

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 m³ 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 MOROCO QUISPIC DNI N° 46100970 ;
presentado por: WILINTON ROBIL AIMAR BONIFACIO DNI N°: 47317770
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. | X |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones. | |
| 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. | |

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, ca de diciembre de 2025

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



500 páginas

78.907 palabras

403.798 caracteres

Tamaño del archivo

18.9 MB

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

-  **Carácteres 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 m³ 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 generalizadas 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 hechizas. Para solucionar este problema, se considera un 15% de material reciclado, una presión de moldeo de 1.55 kg/cm² (0.152 MPa) y una temperatura de 115 °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, Mezclador 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^2 (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 trasferencia 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 trasferencia 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 trasferencia 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ÍNDICE DE TABLAS

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

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

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

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

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

ÍNDICE DE SIMBOLOS

| Símbolo | Descripción | Unidad |
|---------------------|--|--------------------------|
| ΔP | Caída de presión para tubería de vapor | mca, bar |
| C_p | Calor específico | kJ/kg·°C |
| Q | Calor transferido | J |
| Q_{EPS} | Capacidad requerida | ft ³ /h |
| P_{cr} | Carga crítica | N |
| Q_{eff} | Caudal de vacío | m ³ /h |
| \dot{Q}_v | Caudal volumétrico | m ³ /s, L/min |
| δ | Coeficiente de caudal | adimensional |
| h | Coeficiente de convección | W/m ² ·K |
| α | Coeficiente de dilatación térmica | 1/°C |
| β | 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 |
| ΔT | Diferencia de temperatura | °C |
| $E_{entrada}$ | Energía de entrada | kW |
| E_{sale} | Energía de salida | kW |
| λ | Esbeltez mecánica | adimensional |
| τ | Esfuerzo cortante | Pa |
| f | Factor de fricción de tubería | adimensional |

| Símbolo | Descripción | Unidad |
|-----------------|---|-------------------------|
| n | Factor de seguridad | adimensional |
| \dot{G}_a | Flujo del aire | m^3/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^3/h |
| 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^2 |
| M | Momento flector | $\text{N}\cdot\text{m}$ |
| M_{max} | Momento máximo | $\text{N}\cdot\text{m}$ |
| 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 |

| Símbolo | Descripción | Unidad |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 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 |
| ϵ | 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 |
| ν | Viscosidad cinemática | m ² /s |
| μ | Viscosidad dinámica | Pa·s |
| V_m | Volumen de material a mezclar | m ³ |
| $V_{mezclador}$ | Volumen del mezclador | m ³ |

| Símbolo | Descripción | Unidad |
|----------------|--------------------|------------------------|
| v | Volumen específico | m^3/kg |

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

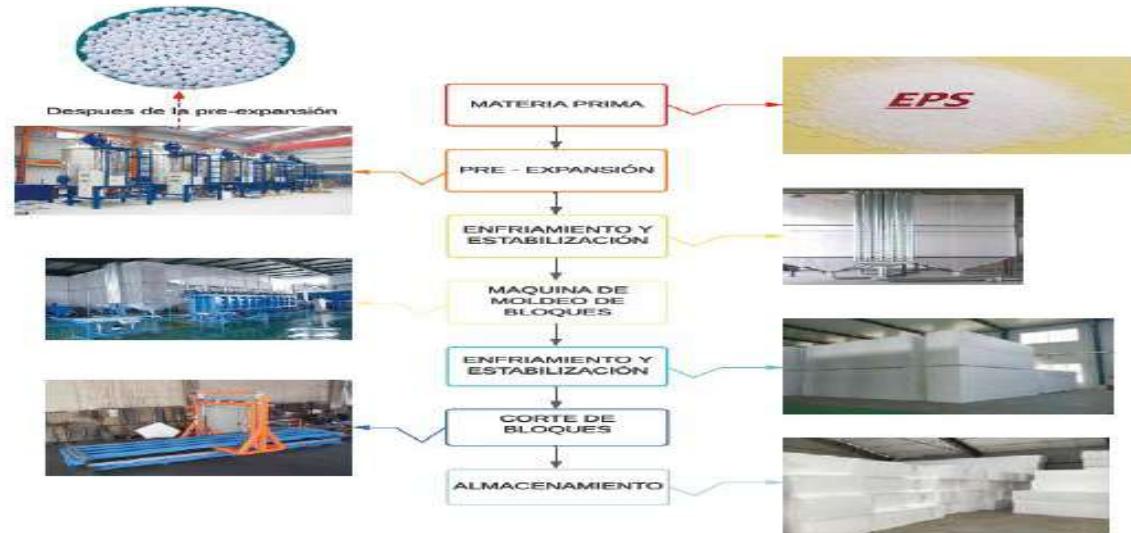
1.1 Planteamiento del problema

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 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 m³ 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 m³ 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 m³ 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 utilizará 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 $2,4 \text{ m}^3$ 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 $2,4 \text{ m}^3$ 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 $2,4 \text{ m}^3$ 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 $2,4 \text{ m}^3$ 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 $2,4 \text{ m}^3$ utilizando el 15% de material reciclado Cusco, 2022.

1.5 Hipótesis

El diseño de una máquina de moldeo con capacidad de 2.4 m³, 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 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 m^3 .
- Densidad del bloque de EPS 15kg/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 reciclo en las propiedades mecanicas y termicas del poliestireno expandido. Se concluyo que a menor porcentaje de material de reciclo las propiedades mecanicas son mejores, considerando el 20% de material reciclado para obtener una resistencia aceptable. Los resultados mostraron que la presion de moldeo y la presion de vapor influyen en la temperatura de la maquina teniendose asi los valores maximo de presion de moldeo de 1.55kg/cm², presion de vapor de 1.22 kg/cm² una temperatura de 118°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 | PRE-EXPANSION | | APPLICATION |
|-------|-----------|---------------|---------|---|
| | SIZE (mm) | RATE | | |
| 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

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 vienes 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 radicación 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 contenido partículas esféricas de polibutadieno de 0,1 a 10 μm , 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/m³). 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 perlitas que contienen un agente expansor (habitualmente pentano). Después de una pre - expansión, las perlitas 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 perlitas 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 grosos y densidades. Los casetones se fabrican con poliestireno expandido EPS tipo F y en densidad: 15 kg/m³.

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^3 a densidades que oscilan, normalmente, entre los $10 - 30 \text{ kg/m}^3$

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 lleva 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

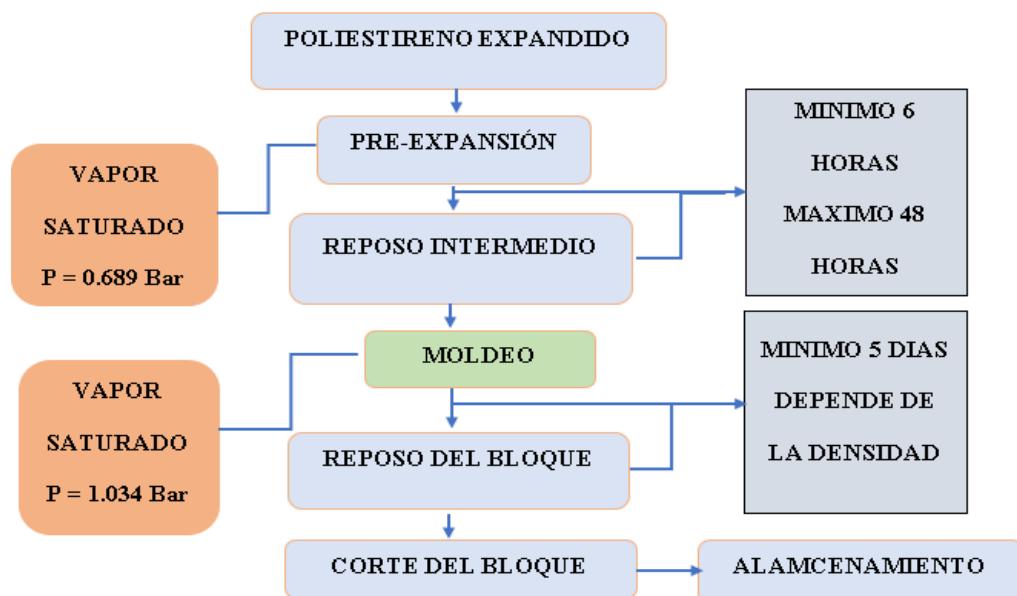
2.2.6.5 Corte de bloques de poliestireno

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

v: 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 ψ_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 ψ_2 ingresando a la tabla III del libro de resistencia de materiales de Timoshenko 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 ψ_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 ψ_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:

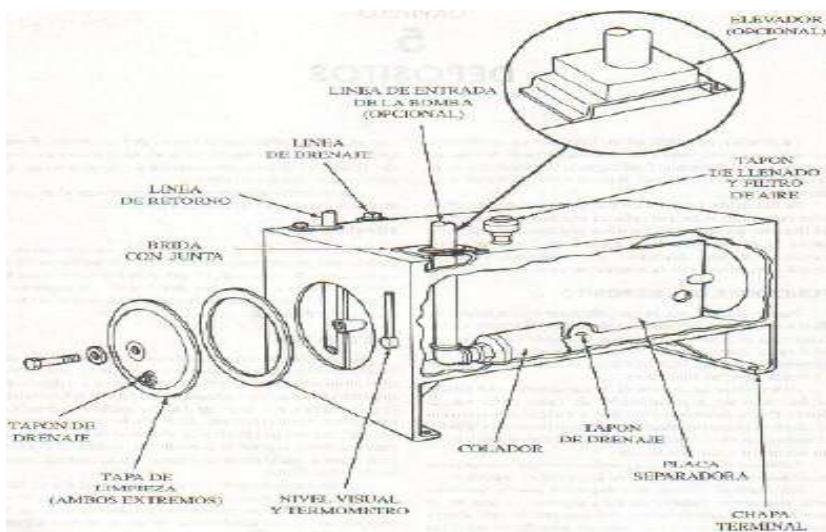
- Deposito
- filtro
- Bomba
- válvulas
- actuadores
- motores hidráulicos

2.2.8 Deposito

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.

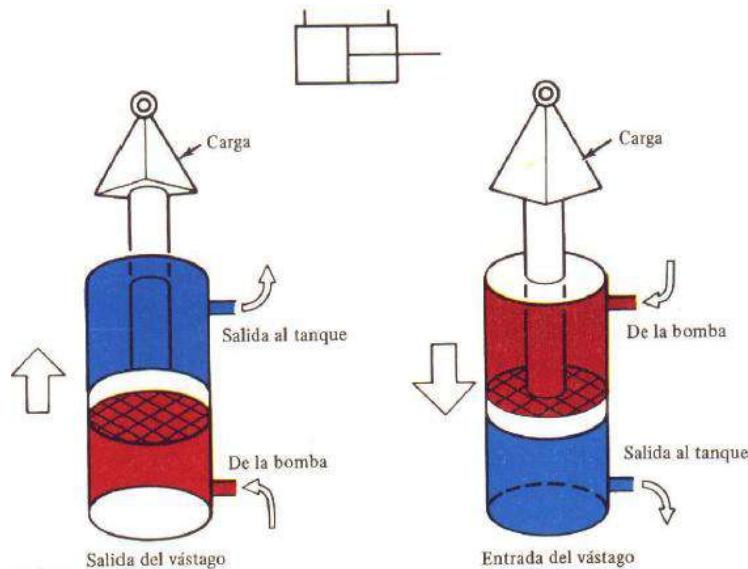
2.2.14.1 Cilindro estándar de doble efecto

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 vástagos. 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 alcanzarán el equilibrio T_{eq} , puesto que el calor se transfiere del de mayor temperatura a 1 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 sujeto 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: $Q = m^*(h_2 - h_1)$ 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.
- Pirotubulares: 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:

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

Donde:

m_{vapor} : Flujo máscico (kg/s).

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

T_1 : Temperatura (°C).

T_2 : Temperatura (°C).

h_g : Entalpia de Vapor Saturado (kJ/kg).

h_f : Entalpia 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 temperaturas 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^3/s)

v : volumen específico (m^3/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:

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

ρ : densidad de vapor a una presión obtenidas de tablas de vapor (kg/m^3)

$Re > 4000$: 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.

ρ 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.

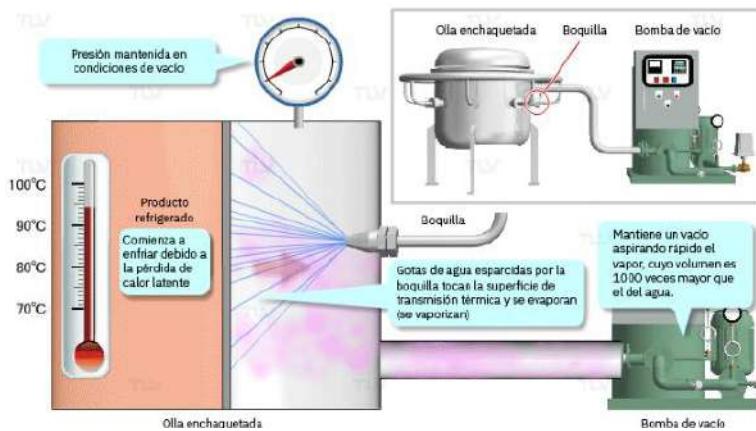
2.7.1 Principio de funcionamiento

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.



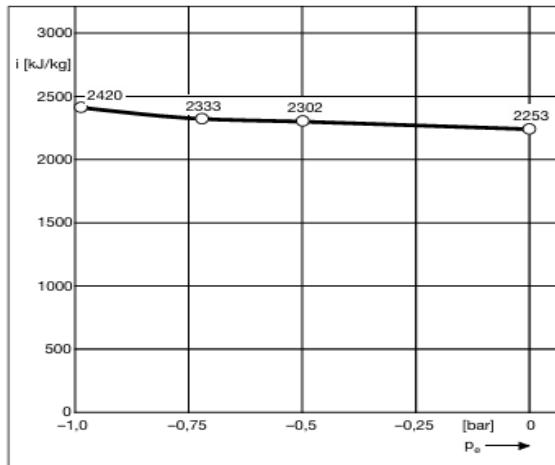
Fuente: <https://www.tlv.com/es-mx/steam-info/steam-theory/steam-control/vacuum-cooling>.

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

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 requeridos 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.

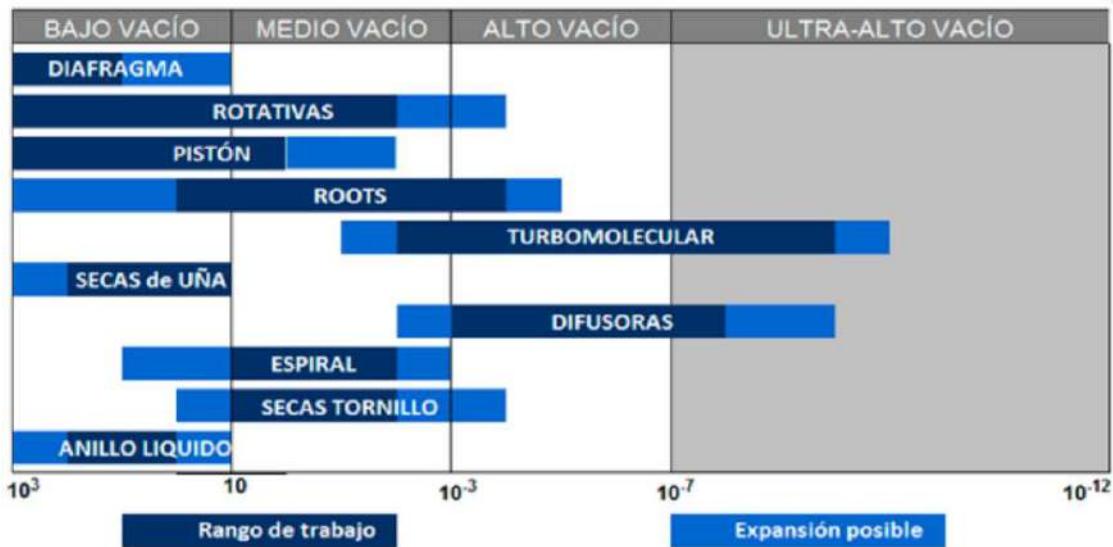
2.7.3 Tipos de bombas de vacío

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/>

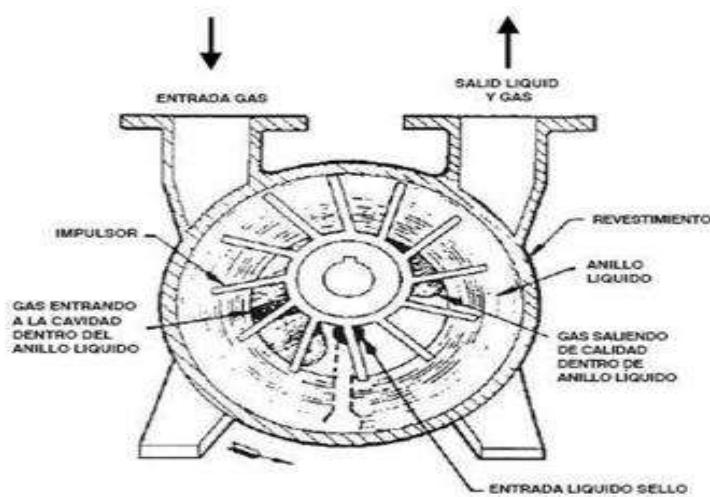
A continuación, explicaremos los tipos de bombas de vacío.

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 & Martínez, 2009).



Fuente: (Valverde & Martínez, 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

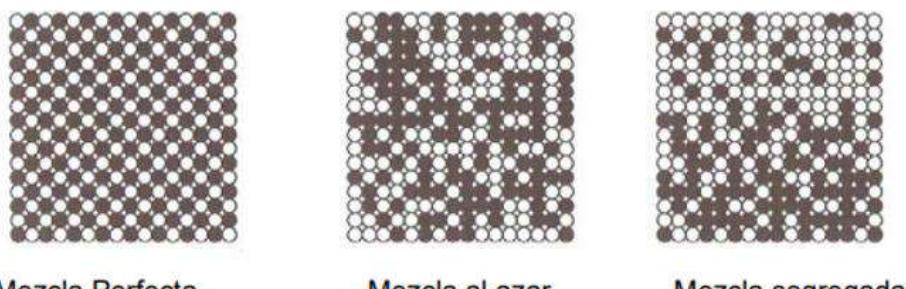
Un sistema de mezclado es un conjunto de dispositivos encargados de realizar la combinación de los componentes en distintas proporciones ya sea líquido, sólido o gaseoso para obtener una mezcla uniforme con características muy variadas, como densidad, tamaño, etc.

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, pero 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.

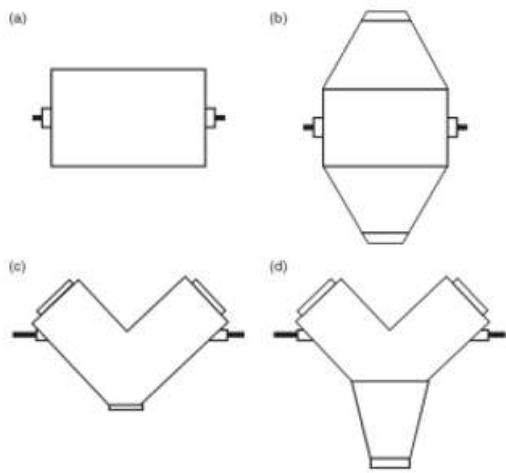
2.8.1.3.1 Mezclador de tambor rotatorio

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.



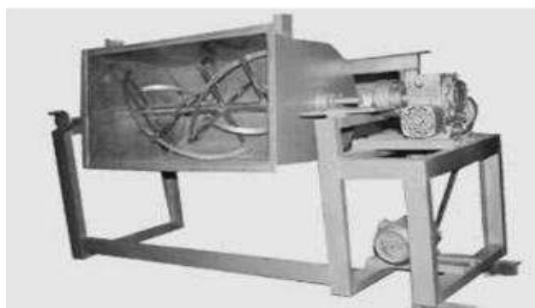
Fuente: (Ortegas Rivas, 2005).

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

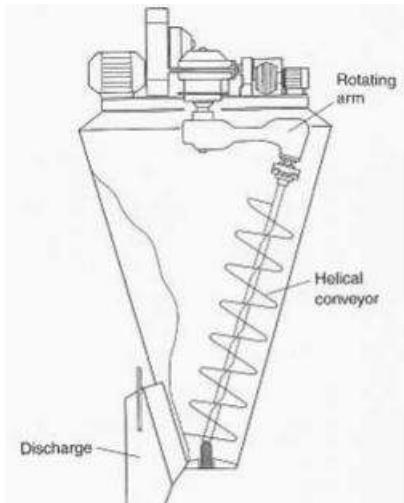
Mezclador de cintas helicoidal.



Fuente: https://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/mezclado_solidos.pdf

Figura 16

Mezclador cónico vertical tornillo sin fin.



Fuente: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:

μ : Concentración.

\dot{G}_s : Flujo masico del sólido

\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

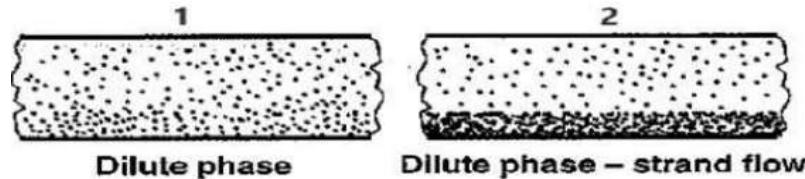
Existe mucha confusión sobre como los materiales se comportan dentro de la tubería o ducto de transporte y la terminología utilizada dado el modo de flujo. En primer lugar, se debe reconocer que los materiales pueden ser transportados dentro de la tubería por lotes o bien de forma continua. De esta forma 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.martinspocket.com/docs/catalogs/material%20handling/1_manejo%20de%20materiales/seccion%20h.pdf

2.9.1.1.2 Fase densa.

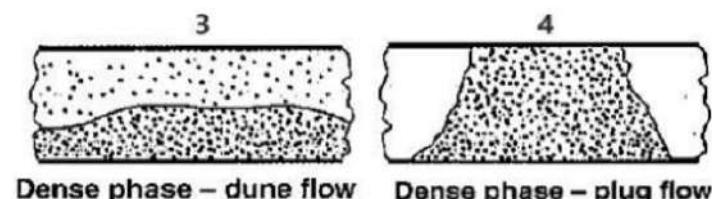
En este modo de trasporte neumático la partícula no se encuentra suspendida, la Figura 18 muestra que existen dos tipos de flujo de material en fase densa.

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 μm .

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.martinspocket.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 | | Densidad de volumen, suelto |
| | Muy fino | 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 |
|--------------------|------------------------------------|
| | Trozos 16" y por debajo (7" a 16") |
| | Arriba de 16" a ser especificado |
| | Irregular Fibroso, cilindro, etc. |
| | Fluido muy libre |
| Fluidez | Fluido libre |
| | Fluido promedio |
| | Fluido lento |
| | Abrasividad media |
| Abrasividad | Abrasividad moderada |
| | Abrasividad 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://hitech-group.com/de/produkte/blockformmaschinen/horizontale-blockformanlage/>

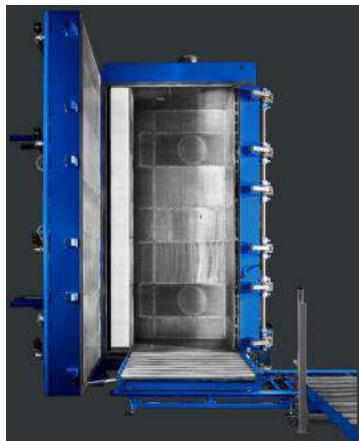
3.1.1.2 Máquina de moldeo vertical

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 llenan 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 ALLIANCE 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 puerta, 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.

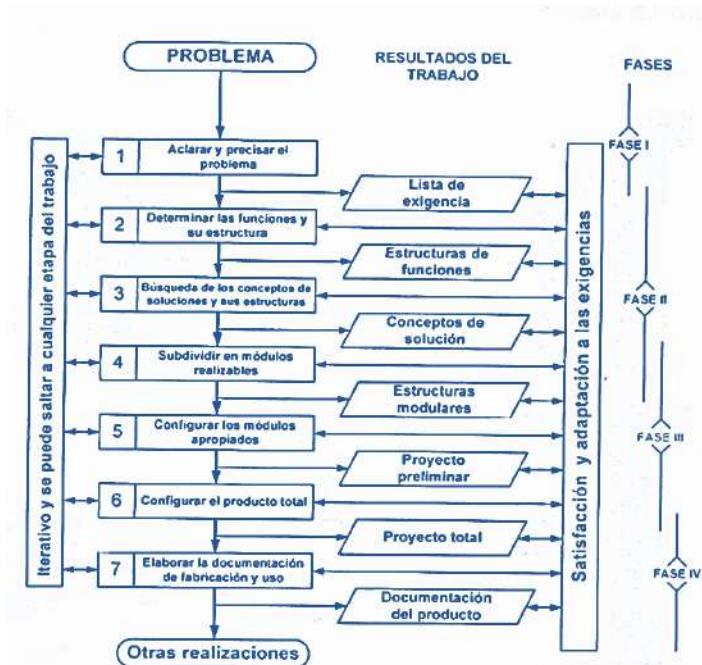


Fuente: Qingdao Simingrui Precision Technology Co., Ltd.

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 m³ UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022” | | Fecha: 23/06/23 |
| Cliente: | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC | | Revisado: Ing. A. Macedo |
| Prioridad | Deseo o Exigencia | Descripción | Responsable: |
| 1 | E | FUNCIÓN PRINCIPAL: Formar bloques de EPS compactados de 2.4 metros cúbicos con 15 kg/m ³ de densidad. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 2 | E | MATERIA PRIMA: Pellets de EPS mezclado con 15% de material EPS reciclado. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 3 | E | PRESIÓN: 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 | INYECCIÓN DE VAPOR: 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 | HERMETICIDAD: 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 | SEGURIDAD: Se diseñará teniendo en cuenta la seguridad de los operarios, protección de los elementos móviles. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 7 | E | ERGONOMÍA: Los dispositivos de operación del equipo serán diseñados para ofrecer la facilidad del uso. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 8 | E | FABRICACIÓN: La máquina se deberá poder fabricar en talleres locales y se usarán materiales de fácil adquisición. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 9 | E | CONTROL DE CALIDAD: 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 ³ UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022” | | Fecha: 23/06/23 |
| Cliente: | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC | | Revisado: Ing. A. Macedo |
| Prioridad | Deseo o Exigencia | Descripción | Responsable: |
| 10 | E | MONTAJE: La máquina será fabricada, para un fácil montaje e instalación, desmontaje y desinstalación. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 11 | E | TRANSPORTE: estará provista de soportes para su transporte y se requerirá maquinaria para su transporte. | |
| 12 | E | CONTROL DEL PROCESO: 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 | USO: La forma de las piezas constructivas es sencilla. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 14 | E | MANTENIMIENTO: Fácil acceso a los componentes de la máquina y protección de las partes lubricadas. | L. G. Morocco W. R. Aima |
| 15 | E | COSTOS: 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 | RECICLAJE: 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.

| CAJA NEGRA | | Pag 1/1 Edición: Rev. 1 |
|---|---|--|
| PROYECTO: | “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” | Fecha: 21/04/23 |
| CLIENTE: | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC | Revisado por: Ing. A. Macedo |
| CAJA NEGRA | | |
| Señal | | Señal |
| <ul style="list-style-type: none"> La máquina tiene la cantidad de masa de perlas necesaria. | | <ul style="list-style-type: none"> Valores de presión y temperatura estables |
| Energía | | Energía |
| <ul style="list-style-type: none"> Humana: El operador abre el deposito de mezclado. Eléctrica: Para activar las bombas de inyección de vapor y vacío. Bombeo de perlas preexpandidas. Calor: en forma de vapor saturado | | <ul style="list-style-type: none"> Eléctrica: expulsado y traslado del bloque. Humana: Retirado del bloque de la máquina. Ruido. Calor |
| Materia | | Materia |
| <ul style="list-style-type: none"> Perlas de poliestireno preexpandido y 15% de poliestireno reciclado. Vapor de agua saturado. | | <ul style="list-style-type: none"> Bloques de poliestireno expandido. Vapor de agua saturado. |

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.

| 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 m³ UTILIZANDO EL 15% DE MATERIAL RECICLADO CUSCO, 2022” | Fecha: 25/06/2023 |
| CLIENTE: | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA – UNSAAC | Revisado: Ing. A. Macedo |
| | | |

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 ³ 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 | | | | | |
| 2 Dosificar mezcla de materia virgen y reciclado | | | | | |
| 3 Cierre del contenedor de material de EPS | | | | | |
| 4 Fusión y expansión de las perlas de EPS | | | | | |
| 5 Estabilizar y enfriar el bloque de EPS | | | | | |
| 6 Expulsar el bloque de EPS | | | | | |
| | CONCEPTO SOLUCION N° 1 | CONCEPTO SOLUCION N° 2 | CONCEPTO SOLUCION N° 3 | CONCEPTO SOLUCION N° 4 | CONCEPTO SOLUCION N° 5 |

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

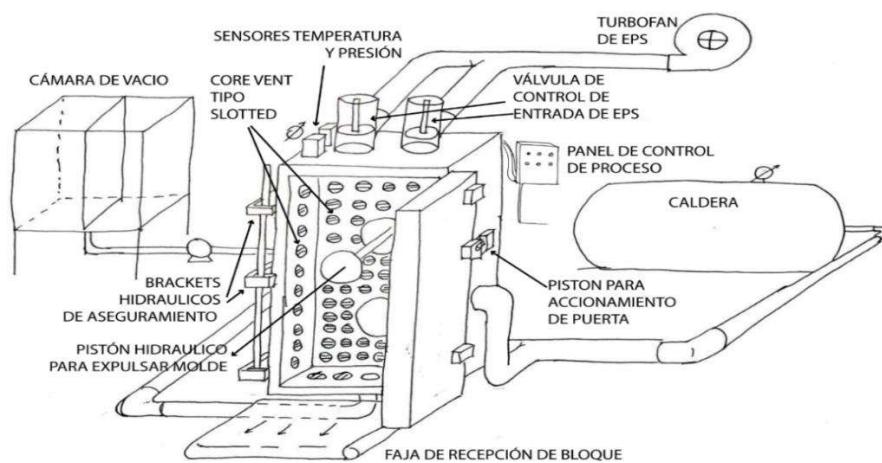
3.3.3.1.1 Concepto solución N°1

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.



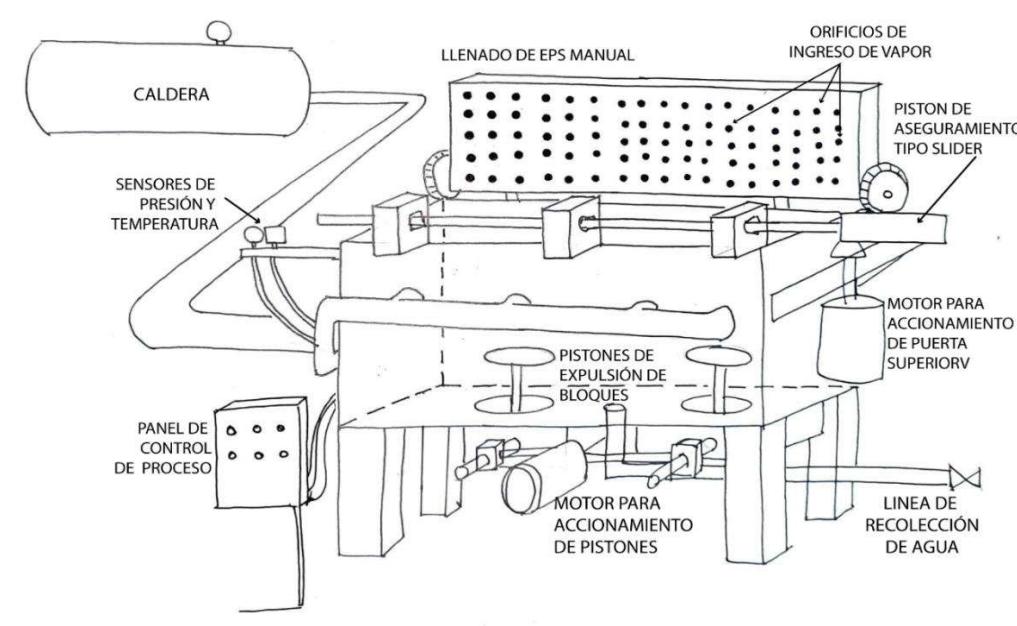
3.3.3.1.2 Concepto solución N°2

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.



