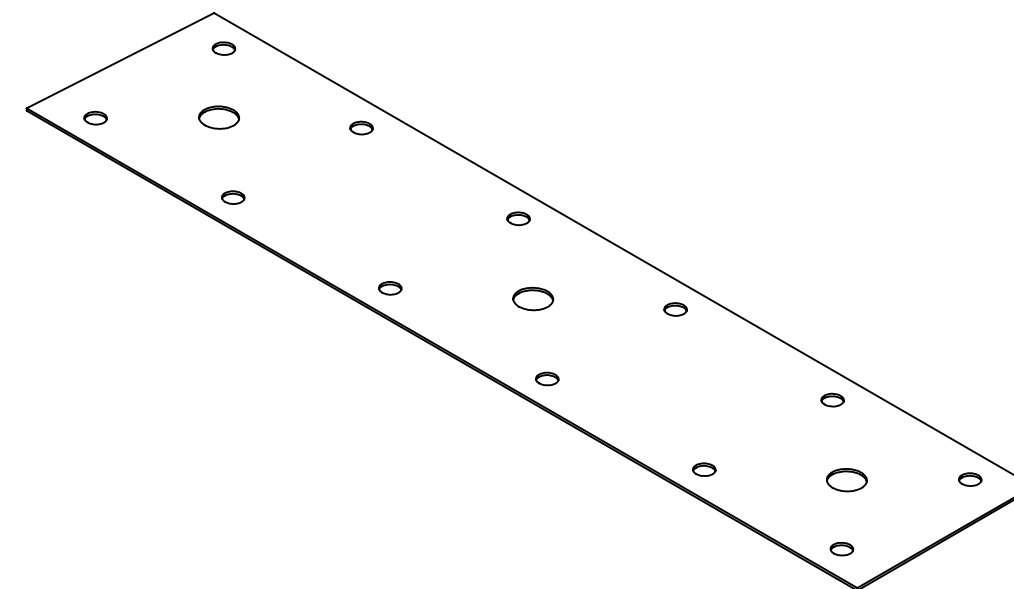
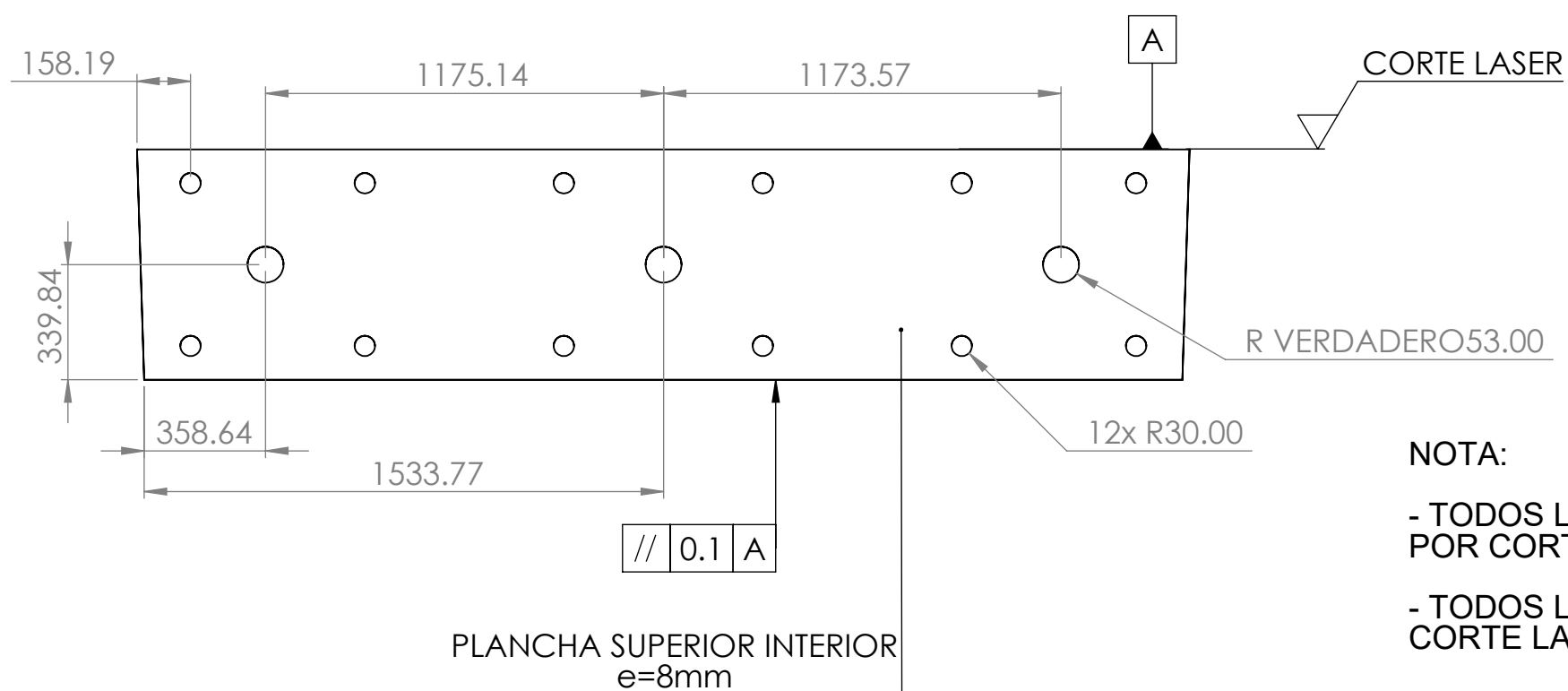
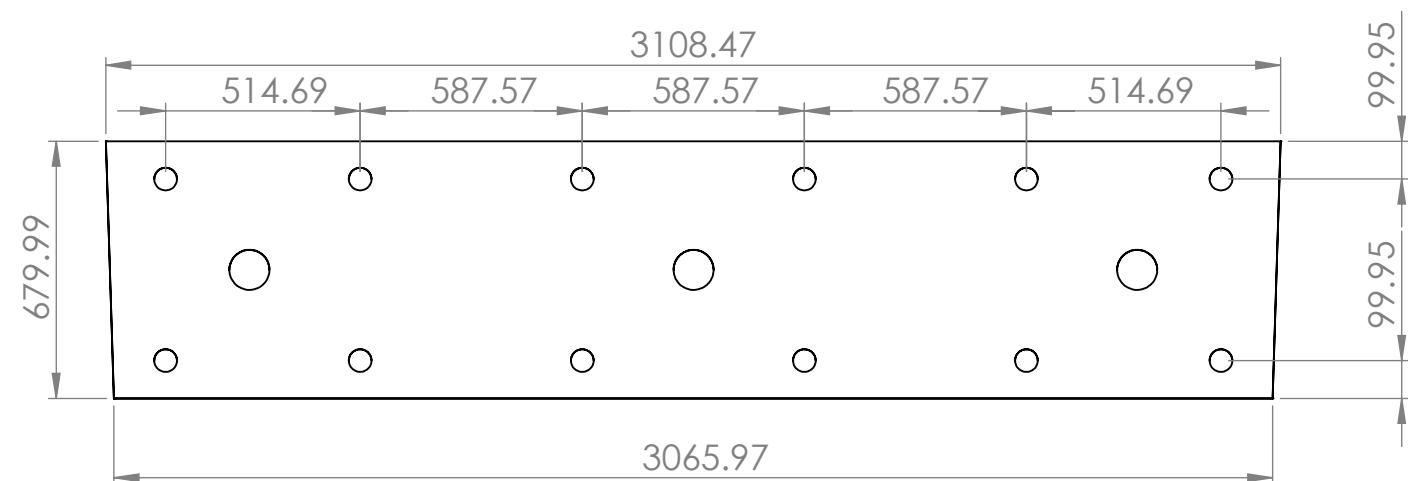
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.
- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.
- PINTURA EPOXICA
- PINTURA BASE ANTICORROSIVA

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000	Más de 2000 hasta 4000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0

4	4	TUBO CUADRADO 100x100x5-381mm	ACERO	ASTM A500
3	2	TUBO CUADRADO 100x100x5-651mm	ACERO	ASTM A500
2	1	TUBO CUADRADO 100x100x5-3068mm	ACERO	ASTM A500
1	1	TUBO CUADRADO 100x100x5-3028mm	ACERO	ASTM A500
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO:		1:10
		DUCTO POSTERIOR - BLOQUE SUPERIOR		FECHA:
RESPONSABLES:				15/06/25
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				FORMATO:
ASESOR:				A2
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				HOJA:
				SE-C-14