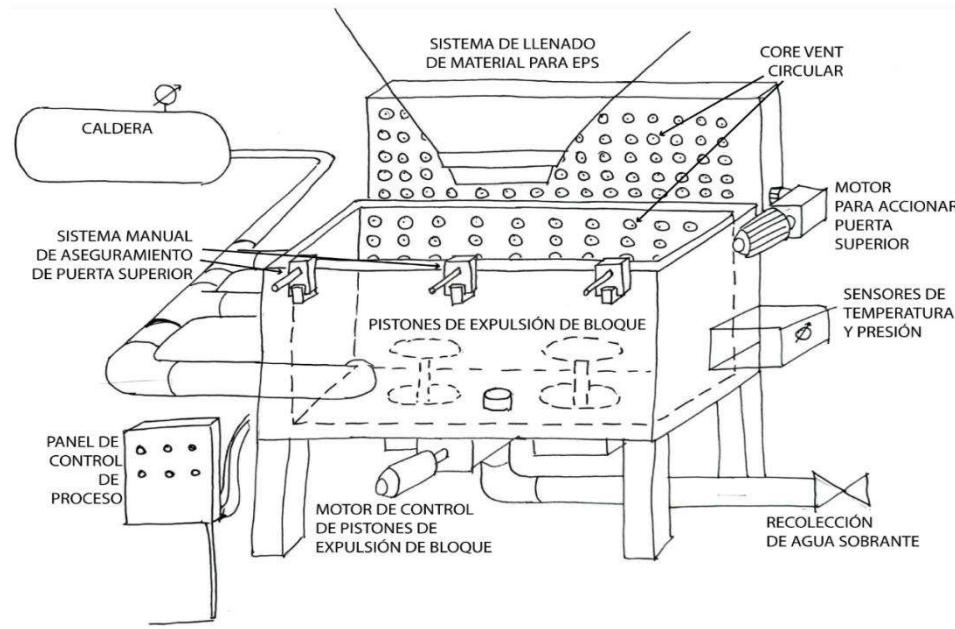
3.3.3.1.3 Concepto solución N°3

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.

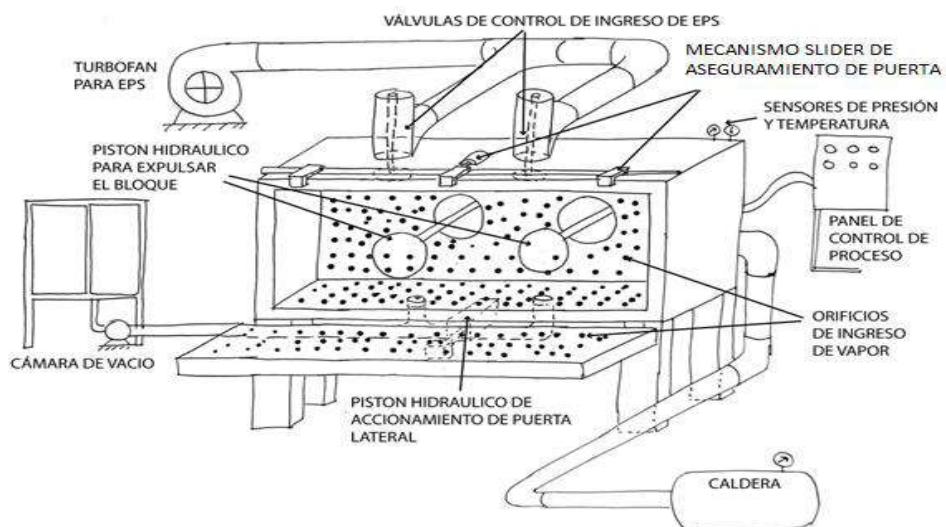
La inyección de vapor se efectúa por orificios circulares u horizontales ubicados en las paredes del equipo. Una vez concluido el proceso de moldeo, el agua y el vapor remanentes se extraen mediante una cámara de vacío.

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.



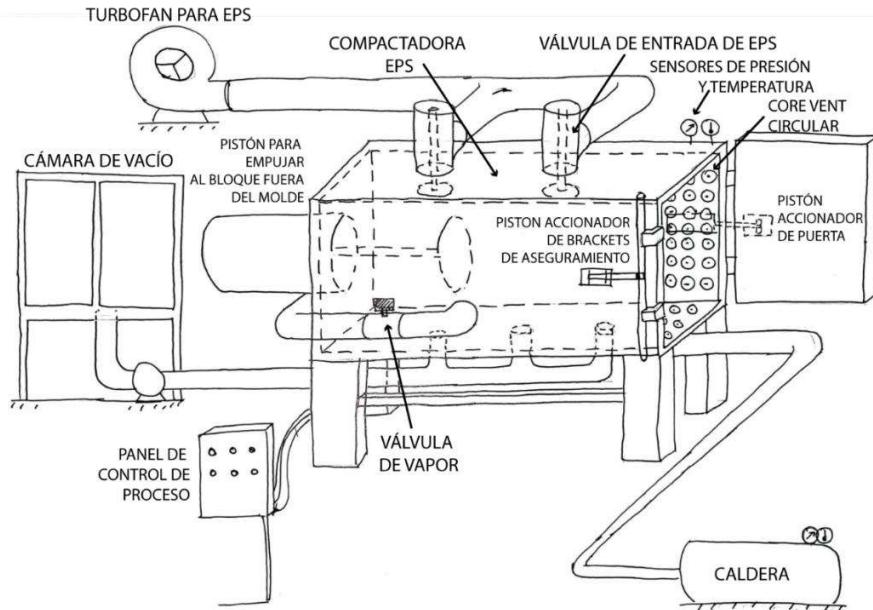
3.3.3.1.5 Concepto solución N°5

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 centrifugo 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 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*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 | | |
| Nº | Criterios Técnicos | % | p | g p | p | |
| 1 | Función | 18 | 3 | 54 | 2 | 36 | 2 | 36 | 3 | 54 | 2 | 36 |
| 2 | Forma | 12 | 2 | 24 | 2 | 24 | 3 | 36 | 3 | 36 | 2 | 24 |
| 3 | Seguridad | 15 | 2 | 30 | 2 | 30 | 1 | 15 | 2 | 30 | 2 | 30 |
| 4 | Diseño | 11 | 3 | 33 | 2 | 22 | 2 | 22 | 3 | 33 | 2 | 22 |
| 5 | Fabricación | 15 | 3 | 45 | 3 | 45 | 3 | 45 | 3 | 45 | 3 | 45 |
| 6 | Montaje | 10 | 2 | 20 | 2 | 20 | 2 | 20 | 3 | 30 | 3 | 30 |
| 7 | Operación | 6 | 3 | 18 | 2 | 12 | 2 | 12 | 3 | 18 | 3 | 18 |
| 8 | Mantenimiento | 13 | 2 | 26 | 2 | 26 | 2 | 26 | 2 | 26 | 2 | 26 |
| | Puntaje Total | 10 | 250 | | 215 | | 212 | | 272 | | 231 | |
| | 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 (Y_i) | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | | |
| Nº | Criterios Económico | g % | 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.

| Nº | 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 optima

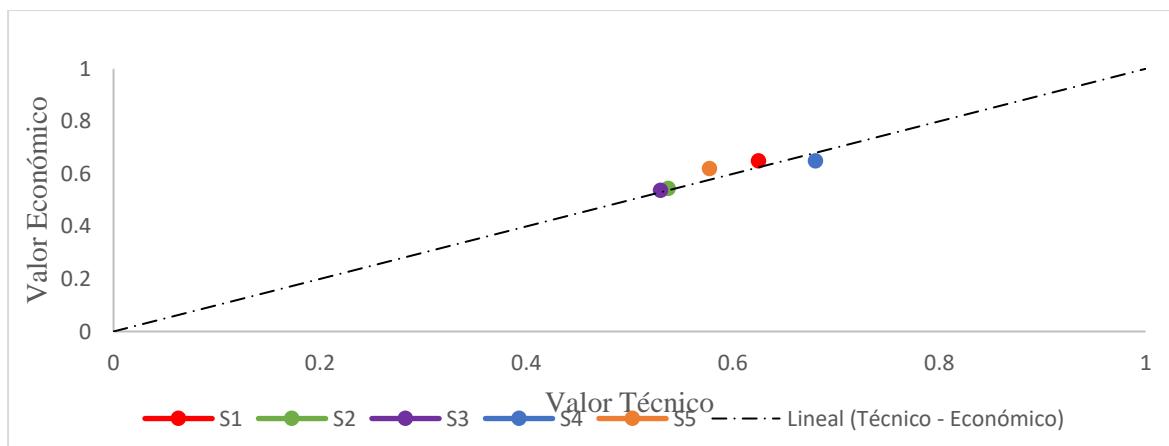
Al obtener los valores técnicos (X_i) y Valor económicas (Y_i) se procede a realizar la gráfica de toma de decisiones donde solo se tendrá en cuenta valores mayores a 0.6 y que se aproximen a la línea diagonal.

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 optima 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 vítreo 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 vítreo 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 cronómetro.

- 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 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

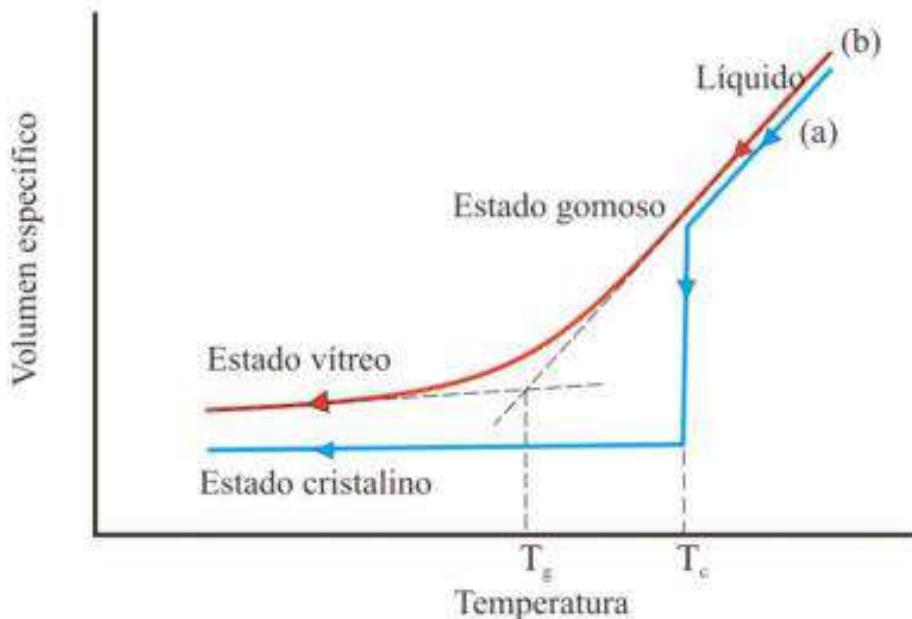
4.1.2.1 Temperatura de fusión del EPS

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 amorfó 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 kg/cm^2 (0.120 MPa) (Bonilla & Rujel, 2005).

Por lo tanto, se toma la cantidad de 1.22 kg/cm^2 (0.120 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 kg/cm^2 (0.152 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 vítreo | 100 °C |
| 2 | Temperatura de moldeo | 115 °C |
| 3 | Temperatura del molde | 99.5 °C |
| 4 | Presión de vapor | 1.22 kg/cm ² (0.12MPa) |
| 5 | Presión de moldeo | 1.55 kg/cm ² (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

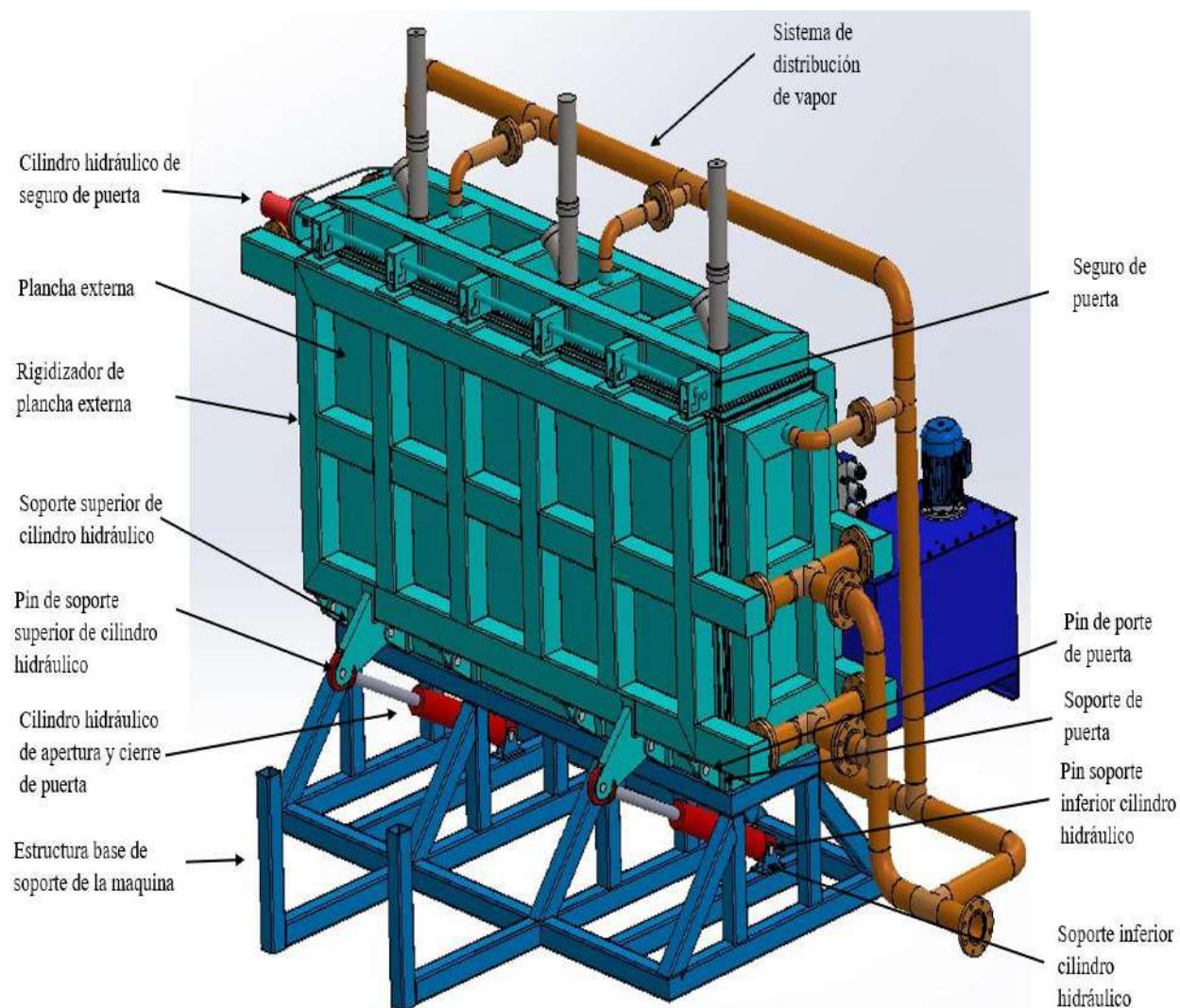
Los cálculos y diseño de los elementos de la máquina de moldeo serán aplicadas a un elemento de un grupo que tenga las mismas características, ya que estas tienen la similitud de soportar cargas.

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

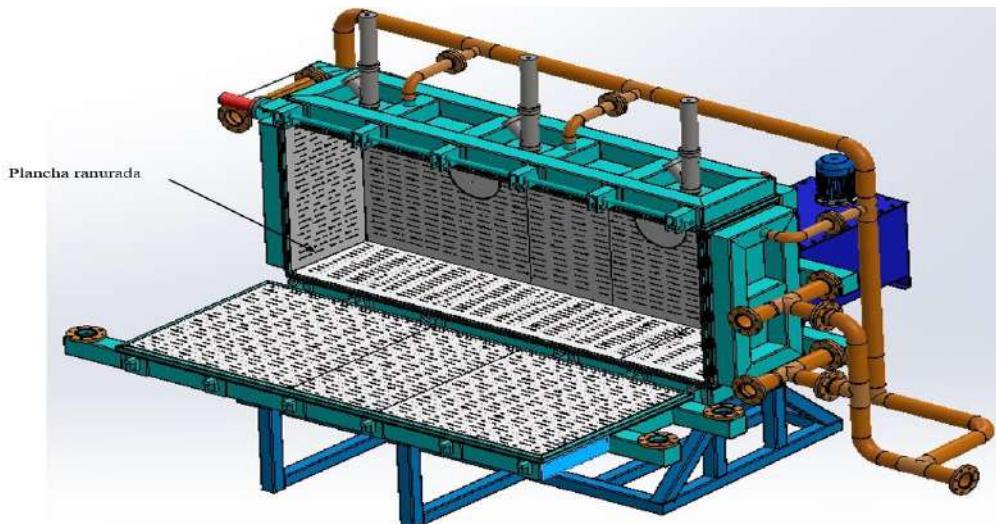
Elementos mecánicos de la máquina de moldeo se muestra en la vista isométrica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

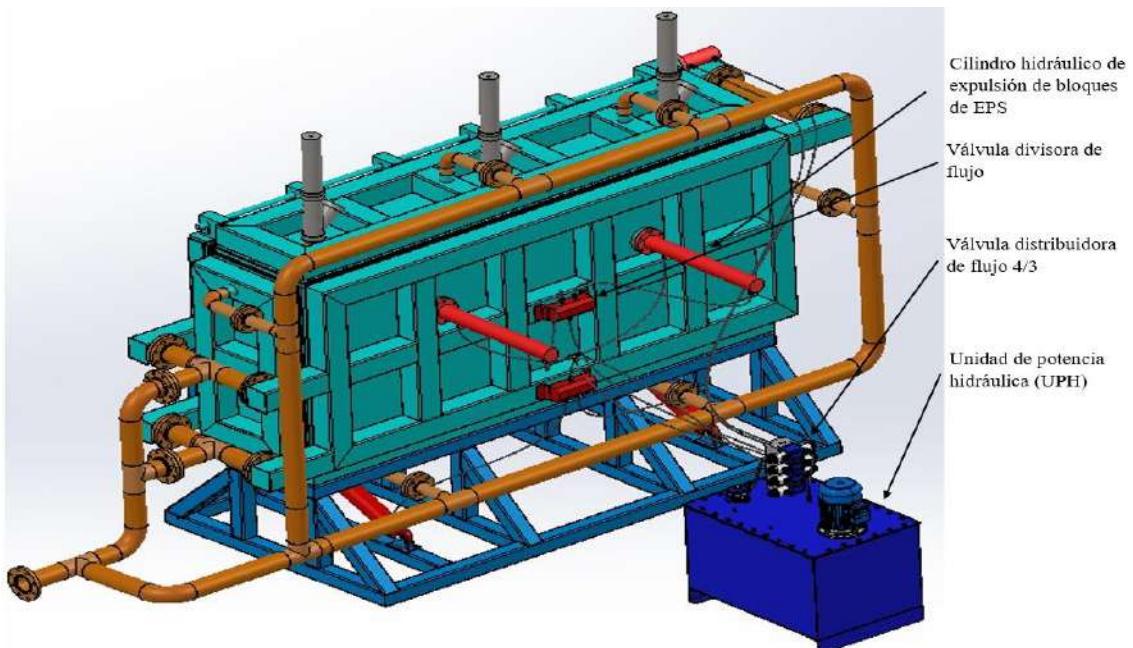
Elementos mecánicos de la máquina de moldeo se muestra la parte interna de la máquina de moldeo.



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.

| PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A 36 | |
|--|---|
| Esfuerzo de fluencia | 2530 kg/cm ² (250 MPa) |
| Resistencia a la tracción | 400 – 550 MPa |
| Módulo de elasticidad (E) | 2000000 kg/cm ² (196.13 GPa) |
| Relación de Poisson (v) | 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.

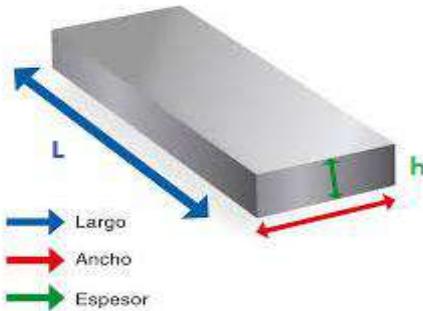
Para este cálculo se utilizará la teoría de placas y envolventes delgadas el cual menciona dos casos:

- 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 “ α ” y “ u ” para así utilizar la Tabla 12.

Determinamos la cantidad de α 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.

| u | ψ_1 | ψ_2 |
|----------|----------------------------|----------------------------|
| 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 ψ_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.

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

El esfuerzo de extensión la calculamos usando la ecuación 5

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 ψ_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.

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

La fatiga de extensión se determina con la ecuación 10.

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

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

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

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

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

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 empotradados 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:

α_1 : coeficiente de dilatación térmica es $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$.

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

E : módulo de elasticidad es 2000000 kg/cm^2 (196133 MPa).

ν : relación de Poisson 0.26.

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

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

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

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.

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

| Espesos 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 | δ_0 | α | u | ψ_1 | M_{max} | σ'_x | σ''_x | σ_{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 | $\delta_{0,emp}$ | α_{emp} | u_{emp} | ψ_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 kg/cm^2 (248.108 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.

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

Donde:

L_p : longitud de la plancha 3082.32 mm .

N^o_R : número de rigidizadores.

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

L_D : lado del ducto cuadrado 150 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 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 | δ_0 | α | u | ψ_1 | M_{max} | σ'_x | σ''_x | σ_{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 | $\delta_{0,emp}$ | α_{emp} | u_{emp} | ψ_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^2 (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 critica 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.

| L = 45cm | | BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS | | | | | | | |
|-----------------|----------|------------------------------------|----------|------|----------|-----------|-------------|--------------|----------------|
| | D | δ_0 | α | u | $\psi 1$ | M_{max} | σ'_x | σ''_x | σ_{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.

| L= 45cm | | BORDES EMPOTRADOS | | | | | | | |
|----------------|----------|--------------------------|----------------|-----------|----------|------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | D | $\delta_{0,emp}$ | α_{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 | 2471.89 |
| 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 kg/cm^2 (237.114 MPa) el cual es inferior al límite elástico 2530 kg/cm^2 (248.108 MPa), con el cual se concluye que la longitud de separación entre rigidizadores será de 436.46 mm , espesor de plancha de 8 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.

| L= 43.646cm | | BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS | | | | | | | |
|--------------------|---------|------------------------------------|----------|------|----------|-----------|-------------|--------------|----------------|
| | D | δ_0 | α | u | $\psi 1$ | M_{max} | σ'_x | σ''_x | σ_{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 | 2448.37 |

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|------|------|------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 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.

| L = 43.646cm | | BORDES EMPOTRADOS | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------------------|----------------|-----------|----------|------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | D | $\delta_{0,emp}$ | α_{emp} | u_{emp} | ψ^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 | 2473.89 |
| 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/cm² (242.606 MPa) el cual es menor que el límite elástico del material ASTM A36. Los espesores que se pueden utilizar 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:

$L_{e,R}=436.46\text{mm}$.

$h= 8\text{mm}$.

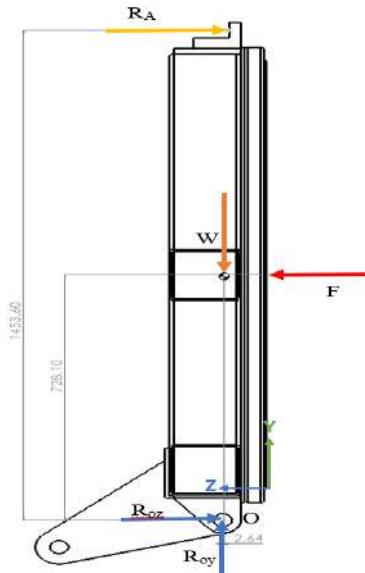
Rigidizador ducto 150x150x4mm.

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 ROY.

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

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.

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

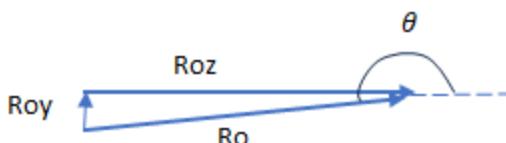
Entonces la cantidad de RO es:

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

En Figura 43 se muestra la fuerza resultante de RO.

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.

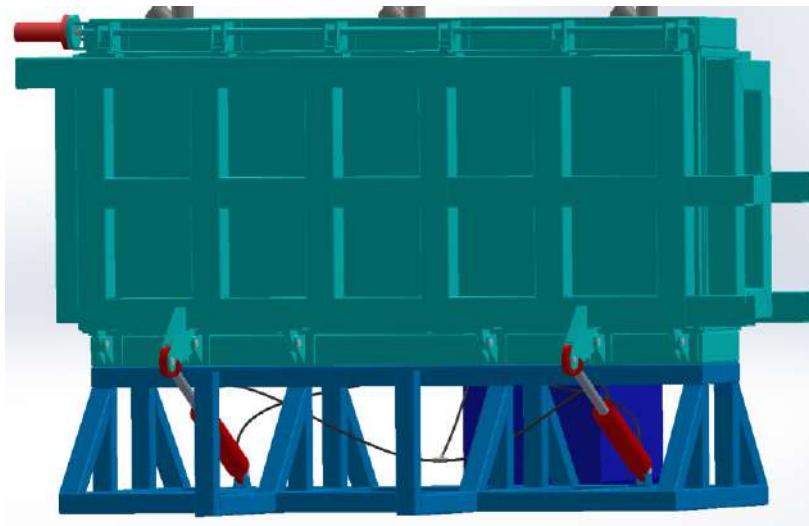
4.2.2.1 *Diseño del eje de bisagra*

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.

$$Ro' = Ro * \frac{1.2}{6} = 58.65 \text{ kN}$$

Figura 45

Cantidad de bisagras.



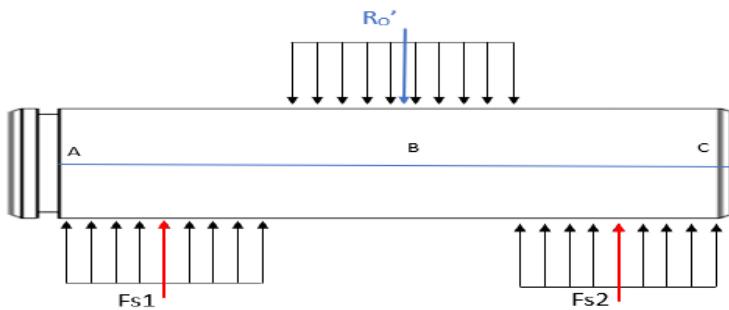
Fuente: Elaboración propia.

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:

$$-R'_0 + 2F_{s1} = 0$$

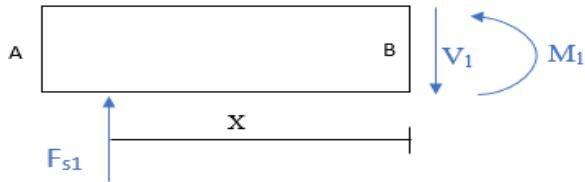
$$F_{s1} = 29.324 \text{ kN}$$

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.

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

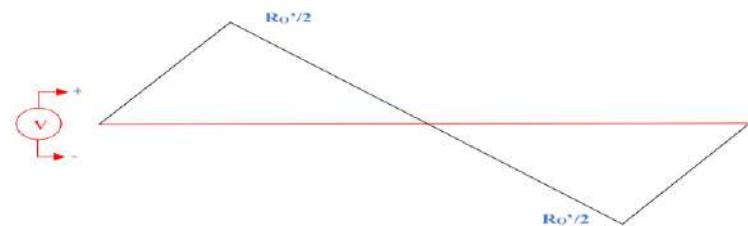
$$M_1 - F_{s1} * X = 0$$

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

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

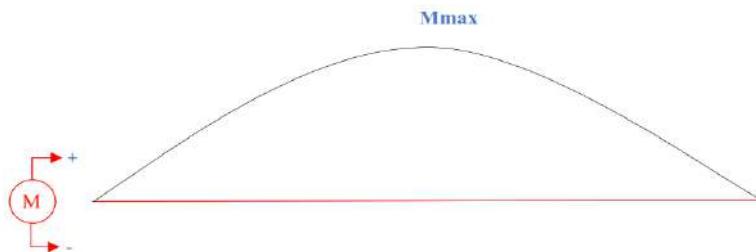
Diagrama de fuerza cortante.



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 | | CARACTERISTICAS MECANICAS EN ESTADO BONIFICADO | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|--|---|--|---|-----------------------|--------------------------------------|----|
| Max. N/mm ² | Dureza Brinell | Diámetro mm. | Límite de fluencia N/mm ² | Resistencia a la tracción N/mm ² | Elongación (L ₀ = 5d) % min. | Estriccción % min. | Resiliencia según DVM Joule | |
| 770 | 241 | 0 | 16 | 835 | 1030 – 1250 | 10 | 40 | 34 |
| | | 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: factor 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:

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

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:

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

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:

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

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

Se calcula el factor de seguridad con la ecuación 41.

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

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

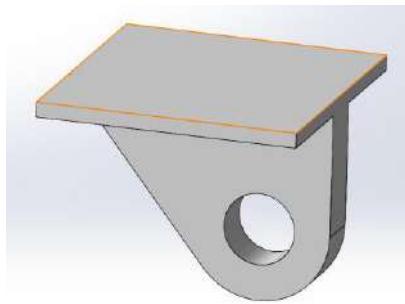
De donde se concluye que eje de la bisagra no falla.

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:

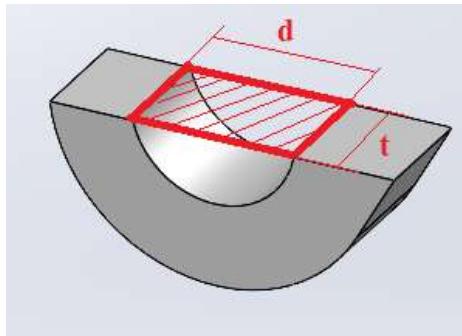
$$\sigma_{ap} \leq \sigma_{adm,A36}$$

$$n_{ap} = \frac{S_Y \text{ plancha}}{\sigma_{ap} \text{ plancha}}$$

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:

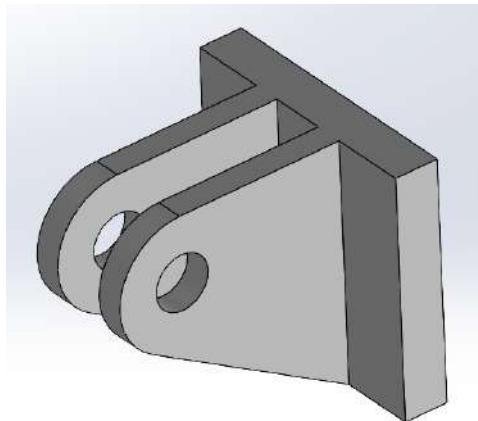
$$n_{ap} = \frac{250 \text{ MPa}}{61.572 \text{ MPa}} = 4.06$$

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 la Figura 52.

Figura 52

Soporte fijo de bisagra de la puerta del molde.

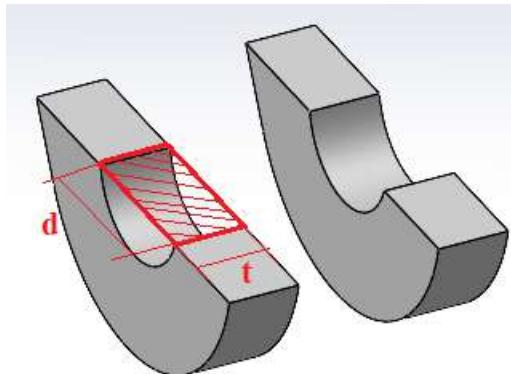


Fuente: Elaboración propia.

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: $(MT)_{\text{agujero}} = 25 \mu\text{m}$
- Posición de tolerancia según ISO 286: $(PT)_{\text{agujero}} = 0 \mu\text{m}$

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

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

Eje 38.1 f7.