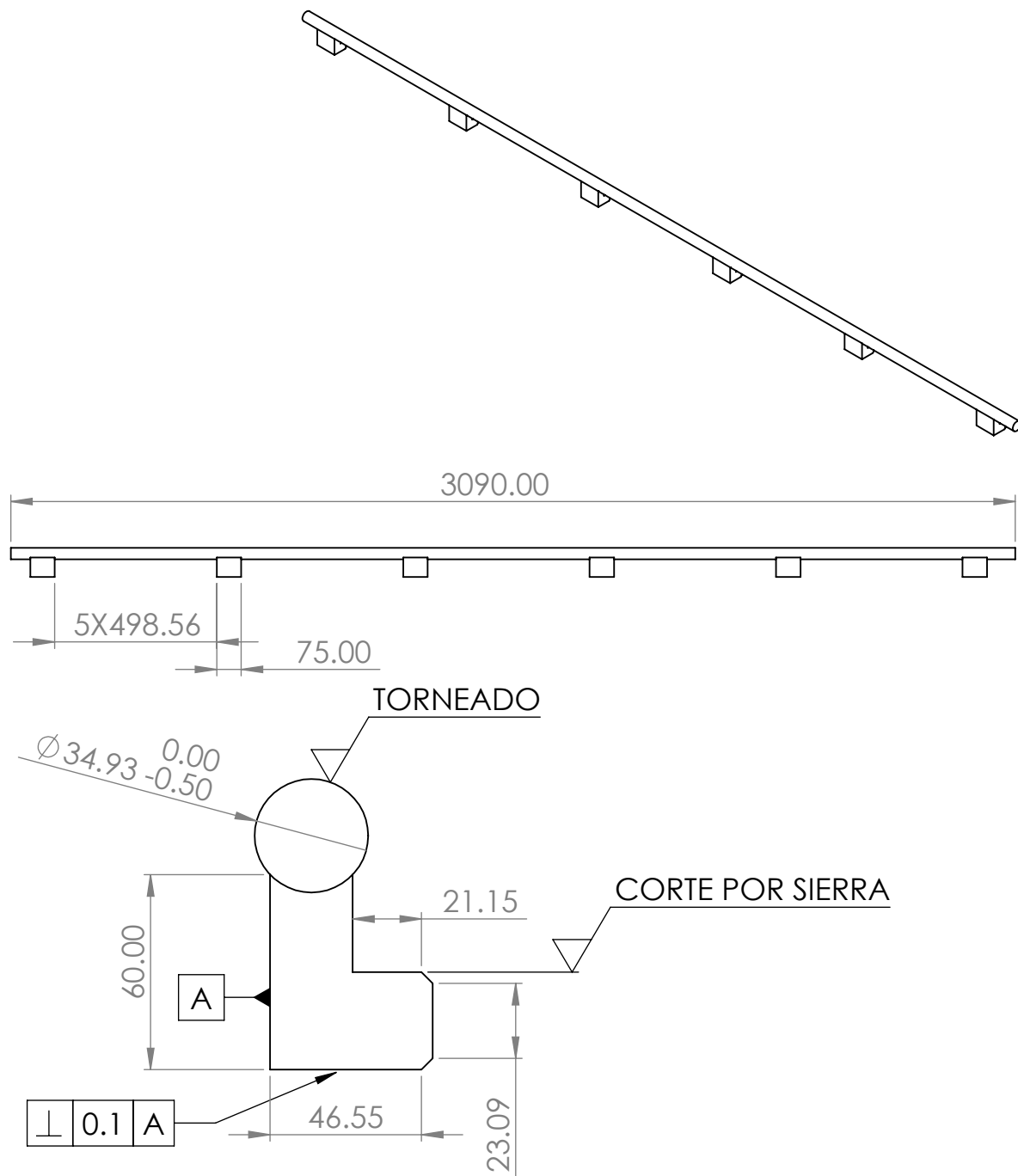


#### NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 106mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.
- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 60mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN:	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" PLANO: PLANCHA SUPERIOR INTERIOR- BLOQUE SUPERIOR	ESCALA: 1:20 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-15
RESPONSABLES:	Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil	
ASESOR:	Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA	



ACABADO SUPERFICIAL  
SEGUN INDICA

TOLERANCIA GENERAL  
SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO

MATERIAL  
ASTM A36

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN:



TESIS:

"DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m<sup>3</sup> CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m<sup>3</sup> CUSCO, 2021"

PLANO:

EJE SLIDER

ESCALA:

1:1

FECHA:

15/06/25

RESPONSABLES:

Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

FORMATO:

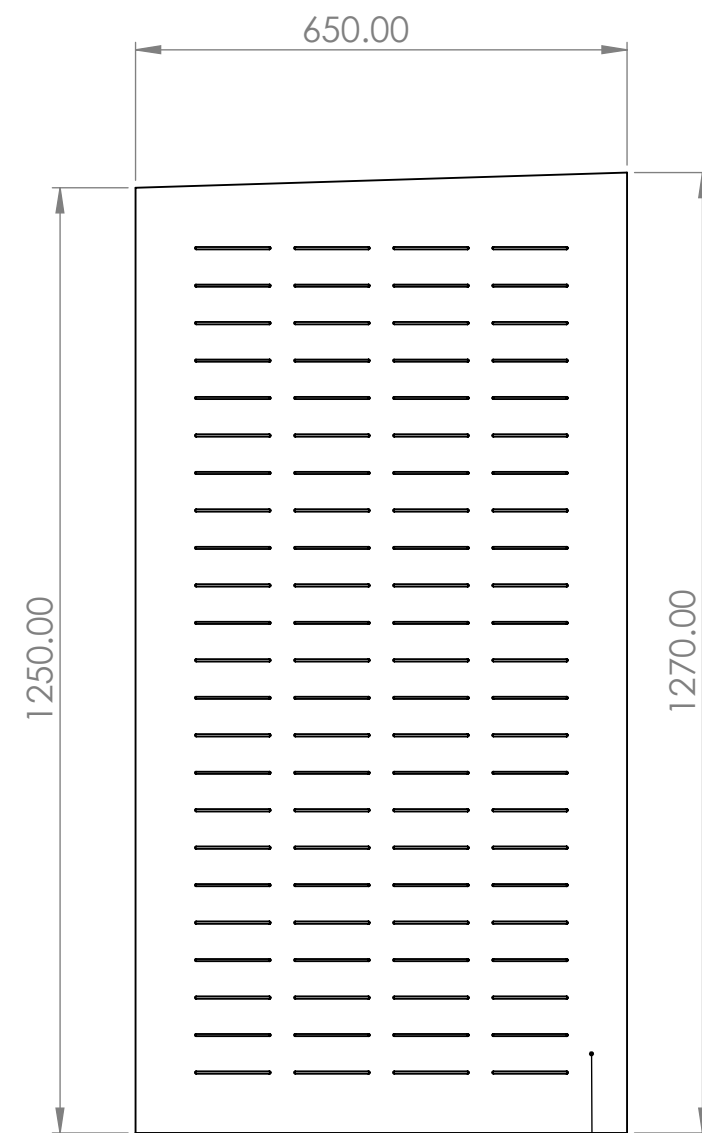
A4

ASESOR:

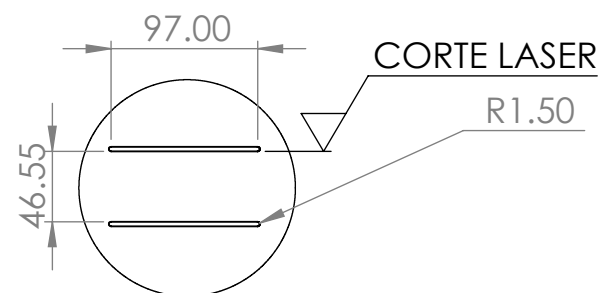
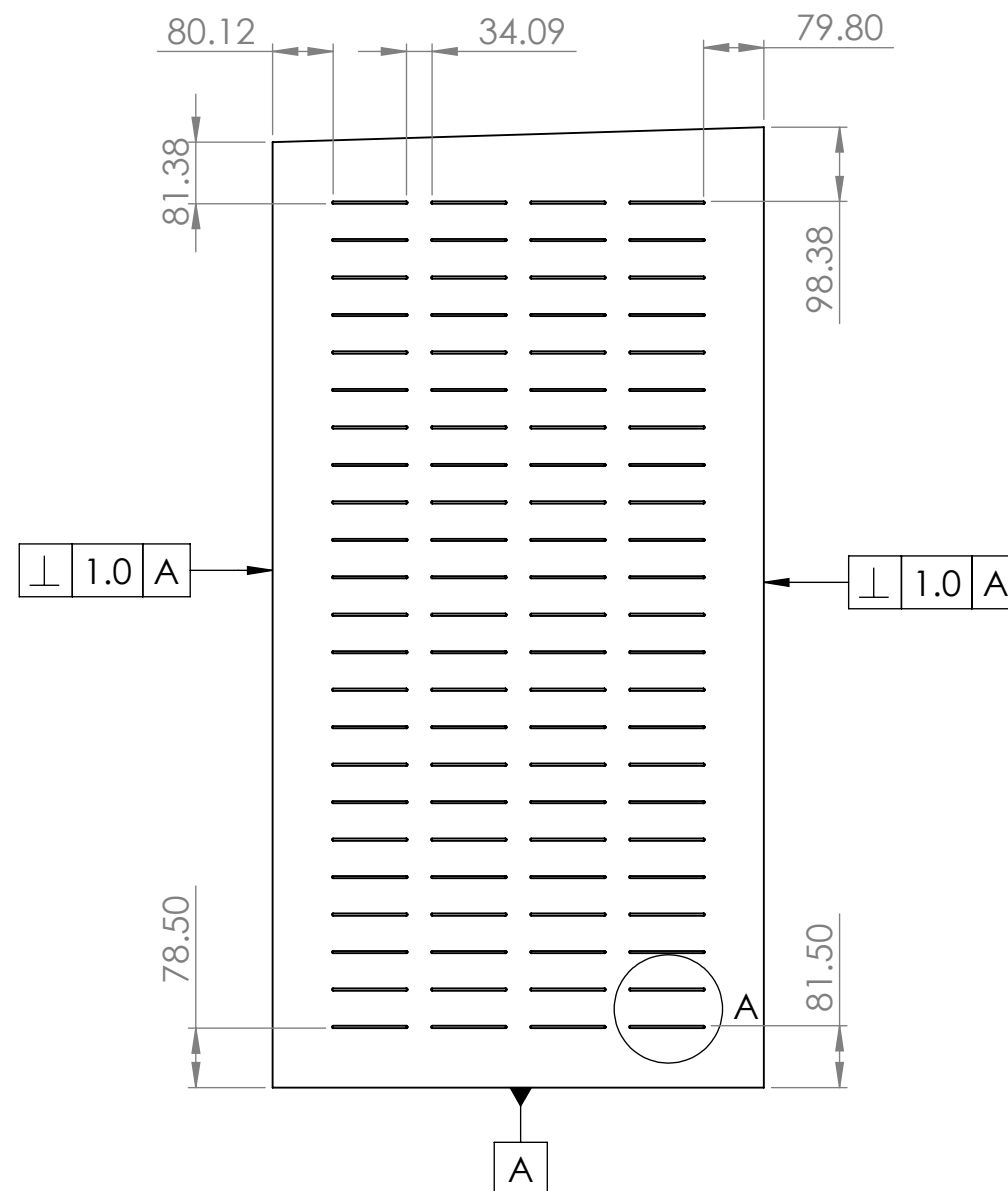
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

HOJA:

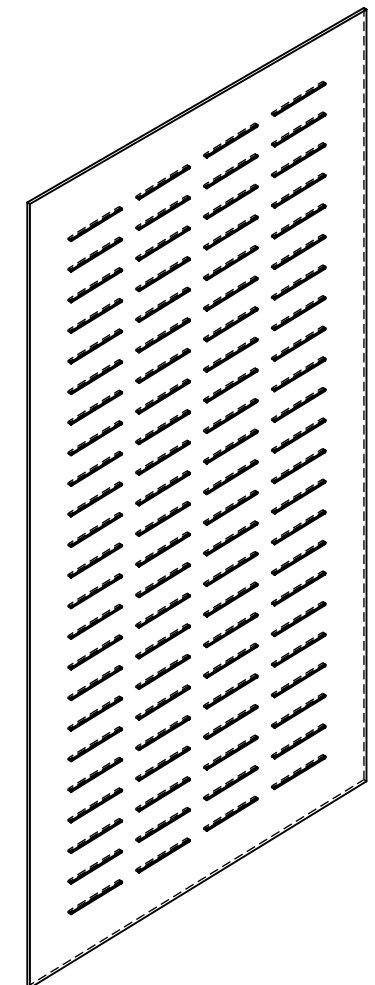
SE-C-16



PLANCHA LATERAL DERECHA  
e=5mm




DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

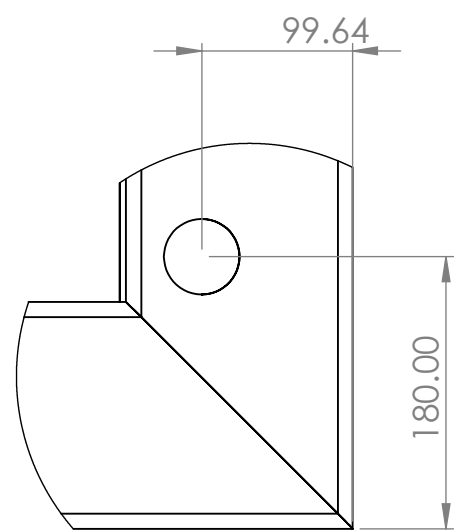
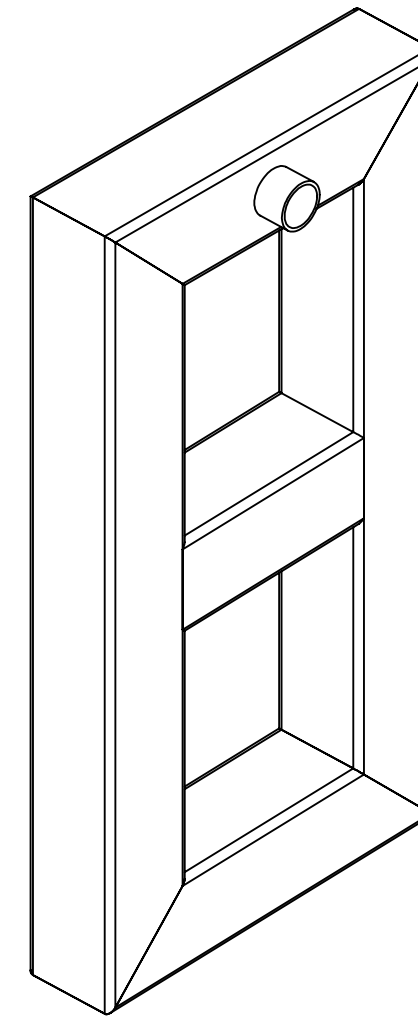
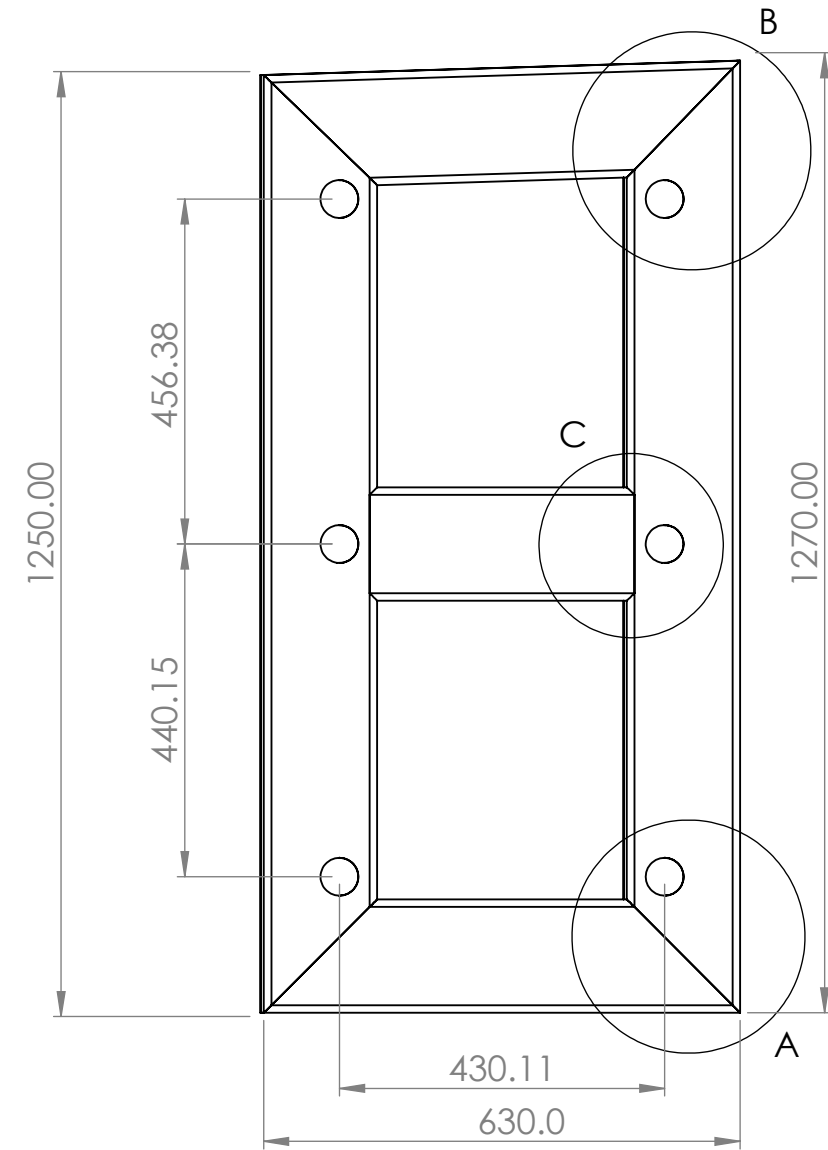
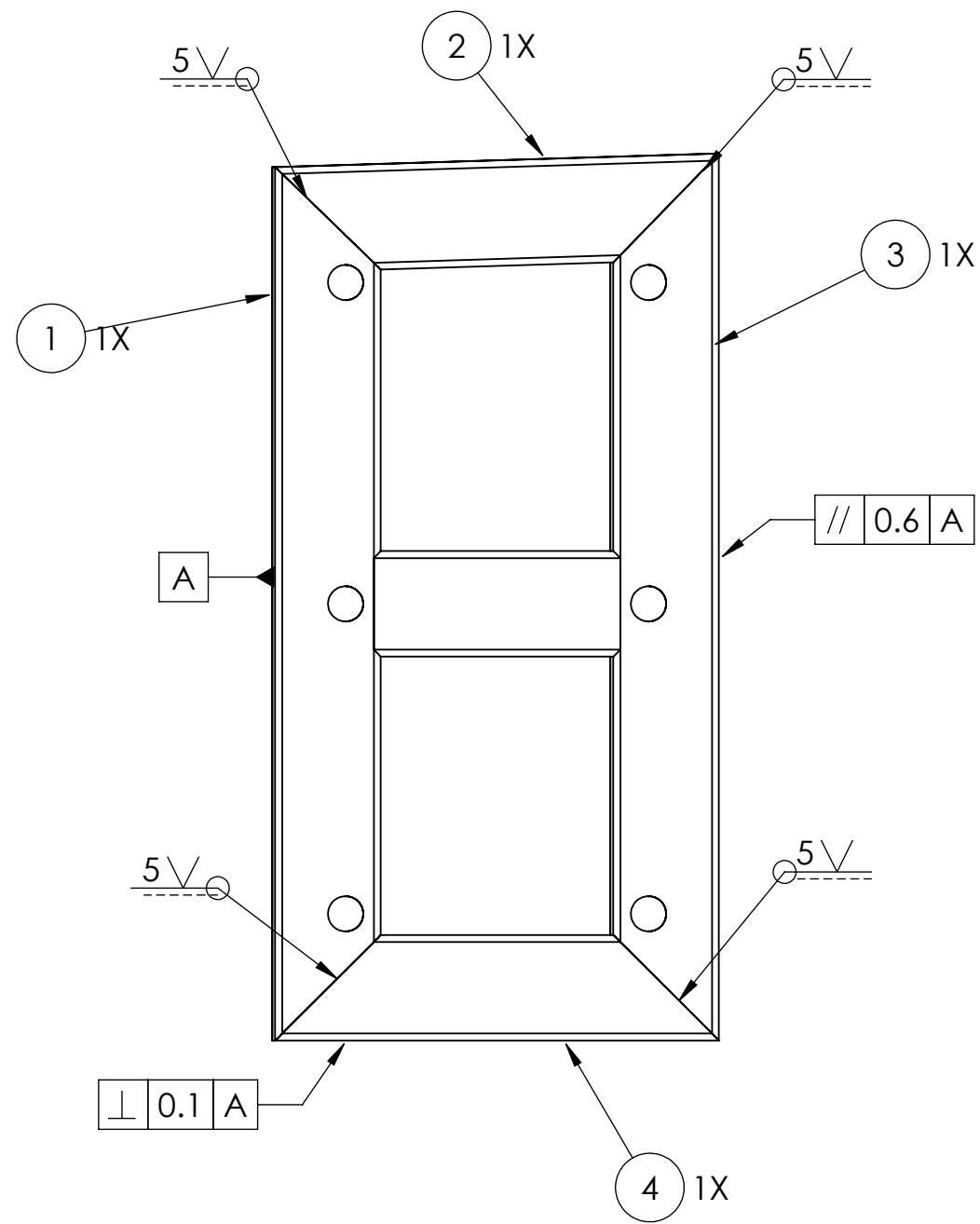