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

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

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

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

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

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

Por lo tanto, la tolerancia de ajuste es:

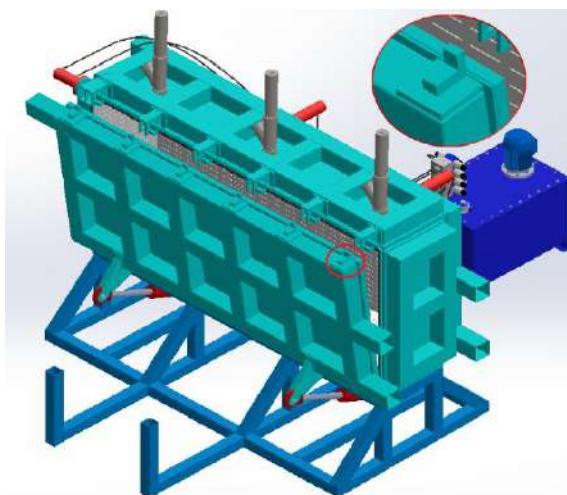
$$T_{juego} = J_{max} - J_{min} = 0.075\text{mm} - 0.025\text{mm} = 0.050\text{mm} = 50\mu m$$

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

| Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo a la tensión o esfuerzo ultimo (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) | Coeficiente de Poisson | Densidad (g/cm3) |
|----------------------------|---|-----------------------------|------------------------|------------------|
| 315 | 400 | 210 | 0.3 | 7.85 |

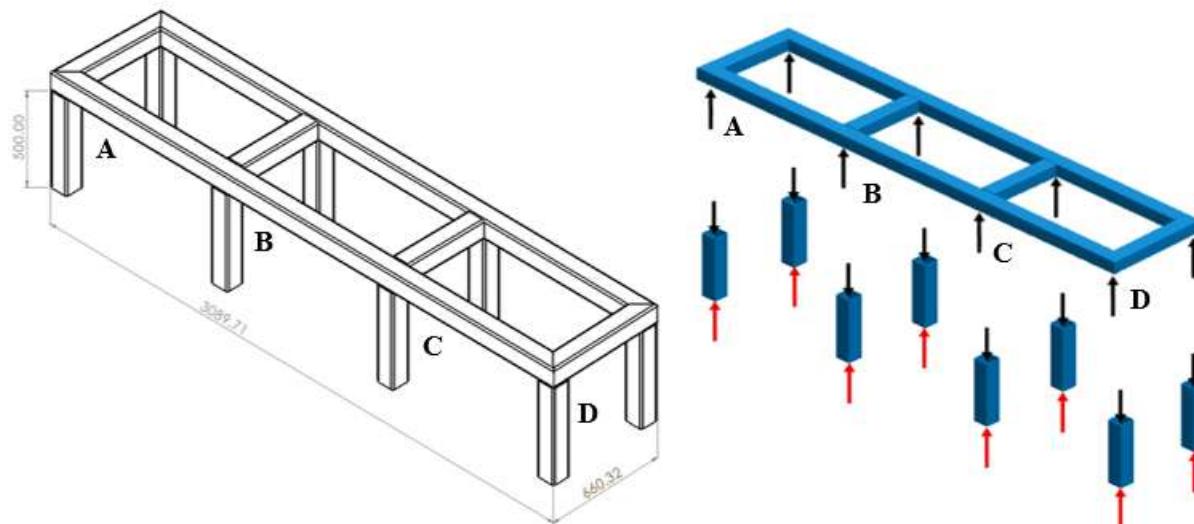
Fuente: Elaboración propia.

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:

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

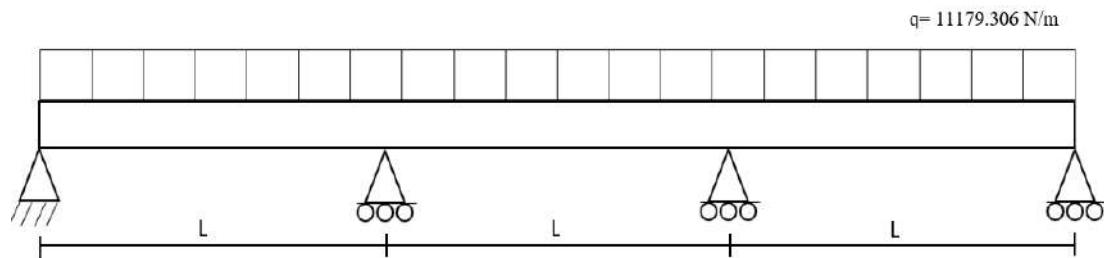
La carga distribuida que soporta la estructura base generada por el peso de la máquina de moldeo es:

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

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.

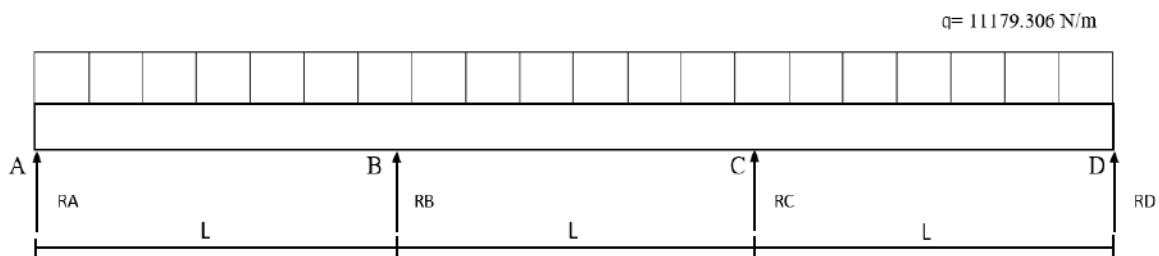
Donde:

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

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.

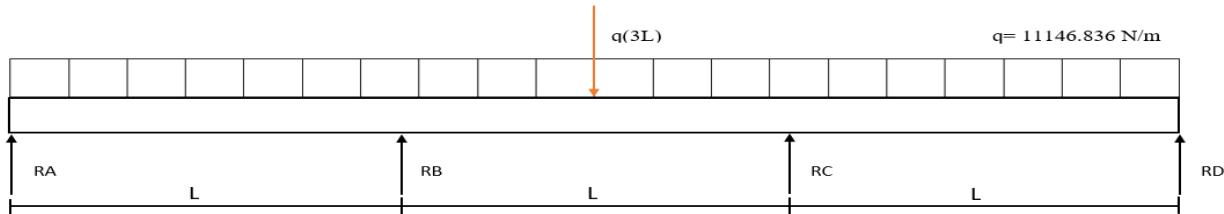
Por la simetría que guardan con respecto al centro de la viga en distancia y carga tenemos que

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

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:

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

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

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

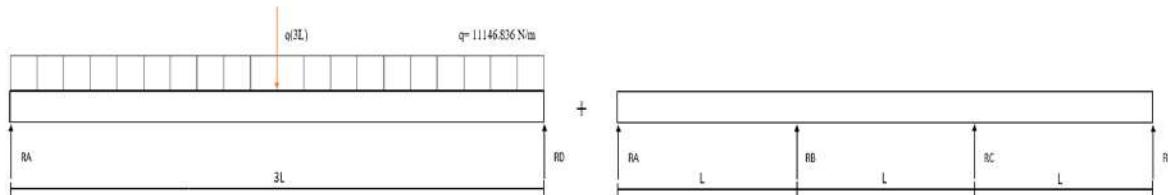
Como se observa la Figura 59 es una viga hiperestática el cual manifiesta que con las ecuaciones de equilibrio no se obtendrá el valor de las reacciones. Para obtener el valor de las reacciones se utiliza el método de superposición en vigas.

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 seria hacia abajo y la deflexión seria negativa mientas que en la segunda configuración la deflexión seria 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.

$$R_A = 4605.44 N$$

$$R_B = 12664.96 N$$

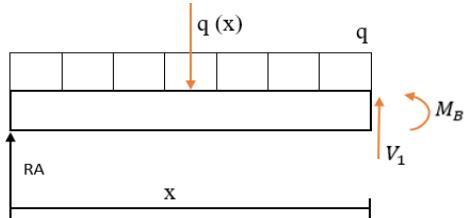
Se grafica el diagrama de fuerza cortante y momento flexionante, para lo cual se determina mediante tramos.

- 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:

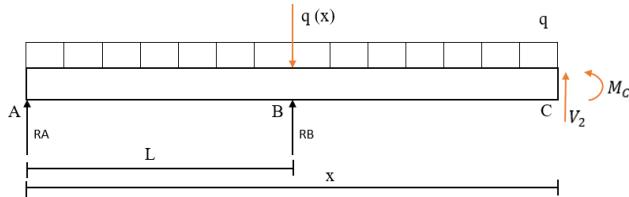
$$V_1 = \frac{3}{5}qL = \frac{3}{5} \left(11179.306 \frac{N}{m} \right) (1.029m) = 6908.16 N$$

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

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:

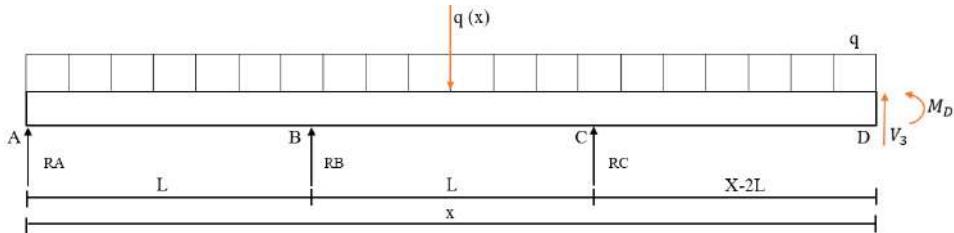
$$V_2 = \frac{qL}{2} = \frac{(11179.306 \frac{N}{m})(1.029m)}{2} = 5756.802 N$$

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

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:

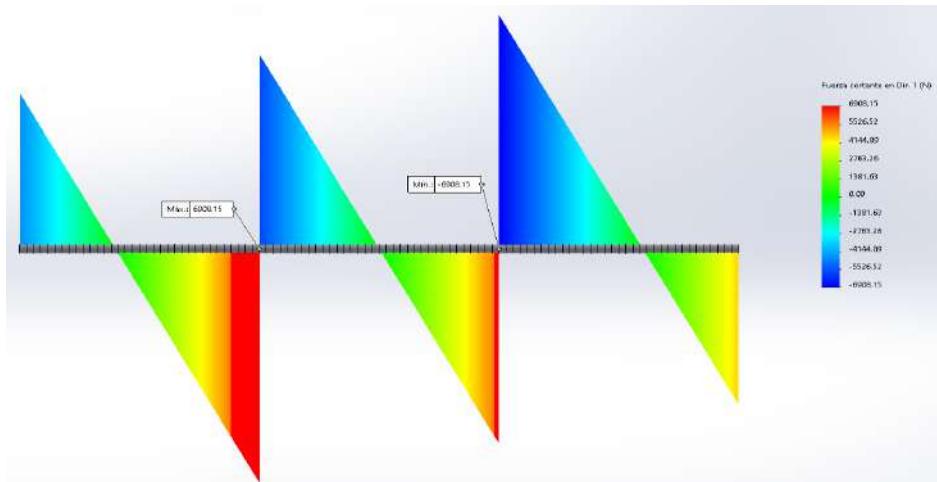
$$V_3 = \frac{2}{5}qL = \frac{2}{5}\left(11179.306 \frac{N}{m}\right)(1.029m) = 4605.44 N$$

$$M_D = 0$$

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

Figura 64

Diagrama de fuerza cortante.

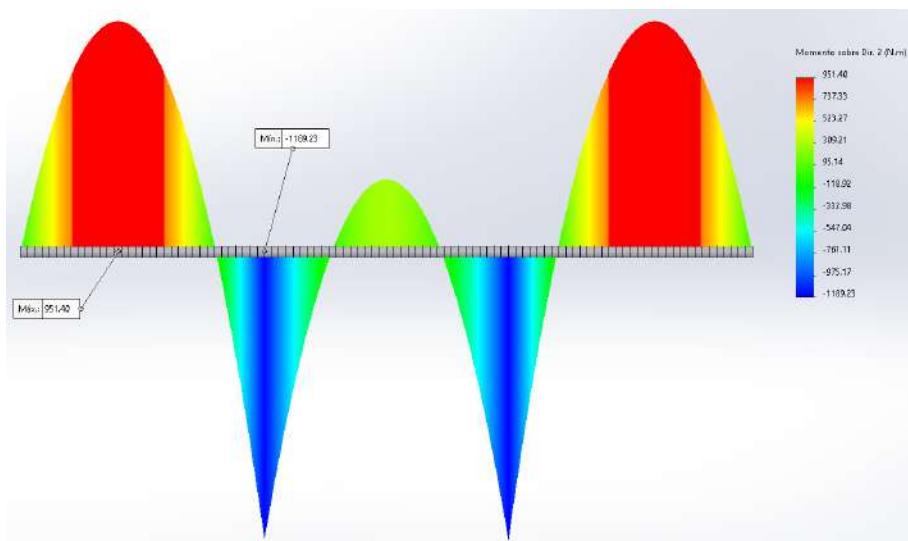


Fuente: Elaboración propia.

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:

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

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 cm^3 , al reemplazar las cantidades del momento máximo, factor de seguridad y el fuerzo 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^2 | kg/m | cm^4 | cm^3 | 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 |
| | 4,00 | 5,35 | 4,20 | 11,18 | 5,59 | 1,45 |
| 50 | 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 |
| | 3,00 | 5,41 | 4,25 | 19,50 | 7,80 | 1,90 |
| | 4,00 | 6,95 | 5,45 | 23,84 | 9,54 | 1,85 |
| 60 | 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 |
| | 3,00 | 6,61 | 5,19 | 35,17 | 11,72 | 2,31 |
| | 4,00 | 8,55 | 6,71 | 43,65 | 14,55 | 2,26 |
| 70 | 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 |
| | 3,00 | 7,81 | 6,13 | 57,56 | 16,45 | 2,72 |
| | 4,00 | 10,15 | 7,97 | 72,22 | 20,64 | 2,67 |
| 75 | 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: Catalogo 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 ²) | MOMENTO DE INERCIA | MÓDULO ELASTICO |
|-------------------------|--------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | I _{xx} (cm ⁴) | W _x (cm ³) |
| 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_{max}; 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 muestras 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 calculo y seleccionar el perfil esta dado por:

$$F_{eq} = R_B = 12664.96N$$

Figura 67

Estructura base de la máquina de moldeo (columna).



Fuente: Elaboración propia.

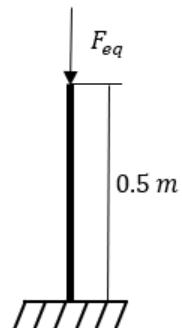
Una vez determinado la fuerza que se aplica a la columna procedemos a realizar el cálculo por pandeo para lo cual se requiere la longitud de la columna de la estructura base esta es:

$$L_{column} = 0.5 \text{ m}$$

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.

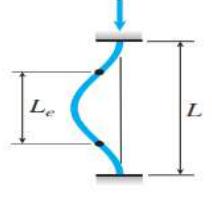
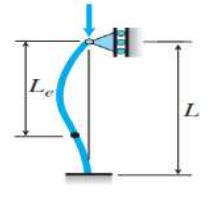
Para cálculo por pandeo se requiere determinar la longitud equivalente, el cual se determina con la ecuación 57.

$$L_{efe} = K * L \quad (57)$$

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 λ 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 | | | |
| | | | Momento de inercia | Módulo de resistencia | Radio de giro | |
| B | e | A | P | I | W | i |
| mm | mm | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | 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 |
| | 4.00 | 5.35 | 4.20 | 11.18 | 5.59 | 1.45 |
| 50 | 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 |
| | 3.00 | 5.41 | 4.25 | 19.50 | 7.80 | 1.90 |
| | 4.00 | 6.95 | 5.45 | 23.84 | 9.54 | 1.85 |
| 60 | 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 |
| | 3.00 | 6.61 | 5.19 | 35.17 | 11.72 | 2.31 |
| | 4.00 | 8.55 | 6.71 | 43.65 | 14.55 | 2.26 |
| 70 | 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 |
| | 3.00 | 7.81 | 6.13 | 57.56 | 16.45 | 2.72 |
| | 4.00 | 10.15 | 7.97 | 72.22 | 20.64 | 2.67 |
| 75 | 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 |
| 90 | 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: Catalogo 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 ²) | MOMENTO DE INERCIA I _{xx} (cm ⁴) | MÓDULO ELASTICO W _x (cm ³) | RADIO DE GIRO 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.

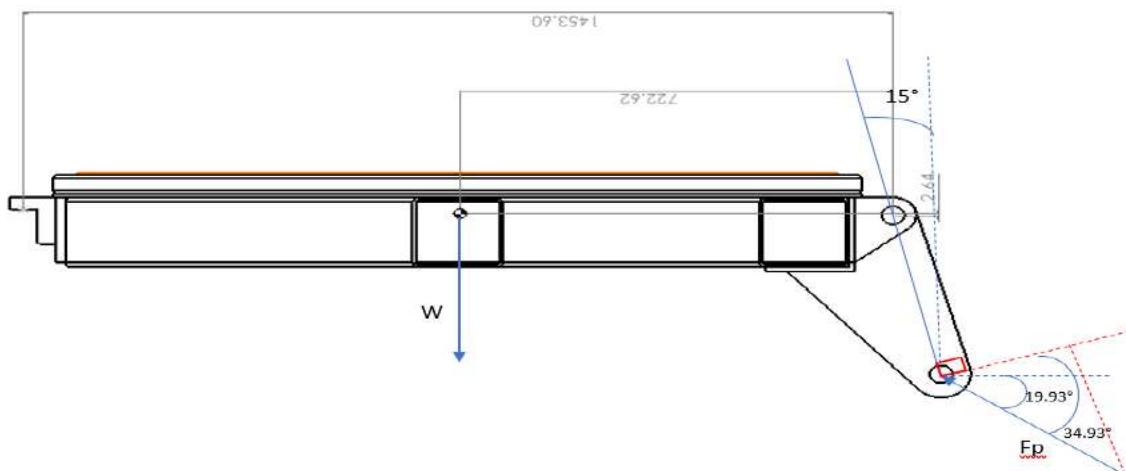
4.2.5 Cálculo para dimensionar el cilindro hidráulico.

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° 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:

$$P_{\max} = 200 \text{ bar} = 20 \text{ MPa}$$

$$P_{\max} = \frac{F_p}{\pi * D_e^2} \text{ por lo tanto; } D_e = \sqrt{\frac{4 * F_p}{\pi * P_{\max}}} = 32.03 \text{ mm}$$

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:

$$A = 0.003125 \text{ m}^2$$

$$m_{eje \ seguro} = 30.85 \text{ kg}$$

$$W_{eje \ seguro} = m * g = 302.639 \text{ N}$$

$$p_{e,s} = \frac{W_{e,s}}{6 * A} = 16140.74 \text{ Pa}$$

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 rotula 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 rotula | 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.

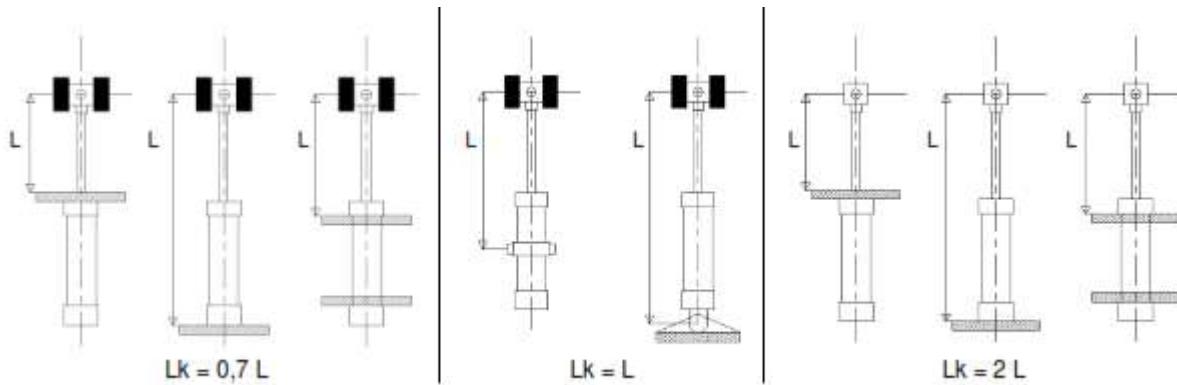
Para nuestro análisis la longitud efectiva es:

$$L_k = 840\text{mm} + 490\text{mm} = 1330$$

La Figura 72 muestra los tipos de sujeción que servirán 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.

$$\lambda > \lambda_g$$

$$\lambda = 4 * L_K$$

(62)

$$\lambda_g = \sqrt{\frac{E}{0.8 * S_y}}$$

(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).

λ : grado de esbeltez.

λ_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:

$$\lambda = 4 * L_K = 4 * 1330 = 5320 \text{ mm}$$

Se resuelve la ecuación 63 para obtener el grado de esbeltez admisible.

$$\lambda_g = \sqrt{\frac{210000 \text{ MPa}}{0.8 * 340 \text{ MPa}}} = 27.786$$

De la condición se cumple $\lambda > \lambda_g$

Con la ecuación 61 se determina la fuerza de pandeo.

$$F = \frac{\pi^2 * 210000 \text{ MPa} * \pi * 32^4 \text{ mm}^4}{64 * 3.5 * 1330^2 \text{ mm}^2} = 17.23 \text{ kN}$$

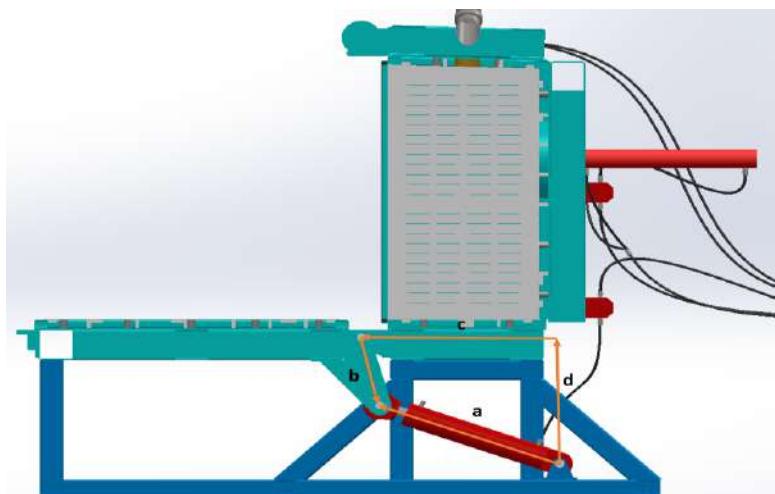
Donde se comprueba que $F_P = 13.35 < 17.23 \text{ kN}$; del cual se concluye que el cilindro hidráulico no fallara por pandeo.

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 determinar el análisis cinemático de posicionamiento, velocidades y aceleración del cilindro hidráulico.

Figura 73

Trazo del lazo vectorial.



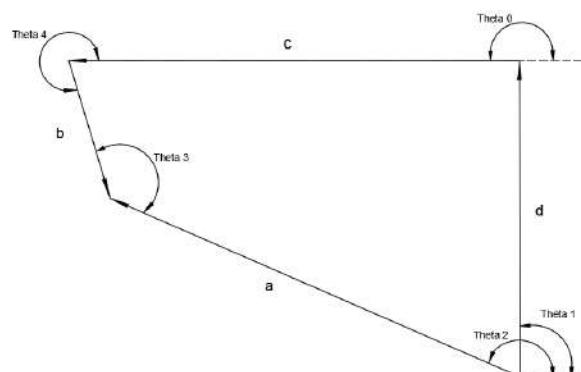
Fuente: Elaboración propia.

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.

$$\begin{aligned} -aw_2^2\cos\theta_2 - w_2\dot{a}\sin\theta_2 - a\alpha_2\sin\theta_2 - w_2\dot{a}\sin\theta_2 + \ddot{a}\cos\theta_2 + bw_4^2\cos\theta_4 + b\alpha_4\sin\theta_4 &= (6) \\ -aw_2^2\sin\theta_2 + w_2\dot{a}\cos\theta_2 + a\alpha_2\cos\theta_2 + w_2\dot{a}\cos\theta_2 + \ddot{a}\sin\theta_2 + bw_4^2\sin\theta_4 - b\alpha_4\theta_4 &= (7) \end{aligned}$$

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= 1330mm. 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.

$$V_{cil} = \frac{\text{carrera del vastago}}{\text{tiempo de salida del vastago}} \quad (68)$$

$$V_{cil} = \frac{490\text{mm}}{9\text{s}} = 54.44 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 0.0544 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

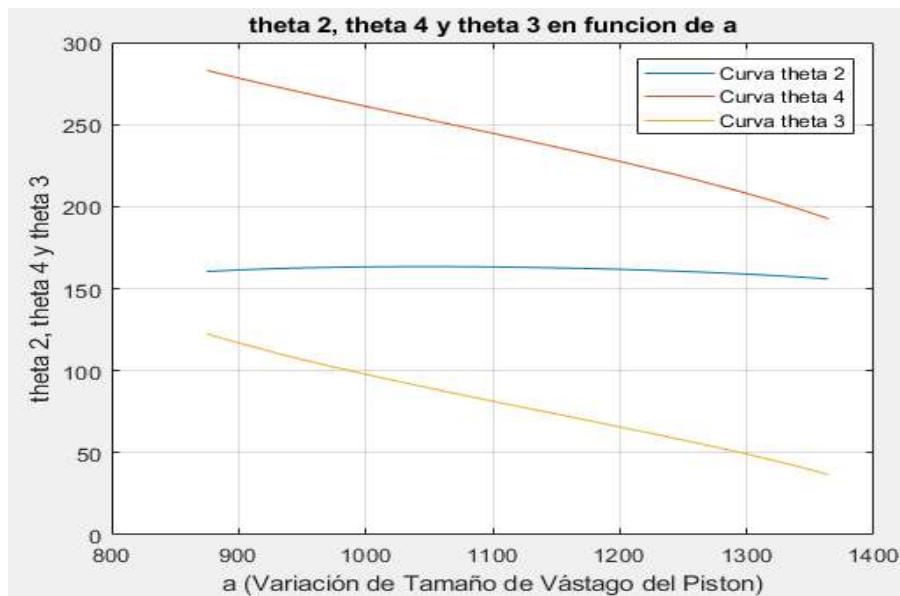
A continuación, se muestra la Tabla 27 donde se muestra los valores del análisis cinemático del mecanismo.

Tabla 27

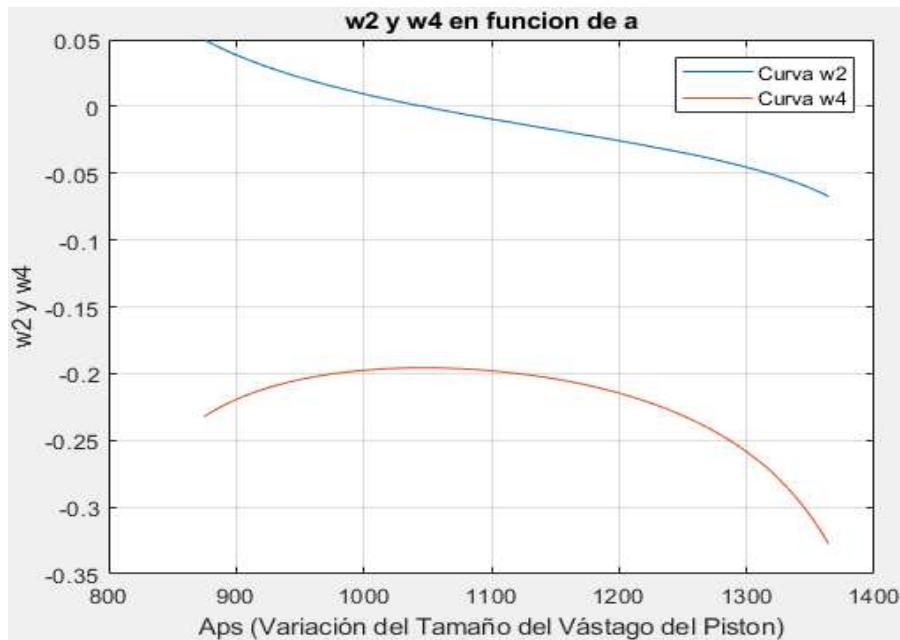
Valores de posición, velocidad y aceleraciones al inicio y final.

| a (mm) | θ2 (°) | θ4 (°) | θ3 (°) | W2 (rad/s) | W4 (rad/s) | α2 (rad/s²) | α4 (rad/s²) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|
| 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*

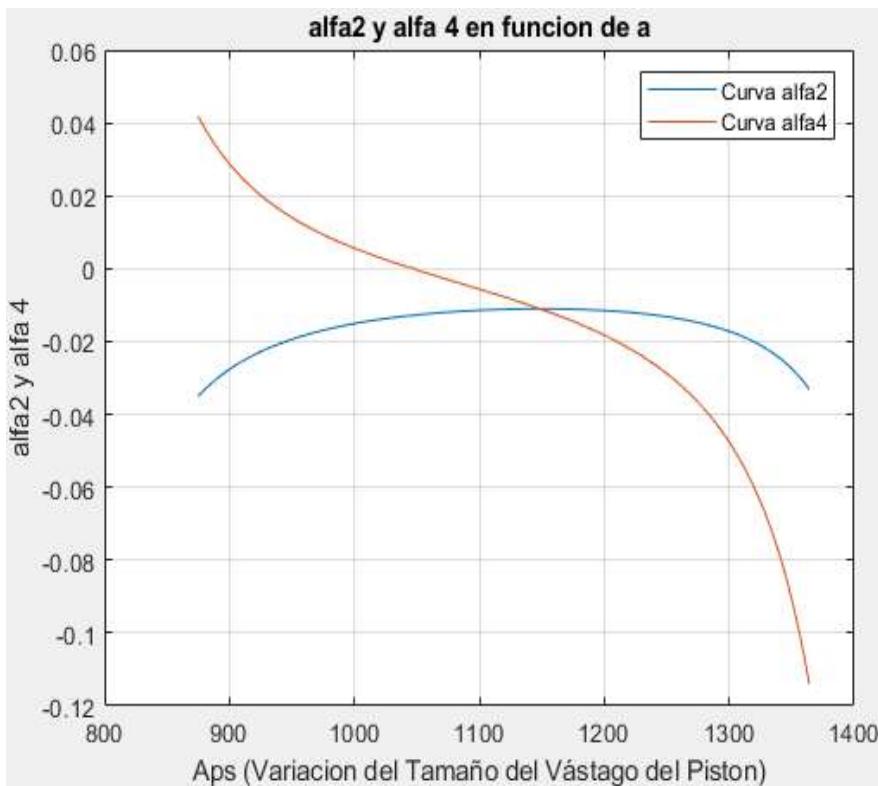
Fuente: Elaboración propia.

Figura 76*Velocidades angulares del cilindro hidráulico*

Fuente: Elaboración propia.

Figura 77

Aceleraciones angulares



Fuente: Elaboración propia.

De las 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*

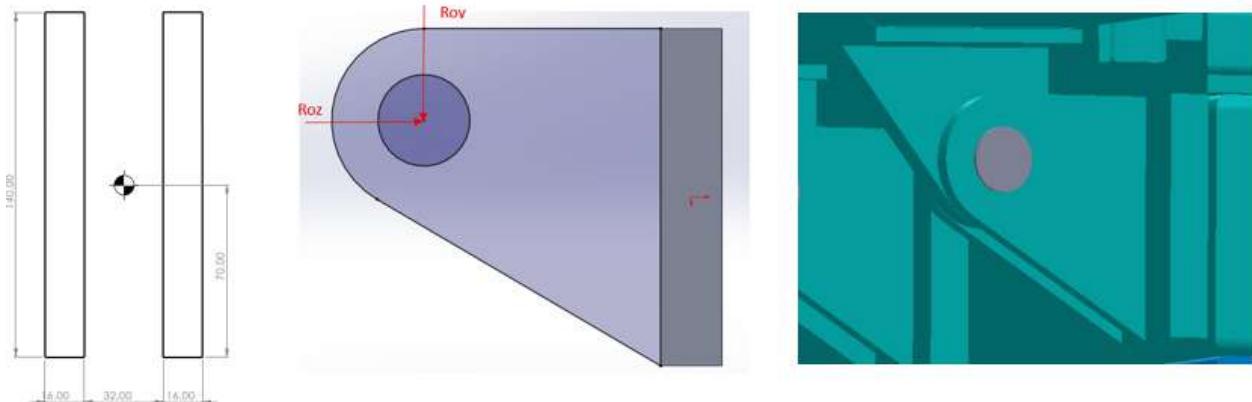
4.2.7.1 *Cálculo de la unión soldada de la bisagra*

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.

$$f_s = \frac{R'_{oy}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oy}}{2 * \text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{2.08kN}{2 * 0.016m * 0.14m} = 0.465MPa$$

- Carga por compresión directa.

$$f'_w = \frac{R'_{oz}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oz}}{2 * \text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{58.61kN}{2 * 0.016m * 0.14m} = 13.083MPa$$

- Carga por flexión.

$$f_w'' = \frac{M * C}{I_{wx}}$$

$$M = R'_{oy} * (97.7 \text{ mm}) = 2.08 \text{ kN} * 97.7 \text{ mm} = 203.328 \text{ kN-mm}$$

$$C = 70 \text{ mm}$$

$$I_{wx} = \frac{1}{6} e * d^3 = \frac{16 * 140^3}{6} = 7317333.33 \text{ mm}^4$$

Determinamos la carga por flexión producto de R'_{oy}

$$f_w'' = \frac{203.328 \text{ kN-mm} * 70 \text{ mm}}{7317333.33 \text{ mm}^4} = 1.945 \text{ MPa}$$

Determinamos la carga por flexión producto de R'_{oz} .

$$M = R'_{oz} * (70 - 38.1) \text{ mm} = 58.61 \text{ kN} * 31.9 \text{ mm} = 1869.669 \text{ kN-mm}$$

$$f_{w1}'' = \frac{1869.669 \text{ kN-mm} * 70 \text{ mm}}{7317333.33 \text{ mm}^4} = 17.886 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura, el cual nos permitirá ver el punto más crítico.