NOTA:

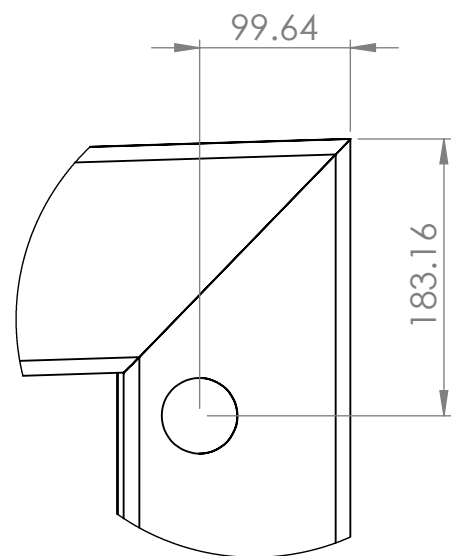
- TODOS LOS CORTES RANURADOS SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

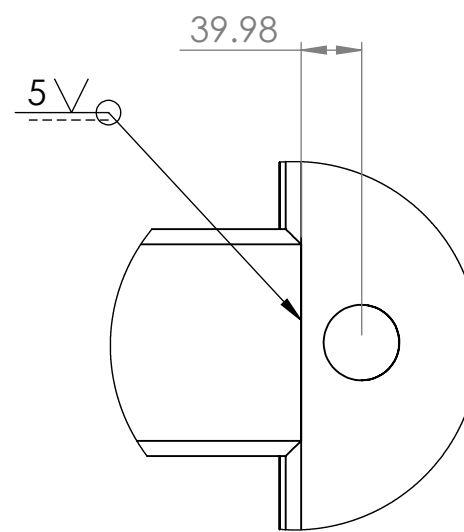
ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"	ESCALA:  1:10
		PLANO:  PLANCHA SUPERIOR- BLOQUE LATERAL DERECHA	FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil			FORMATO: A3
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA			HOJA: SE-C-17



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



DETALLE B  
ESCALA 1 : 5



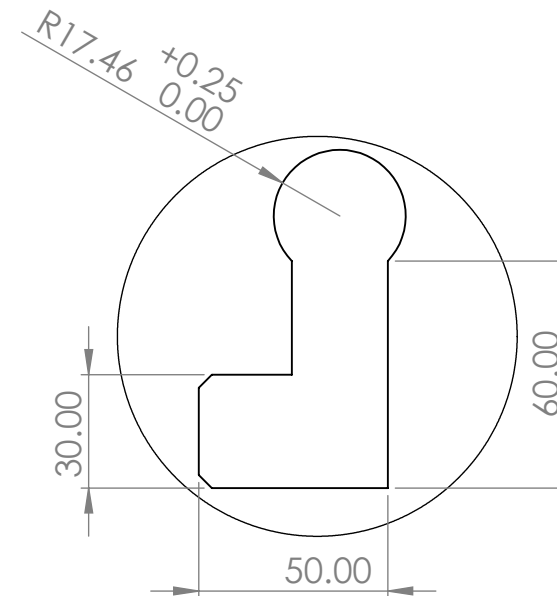
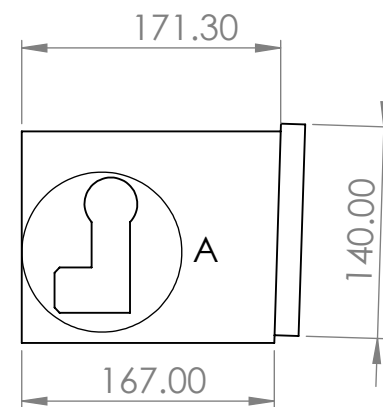
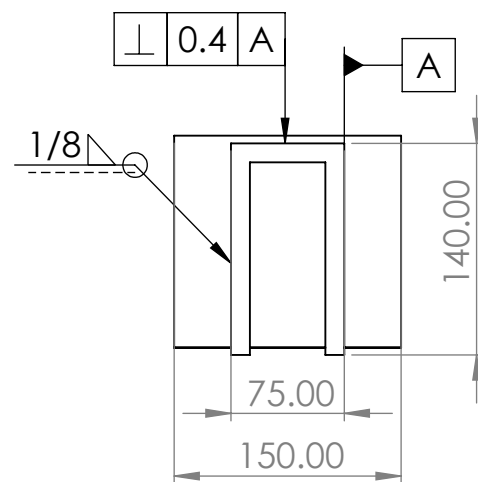
DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

NOTA:

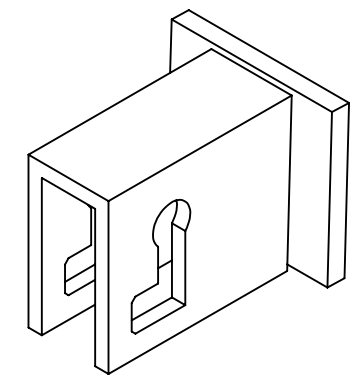
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.
- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000	Más de 2000 hasta 4000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0

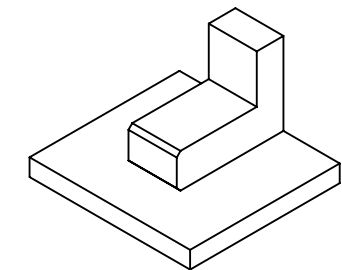
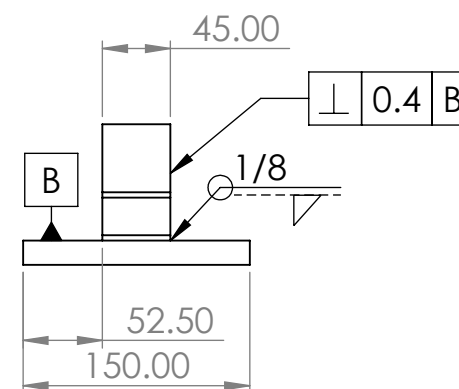
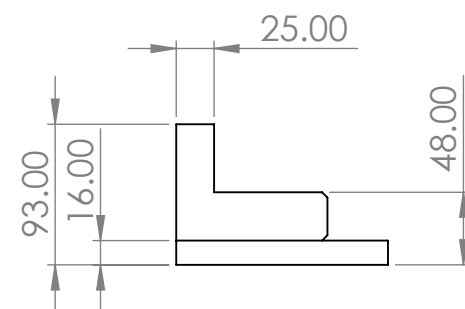
4	4	TUBO CUADRADO 100x100x5-630mm	ACERO	ASTM A500
3	2	TUBO CUADRADO 100x100x5-1270mm	ACERO	ASTM A500
2	1	TUBO CUADRADO 100x100x5-631mm	ACERO	ASTM A500
1	1	TUBO CUADRADO 100x100x5-1250mm	ACERO	ASTM A500
POS.	CAN.	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"		ESCALA:
		PLANO:  DUCTO POSTERIOR - BLOQUE LATERAL DERECHA		1:10
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil				FECHA: 15/06/25
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA				FORMATO: A2
				HOJA: SE-C-18



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



TOPE SUPERIOR

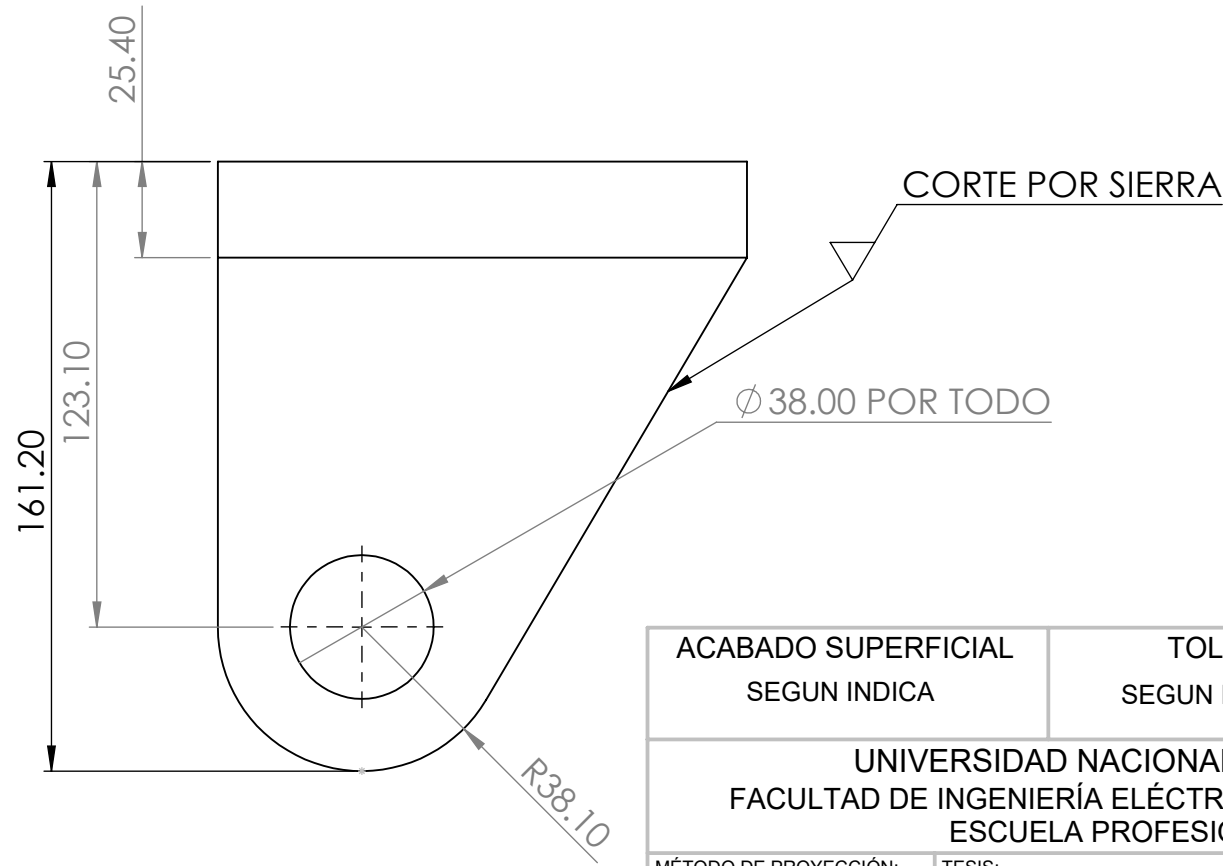
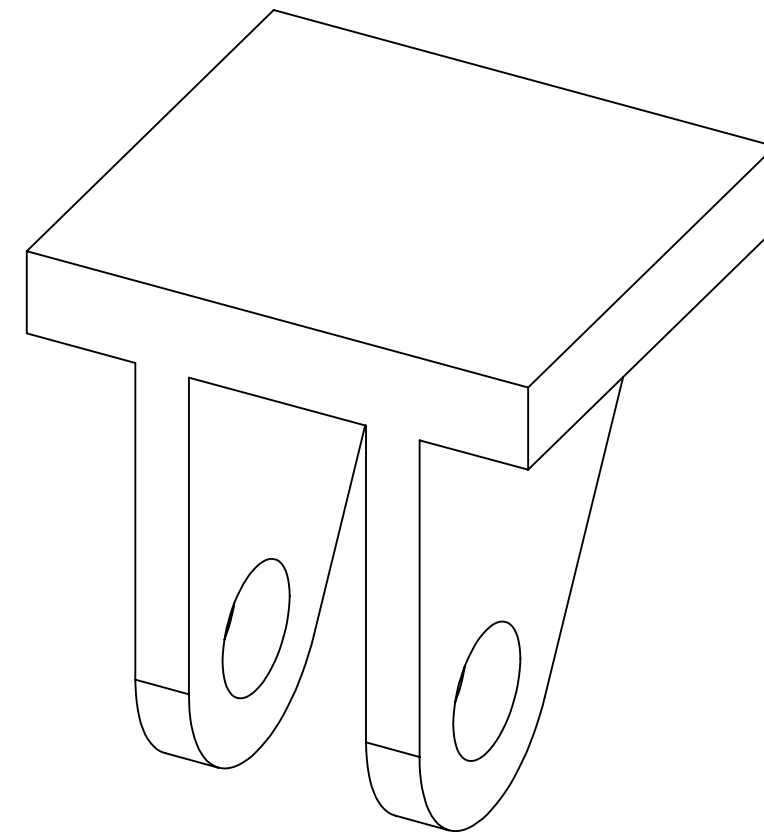
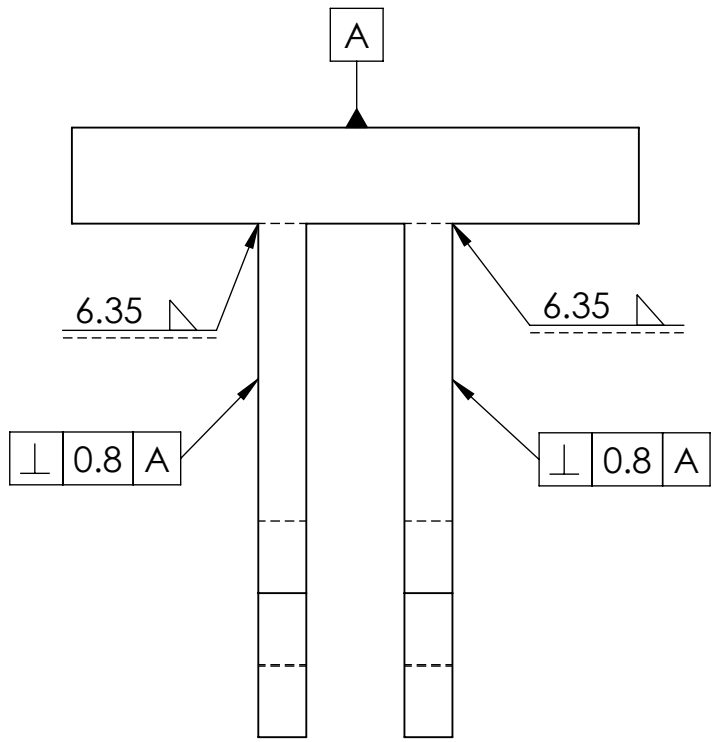
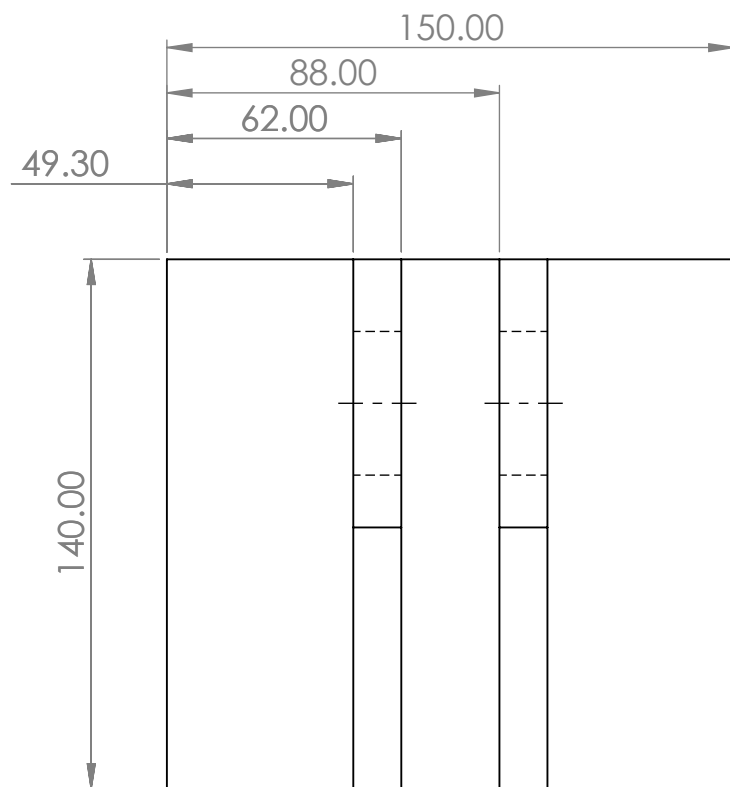