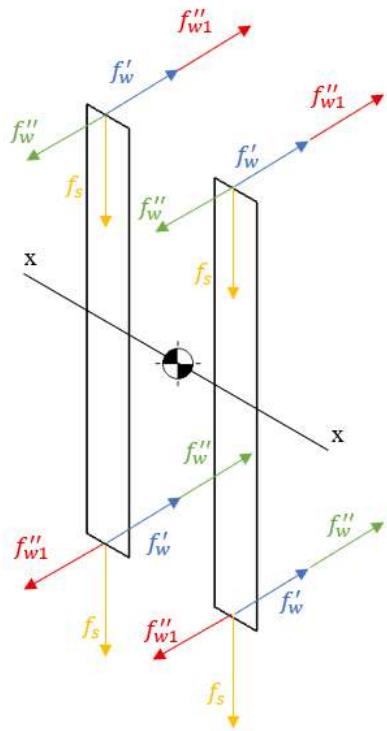
$$f'_w + f''_1 - f''_w = 13.083 \text{ MPa} + 17.886 \text{ MPa} - 1.945 \text{ MPa} = 29.023 \text{ MPa}$$

$$f'_w + f''_w - f''_1 = 13.083 \text{ MPa} + 1.945 \text{ MPa} - 17.886 \text{ MPa} = -2.858 \text{ MPa}$$

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.

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f'_w + f''_w - f'_s)^2 + 3 * (f_s)^2}$$

$$f_w = \sqrt{(f'_w + f''_w - f'_s)^2 + 3 * (f_s)^2} = \sqrt{(29.023 \text{ MPa})^2 + 3 * (0.465 \text{ MPa})^2} = 29.035 \text{ MPa}$$

- 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 $W = 29.035/102.248 = 4.54 \text{ mm}$, 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 $\frac{1}{4}$ | $\frac{3}{16}$ |
| Mayor que $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4}$ |
| [†] Mayor que $\frac{3}{4}$ | $\frac{5}{16}$ |
| Mayor que $1\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{8}$ |
| Mayor que $2\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ |
| Mayor que 6 | $\frac{5}{8}$ |

Fuente: (Budynas & 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.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393MPa}{29.035MPa} = 13.54$$

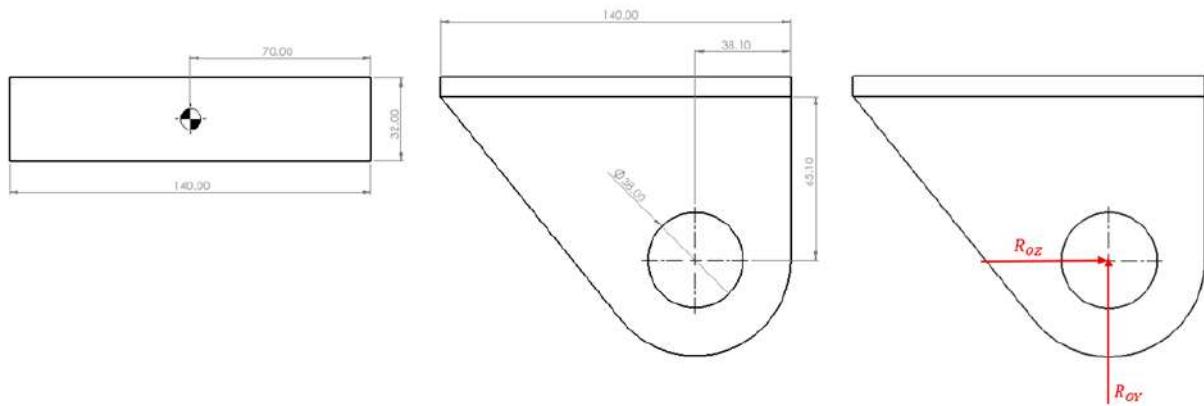
Podemos observar que $n \geq n_d$, es decir $13.54 \geq 3$ el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

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 $R_{oy} = 10.406$ kN y $R_{oz} = 293.052$ kN se considera un 20% de exceso de carga. Siendo esta:

$$R'_{oy} = \frac{1.2 * R_{oy}}{6} = \frac{1.2 * 10.406}{6} = 2.08 \text{ kN} ; R'_{oz} = \frac{1.2 * R_{oz}}{6} = \frac{1.2 * 293.052}{6} = 58.61 \text{ kN}$$

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.

$$f'_w = \frac{R'_{oy}}{A_{efectiva}} = \frac{R'_{oy}}{\text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{2.08kN}{0.032m * 0.14m} = 0.465MPa$$

- 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.

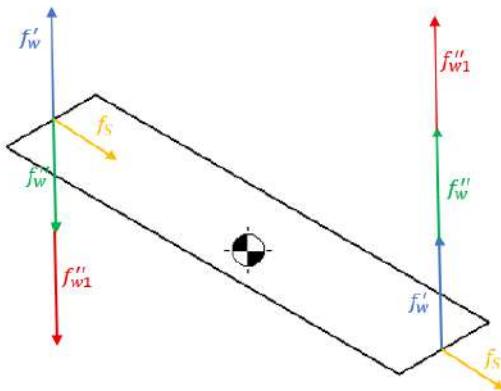
$$f'_w + f''_{w1} + f''_w = 0.465MPa + 0.318MPa + 18.25MPa = 19.032MPa$$

$$f''_w + f''_{w1} - f'_w = 18.25MPa + 0.318MPa - 0.465MPa = 18.103MPa$$

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.

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f'_w + f''_w - f''_w)^2 + 3 * (f_s)^2}$$

$$f_w = \sqrt{(f'_w + f''_w + f''_w)^2 + 3 * (f_s)^2} = \sqrt{(19.032 \text{ MPa})^2 + 3 * (13.083 \text{ MPa})^2} = 29.592 \text{ MPa}$$

- 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.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ MPa}}{29.592 \text{ MPa}} = 8.45$$

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 $S_y = 393 \text{ MPa}$, para el cual se halla el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393 \text{ MPa}}{29.592 \text{ MPa}} = 13.28$$

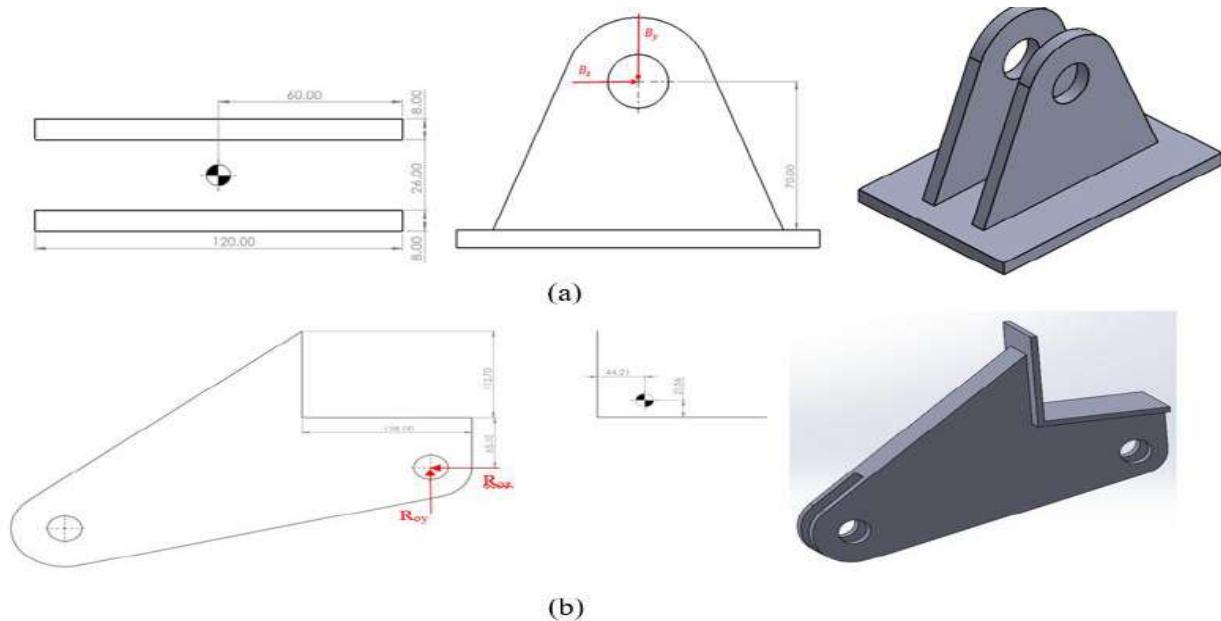
Podemos observar que $n \geq n_d$, es decir $13.28 \geq 3$ el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

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:

$$f_s = \frac{B_z}{A_{efectiva}} = \frac{B_z}{2 * \text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{15.154 \text{ kN}}{2 * 0.08 \text{ m} * 0.12 \text{ m}} = 7.893 \text{ MPa}$$

- Carga por compresión directa.

$$f'_w = \frac{B_y}{A_{efectiva}} = \frac{B_y}{2 * \text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{5.49 \text{ kN}}{2 * 0.08 \text{ m} * 0.12 \text{ m}} = 2.859 \text{ MPa}$$

- Carga por flexión:

$$f''_w = \frac{M * C}{I_{wx}}$$

$$M = B_z * (70 \text{ mm}) = 15.154 \text{ kN} * 70 \text{ mm} = 1060.78 \text{ kN-mm}$$

$$C = 60 \text{ mm}$$

$$I_{wx} = \frac{1}{6} e * d^3 = \frac{8 * 120^3}{6} = 2304000 \text{ mm}^4$$

Determinamos la carga por flexión producto de B_z .

$$f''_w = \frac{1060.78 \text{ kN-mm} * 60 \text{ mm}}{2304000 \text{ mm}^4} = 27.624 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura, el cual nos permitirá ver el punto más crítico.

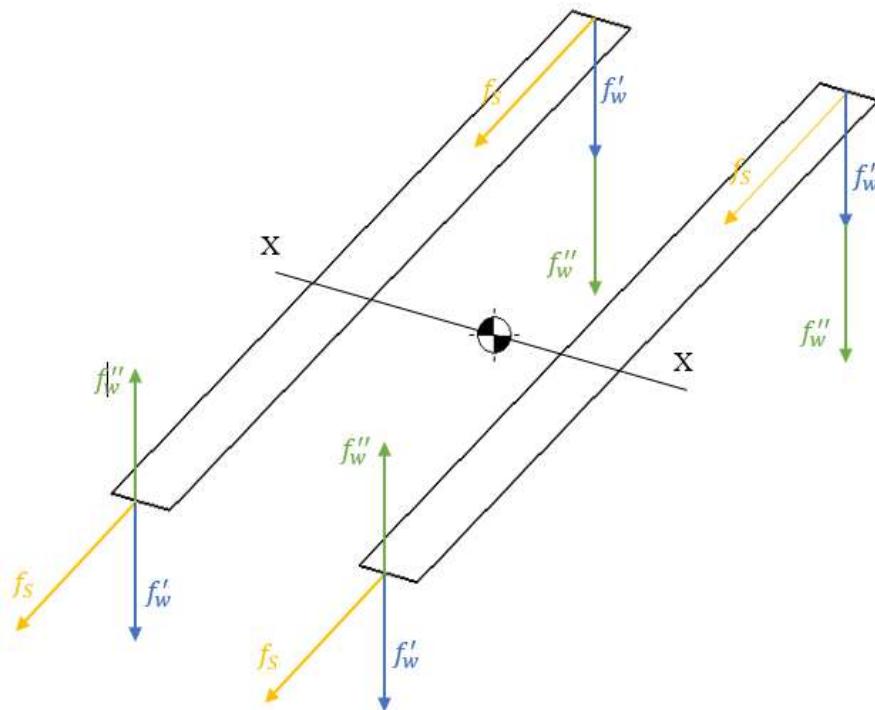
$$f'_w + f''_w = 2.859 \text{ MPa} + 27.624 \text{ MPa} = 30.483 \text{ MPa}$$

$$f'_w - f''_w = 2.859 \text{ MPa} - 27.624 \text{ MPa} = -24.765 \text{ MPa}$$

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:

$$b = 112.7 \text{ mm}$$

$$d = 158 \text{ mm}$$

$$N_y = \frac{b^2}{2(b+d)} = 21.56 \text{ mm}$$

$$N_x = \frac{d^2}{2(b+d)} = 44.21 \text{ mm}$$

Las reacciones en la puerta de la bisagra donde la fuerza es más crítica son cuando se encuentra en la posición cerrada teniendo:

$$R_{oy} = 1.04 \text{ kN} ; R_{oz} = 29.305 \text{ kN}$$

Se determina las cargas en el cordón de la soldadura por lo tanto se tiene:

- Carga de corte directo en la vertical:

$$f_{WV}' = \frac{R_{oy}}{A_{efectiva}} = \frac{1.04 \text{ kN}}{112.7 * 12.7} = 0.726 \text{ MPa}$$

- Carga por corte directo en la horizontal:

$$f_{WH}' = \frac{R_{oz}}{A_{efectiva}} = \frac{29.305 \text{ kN}}{158 * 12.7} = 14.604 \text{ MPa}$$

- Carga por torsión:

$$f_w'' = \frac{T * C_v}{J_w}$$

$$T = 29.305(65.1 + 21.56) + 1.04(158 - 44.21) = 2657.913 \text{ kN-mm}$$

$$C_v = 158 - 44.21 \text{ mm}$$

$$J_w = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)} = 1067383.043 \text{ mm}^3$$

Determinamos la carga por torsión respecto a la horizontal.

$$f_w'' = \frac{2657.913 \text{ kN-mm} * (158 - 44.21) \text{ mm}}{(1067383.043 \text{ mm}^3)(12.7 \text{ mm})} = 22.31 \text{ MPa}$$

Determinamos la carga por torsión respecto a la vertical.

$$f_w'' = \frac{2657.913kN - mm * (21.56)mm}{(1067383.043 \text{ mm}^3)(12.7\text{mm})} = 4.227 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestra las cargas sobre la soldadura en el punto más crítico:

$$f_w = \sqrt{(14.604 + 22.31)^2 + (0.726 + 4.227)^2} = 37.244 \text{ MPa}$$

- Tamaño del cordón de soldadura

$$W = \frac{f_w}{S_w} * t; S_w = 0.3 * \cos(45^\circ) * S_{ut} = 102.247 \text{ MPa}$$

Donde $W = (37.244/102.248) * 12.7\text{mm} = 4.626\text{mm}$, 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 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.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ MPa}}{37.244 \text{ MPa}} = 6.71$$

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 $S_y = 393 \text{ MPa}$, para el cual se halla el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{393 \text{ MPa}}{37.244 \text{ MPa}} = 10.552$$

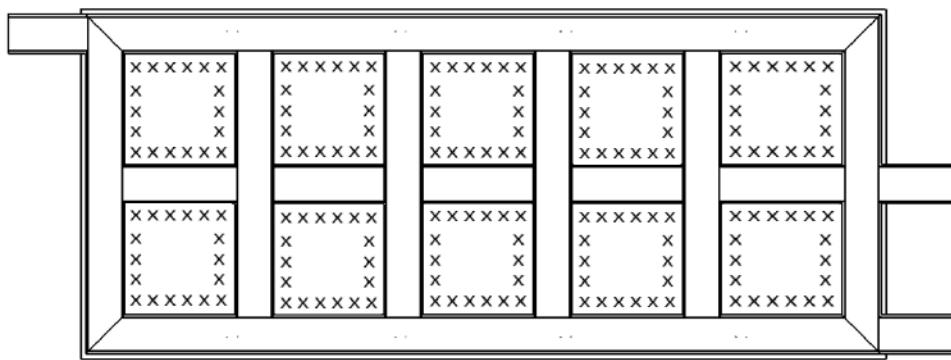
Podemos observar que $n \geq n_d$, es decir $10.552 \geq 3$ el material base tiene una resistencia satisfactoria el cual nos indica que la bisagra no fallara por soldadura.

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

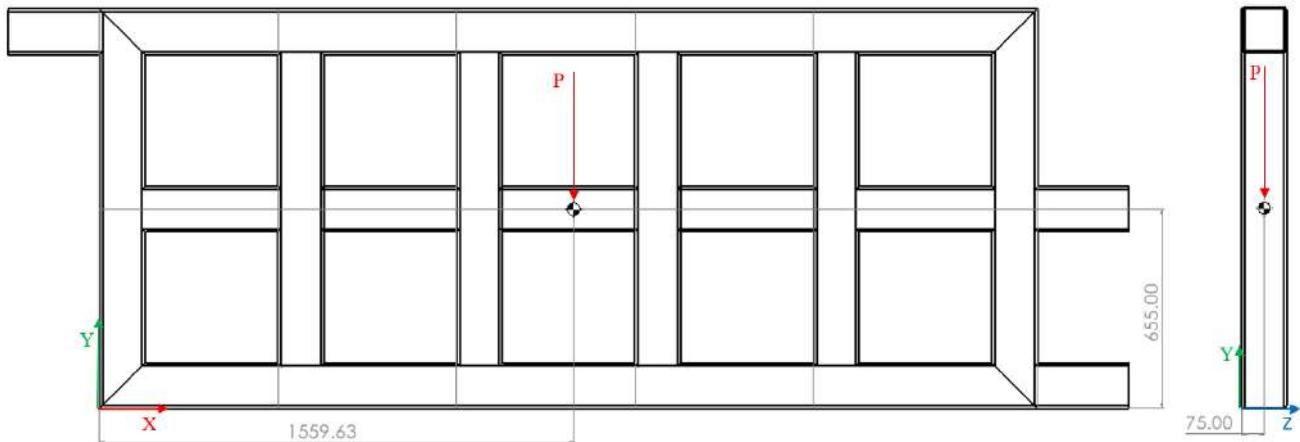
Representación didáctica del cordón de soldadura.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85

Ubicación del centro de masa del ducto cuadrado de 150mmX1500mmX4mm.

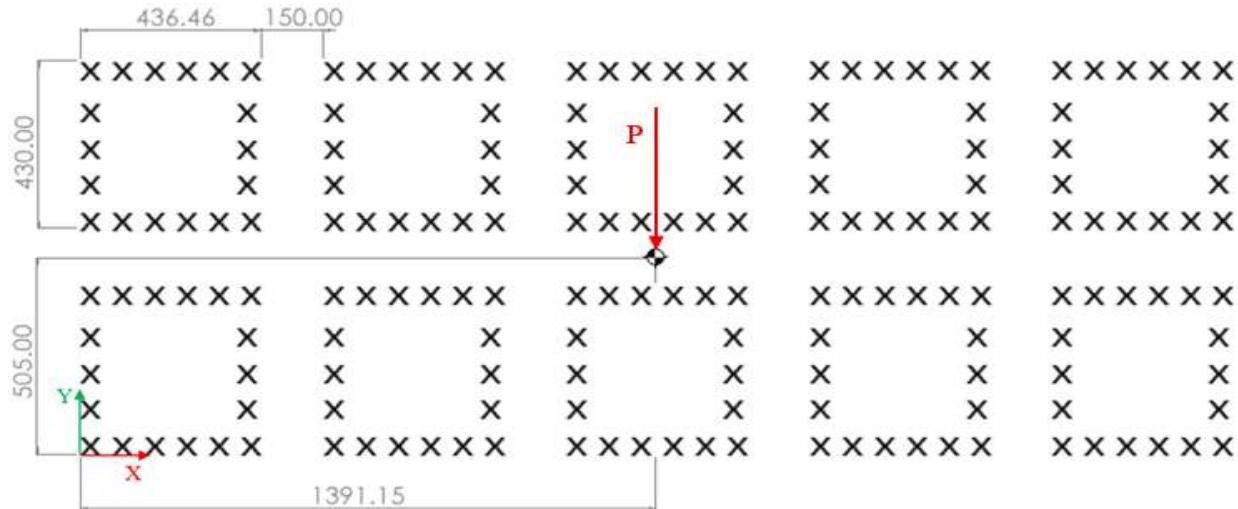


Fuente: Elaboración propia.

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.



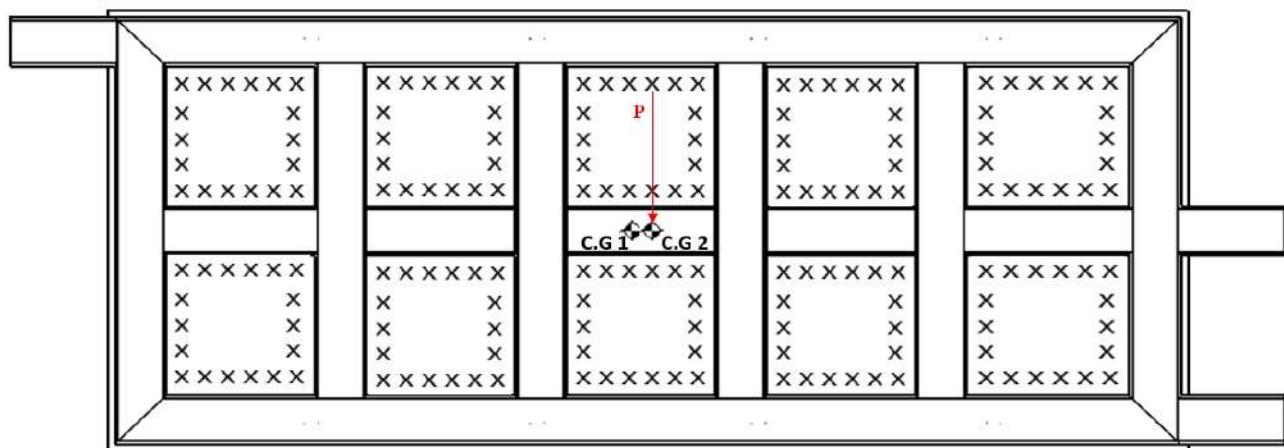
Fuente: Elaboración propia.

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:

$$P = 561.07 \text{ kg} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 1.2 = 6604.92 \text{ N}$$

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

$$f_s = \frac{P}{A_{\text{efectiva}}} = \frac{P}{\text{espesor} * \text{long. sold}} = \frac{6604.92 \text{ N}}{8 \text{ mm} * (20 * 436.46 + 20 * 430) \text{ mm}} = 0.048 \text{ MPa}$$

- Carga por torsión:

$$f'_w = \frac{T * C}{J_w}$$

$$T = P * (18.47) = 6604.92 \text{ N} * 18.47 \text{ mm} = 121992.8 \text{ N-mm}$$

La distancia al punto crítico de soldadura

$$C = \sqrt{(1391.16 \text{ mm})^2 + (505 \text{ mm})^2} = 1479.98 \text{ mm}$$

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.

$$I_{wx} = e * \left[\frac{5}{2} * [b * (2c + a)^2 + ba^2] + 5 * \left[\frac{c^3}{3} + c(a + c)^2 \right] \right] \text{ mm}^4$$

$$I_{wx} = 15947320661 \text{ mm}^4$$

$$I_{wy} = \left[4 * \left[5 * \frac{b^3}{12} + 10b(a+b)^2 \right] + c * [(4a+5b)^2 + (4a+3b)^2 + (2a+3b)^2 + (2a+b)^2 + b^2] \right]$$

$$I_{wy} = 99748964982 \text{ mm}^4$$

$$J_w = 15947320661 \text{ mm}^4 + 99748964982 \text{ mm}^4 = 115696285643.66 \text{ mm}^4$$

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.

$$f_s + f'_w * \cos(19.95) = 0.048 \text{ MPa} + 0.00156 * \cos(19.95) \text{ MPa} = 0.049 \text{ MPa}$$

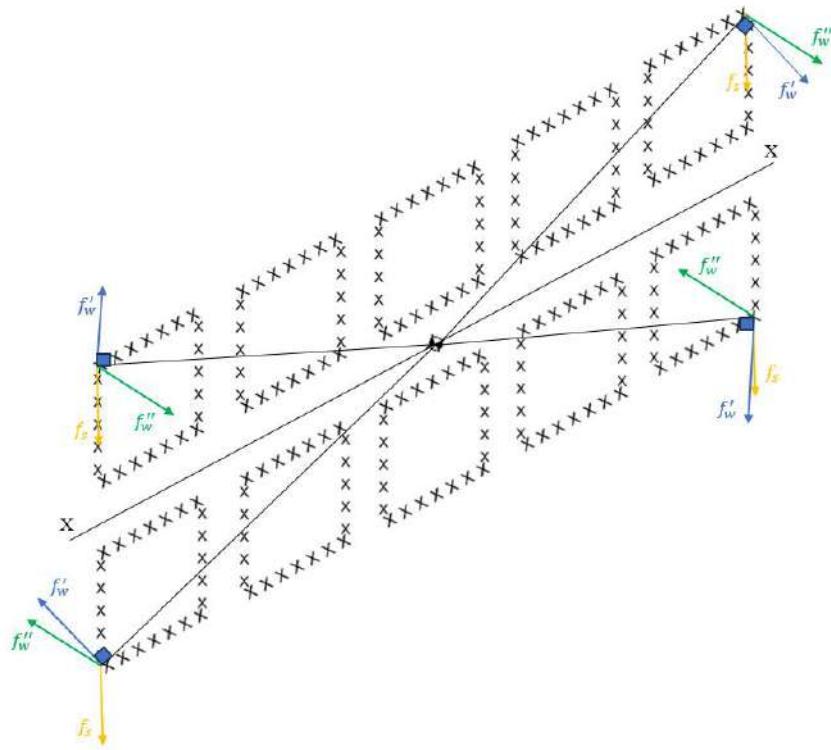
$$f'_w * \sin(19.95) = 0.00156 * \sin(19.95) \text{ MPa} = 0.0005 \text{ MPa}$$

$$f_{s, total} = \sqrt{0.049^2 + 0.0005^2} = 0.0492 \text{ MPa}$$

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.

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(f_w'')^2 + 3 * (f_{s,total})^2}$$

$$f_w = \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{(0.0156)^2 + 3 * (0.0492)^2} = 0.086 \text{ MPa}$$

- 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 $W=0.086/102.248=0.006\text{mm}$, 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.

$$R = \frac{W_{calculado}}{W_{a\ usar}} \times 100\%$$

$$R = \frac{0.006}{4.7625} \times 100\% = 0.126\%$$

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**

| R % | LONGITUD Y PASO ENTRE CORDONES (PULGS) | | |
|------------|---|--------|--------|
| 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 utilizará la máquina de moldeo para la producción de bloques de EPS de 2.4 m^3 con una densidad de 15 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: $F_p=13.35*1.5=20.026 \text{ kN}$.
- Fuerza de empuje para la expulsión del bloque de EPS: $F_e=264.87*1.5=397.305 \text{ N}$.
- Fuerza de empuje para el asegurado de la puerta: $F_{e,s}=408.562*1.5=612.843 \text{ N}$.

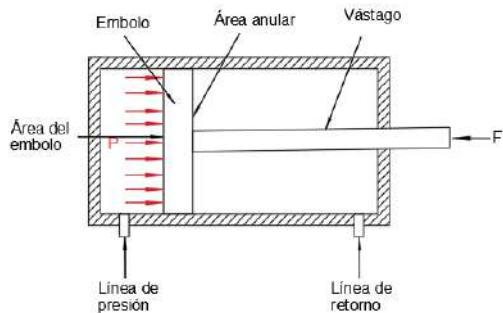
En el caso de la fuerza del cilindro hidráulico para la puerta y de expulsión del bloque de EPS se define una carga máxima individual, ya que podrá trabajar por encima de la carga nominal y por debajo del límite de diseño nominal.

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_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 ² /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 | Área de aplicación |
|-----------|----------|--|
| 30 | | Instalaciones estacionarias en lugares cerrados y altas temperaturas |
| | 100 | |
| 20 W | | A temperaturas normales |
| | 68 | |
| 10 W | | Para instalaciones al aire libre. Hidráulica móvil |
| | 46 | |
| 5 W | | En lugares fríos |
| | 32 | |
| | 22 | |
| | (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 $\nu = 32 \text{ cst} = 0.000032 \text{ m}^2/\text{s}$.

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 mm^2

$$V_r = \frac{\text{carrera}}{t_r} = \frac{0.490\text{m}}{5.3\text{s}} = 0.091 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{r1} = 0.06 * (0.091 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (1159.247 \text{ mm}^2) = 6.329 \text{ l/min}$$

- 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 mm^2

$$V_e = \frac{\text{carrera}}{t_e} = \frac{0.490\text{m}}{9\text{s}} = 0.054 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{e1} = 0.06 * (0.054 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (1963.49 \text{ mm}^2) = 6.36 \text{ l/min}$$

- 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 mm^2

$$V_r = \frac{\text{carrera}}{t_r} = \frac{0.650\text{m}}{7.5\text{s}} = 0.08667 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{r2} = 0.06 * (0.08667 \frac{\text{m}}{\text{s}}) * (942.478 \text{ mm}^2) = 4.9 \text{ l/min}$$

- 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: 1256.637 mm^2

$$V_e = \frac{\text{carrera}}{t_e} = \frac{0.650 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 0.065 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{e2} = 0.06 * (0.065 \text{ m/s}) * (1256.637 \text{ mm}^2) = 4.9 \text{ l/min}$$

- 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

$$V_r = \frac{\text{carrera}}{t_r} = \frac{0.065 \text{ m}}{2.25 \text{ s}} = 0.02889 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{r3} = 0.06 * (0.02889 \text{ m/s}) * (942.478 \text{ mm}^2) = 1.6336 \text{ l/min}$$

- 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: 1256.637 mm^2

$$V_e = \frac{\text{carrera}}{t_e} = \frac{0.065 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 0.02167 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{e3} = 0.06 * (0.02167 \text{ m/s}) * (1256.637 \text{ mm}^2) = 1.6338 \text{ l/min}$$

Se puede inferir de los calculos realizados que el mayor caudal calculado será la que proporcionara la bomba el cual es:

$$Q_T = 2 * Q_{e1} + 2 * Q_{e2} + Q_{e3} = 2 * 6.36 + 2 * 4.9 + 1.634 = 24.154 \text{ l/min}$$

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.

| Para tuberías de presión | | | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------|
| 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 maguera 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 maguera 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 $d_{i1} = 7.35\text{mm}$; $d_{i2} = 6.44\text{mm}$; $d_{i3} = 3.4\text{mm}$ 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.

| Nº | 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 divisor de flujo 9RD-02-29 | VIVOIL | 220 bar | 27 l/min |

| Nº | 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.

| Nº | 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.

| Nº | 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 perdidas 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.

$$R_{e,1} = \frac{V * d_i}{v} \quad (71)$$

$$R_{e,1} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{3 \frac{m}{s} * (9.525 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 893.12$$

$$R_{e,11} = \frac{V * d_i}{v} = \frac{3.38 \frac{m}{s} * (6.35 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 669.84$$

$$R_{e,2} = \frac{V * d_i}{\nu} = \frac{2.29 \frac{m}{s} * (9.525 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 682.41$$

$$R_{e,21} = \frac{V * d_i}{\nu} = \frac{2.58 \frac{m}{s} * (6.35 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 511.81$$

$$R_{e,3;3} = \frac{V * d_i}{\nu} = \frac{0.859 \frac{m}{s} * (6.35 \times 10^{-3} m)}{0.000032 \frac{m^2}{s}} = 170.6$$

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 ϵ |
|---------------|----------------------|
| | ft |
| Caucho pulido | 0.000033 |

Fuente: (Cimbala, Yunus Cengel y John, 2006).