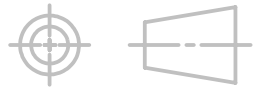
TOPE INFERIOR (PUERTA)

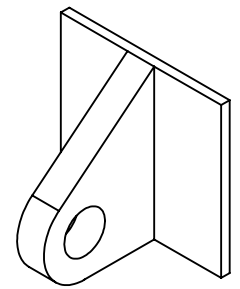
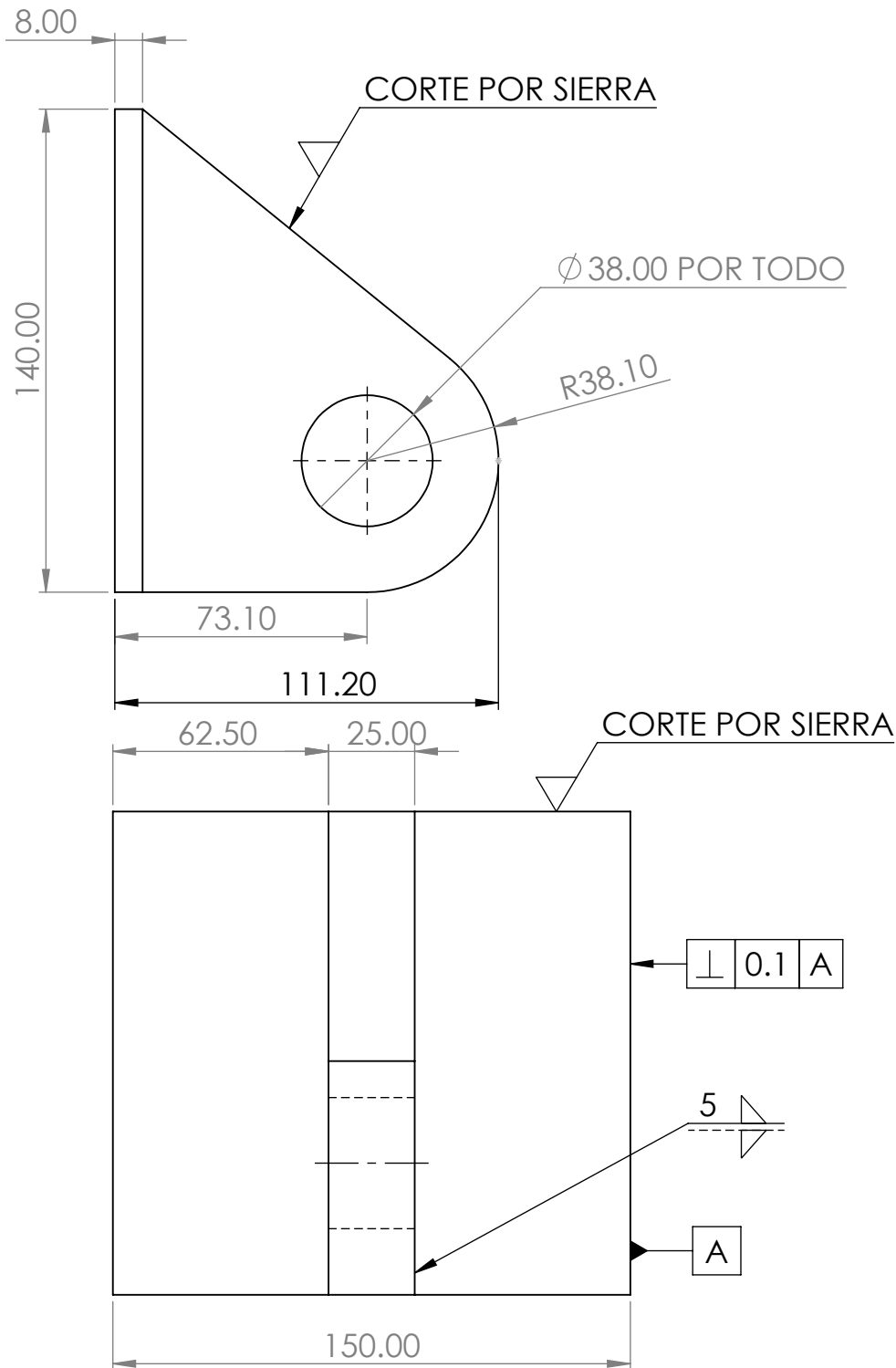
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL SEGUN INDICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR	ESCALA: 1:5 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-19
RESPONSABLES:			
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil			
ASESOR:			
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA			