Por lo tanto, la rugosidad relativa es:

$$\frac{\epsilon}{d_1} = \frac{0.01}{9.525} = 1.05 \times 10^{-3}$$

$$\frac{\epsilon}{d_2} = \frac{0.01}{6.35} = 1.57 \times 10^{-3}$$

El factor de fricción según (Pospisil, 2007) para tubo flexible es calculado con la ecuación 72.

$$f = \frac{75}{R_e} \quad (72)$$

$$f_1 = 0.084$$

$$f_2 = 0.112$$

f₃=0.110

f₄=0.147

f₅=0.44

- cálculo de perdidas hidráulicas en tuberías flexibles

$$hf_{flexible,1} = \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} \quad (73)$$

$$hf_{flexible,1} = \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} = \frac{0.084 * 1.53m * (3m/s)^2}{9.525 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 2 * \frac{0.112 * 1.28m * \left(\frac{3.38m}{s}\right)^2}{6.35 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$= 32.40 \text{ mca} = 3.24 \text{ bar}$$

$$hf_{flexible,2} = \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} = \frac{0.11 * 1.68m * (2.29m/s)^2}{9.525 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 2 * \frac{0.147 * 1.04m * \left(\frac{2.58m}{s}\right)^2}{6.35 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$= 21.47 \text{ mca} = 2.15 \text{ bar}$$

$$hf_{flexible,3} = \frac{f * L * V^2}{d_i * 2 * g} = \frac{0.44 * 2.75m * (0.86m/s)^2}{6.35 \times 10^{-3}m * 2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 7.17 \text{ mca} = 0.717 \text{ bar}$$

- 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 |
|--------------------------------|-----------|-------|--------------------------------|-----------|-------|--------------------------------|-----------|-------|--------------------------------|-----------|-------|
| 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:

$$K1 = 10; hf_{Divisor\ 1} = 10 * \frac{\left(\frac{3m}{s}\right)^2}{2 * \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)} = 4.6mca = 0.46bar$$

$$K1 = 10; hf_{Divisor\ 2} = 10 * \frac{\left(\frac{2.29m}{s}\right)^2}{2 * \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)} = 2.68mca = 0.27bar$$

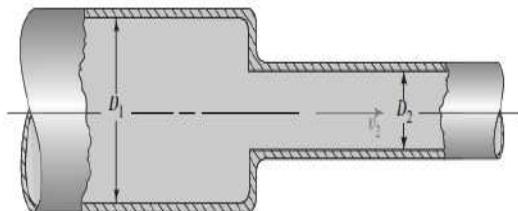
- Perdidas en niples de reducción

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.

$$\frac{D_1}{D_2} \quad (75)$$

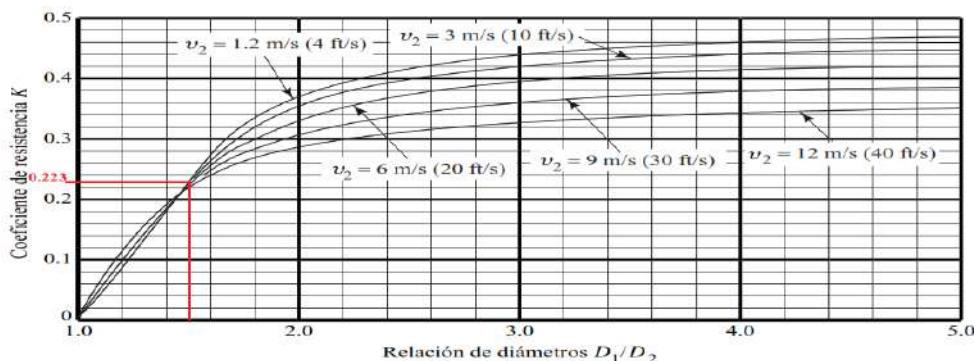
$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{3/8}{1/4} = 1.5$$

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.

$$h_{f,1} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.223 * \frac{3^2}{2 * 9.81} = 0.10 \text{mca} = 0.01 \text{bar}$$

$$h_{f,2} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.223 * \frac{2.29^2}{2 * 9.81} = 0.06 \text{mca} = 0.006 \text{bar}$$

$$h_{f,3} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.223 * \frac{0.86^2}{2 * 9.81} = 0.01 \text{mca} = 0.001 \text{bar}$$

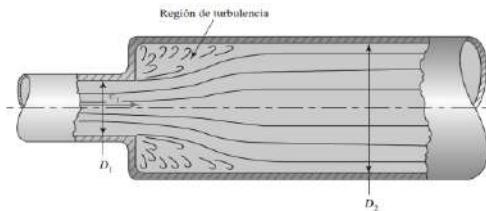
Para el análisis del niple de ampliación de súbita se muestra la Figura 92 según (Moot, 2006) tenemos:

$$D_1 = 3/8"$$

$$D_2 = 1/2"$$

Figura 92

Ampliación de ducto.



Fuente: (Moot, 2006).

Para determinar el coeficiente K debemos hallar la relación siguiente:

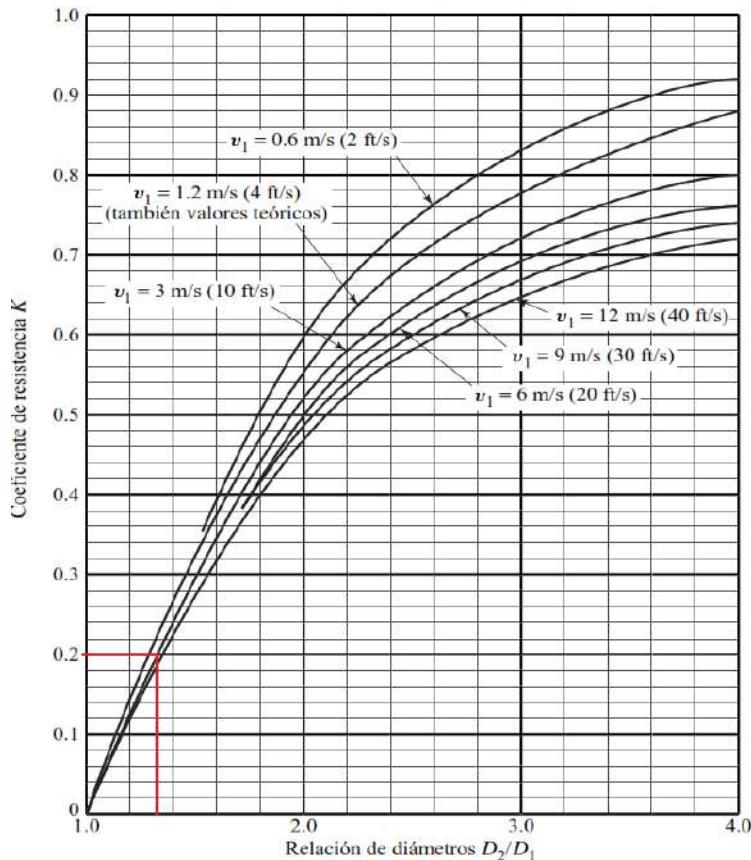
$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1/2}{3/8} = 1.333$$

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 perdida utilizando la ecuación 74 se tiene:

$$h_{f, \text{niple ampliacion}} = k * \frac{V^2}{2 * g} = 0.2 * \frac{3^2}{2 * 9.81} = 0.09 \text{ mca} = 0.009 \text{ bar}$$

4.3.6.3 Perdidas en los accesorios de la línea de presión 1

Para las perdidas en los accesorios, se obtiene del catálogo y utilizando la relación $(L/d_i)_{\text{eq}}$ equivalentes según (Moot, 2006). Las pérdidas de presión según catálogo de muestran en la Tabla 39.

Tabla 39

Perdidas de presión según catálogo.

| Nº | Descripción | ΔP 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.

| Nº | 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 perdidas en accesorios en la línea de presión.

Utilizando las Tablas 39 y Tabla 40 se tiene el valor de:

$$h_{fac, Linea\ 1} = 0.12MPa + 0.29MPa = 0.41MPa = 4.1bar$$

Para los accesorios que no cuentan la perdida 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 perdidas 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:

$$hf_{presion\ 1} = hf_{Flexible,1} + hf_{Divisor1} + hf_{ac,Linea\ 1} + 4 * hf_{ac,Linea\ 1.1} + 3 * hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{presion\ 1} = 3.24bar + 0.46bar + 4.1bar + 4 * 0.077bar + 3 * 0.009bar = 8.14\ bar$$

- Perdidas 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:

$$hf_{retorno\ 1} = hf_{Flexible,1} + hf_{ac,retorno\ 1} + hf_{ac,retorno\ 1.1} + 2 * hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{retorno\ 1} = 3.24bar + 3.3bar + 0.24bar + 2 * 0.009bar = 6.8\ bar$$

Perdida de presión total en la línea 1.

$$hf_{linea\ 1} = hf_{presion\ 1} + hf_{retorno\ 1}$$

$$hf_{linea\ 1} = 8.14\text{bar} + 6.8\text{bar} = 14.94\text{ bar}$$

4.3.6.4 Perdidas 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:

$$hf_{ac,Linea\ 2} = 0.12\text{MPa} + 0.29\text{MPa} = 0.41\text{MPa} = 4.1\text{bar}$$

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°.

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, \text{ codo}} \quad (79)$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 20$$

Determinamos las pérdidas por accesorios con la ecuación 80.

$$hf_{ac,Linea\ 2.2} = f * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq,codo} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (80)$$

$$hf_{ac,Linea\ 2.2} = 0.110 * 20 * \frac{\left(\frac{2.29\text{m}}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.589\text{mca} = 0.059\text{bar}$$

La pérdida de presión en la línea 1 es:

$$hf_{presion\ 2} = hf_{Flexible,2} + hf_{Divisor\ 2} + hf_{ac,Linea\ 2} + 2 * hf_{ac,Linea\ 2.2} + hf_{niple,ampliacion} + 2 * hf_{niple,reduccion}$$

$$hf_{presion\ 2} = 2.15\text{bar} + 0.27\text{bar} + 4.1\text{bar} + 2 * 0.06\text{bar} + 0.009\text{bar} + 2 * 0.006\text{bar} \\ = 6.65\text{ bar}$$

- Perdidas 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.

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, \text{ tee de flujo directo}} + 2 * \left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq, \text{ válvula estrangu antirr}} \quad (81)$$

$$\left(\frac{L}{d_i}\right)_{eq} = 20 + 2 * 20 = 60$$

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:

$$hf_{retorno\ 2} = hf_{Flexible,2} + hf_{ac,retorno\ 2} + hf_{ac,retorno\ 2.2} + 2 * hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{retorno\ 2} = 2.15bar + 3.3bar + 0.298bar + 2 * 0.009bar = 5.76\ bar$$

Perdida de presión total en la línea 2.

$$hf_{linea\ 2} = hf_{presion\ 2} + hf_{retorno\ 2}$$

$$hf_{linea\ 2} = 6.65bar + 5.76bar = 18.29\ bar$$

4.3.6.5 Perdidas en los accesorios de la línea 3

- Cálculo de pérdidas en accesorios en la línea 3 de presión.

Utilizando la Tablas 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:

$$hf_{presion\ 3} = hf_{Flexible,3} + hf_{ac,Linea\ 3} + hf_{niple,reduccion}$$

$$hf_{presion\ 3} = 0.72bar + 4.1bar + 0.001bar = 4.82bar$$

- Perdidas 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:

$$hf_{retorno\ 3} = hf_{flexible,3} + hf_{ac,retorno\ 3} + hf_{ac,retorno\ 3.3} + hf_{niple,ampliacion}$$

$$hf_{retorno\ 3} = 0.72bar + 3.3bar + 0.033bar + 0.009bar = 4.06\ bar$$

Perdida 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.

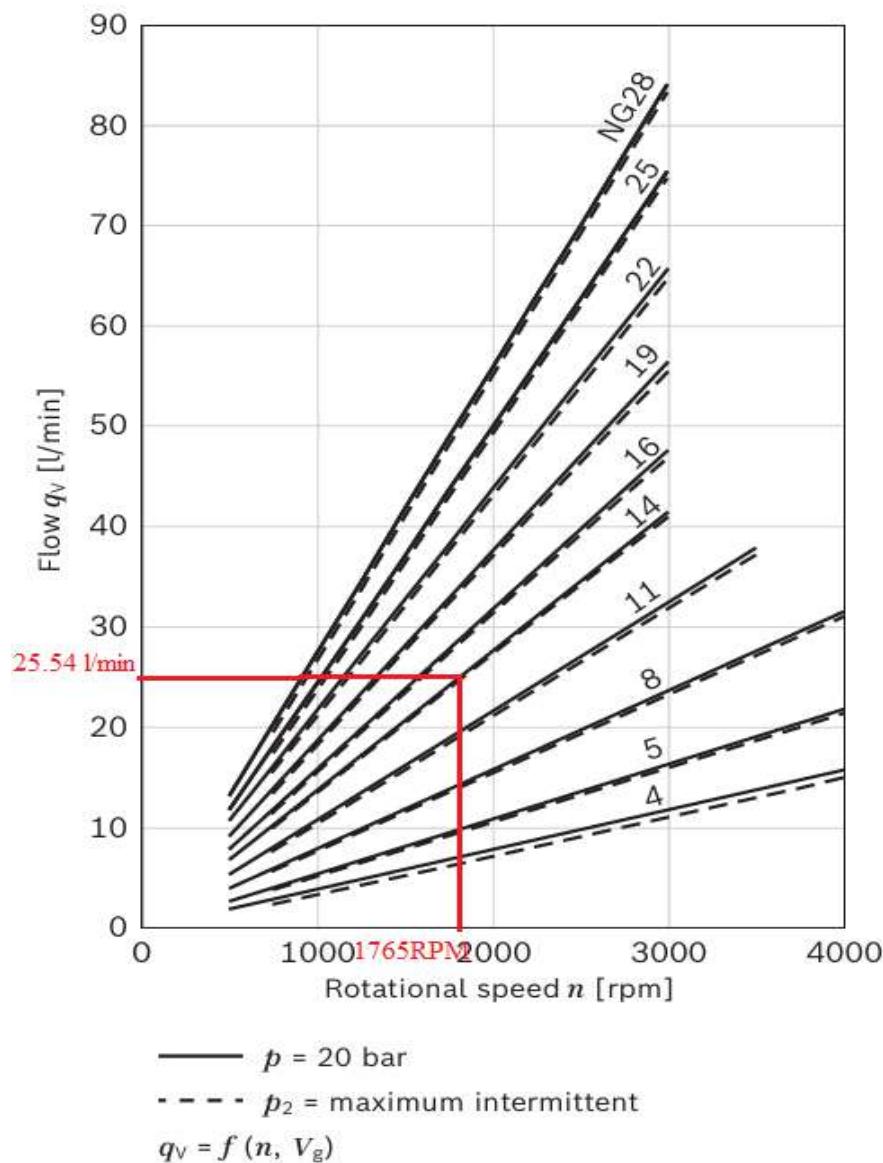
$$Q_{1765RPM} = \frac{Q}{RPM} \quad (82)$$

$$Q_{1765RPM} = \frac{25.54 \text{ l/min}}{1765 \text{ rev/min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{l}} = 14.47 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

Con estos cálculos realizados considerando, con las revoluciones del motor de 1765RPM y el nuevo caudal $Q=25.54 \text{ l/min}$ 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 $14 \text{ cm}^3/\text{rev}$ para una viscosidad de $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($T=50^\circ\text{C}$) 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*

| Parámetros | Descripción |
|-------------------------------|---|
| Presión máxima | 200 bar |
| Serie | AZPF – 12 |
| Caudal/Tamaño de (F) | 014; $0.85 \text{ in}^3 (14.45 \text{ cm}^3) = 014$ |
| 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 |

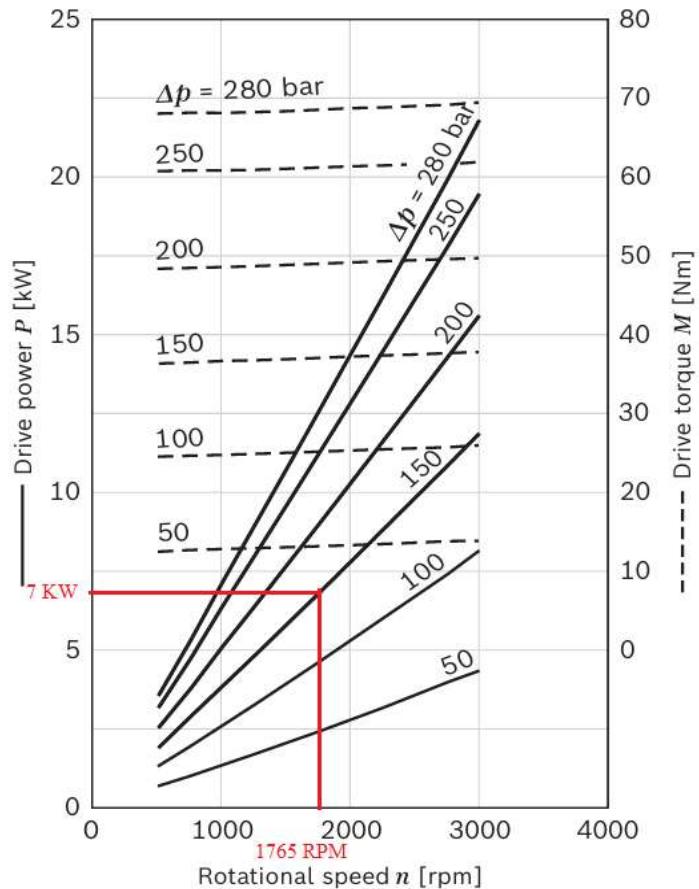
Fuente: Elaboración propia.

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 $14 \text{ cm}^3/\text{rev}$ y una viscosidad $\nu = 32 \text{ mm/s}^2$ 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 WHYNCOPERU 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.

SELECCIÓN DEL GRADO DE FILTRACIÓN

| Componente | Uso | Nivel de presión (BAR) | NAS 1638 | ISO 1999 | 4406: IKRON | Grado de filtración |
|-----------------------------|-----------|------------------------|----------|----------|----------------|---------------------|
| 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.

ISO 4406: 1999 CODIGO DE CONTAMINACION

| Numero de partículas por 1ml de fluido | Numero de escala |
|---|--------------------------|
| más que | hasta/ incluyendo |
| 1300000 | 2500000 |
| 640000 | 1300000 |
| 320000 | 640000 |
| 160000 | 320000 |
| 80000 | 160000 |
| 40000 | 80000 |

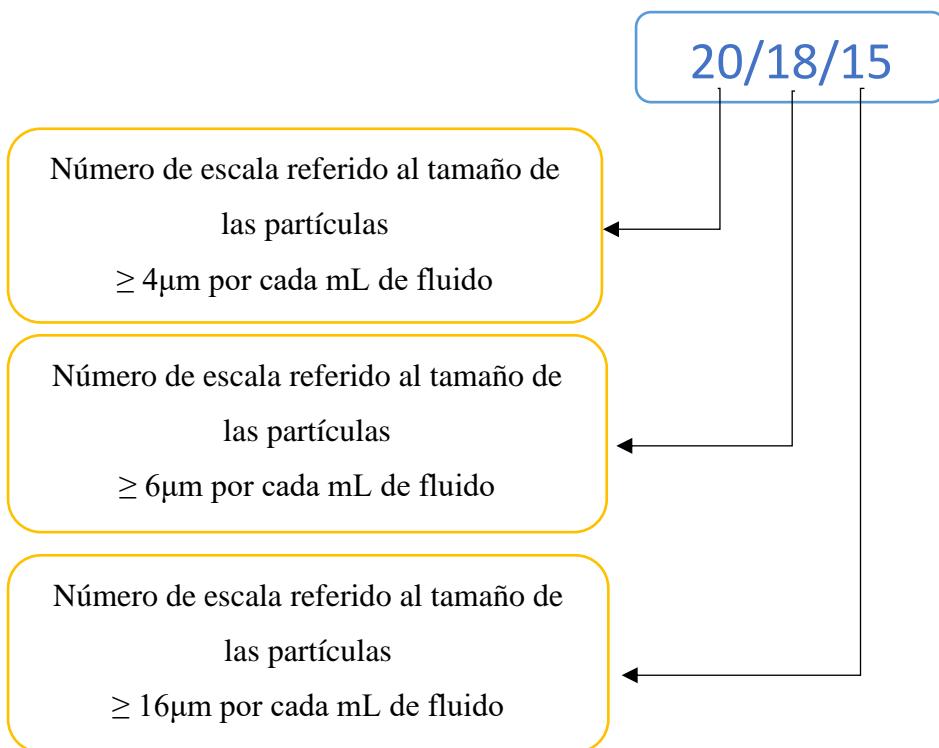
ISO 4406: 1999 CODIGO DE CONTAMINACION

| Numero de partículas por 1ml de fluido | Numero de escala |
|---|--------------------------|
| más que | hasta/ incluyendo |
| 20000 | 22 |
| 10000 | 21 |
| 5000 | 10000 |
| 2500 | 19 |
| 1300 | 2500 |
| 640 | 17 |
| 320 | 16 |
| 160 | 320 |
| 80 | 14 |
| 40 | 13 |
| 20 | 12 |
| 10 | 11 |
| 5 | 10 |
| 2.5 | 9 |
| 1.3 | 8 |
| 0.64 | 7 |
| 0.32 | 6 |
| 0.16 | 5 |
| 0.08 | 4 |
| 0.04 | 3 |
| 0.02 | 2 |
| 0.01 | 1 |
| 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 µm.

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 μm 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 cátalo 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 sí que se selecciona el filtro **HB 70 – A – 05 – E – 1**, las características técnicas se muestran en el ANEXO L.

4.4 Calculo 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^3 de densidad 15 kg/m^3 .

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_p : calor específico

ΔT : diferencia de temperaturas

DATOS:

Bloque de EPS

$$V_{\text{EPS}} = 2.4\text{m}^3 \quad \text{Volumen de bloque de EPS}$$

$\rho = 15 \text{ kg/m}^3$ 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 calcula 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:

$$\Delta \mu_{\text{EPS}} = m * C_p * (T_f - T_0)$$

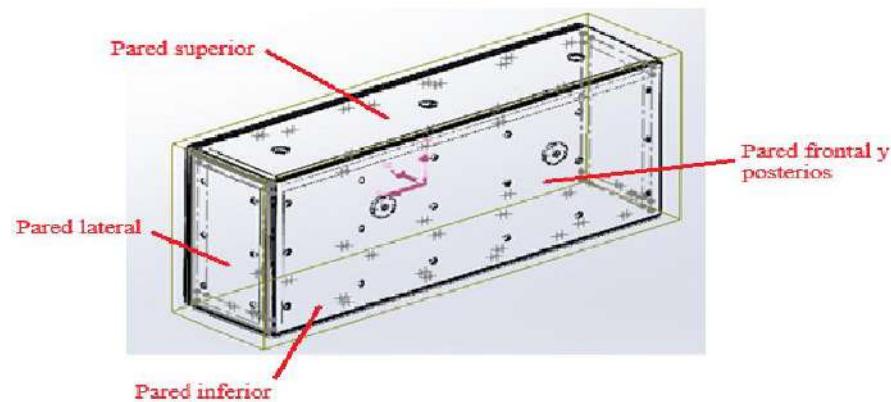
$$\Delta \mu_{\text{EPS}} = 36 \text{ kg} * 1.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (115 - 15) \text{ K}$$

$$\Delta \mu_{\text{EPS}} = 4320 \text{ kJ}$$

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.

$T_0 = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Temperatura de inicial de EPS.

$T_f = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Temperatura de final 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:

$$E_{\text{sale}} = Q_{\text{conv}} = h_s * A_{\text{transf}} * (T_s - T_\infty) \quad (89)$$

Donde:

h_s = coeficiente de transferencia de calor por convección.

A_{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

$T_\infty = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$: Temperatura de ambiente

$$T_F = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (90)$$

$$T_F = \frac{(99.5 + 15)}{2}$$

$$T_F = 57.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se realizó 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:

$T_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$: Temperatura.

$k_1 = 0.02735 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$: Conductividad térmica del aire a 50 °C.

$T_2 = 57.3 \text{ } ^\circ\text{C}$: Temperatura.

$k_2 = X$: Conductividad térmica del aire a 57.3 °C.

$T_3 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$: 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:

$T_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$: Temperatura.

$v_1 = 1.798 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$: Viscosidad cinética del aire a 50 °C.

$T_2 = 57.3 \text{ } ^\circ\text{C}$: Temperatura.

$v_2 = X$: Viscosidad cinética del aire a 57.3 °C.

$T_3 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$: Temperatura.

$v_3 = 1.896 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$: Viscosidad cinética del aire a 60 °C.

Al igual que la anterior interpolación procedemos a determinar la viscosidad cinemática como sigue:

$$v_2 = \left(\frac{v_3 - v_1}{T_3 - T_1} \right) * (T_2 - T_1) + v_1$$

$$v_2 = \left(\frac{1.896 \times 10^{-5} - 1.798 \times 10^{-5}}{60 - 50} \right) * (57.3 - 50) + 1.798 \times 10^{-5}$$

$$v_2 = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Calculo por interpolación de numero de Prandtl del aire a 57.3 °C:

$T_1 = 50$ °C: Temperatura.

$Pr_1 = 0.7228$: Número de Prandtl del aire a 50 °C.

$T_2 = 57.3$ °C: Temperatura.

$Pr_2 = X$: Número de Prandtl del aire a 57.3 °C.

$T_3 = 60$ °C: Temperatura.

$Pr_3 = 0.7202$: Número 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:

$$k = 0.02788 \frac{W}{m K} \quad \text{Conductividad térmica.}$$

$$v = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \quad \text{Viscosidad cinética.}$$

$$Pr = 0.7209: \quad \text{Número de Prandtl.}$$

Con las propiedades termodinámicas del aire definidas, hallamos el coeficiente de expansión volumétrica β mediante la ecuación 93 (Cengel, 2007).

$$\beta = \frac{1}{T_F} \quad (93)$$

$$\beta = \frac{1}{(57.3 + 273)^\circ K}$$

$$\beta = \frac{1}{(333)^\circ K}$$

$$\beta = 0.003 \text{ K}^{-1}$$

4.4.5.2 Cálculo de pérdidas de calor en paredes verticales

Al calcular el valor de β , 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).

$$Ra = Gr * Pr \quad (94)$$

El número de Grashof (Gr) se determina con la ecuación 95 (Cengel, 2007).

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) L^3}{v^2} \quad (95)$$

Donde:

$$g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Aceleración gravitacional.}$$

$$\beta = 0.003 \text{ K}^{-1} \quad \text{Coeficiente de expansión volumétrica, 1/K. } (\beta = 1/T \text{ para los gases ideales.})$$

$$T_s = 99.5^\circ C \quad \text{Temperatura de la superficie (°C).}$$

$$T_\infty = 15^\circ C \quad \text{Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie (°C).}$$

$L_v = 1.25 \text{ m}$ Longitud de transferencia para paredes verticales (m).

$v = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ Viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

$$Ra_v = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) L^3}{v^2} * \text{Pr} \quad (96)$$

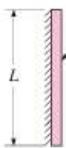
$$Ra_v = \left(\frac{9.8 \text{ m}^2/\text{s} * 0.003 \text{ K}^{-1} * (99.5 - 15 \text{ }^\circ\text{C}) * (1.25 \text{ m})^3}{(1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} \right) * 0.7209$$

$$Ra_v = 1.008 \times 10^{10}$$

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 |  | $10^4 - 10^9$ $10^9 - 10^{13}$ Todo el intervalo | $\text{Nu} = 0.59 Ra_L^{1/4}$ (9-19) $\text{Nu} = 0.1 Ra_L^{1/3}$ (9-20) $\text{Nu} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/\text{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$ (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 en 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.

$$Nu_V = 0.1Ra_L^{1/3} \quad (97)$$

$$Nu_V = 0.1 * (1.008 \times 10^{10})^{1/3}$$

$$Nu_V = 216.02$$

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 trasferencia de calor pared frontal y posterior

El área de trasferencia 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 trasferencia 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 Perdida 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 perdida de calor total se determina con la ecuación 100.

$$Q_{\text{conv}1} = 2 * (h_v * A_{\text{transf}1} * (T_s - T_\infty)) \quad (100)$$

$$Q_{\text{conv}1} = 2 * (4.82 \frac{W}{m^2 \cdot C} * 3.75 \text{m}^2 * (99.5^\circ C - 15^\circ C))$$

$$Q_{\text{conv}1} = 2 * 1527.81 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv}1} = 3.055 \text{ kW}$$

4.4.5.5 Área de trasferencia de calor pared lateral izquierda y derecha

Área de trasferencia 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 trasferencia 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 Perdida 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 perdida de calor total se determina con la ecuación 101.

$$Q_{\text{conv}\,2} = 2 * (h_v * A_{\text{transf}\,2} * (T_s - T_\infty)) \quad (101)$$

$$Q_{\text{conv}\,2} = 2 * (4.82 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.8m^2 * (99.5^\circ C - 15^\circ C))$$

$$Q_{\text{conv}\,2} = 2 * 325.93 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv}\,2} = 0.652 \text{ kW}$$

4.4.5.7 Cálculo de perdida 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 $57.3^\circ C$.

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.

| | | | | |
|--|---------|-------------------------------|--|------------------|
| Plástico horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría) | A_s/p | 10^4-10^7 10^7-10^{11} | $Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ $Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ | (9-22) (9-23) |
| b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) | | 10^5-10^{11} | $Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ | (9-24) |

Fuente: (Cengel, 2007).

Donde:

$$A_s = 1.92 \text{ m}^2 \quad \text{Área de la superficie horizontal superior o inferior de la máquina de moldeo.}$$

$$P = 7.28 \text{ m} \quad \text{Perímetro de la superficie horizontal superior o inferior de la máquina de moldeo.}$$

$$L_h = \frac{A_s}{P}$$

$$L_h = \frac{1.92 \text{ m}^2}{7.8 \text{ m}}$$

$$L_h = 0.26 \text{ m}$$

El número de Grashof (Gr) se calcula con la siguiente manera:

$$Gr_H = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) L_h^3}{v^2}$$

Donde:

$$g = 9.8 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Aceleración gravitacional.}$$

$$\beta = 0.003 \text{ K}^{-1} \quad \text{Coeficiente de expansión volumétrica, 1/K. } (\beta = 1/T \text{ para los gases ideales}).$$

$$T_s = 99.5^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura de la superficie (°C).}$$

$T_\alpha = 15^\circ\text{C}$ Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie. ($^\circ\text{C}$).

$L_H = 0.26\text{ m}$ Longitud de trasferencia para paredes horizontales (m).

$v = 1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

$$Ra_H = \frac{g * \beta * (T_s + T_\alpha) L_H^3}{v^2 * \text{Pr}} \quad (103)$$

$$Ra_H = \left(\frac{9.8\text{m}^2/\text{s} * 0.003 \text{ K}^{-1} * (99.5 - 15^\circ\text{C}) * (0.26\text{m})^3}{(1.8695 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} \right) * 0.7209$$

$$Ra_H = 9.01 \times 10^7$$

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 en 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.

$$h_V = \frac{k}{L_H} * Nu_H \quad (105)$$

$$h_H = \frac{0.0279 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{0.26\text{m}} * 67.245$$

$$h_H = 7.2159 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

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 trasferencia de calor pared superior

Con la ecuación 106 se determina el área de trasferencia de calor.

$$Q_{conv\ 3} = (h_H * A_{transf\ 3} * (T_s - T_\infty)) \quad (106)$$

Donde:

$A = 0.64m$ Ancho de pared horizontal de la máquina de moldeo.

$B = 3.0m$ Largo de la pared horizontal de la máquina de moldeo.

$A_{transf\ 3}$: Área de trasferencia pared horizontal superior de la máquina de moldeo.

$$A_{transf\ 3} = A * B$$

$$A_{transf\ 3} = 0.64m * 3.0m$$

$$A_{transf\ 3} = 1.92 m^2$$

4.4.5.9 Perdida de calor en la pared superior

Al reemplazar los valores obtenidos de h_H y de $A_{transf\ 3}$ se calcula la pérdida de calor por convección natural en la pared superior de la máquina de moldeo con la ecuación 107.

$$Q_{conv\ 3} = (h_H * A_{transf\ 3} * (T_s - T_\infty)) \quad (107)$$

$$Q_{conv\ 3} = (7.216 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1.92m^2 * (99.5^\circ C - 15^\circ C))$$

$$Q_{conv\ 3} = 1170.56 W$$

$$Q_{conv\ 3} = 1.117 kW$$

4.4.5.10 Cálculo de perdida 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 en 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 trasferencia de calor pared inferior

Para determinar el área de trasferencia de calor se utiliza la ecuación 110.

$$A_{transf\ 3} = A * B \quad (110)$$

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 trasferencia 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 Perdida 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.

$$Q_{\text{conv}4} = (h_{Hi} * A_{\text{transf}3} * (T_s - T_\infty)) \quad (111)$$

$$Q_{\text{conv}4} = (2.823 \frac{W}{m^2 \text{C}} * 1.92\text{m}^2 * (99.5^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{conv}4} = 370.39 \text{ W}$$

$$Q_{\text{conv}4} = 0.370 \text{ kW}$$

Para determinar la energía que pierde el sistema, se suman todos los valores de perdida 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.

$$E_{\text{entra}} = \Delta E_{\text{sistema}} + E_{\text{sale}} \quad (113)$$

Remplazamos los valores obtenidos en la ecuación 113.

E_{entra} : Calor total necesario (kW).

$\Delta E_{\text{sistema}}$: Calor necesario para calentar el molde y el bloque de EPS (kW).

E_{sale} : Perdidas de calor (kW).

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 776.63 \text{ kW}$$

$$E_{\text{entra}} = 776.63 \text{ kW} + 5.247 \text{ kW}$$

$$E_{\text{entra}} = 781.8 \text{ kW}$$

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:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{E_{\text{entra}}}{h_{\text{vapor a } 115 \text{ }^{\circ}\text{C}}} \quad (114)$$

Donde:

m_{vapor} : Flujo másico de vapor (kg/s).

E_{entra} : Energía requerida para el proceso (kW o kJ/s).