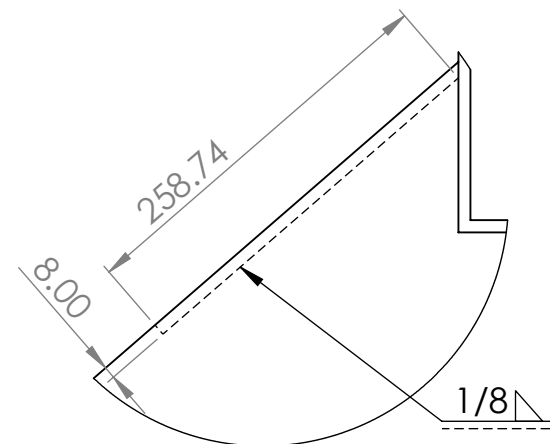
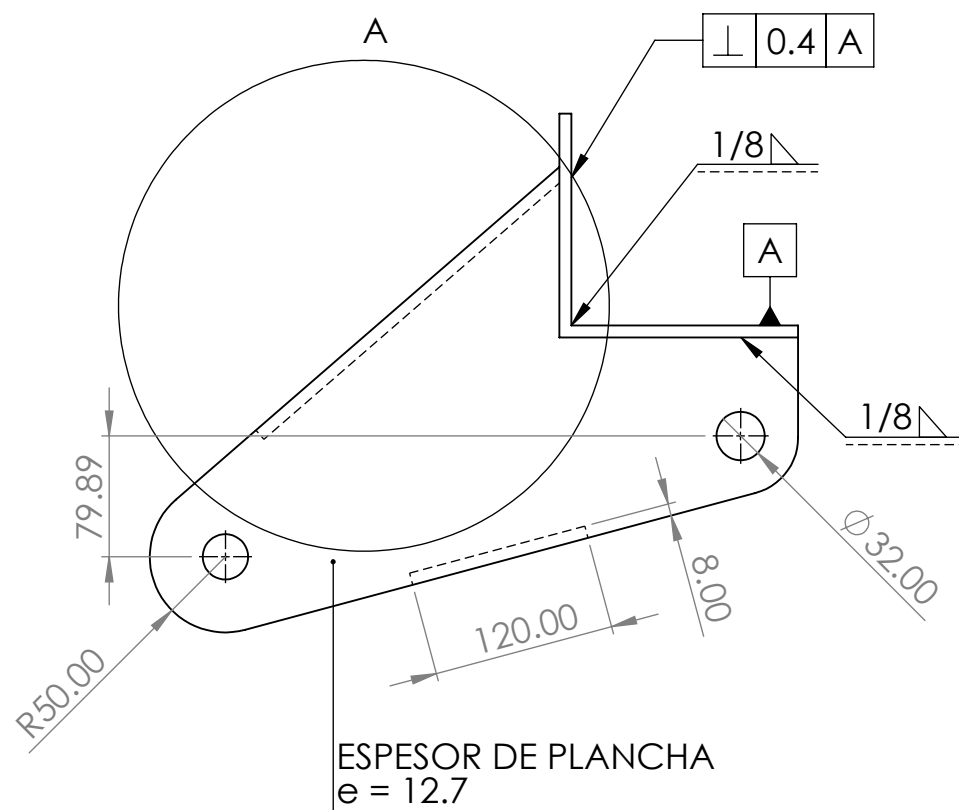
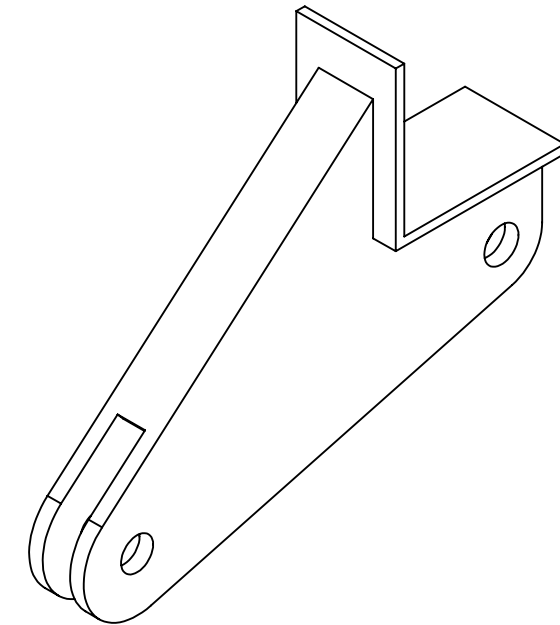
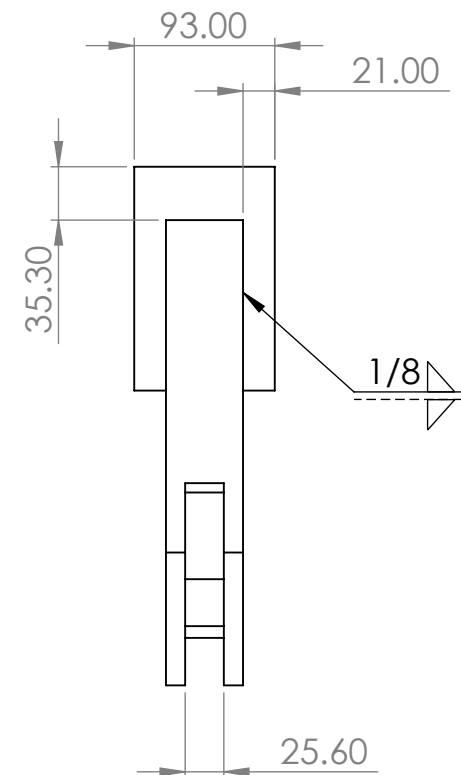
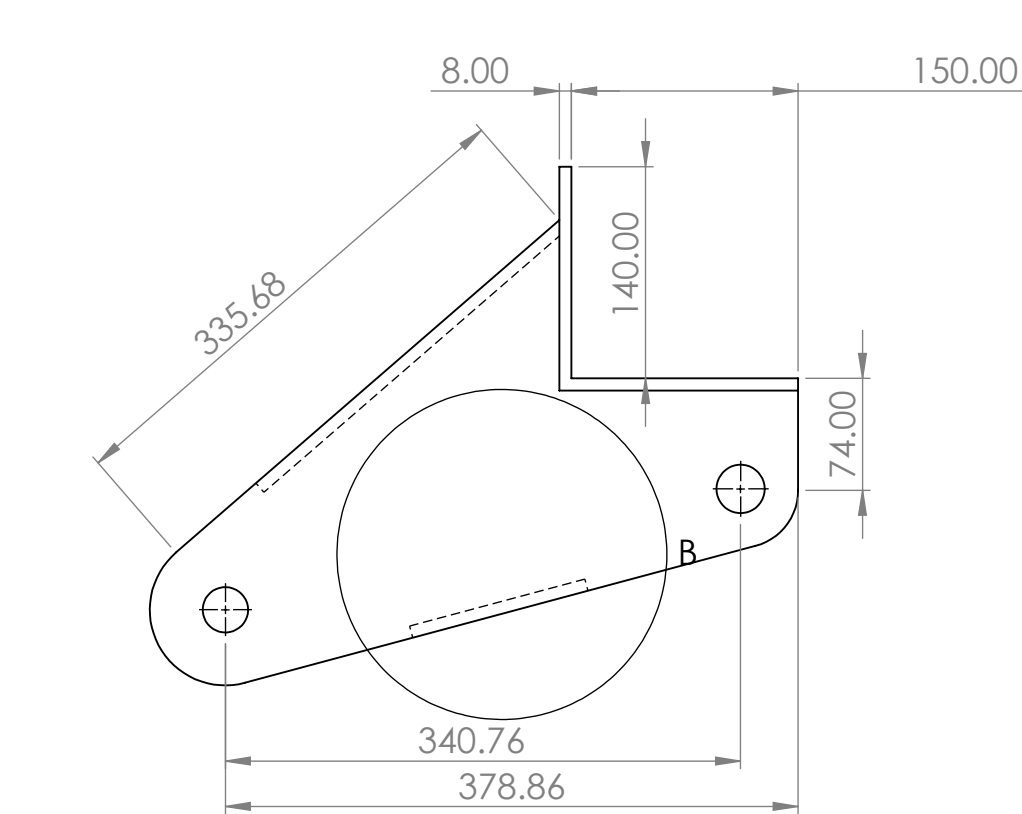




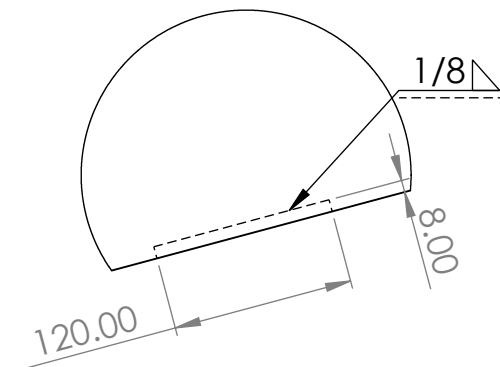
ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL SEGUN INDICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"	ESCALA: 1:5
RESPONSABLES: Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR	FECHA: 15/06/25
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA			FORMATO: A3
			HOJA: SE-C-20



ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" PLANO: BISAGRA INFERIOR SECUNDARIO (MECANISMO DE CIERRE - PUERTA)	ESCALA: 1:2 FECHA: 15/06/25
RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		FORMATO: A4
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		HOJA: SE-C-21



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

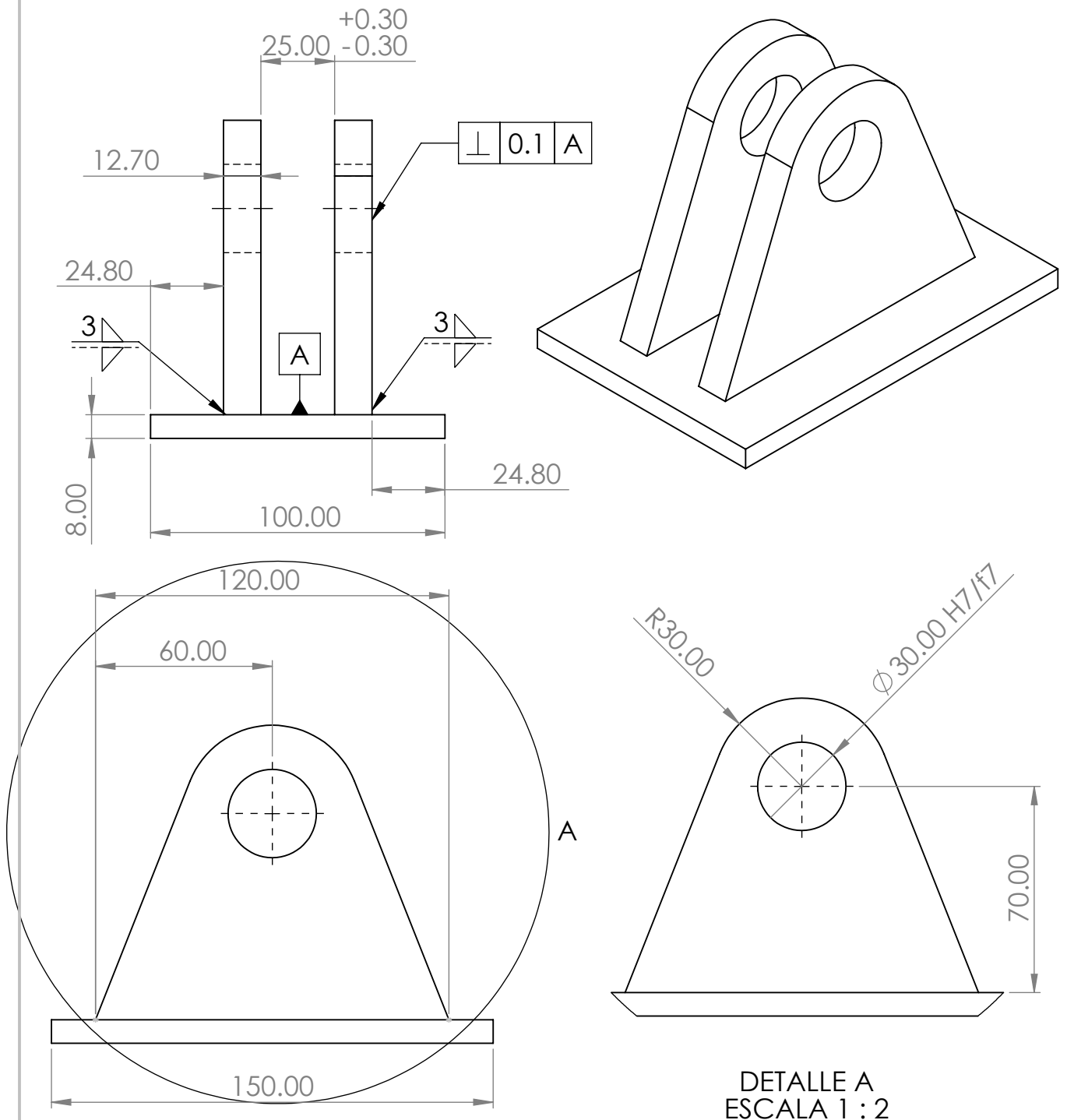


DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

NOTA  
- PLANCHA DE ACERO ASTM A36

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA	TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL SEGUN INDICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN:	TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR	ESCALA: 1:5 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-22
RESPONSABLES:		
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil		
ASESOR:		
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA		