$h_{\text{vapor a } 115 \text{ }^{\circ}\text{C}}$: Entalpía del vapor saturado (kJ/kg), para 115 °C (tablas de vapor).

$$h_{\text{vapor a } 115 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 2216.03 \text{ kJ/kg}$$

Entonces:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{781.8 \text{ kW}}{2216.03 \text{ kJ/kg}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 0.35 \text{ kg/s}$$

$$m_{vapor} = 1270.05 \text{ kg/h}$$

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.

$$Q_{caldera} = m_{vapor} [(h_{vapor \text{ a } 8\text{bar}} - h_{líquido \text{ a } 8\text{bar}}) + Cp(T_2 - T_1)] \quad (115)$$

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 entalpias mediante tablas termodinámicas y obtener el calor transferido y la demanda máxima de vapor.

Donde:

$Q_{caldera}$: Calor transferido (kW).

m_{vapor} = 0.35 kg/s.

C_{Pm} = 4.184 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}}$: Calor específico.

T_1 : Temperatura 15 °C.

T_2 : Temperatura 170.4 °C.

h_g : Entalpia de Vapor Saturado a 170.4 °C es $h_{vapor \text{ a } 8\text{bar}} = 2768.3 \text{ kJ/kg}$.

h_f : Entalpia de Líquido Saturado a 170.4 °C es $h_{líquido \text{ a } 8\text{bar}} = 721.018 \text{ kJ/kg}$.

Remplazamos con los valores en la ecuación 115.

$$Q_{caldera} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[\left(2768.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 721.018 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 4.184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (170.4 - 15) \text{ } ^\circ\text{C} \right]$$

$$Q_{\text{caldera}} = 944.116 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{caldera}} = 944.116 \text{ kW} * \frac{0.102\text{BHP}}{1 \text{ kW}}$$

$$Q_{\text{caldera}} = 96.299 \text{ BHP} \approx 97 \text{ BHP}$$

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 8bar 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 calculara 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 m³/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.

$$D = 0.0597 \text{ m} \approx D_{int \text{ sch } 40} = 0.627 \text{ m}$$

Seleccionamos un diámetro comercial 2 ½" SCH 40. (ver ANEXO N).

$$D = 0.0627 \text{ m} : \text{Diámetro interior de tubería 2 ½" SCH 40}$$

Hacemos un recálculo 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:

$$C = 27.205 \text{ m/s} \quad \text{velocidad de flujo.}$$

$$\mu = 14.6859 * 10^{-6} \text{ Pa.s} \quad \text{viscosidad dinámica a 8 bar (obtenidas de tablas de vapor).}$$

$$\rho_{8\text{bar}} = 4.165 \text{ kg/m}^3.$$

$$D = 0.063 \text{ m.}$$

$$Re = \frac{4.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 27.205 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.063\text{m}}{14.685 * 10^{-6} \text{ Pa.s}}$$

$$Re = 486,105.3$$

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:

$$C = 27.205 \text{ m/s} \text{ velocidad de flujo}$$

$$D = 0.063 \text{ m} \text{ diámetro interior de la tubería}$$

$$Re = 486,105.3$$

$$e = 4.5 * 10^{-5} \text{ m} \text{ rugosidad absoluta de tubo de acero sin costura}$$

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).

$$\Delta P = \frac{f * L * \rho_{8\text{bar}} * C^2}{2 * D} \quad (119)$$

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.

$\rho_{8\text{bar}} = 4.165 \text{ kg/m}^3$ densidad de vapor.

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$ rugosidad absoluta de tubo de acero sin costura.

$\rho_{8\text{bar}} = 4.165 \text{ kg/m}^3$ 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

Introducir datos

Unidades: Si (bar)

Grado de tubería: ANSI Sch40

Tamaño de tubería: NPS 2 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

Caida 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 generadas 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).

$$K_i = \frac{K_1}{Re} + K_\alpha \left(1 + \frac{0.0254}{D}\right) \quad (120)$$

Donde:

$K_1 = 800$: coeficiente para codo de 90° roscable (Tabla 47).

$K_\infty = 0.4$: coeficiente para codo de 90° roscable (Tabla 47).

Tabla 47

Coeficientes de resistencia locales (K1).

| Codos | K1 | K_∞ |
|-------------------|------|------------|
| 90° roscable | 800 | 0,40 |
| 90° soldable | 800 | 0,25 |
| 90° radio largo | 800 | 0,20 |
| 90° sector 45° | 1000 | 1,15 |
| 90° sector 22,5° | 800 | 0,35 |
| 90° sector 15° | 800 | 0,30 |
| 90° sector 11,25° | 800 | 0,27 |
| 90° sector 9° | 800 | 0,25 |
| 45° roscable | 500 | 0,20 |
| 45° radio largo | 500 | 0,15 |
| 45° sector 22,5° | 500 | 0,25 |
| 45° sector 11,25° | 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.

$$K_i = \frac{800}{486,105.3} + 0.4 \left(1 + \frac{0.0254}{0.063} \right)$$

$$K_i = 0.563$$

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.

$\rho_{8\text{bar}} = 4.165 \text{ kg/m}^3$: 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).

$$K_i = \frac{K_1}{Re} + K_\alpha \left(1 + \frac{0.0254}{D}\right) \quad (122)$$

Donde:

$K_1 = 800$: coeficiente para válvula mariposa (Tabla 48).

$K_\alpha = 0.25$: coeficiente para válvula mariposa (Tabla 48).

Tabla 48

Coeficientes de resistencia locales (K1).

| Válvulas | K1 | k _c |
|-------------------------------|------|----------------|
| 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 & 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.

$Nv = 2$: Cantidad de válvula mariposa.

Remplazamos los valore en la ecuación 123.

$$\Delta P_{Val} = (0.352 * \frac{4.165 * 27.205^2}{2})$$

$$\Delta P_{Val} = 542.532 \text{ Pa}$$

Para calcular la caída de presión total multiplicamos por la cantidad de codos.

$$\Delta P_{Val.\text{total}} = 2 * 542.532 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{Val.\text{total}} = 1.085 \text{ kPa} \approx 0.0108 \text{ bar}$$

4.5.2.2 Cálculo de la caída de presión total

Remplazamos los valores calculados anteriormente.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{Tuberia} + \Delta P_{codo \text{ total}} + \Delta P_{Val. \text{ total}}$$

$$\Delta P_{total} = 4.62 \text{ kPa} + 5.21 \text{ kPa} + 1.085 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{total} = 10.915 \text{ kPa} \approx 0.109 \text{ bar}$$

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.

$$P_{V.\text{regulador}} = P_{de \text{ caldera}} - \Delta P_{total} \quad (124)$$

$$P_{V.\text{regulador}} = 8 \text{ bar} - 0.109 \text{ bar} = 7.89 \text{ bar}$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man} \quad (125)$$

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 $65\text{mm} \approx 2\frac{1}{2}$ ", se obtuvo un coeficiente de flujo $C_v(\text{UK}) = 49.4$, 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.

| Valores C_v | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| COS-3/COS-16 | | | | | | | | | |
| | 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 | 49.4 | 70.8 | 107 |
| K_{vs} (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 $C_v(\text{UK}) = 49.4$. 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.

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:

$P_2 = 1.01$ bar g: presión de vapor en el ingreso hacia el molde de EPS.

$T_f=115$ °C: Temperatura de moldeo de EPS

$m_{vapor} = 0.35$ kg/s: Flujo masico.

$v = 1.03$ m³/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.

$C = 35$ m/s: Velocidad del flujo recomendado según (LÓPEZ, 2020).

Para determinar el caudal volumétrico se realiza de la siguiente manera:

$$\dot{V} = m_{vapor} * v$$

$$\dot{V} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1.03 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

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.

$$D = 101 \text{ mm} \approx 0.102 \text{ mm}$$

Seleccionamos un diámetro comercial 4" SCH 40. (ver ANEXO N).

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 m³ a una densidad de 15 kg/m³.

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 m³
- Densidad del EPS: 15 kg/m³
- Flujo masico del EPS: 36 kg/ciclo
- Ciclos por hora estimados: 8

Para determinar el caudal requerido procedemos de la siguiente manera:

$$\dot{G}_{EPS} = \dot{m}_{EPS} * N$$

$$\dot{G}_{EPS} = 36 \frac{\text{kg}}{\text{ciclo}} * 8 \frac{\text{ciclo}}{\text{h}} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Caudal de suministro de EPS.

$$\dot{G}_{EPS} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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.

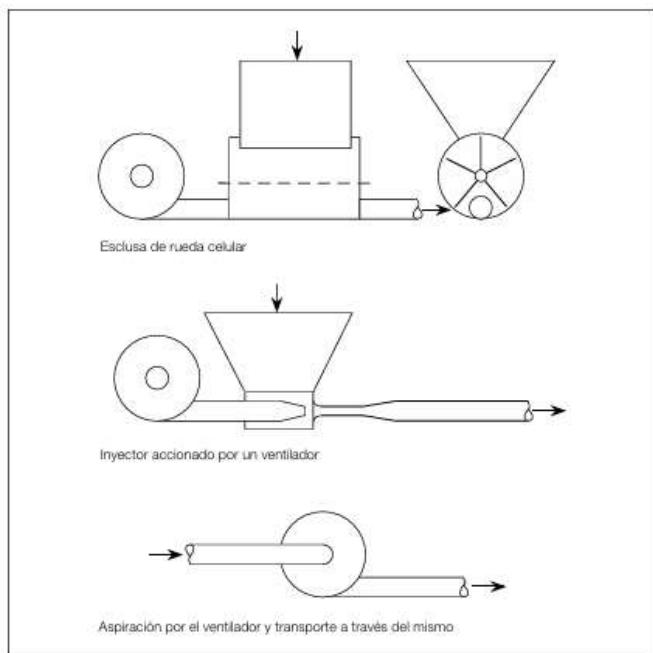
$$\dot{G}_{EPS} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}} : \text{Caudal de suministro de EPS}$$

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.

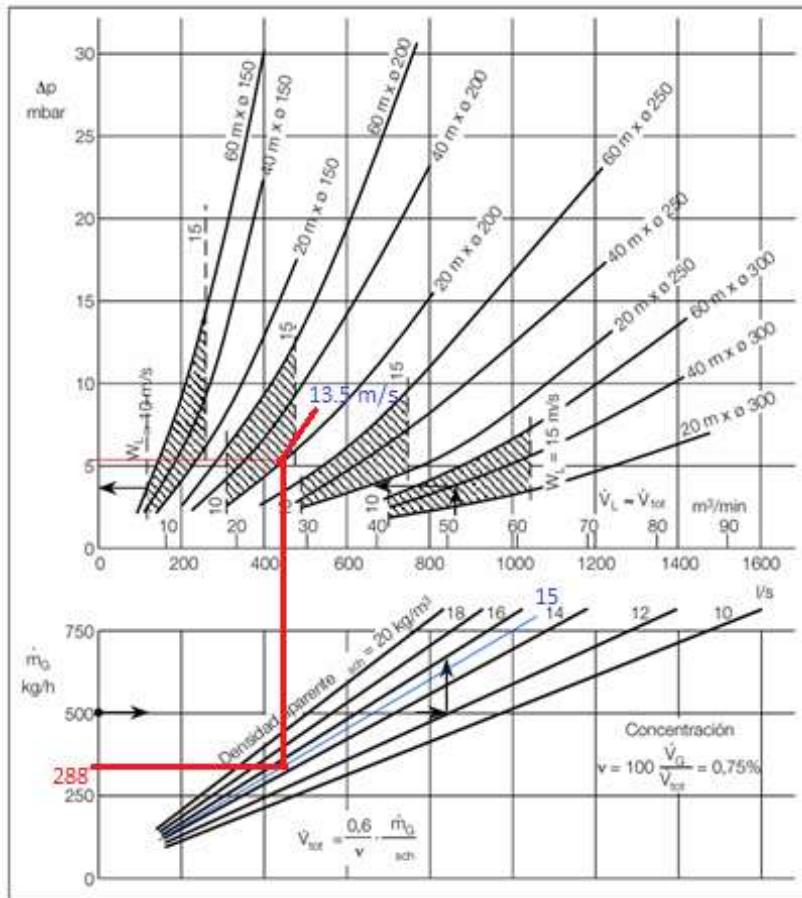


Fuente: https://polystructure.bz/wp-content/uploads/2016/05/BASF_E_NEW.pdf

Para determinar el diámetro y la velocidad del conducto que transportara EPS se utilizará 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

$$\dot{G}_{EPS} = 288 \frac{\text{kg}}{\text{h}}: \text{Caudal de suministro de EPS.}$$

$$\rho_{EPS} = 15 \text{ kg/m}^3: \text{Densidad del EPS.}$$

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 grafico 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:

$$D = 200\text{mm} \text{ o } 8".$$

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 | σ_{sch} kg/m ³ | W m/s | v % | v_{stopf} % |
|---------------------------|-------------------------------------|----------|--------|------------------|
| 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

$$V_a = 13.5 \frac{m}{s} : \text{Velocidad de EPS.}$$

$L_a = 20m$: 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);

$v_a = 15.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; 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.

$$Re = \frac{V_f * d_s}{v_a} \Rightarrow V_f = \frac{Re * v_a}{d_s} \quad (127)$$

Igualando las ecuaciones se obtiene la expresión “ $Re^2 \cdot C_d$ ” necesaria para ingresar al gráfico y encontrar el valor del coeficiente de arrastre (Fernández et al., 2021).

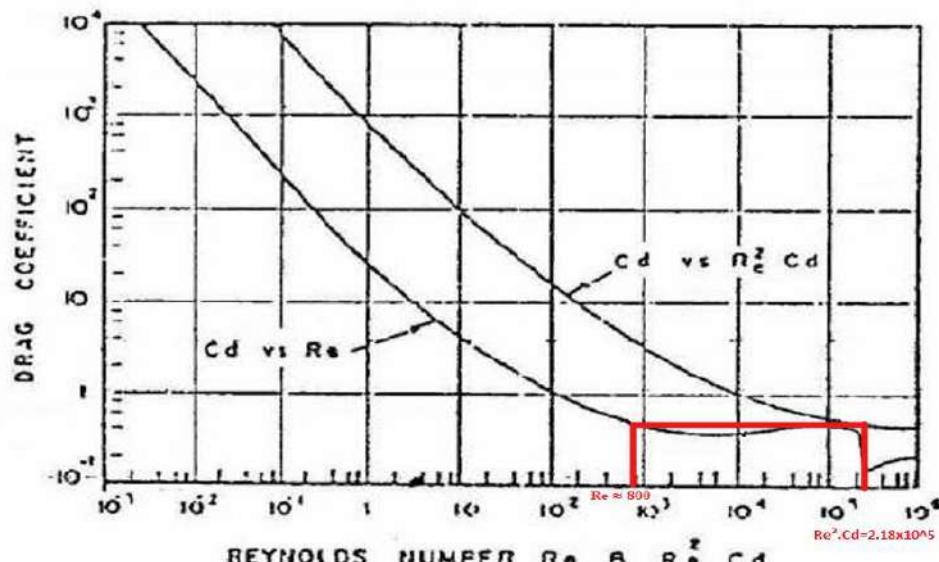
$$Re^2 \cdot C_d = \frac{4 * g * d_s^3 * (Y_s - Y_a)}{3 * v_a^2 * Y_a} \quad (128)$$

$$Re^2 \cdot C_d = \frac{4 * 9.81 \text{ m/s}^2 * (0.006 \text{ m})^3 * (15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{3 * (15.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2 * 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Re^2 \cdot C_d = 217,988.92 \approx 2.18 \times 10^5$$

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.

$$2.0 < 800 < 5 \times 10^2$$

$$C_d = \frac{18.5}{(800)^{\frac{5}{3}}} = 0.335$$

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.

$$\mu = \frac{\dot{G}_{EPS}}{\dot{G}_a} \quad (134)$$

$$\mu = \frac{0.08 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0.34 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 0.235$$

$$\mu < 15 \Rightarrow 0.235 < 15$$

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.

$$\Delta P_{ac} = 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2}} * (1 + 2 * 0.235 * \frac{13.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}})$$

$$\Delta P_{ac} = 10.98 \text{ mmH}_2\text{O}$$

4.6.6.2 Cálculo de la perdida 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.

$$Re = \frac{V_a * D}{v_a} \quad (139)$$

$$10^{-6} < \frac{\epsilon}{D} < 10^{-2} \text{ y } 5000 < Re < 10^6$$

Donde:

$$V_a = 13.5 \frac{m}{s}; \text{ Velocidad del aire.}$$

$$\nu_a = 14.7 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}; \text{ Viscosidad cinemática del aire a } 15^{\circ}\text{C.}$$

$D = 0.2\text{m}$: Diámetro de tubería de transporte (m).

$\epsilon = 0.0015$: Rugosidad absoluta del PVC.

$\frac{\epsilon}{D}$: Rugosidad relativa.

$$Re = \frac{13.5 \frac{m}{s} * 0.2\text{m}}{15.1 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 180829.4$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0015\text{mm}}{200\text{mm}} = 7.5 * 10^{-6}$$

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 : Número 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 : Número 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).

$$\Delta P_{codo} = 3 * 1.5 * (1 + 0.235) * 0.806 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta P_{codo} = 41.61 \text{ mmH}_2\text{O}$$

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.

$$\Delta P_{ciclon} = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * V_a^2 * N_H \quad (145)$$

Donde:

ΔP_{ciclon} ; Caída de presión en el ciclón, Pa. o mmH₂O.

$\rho_{aire} = 0.806 \text{ kg/m}^3$; 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 $N_H = 6.4$.

$$\Delta P_{ciclon} = \frac{1}{2} * 0.806 \text{ kg/m}^3 * (13.5 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 * 6.4$$

$$\Delta P_{ciclon} = 470 \text{ Pa} \approx 47.96 \text{ mmH}_2\text{O}$$

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 kg/m³ 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:

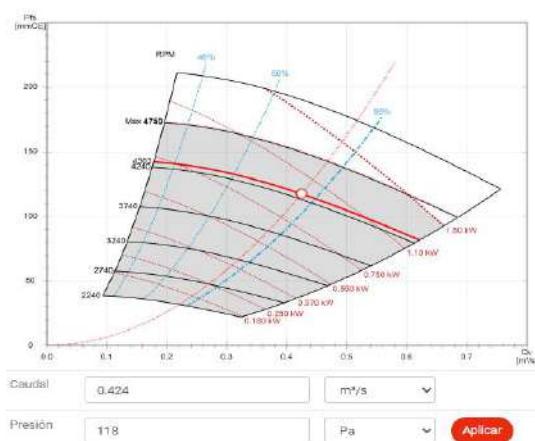
Seleccionar **Reiniciar**

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 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.

| Parámetro | Valor |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Volumen de cámara de moldeo | 2.4 m ³ |
| Densidad del bloque EPS | 15 kg/m ³ |
| 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).

$$C_p = 4.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} : \text{Calor específico del bloque de EPS.}$$

$T_1 = 115^\circ\text{C}$: Temperatura de moldeo del bloque de EPS.

$T_2 = 60^\circ\text{C}$: Temperatura de estabilización del bloque de EPS según información técnica Styropor de BASF.

$m_{\text{EPS}} = 36 \text{ kg}$ Masa del bloque de EPS.

$$Q_{\text{ENF. EPS}} = 36 \text{ kg} * 1.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} * (60^\circ\text{C} - 115^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{ENF. EPS}} = -2395 \text{ kJ}$$

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°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.

$$Q_{\text{ENF.EPS}} = Q_{\text{EVA}}$$

$$m_{\text{VAPOR}} = \frac{Q_{\text{ENF EPS}}}{h_{fg,60^\circ\text{C}}} \quad (148)$$

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 (m^3).

$V_{60^\circ\text{C}} = 1.673 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$: Volumen específico 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_{eff} ; Caudal de succión real (m^3/h).

$V_{total} = 2.54m^3$: Volumen total a extraer del molde (vapor +aire).

$t_{vac} = 0.00416h = 18$ seg : Tiempo de vacío deseado según (BASF, 2001).

$$Q_{eff} = \frac{2.53m^3}{0.00417 h} = 611.73 \frac{m^3}{h}$$

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.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{eff}}{\pi * V_{vacio}}} \quad (152)$$

Donde:

$Q_{eff} = 611.73 \frac{m^3}{h}$; Caudal de succión real (m^3/h).

$V_{vacio} = 22.5 \frac{m}{s}$; Velocidad de flujo (valor promedio recomendado) según (Weston, 1985).

$$D = \sqrt{\frac{4 * 611.73 \frac{m^3}{h}}{\pi * 22.5 \frac{m}{s}}} = 0.098 \text{ m}$$

El diámetro calculado aproximaremos a un valor comercial.

$D_{Itub} = 0.102 \text{ m}$ diámetro interior de tubo de 4" SCH 40 (ver ANEXO N).

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 generar 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 | $< 10^{-12}$ |

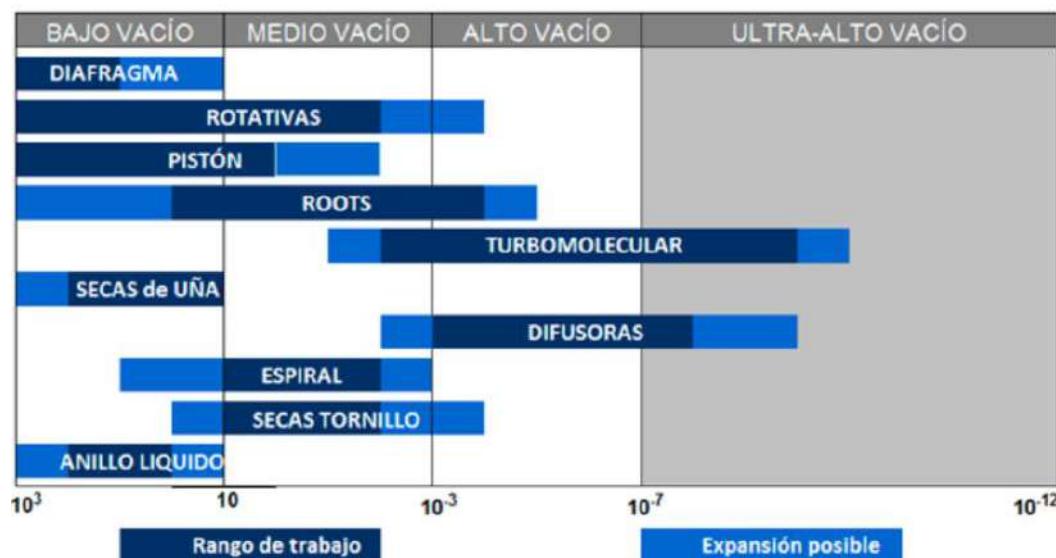
Fuente: <https://marpavacuum.com/tipos-bombas-vacio/>

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 líquido 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 obtenido de los cálculos para nuestro sistema de enfriamiento por vacío.

Valores obtenidos de cálculos:

$$Q_{\text{eff}} = 611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} : \text{Caudal de succión real.}$$

$P_2 = 200$ 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 ³ /h | Potencia de accio- namiento kW | Conden- sador | Depósito regulador m ³ |
|--------------------------|---------------|--|--------------------------------------|--|---|------------------|---|
| Moldeadora automática | 1 | Superficie de moldeo de 1 m ² | Individual | 390 | 11 | sin | - |
| | 1 | Superficie de moldeo de 1 m ² | Individual | 130 | 4 | con | - |
| | 10 | Superficie de moldeo de 10 x 1 m ² | Centralizada | 250 | 7,5 | con | 6 |
| Molde de bloques | 1 | Volumen 2,5 m ³ | Individual | 1230 | 35 | sin | - |
| | 1 | Volumen 2,5 m ³ | Individual | 645 | 18,5 | con | 10 |
| | 2 | Volumen 2 x 2,5 m ³ | Centralizada | 645 | 18,5 | con | 20 |
| | 1 | Volumen 7,5 m ³ | Individual | 1800 | 45 | con | 20 |
| | 2 | Volumen 2 x 7,5 m ³ | Centralizada | 1800 | 45 | con | 30 |

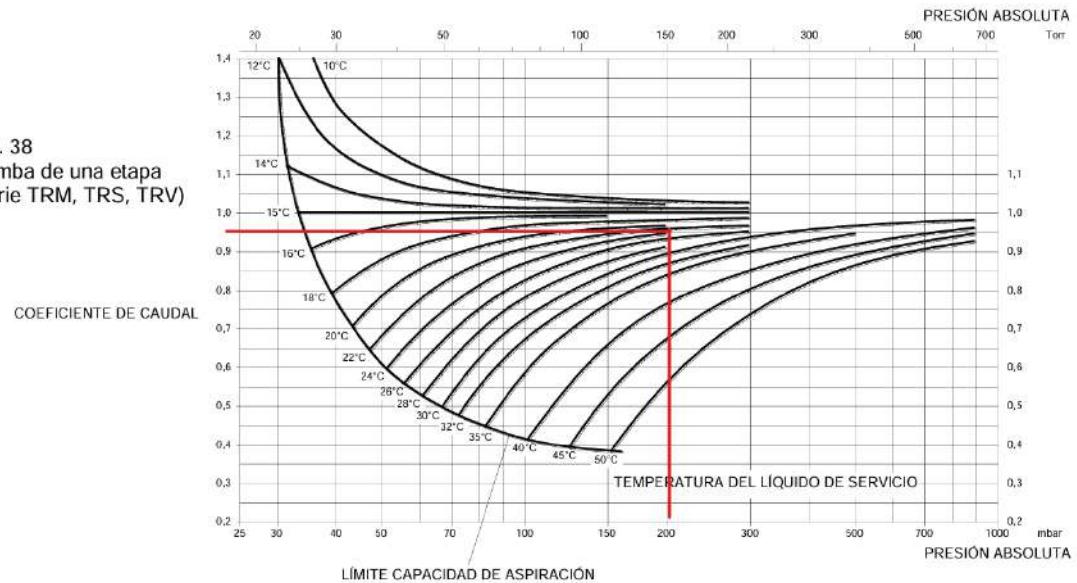
Fuente: según información técnica styropor de BASF.

De la Tabla 54 podemos ver que para un volumen de moldeo de 2.5m³ nos recomienda una capacidad de succión de 645 m³/h y una potencia de bomba 18.5 kW con depósito regulador de 10m³, tomando de referencia los valores recomendados, para nuestra máquina de moldeo que tiene el volumen de moldeo de 2.4m³, tomaremos estos valores como referencia para nuestro sistema de enfriamiento por vacío.

De la Figura 107 elegimos una bomba de vacío de anillo líquido 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_{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.

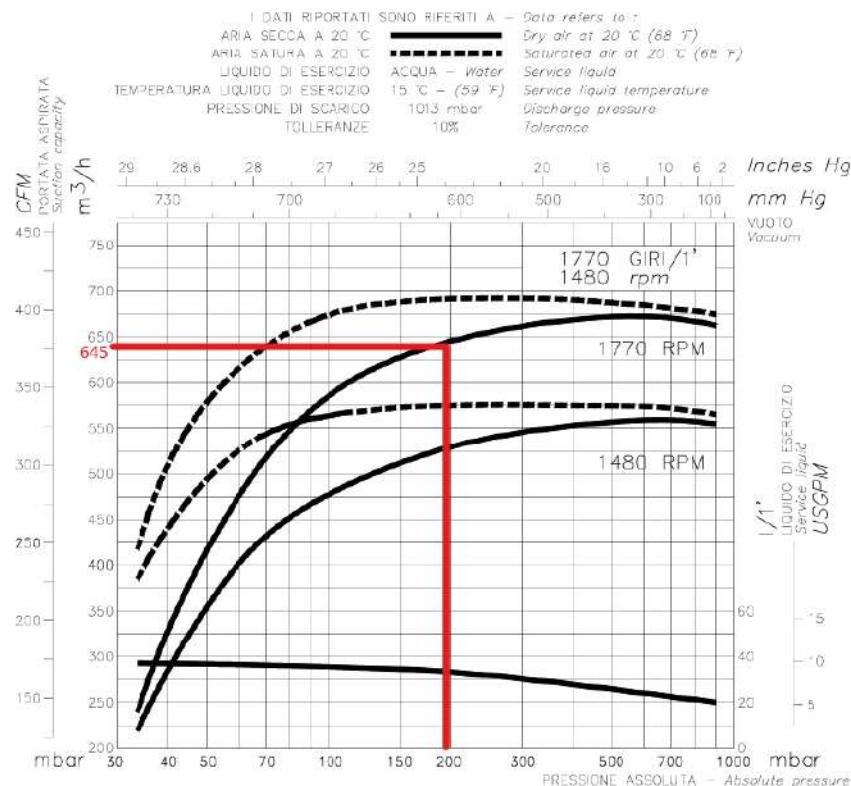
$$Q_{\text{BOMBA}} = \frac{611.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.95} = 643.92 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

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.



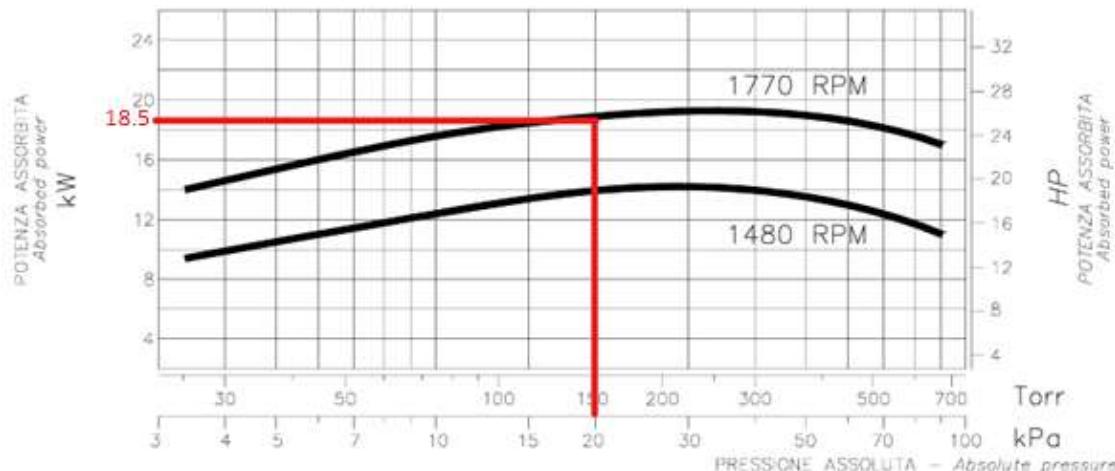
Fuente: Ficha técnica del modelo TRVX 1003.

De la Figura 108 obtenemos el valor de la capacidad de succión de $645\text{m}^3/\text{h}$, 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/m³.
- Material reciclado de EPS es de 15% de densidad 15 kg/m³.

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/ft ³) | 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

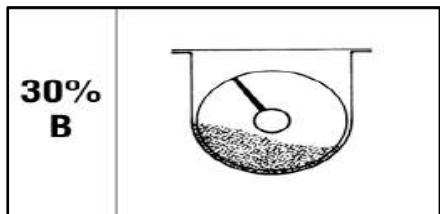
Al identificar las características el material dentro del catálogo de Martin, en la Tabla 56 se presenta el resumen de las características de material de EPS (ver ANEXO T).

Tabla 56*Características de material de EPS.*

| Característica de material | | |
|----------------------------|------|--|
| 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 de transportadores de tornillo a 1 RPM y Max RPM.*

| Carga | Diámetro | | Capacidad (ft ³ /h) | Max RPM |
|--------|------------------|--------|--------------------------------|-----------|
| | tornillo sin fin | (pulg) | | |
| 30 % B | 12.00 | | 12.9 | 645 |
| | | | A 1 RPM | A MAX RPM |
| | | | | 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_{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 catalogo 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 = $1\frac{1}{2}$ 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 Doblez | 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 algunas 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.

| Diámetro del tronillo helicoidal (pulg) | Diámetro eje (pulg) | Espesor de hélice(pulg) |
|--|---------------------|-------------------------|
| 12 | 3.00 | 1/4 |

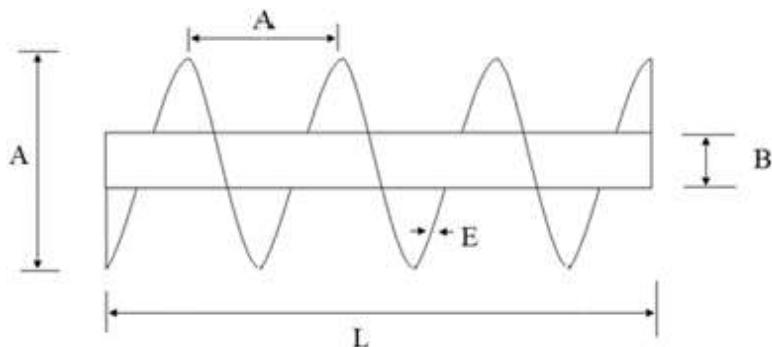
Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

$$e_{\text{helice}} = 1/4 \text{ pulg}$$

$$d_{\text{eje}} = 3 \text{ pulg}$$

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>

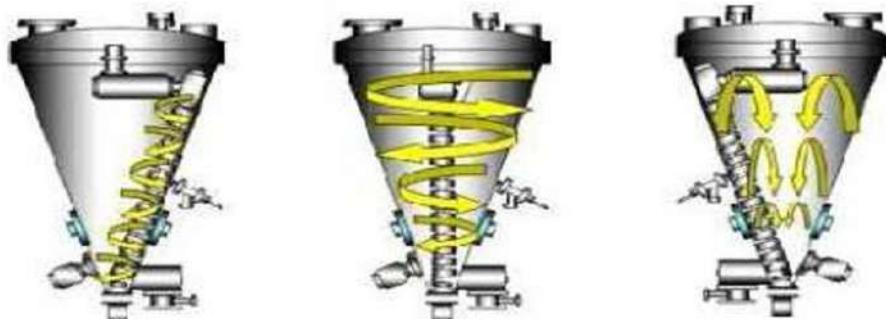
5.3 Mezclador de tornillo sin fin vertical

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.

$$Q_{EPS} = 18 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; \text{Capacidad requerida.}$$

V_C =volumen del cono al 30% de sólidos, m^3/h .

$$V_C = 18 \frac{m^3}{kg} * 0.133 h = 2.4 m^3$$

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 m³.

$$V_m = V_C * 1.3 \quad (157)$$

Donde:

V_m : Volumen de material a mezclar

30%: Porcentaje de incremento al volumen requerido

$$V_m = 2.4 m^3 * 1.3 = 3.12 m^3$$

Volumen del cono para un 30% de carga de EPS ocupa un volumen de 3.12m³, con el 100% de la carga ocupara un volumen de 10.4 m³. con este volumen se puede calcular las dimensiones del mezclador cónico.