ACABADO SUPERFICIAL  
SEGUN INDICA

TOLERANCIA GENERAL  
SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO

MATERIAL  
ASTM A36

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN:



TESIS:

"DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"

PLANO:

BASE DE CILINDRO (MECANISMO DE CIERRE - PUERTA)

ESCALA:

1:2

FECHA:

15/06/25

RESPONSABLES:

Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

FORMATO:

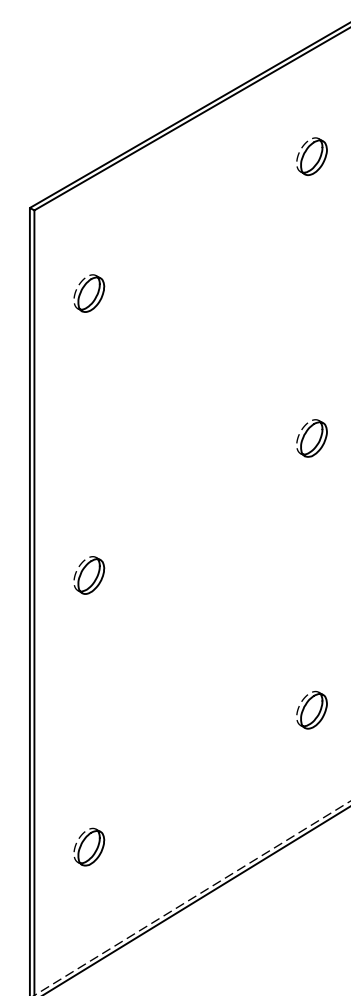
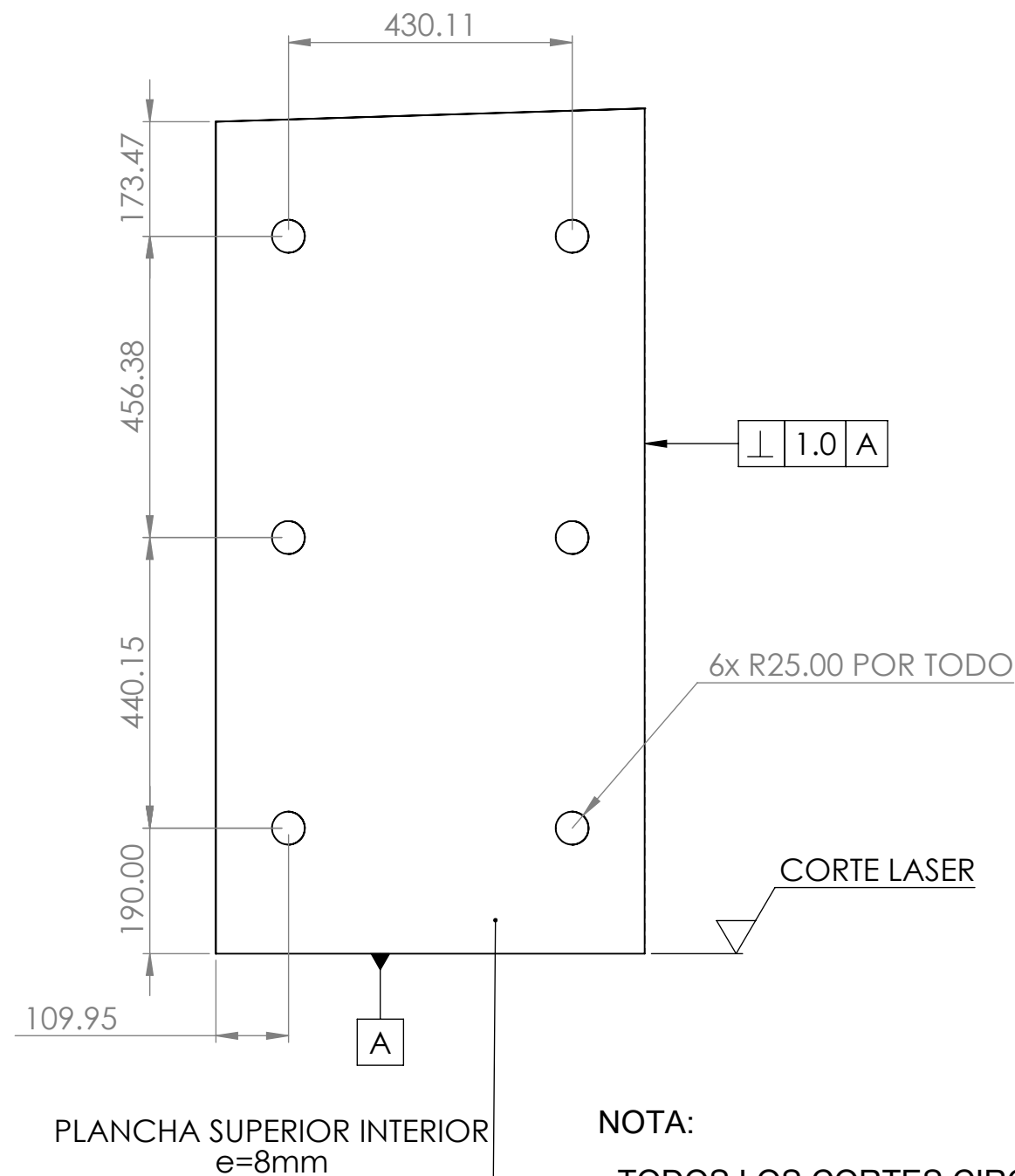
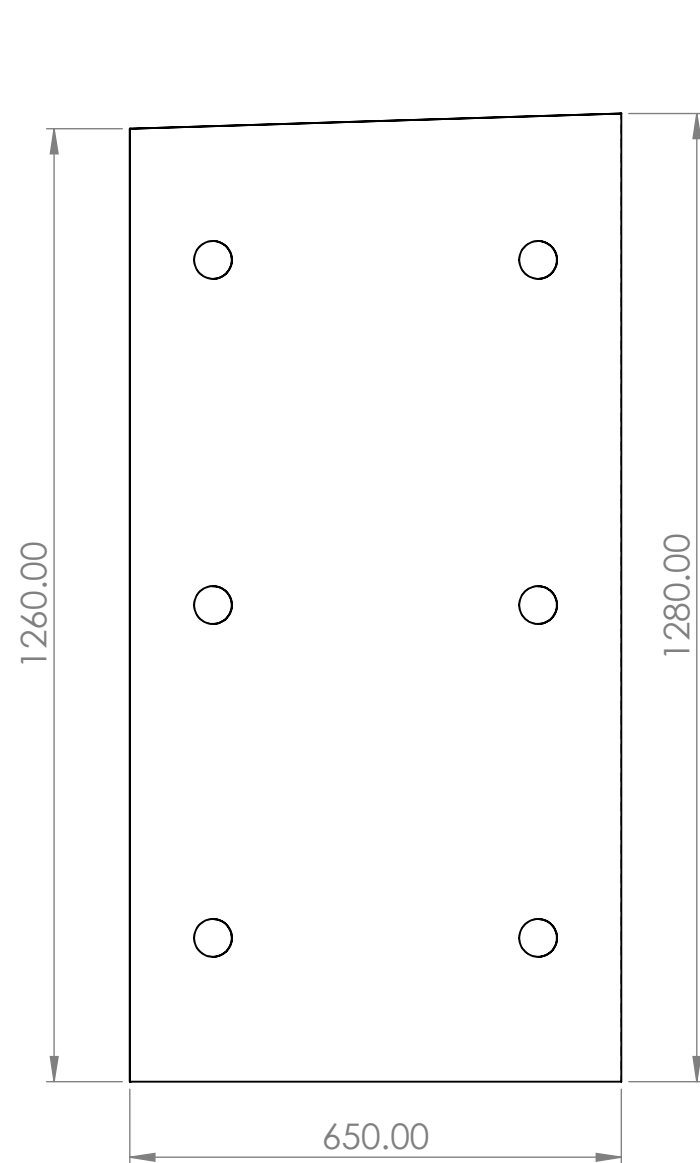
A4

ASESOR:

Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

HOJA:

SE-C-23



# NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2

ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA		TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		TESIS: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021"	
		PLANO: PLANCHA SUPERIOR INTERIOR- BLOQUE LATERAL DERECHA	
RESPONSABLES:			ESCALA:
Bach.MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil			1:10
ASESOR:			FECHA:
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA			15/06/25
			FORMATO:
			A3
			HOJA:
			SE-C-24