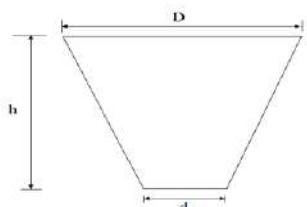
$$V_{mezclador} = 10.4 m^3$$

Con la ecuación 158 podemos calcular las dimensiones de mezclador cónico:

$$V_{mezclador} = \frac{\pi * h_c (D^2 + D * d + d^2)}{12} \quad (158)$$

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:

$$D = h_c = 3.31 \text{ m}; \text{ Diámetro y altura del cono}$$

$$d = 0.3 \text{ m}; \text{ Diámetro menor del cono}$$

$$V_{\text{mezclador}} = 10.4 \text{ m}^3; \text{ Volumen total del mezclador}$$

$$V_{\text{util}} = 3.12 \text{ m}^3; \text{ Volumen útil calculado}$$

$$D_{\text{helicoidal}} = 12 \text{ pulg}; \text{ Diámetro de tornillo sin fin}$$

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

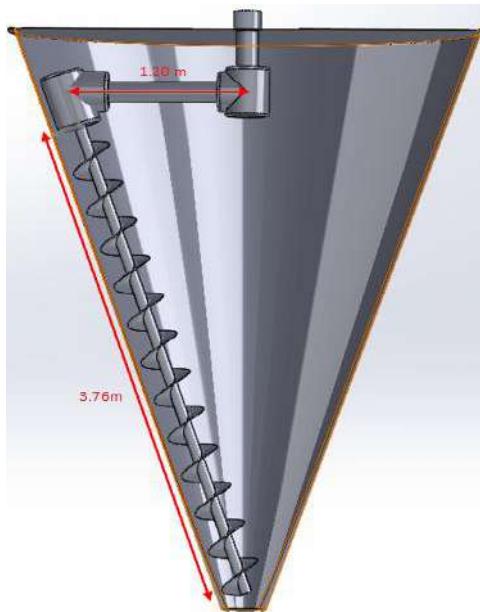
Tipos de equipos para el mezclado de sólidos.

| Type of Mixer | Motion by: | $Fr = \frac{r\omega^2}{g}$ | Capacity (m ³) | Power (kW/m ³) |
|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 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 | »1 | <1.5 | { <500 20 |

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 Número 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.

$$Fr_B = \frac{r \cdot w^2}{g} \quad (159)$$

Donde:

$r = 1.2m$; la Figura 114 muestra la longitud de brazo orbital.

$w = 2 \text{ RPM} \approx 0.033 \text{ RPS}$; Velocidad angular del brazo orbital según (Golshan et al, 2016).

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

$$Fr_B = \frac{(0.033 \text{ RPS})^2 * 1.2m}{9.81 \frac{m^2}{s}} = 1.332 \times 10^{-4}$$

5.3.3.1.2 Número 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.

$$Fr_T = \frac{r_t \cdot N_{Tornillo}^2}{g} \quad (160)$$

Donde:

$r_t = 0.15 m$; Radio de tornillo sin fin.

$N_{Tornillo} = 49.28 \text{ RPM} \approx 0.821 \text{ RPS}$; Velocidad angular de tornillo sin fin.

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

$$Fr = \frac{(0.821 \text{ RPS})^2 * 0.15m}{9.81 \frac{m^2}{s}} = 0.010$$

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

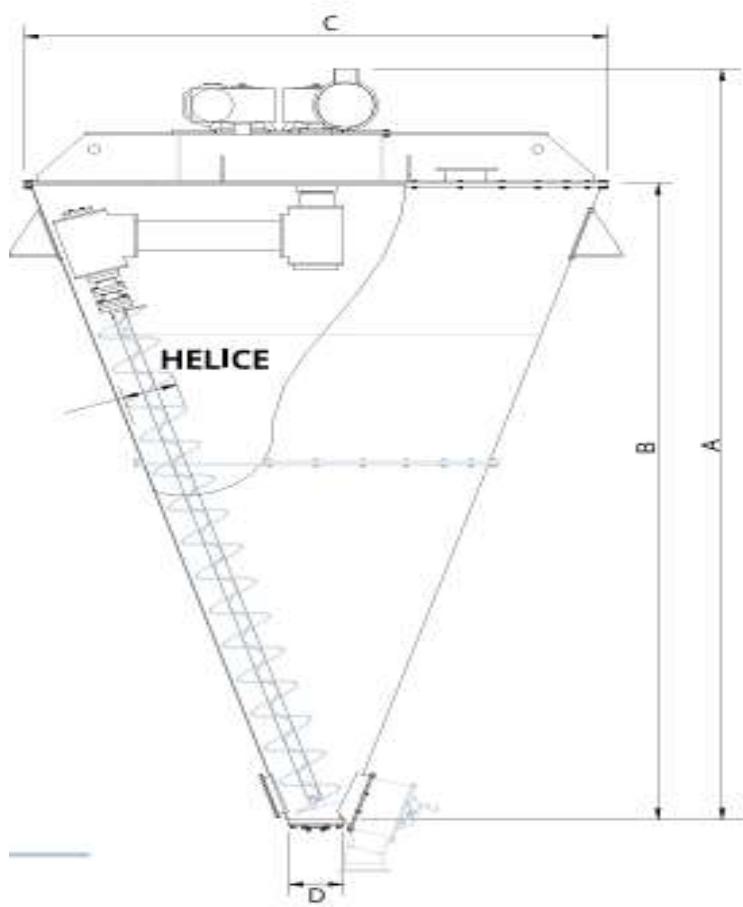
mezcladoras de sólidos. Esto significa que el proceso está dominado por la gravedad y no por la fuerza centrífuga, lo que es adecuado para mezclas suaves donde no se busca fluidización o proyección del material.

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.

| Modelo | Volumen (L) | | Dimensiones (mm) | | | |
|---------------|--------------|---------------|------------------|--------------|--------------|------------|
| | Útil | Total | A | B | C | D |
| C-50 | 60 | 141 | 2.200 | 980 | 700 | 100 |
| C-100 | 100 | 232 | 2.400 | 1.178 | 825 | 100 |
| C-500 | 513 | 1.407 | 2.756 | 2.150 | 1.580 | 150 |
| C-1000 | 1.070 | 3.429 | 3.622 | 2.830 | 2.150 | 260 |
| C-1200 | 1.224 | 3.592 | 3.722 | 2.930 | 2.220 | 260 |
| C-1500 | 1.577 | 4.486 | 3.922 | 3.130 | 2.340 | 260 |
| C-2000 | 2.028 | 5.385 | 4.259 | 3.467 | 2.500 | 260 |
| C-3000 | 2.998 | 7.155 | 4.512 | 3.720 | 2.720 | 260 |
| C-4000 | 4.004 | 8.906 | 4.822 | 4.030 | 2.910 | 260 |
| C-5000 | 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 m; Diámetro del cono

h_c = 4.02 m; Altura del cono

d = 0.3 m; Diámetro menor del cono

V_{mezclador} = 10.579 m³ ; Volumen total del mezclador

V_{util} = 5.004 m³ ; Volumen útil calculado

D_{helicoidal} = 12 pulg ; Diámetro de tornillo sin fin

5.3.4.1 Características del sistema de mezcla seleccionado

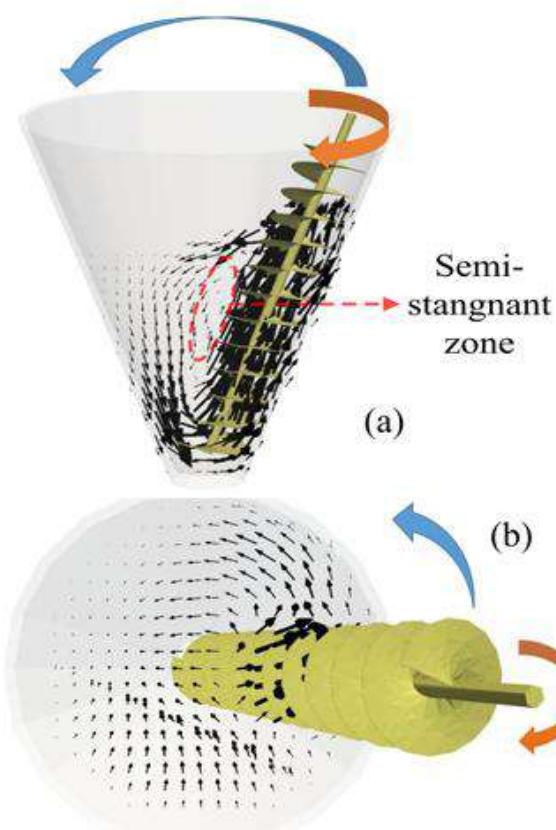
A continuación, se describe las características del sistema de mezclado.

- 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.

$$HP_h = \frac{(HP_f + HP_m) * Fo}{e} \quad (161)$$

Donde:

Fo: 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, numero de paletas por paso, los cuales determinan los siguientes factores:

Fm: factor en función de las características del material

Fd: factor transportador de diámetro

Fb: 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.

| Diámetro del tronillo helicoidal (pulg) | Factor F_d |
|--|--------------|
| 12 | 55.00 |

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Tabla 66

Factor de porcentaje de carga de mezclador.

| Tipo de buje | Factor de buje colgante F_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.

| Tipo de helicoidal | F _f Factor de porcentaje de carga de mezclador |
|--------------------|--|
| Estándar | 30% |

| | |
|----------|------|
| Estándar | 1.00 |
|----------|------|

Fuente: <https://www.norpem.com.br/catalogos/MARTIN/catalogo-martin.pdf>

Tabla 68

Factor de paletas.

| Numero de Paletas por paso | Factor de paletas, F_p |
|----------------------------|--------------------------|
| paso | 0 |
| 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)

$$HP_f = \frac{L * N_{tornillo} * F_d * F_b}{1000000} \quad (162)$$

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 Martin.

$$HP_m = \frac{Q * w * F_f * F_m * F_p}{10^6} \quad (163)$$

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.

$$HP_i = \frac{Qi * L}{33000} \quad (164)$$

$$HP_i = \frac{635.67 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} * 12.34 \text{ ft}}{33000} = 0.24 \text{ HP}$$

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:

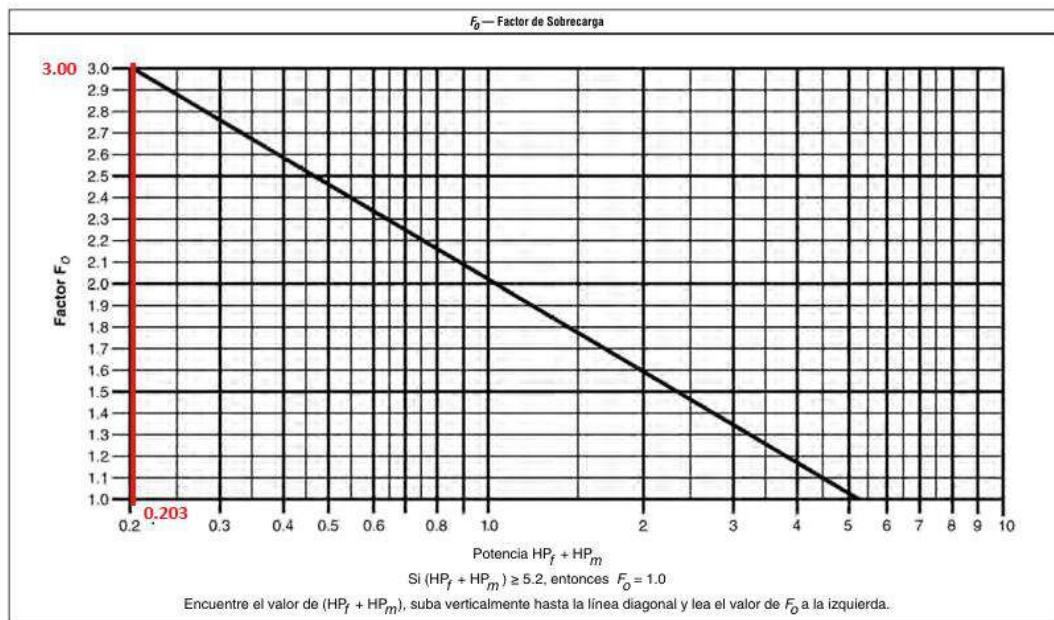
$$HP_m + HP_f = 0.056 \text{ HP} + 0.147 \text{ HP}$$

$$HP_m + HP_f = 0.203 \text{ HP}$$

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 Engranes Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople | Motorreductor con Cople | Motorreductor con Transmisión de Cadena | Corona Sinfín |
| .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 calcula el 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.

$$g = \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}; \text{ aceleración de la gravedad.}$$

$$T_b = 672 \text{ kg} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 1.2 \text{ m} = 7910.78 \text{ J}$$

Para calcular la potencia necesaria para el brazo orbital utilizaremos la ecuación 166.

$$HP_B = \frac{T_b * w}{746} \quad (166)$$

$T_b = 7910.78 \text{ J}$; Torque en el brazo orbital.

$$w = 2 \text{ rpm} = 0.21 \frac{\text{rad}}{\text{s}}; \text{ Velocidad angular del brazo orbital.}$$

$$HP_B = \frac{7910.78 \text{ J} * 0.21 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{746} = 2.23 \text{ HP}$$

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

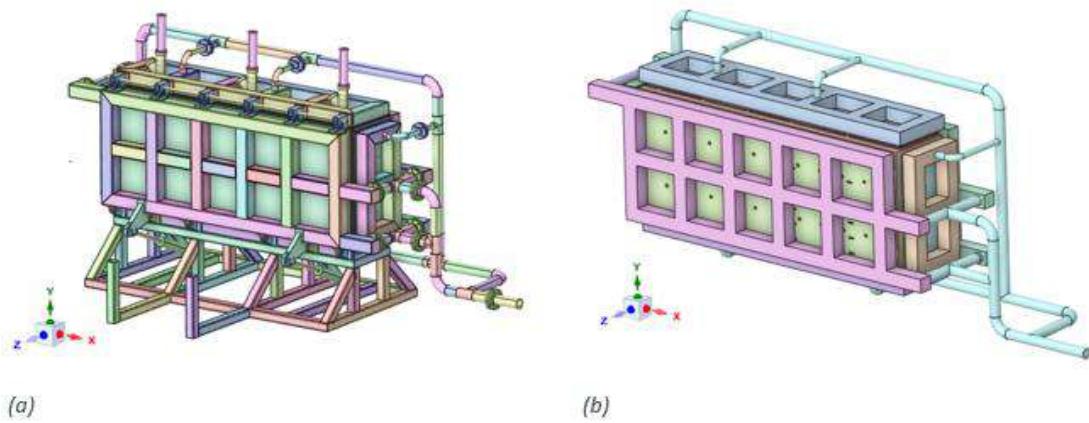
en la calidad del moldeo del EPS. El tipo de simulación es en el régimen estacionario, debido a su bajo costo computacional y la condición estable de operación que se desea cuantificar.

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 realizo 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 evidencio una excesiva generación de número de elementos y nodos al considerar curvaturas de radios pequeños. Esto genero 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 quieras 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 ³ |
| Viscosidad dinámica | 1.01E-5 | Pa·s |
| Capacidad calórica (C _p) | 2.08 | kJ/kg K |
| Conductividad térmica | 0.024 | W/m K |

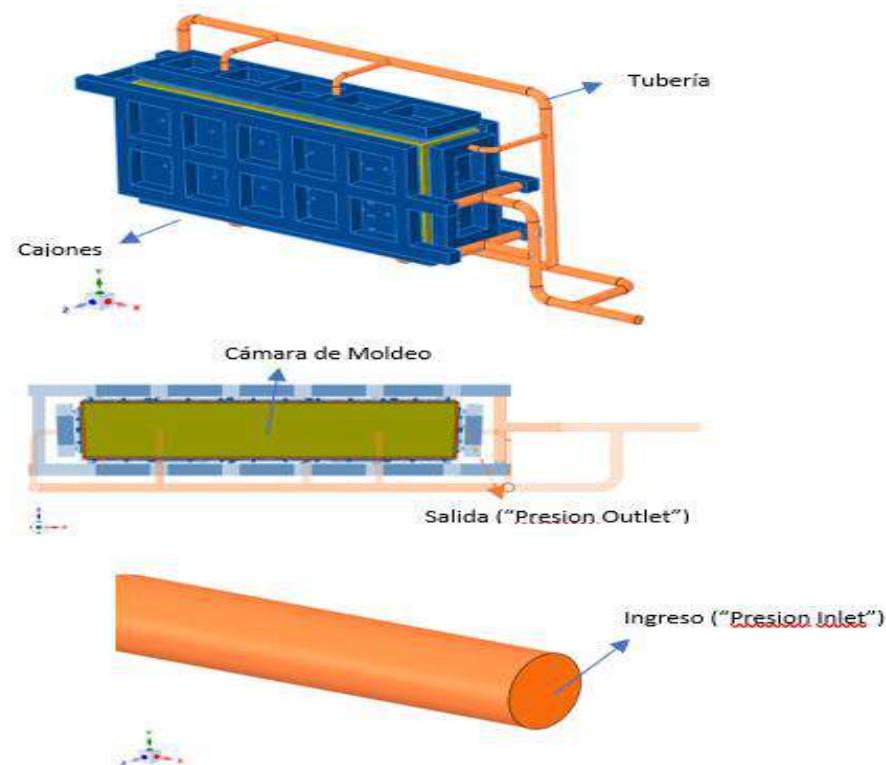
Fuente: Elaboración Propia.

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 liquida 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.

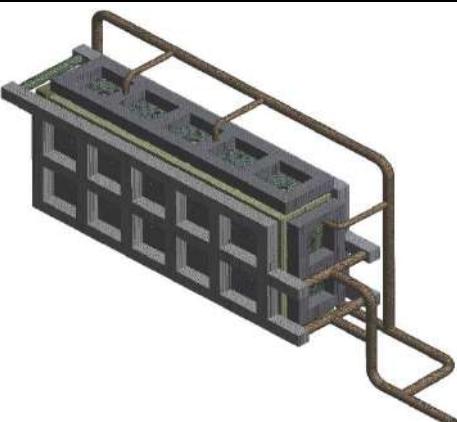
La entrada de la presión en Fluent se define como “Presión Gauge” el cual representa la presión relativa con respecto a la presión de referencia de la atmósfera como 101325 Pa por lo tanto si la entrada es 200 kPa, la diferencia (200 kPa – 101 kPa) resulta en 99 kPa es el valor que se ingresa como entrada 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

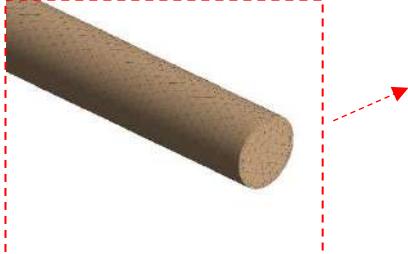
Malla general del modelo.

| 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

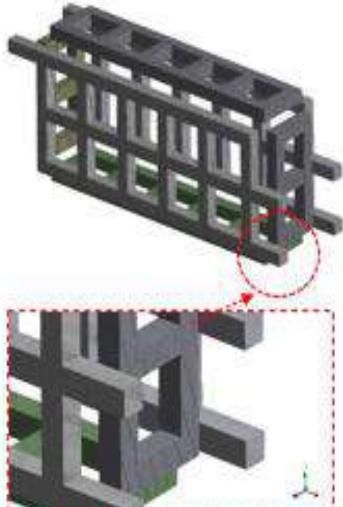
Malla de control para el subdominio de la tubería.

| Subdominio: Tubería | Descripción |
|---|---|
|  | Se aplico 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

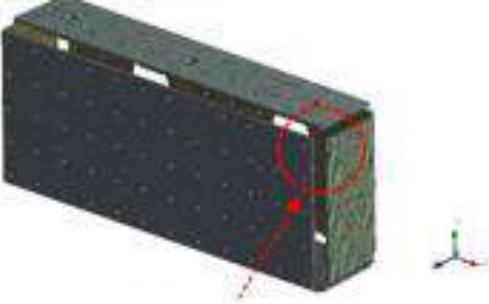
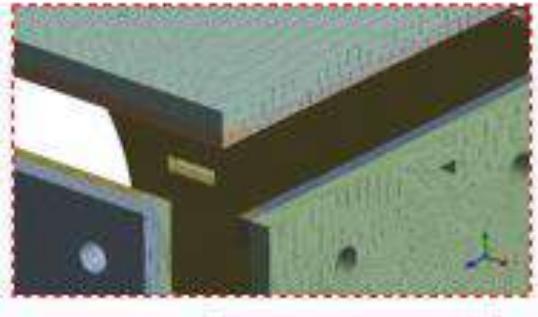
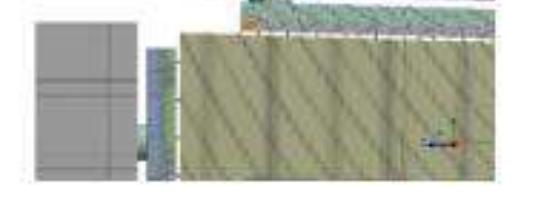
Malla de control para el subdominio de los cajones.

| Subdominio: Cajones | Descripción |
|---|--|
|  | Se aplico 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.

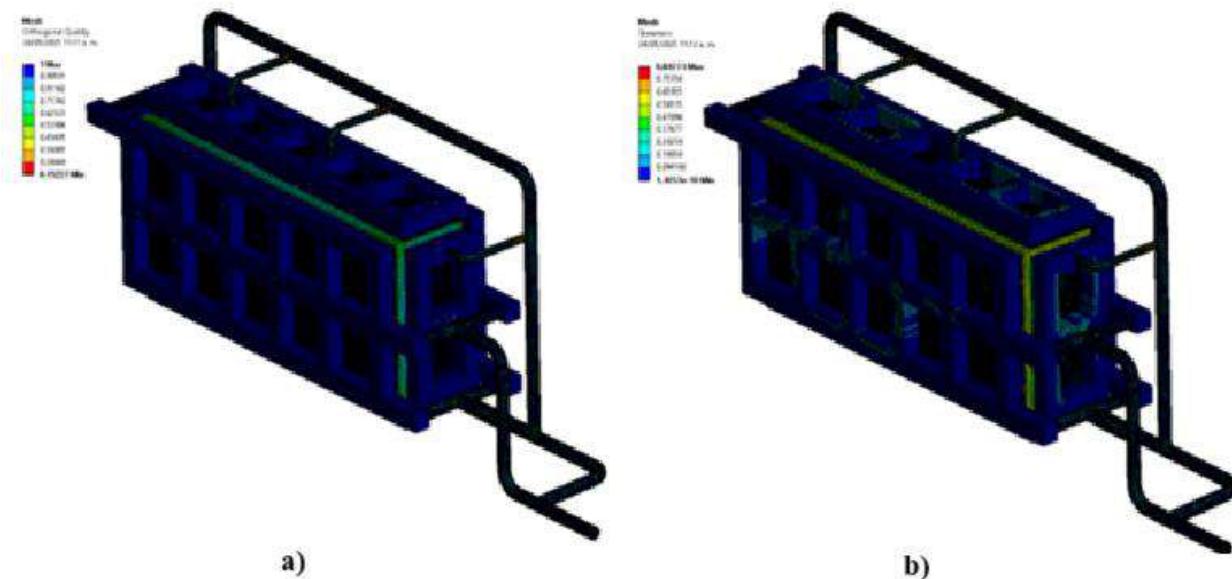
De la Tabla 71 donde se tiene el mallado general del dominio computacional las métricas de calidad del mallado se aprecian que estas cumplen con los valores recomendados según (ANSYS Fluent, 2023). Ver Tabla 75.

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.

| Variable | | Malla | | |
|-----------------|-------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Ítem | Temperatura - °C | presión - kPa | Cantidad de elementos | Cantidad de nodos |
| 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

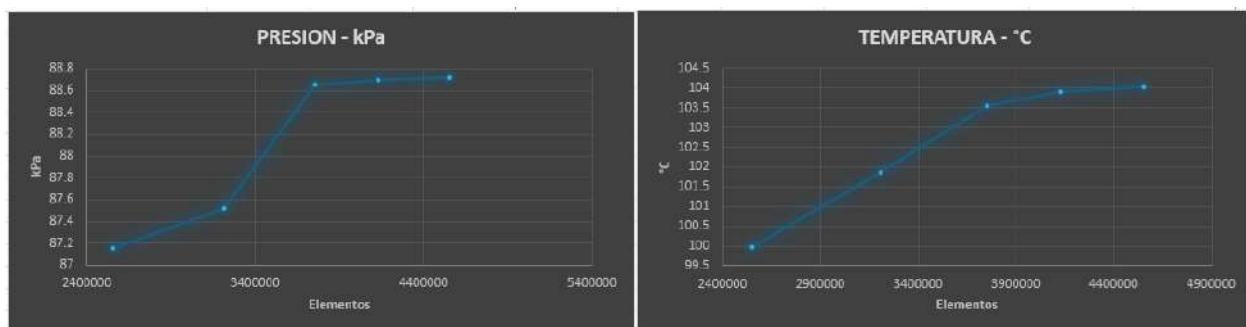
Los resultados muestran que, al aumentar el número de elementos, las variaciones en los valores de temperatura y presión se reducen progresivamente:

- 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-épsilon (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.

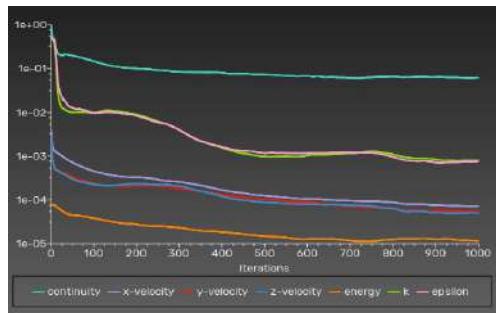
6.8 Procesamiento

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.

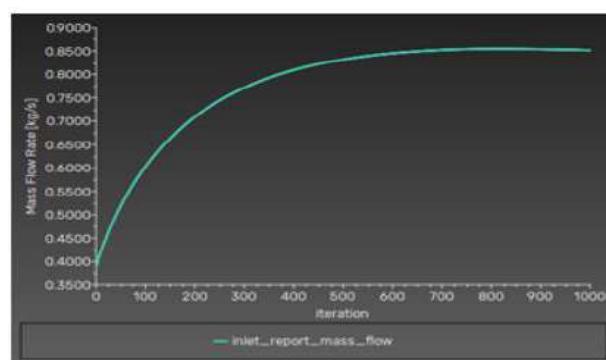


Fuente: Elaboración Propia.

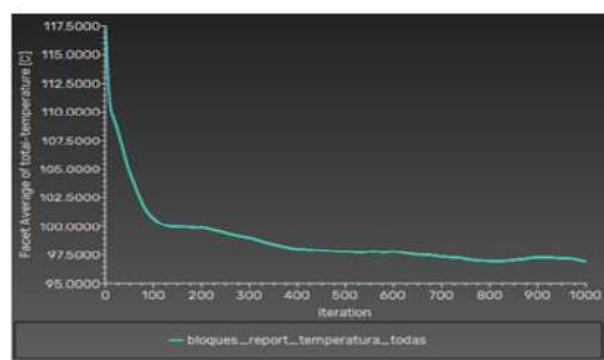
En la Figura 123 de la convergencia de residuales por iteración se observa que se detuvo o se completó la simulación en la iteración número 910, se observa que el residual de la temperatura llegó a la condición configurada durante el “*setup*” de 1e-04.

Figura 123

Convergencia de variables de monitoreo: a) Reporte de flujo de masa de ingreso y b) temperatura de los 6 bloques.



a)

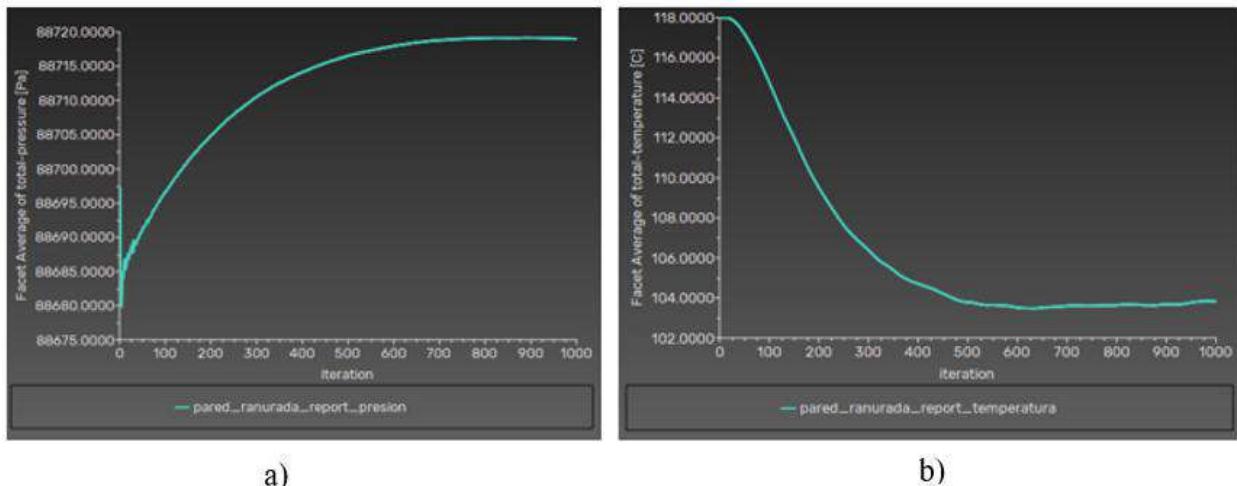


b)

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 124

Convergencia de variables de monitoreo: a) Reporte de la y b) temperatura de la pared ranurada.



a)

b)

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.

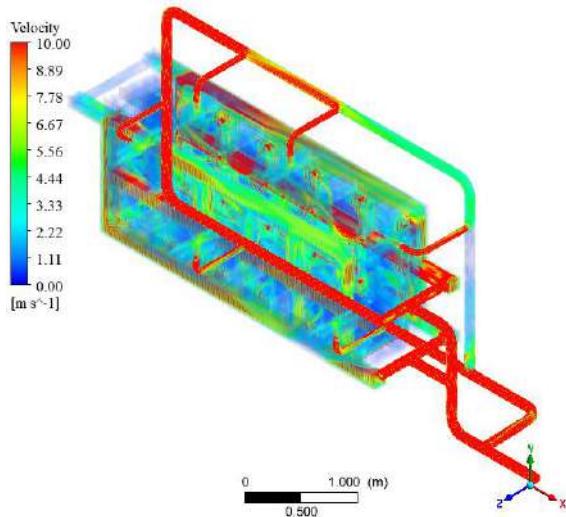
6.9 Resultados (Post Procesamiento)

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 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

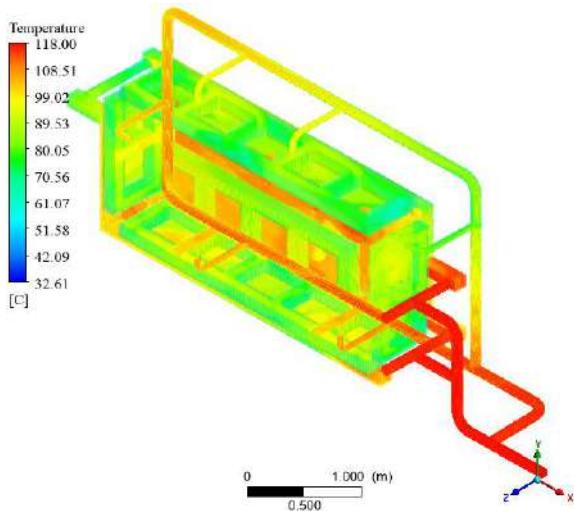
Campo las velocidades en el sistema de moldeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 126

Distribución de la temperatura en el sistema de moldeo.



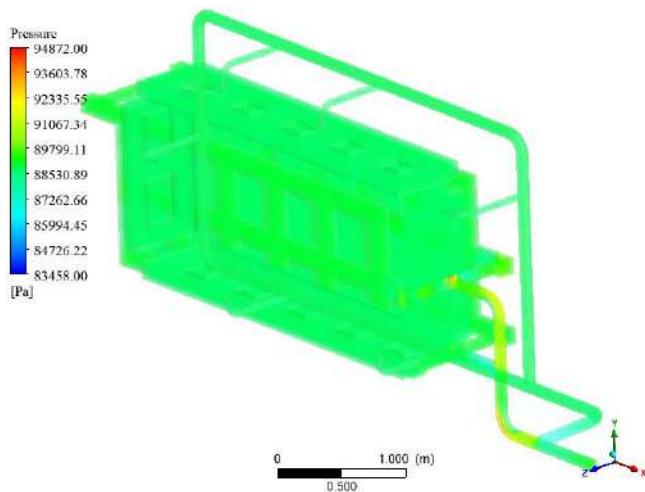
Fuente: Elaboración Propia.

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.



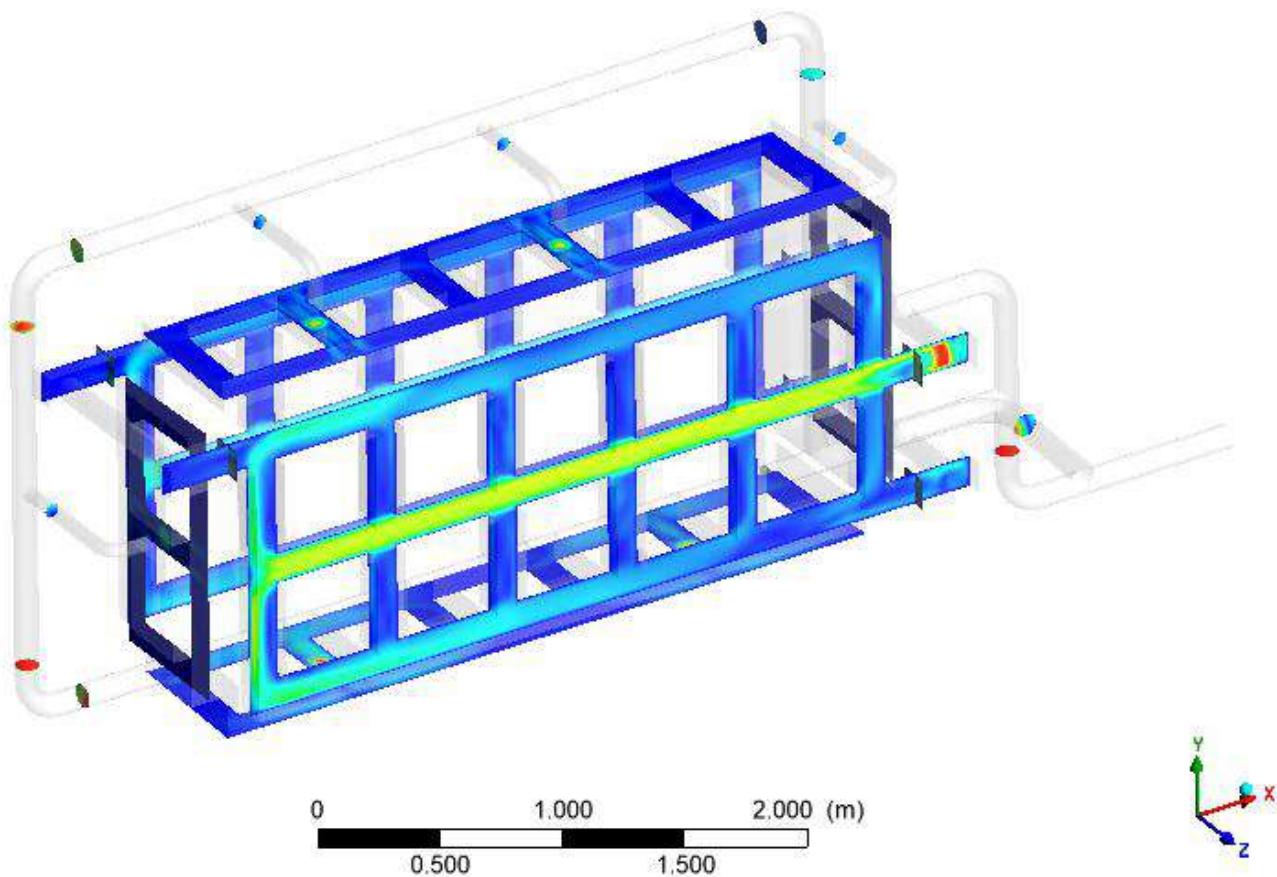
Fuente: Elaboración Propia.

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.

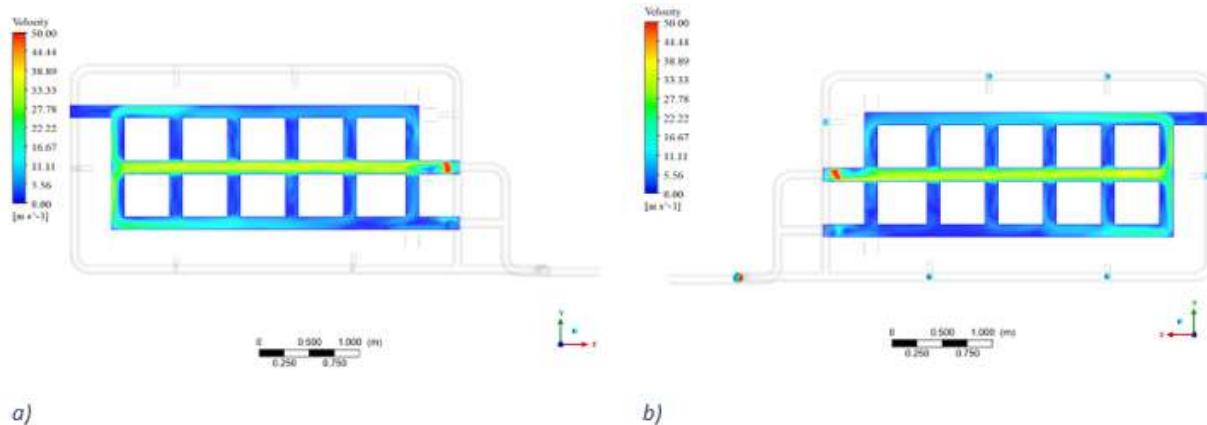


Fuente: Elaboración Propia.

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.



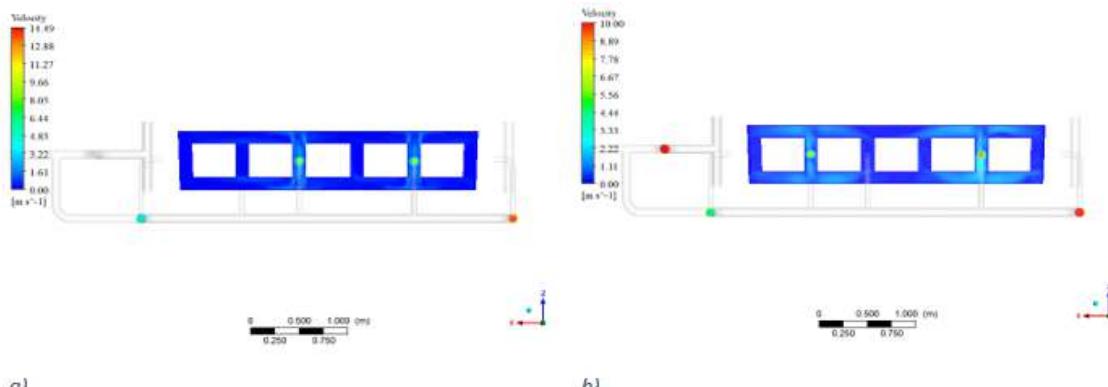
Fuente: Elaboración Propia.

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.

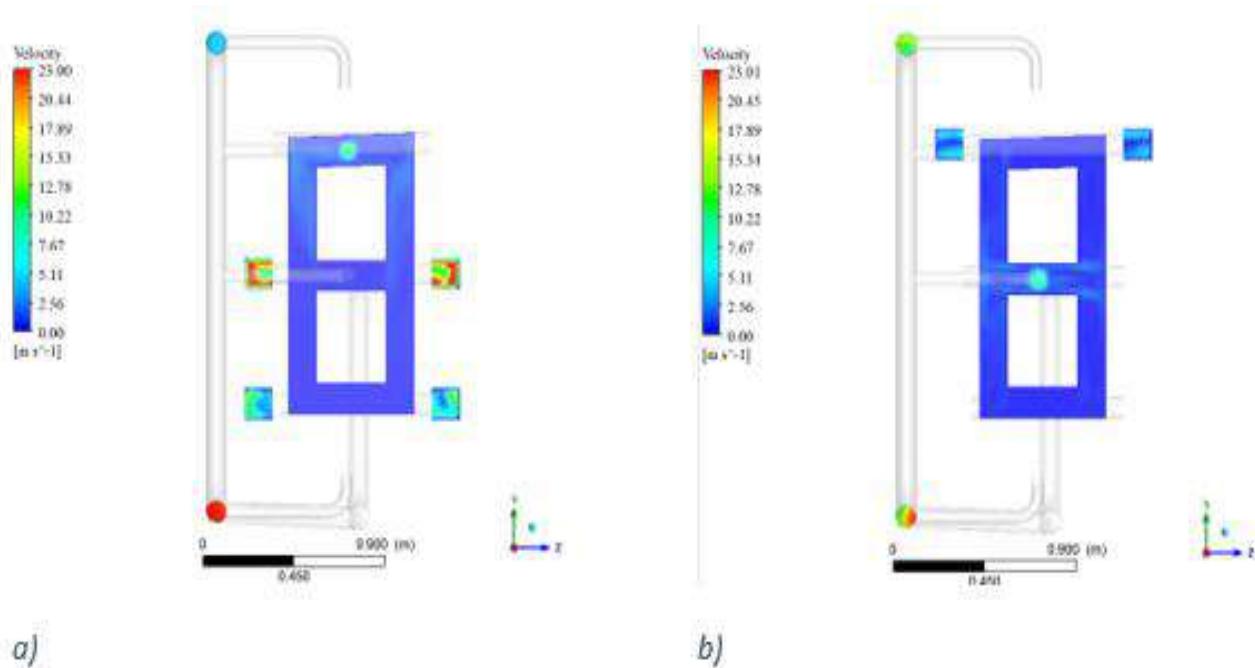


Fuente: Elaboración Propia.

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.

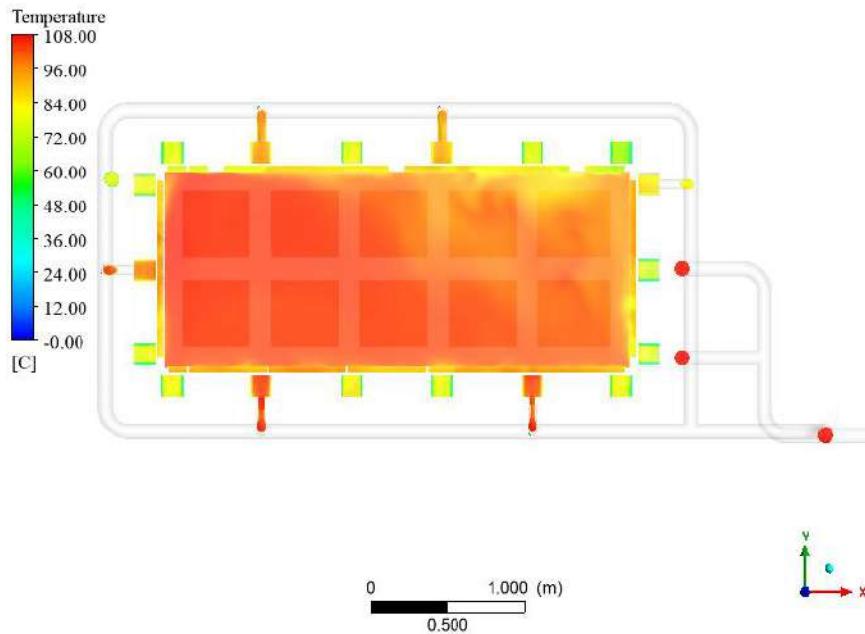


Fuente: Elaboración Propia.

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

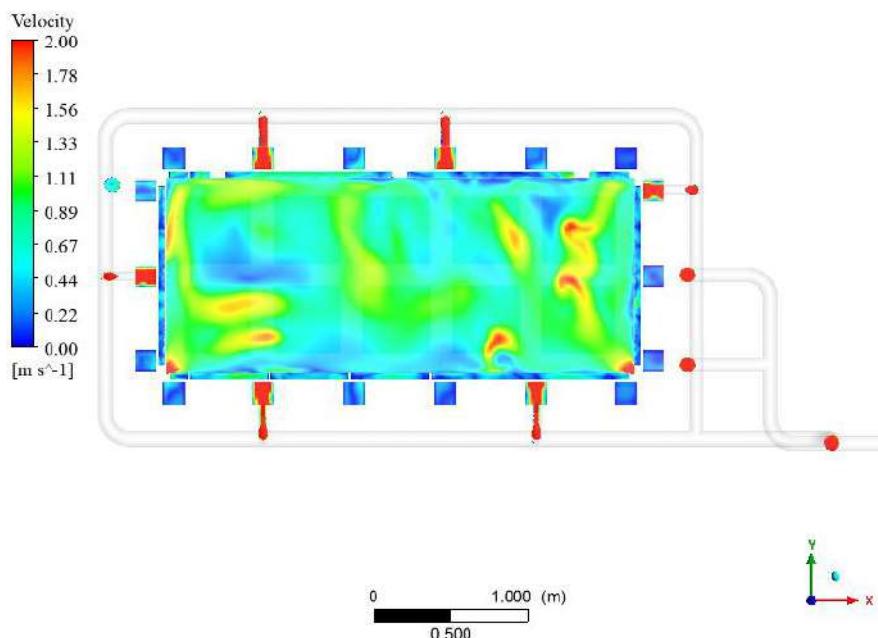
Distribución de temperatura en el plano medio de la cámara de moldeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 133

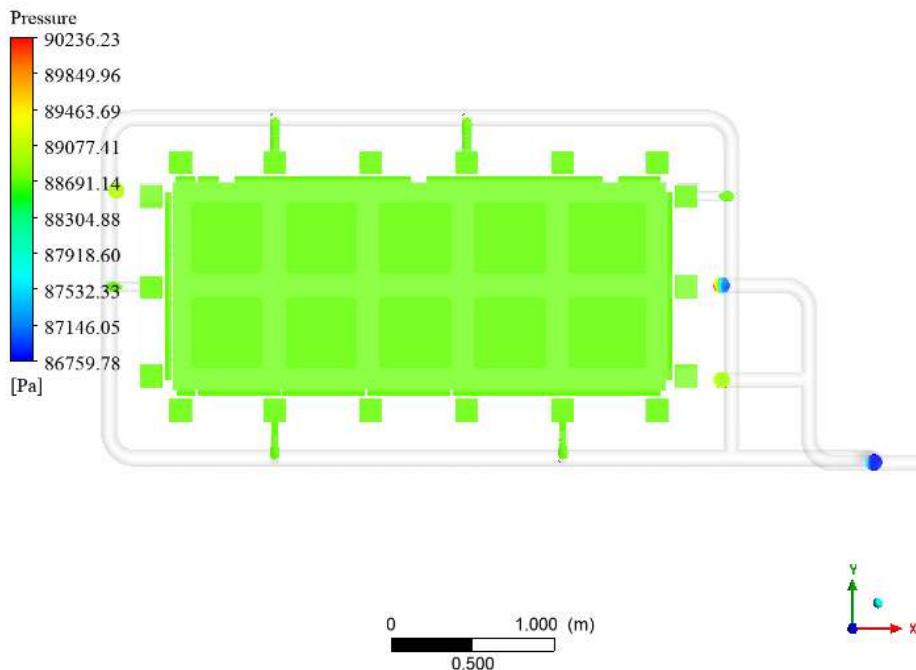
Distribución de velocidades de flujo en el plano medio de la cámara de moldeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 134

Distribución de las presiones totales en el plano medio de la cámara de moldeo.



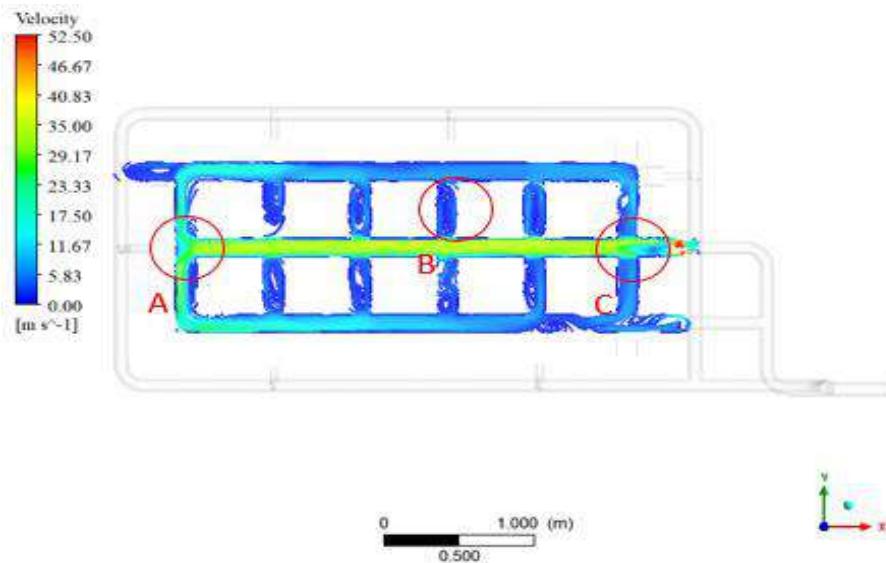
Fuente: Elaboración Propia.

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 líneas de velocidad de flujo a través del bloque delantero en plano frontal.

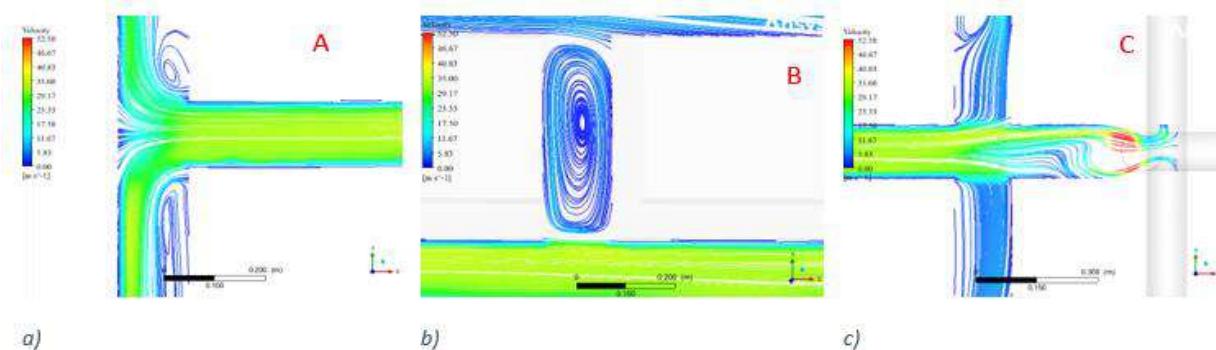


Fuente: Elaboración Propia.

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 líneas 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.



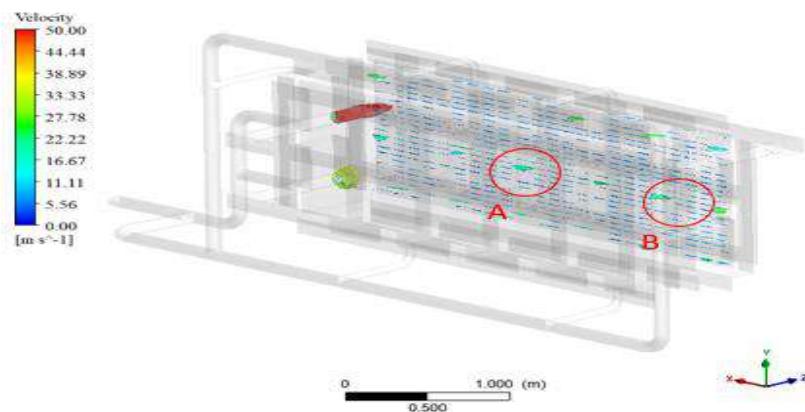
Fuente: Elaboración Propia.

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.

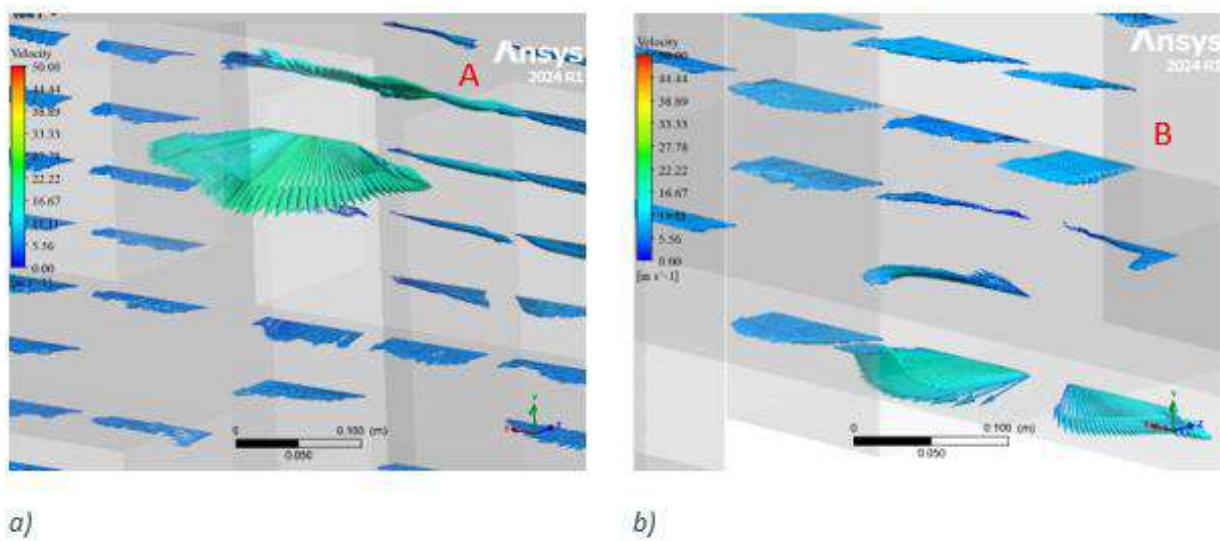


Fuente: Elaboración Propia.

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.

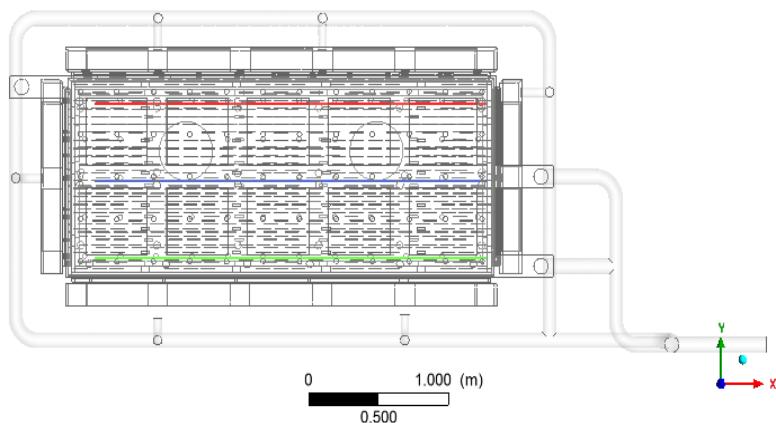


Fuente: Elaboración Propia.

Después de conocer la velocidad de ingreso, 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.

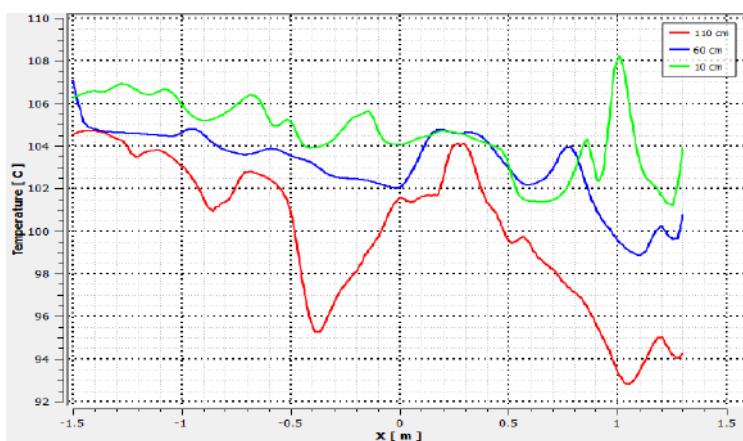


Fuente: Elaboración Propia.

Para una distancia axial de +45cm en la dirección X se observa en la Figura 140 que la temperatura varia 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.

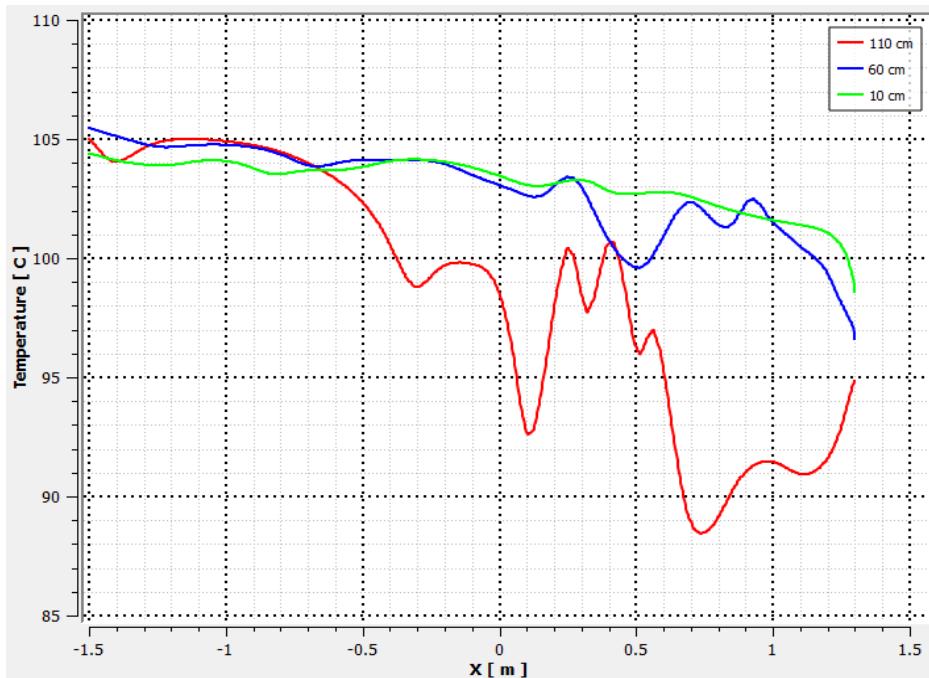


Fuente: Elaboración Propia.

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°C y una mínima de 93°C .

Figura 141

Distribución de temperatura dentro de la cámara de molde a una distancia de 0cm desde el eje Z origen.

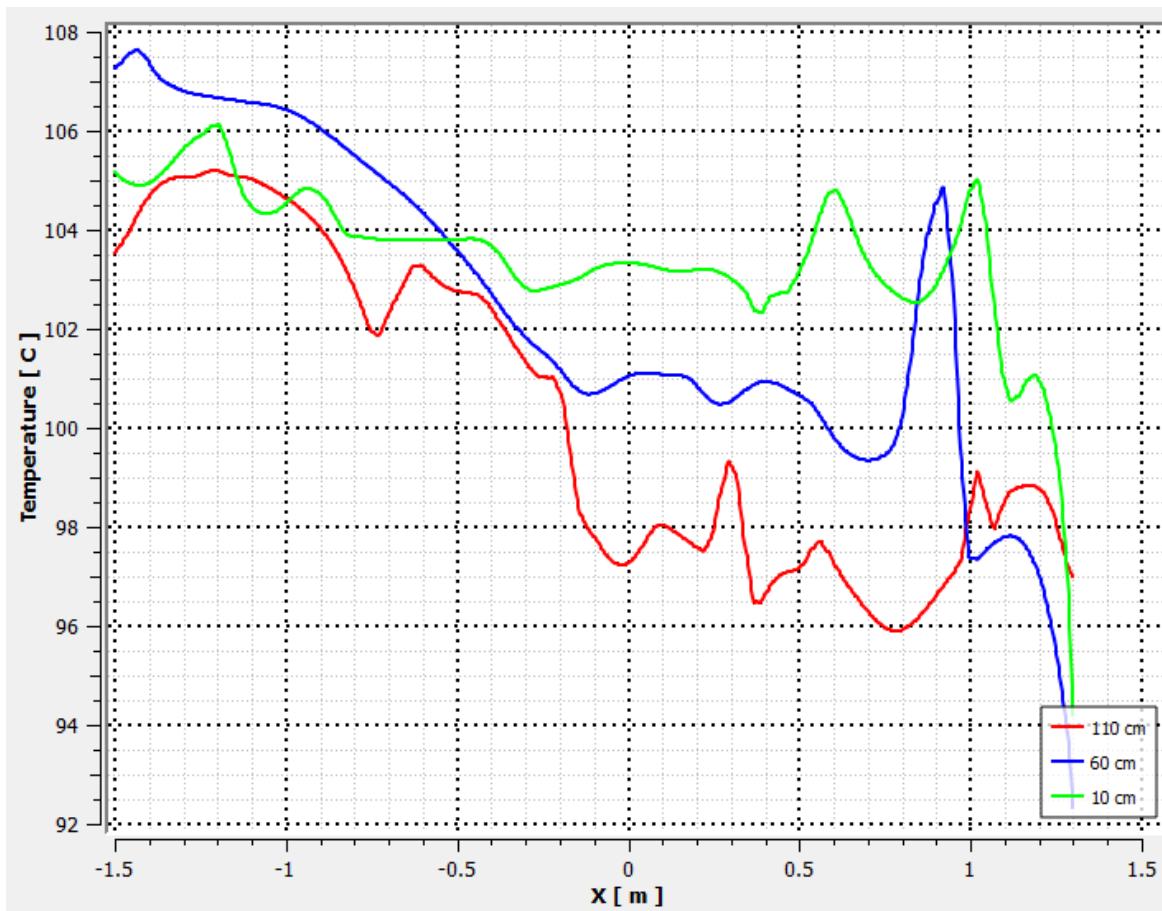


Fuente: Elaboración Propia.

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°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.



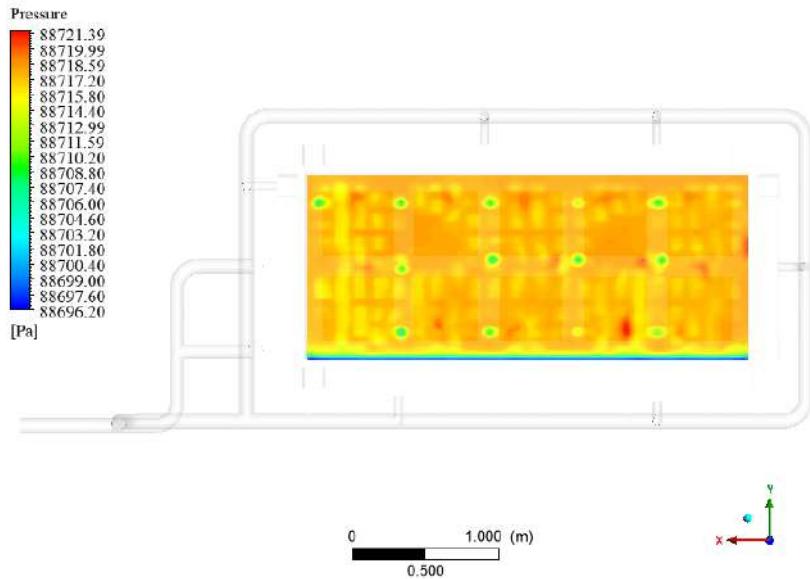
Fuente: Elaboración Propia.

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.

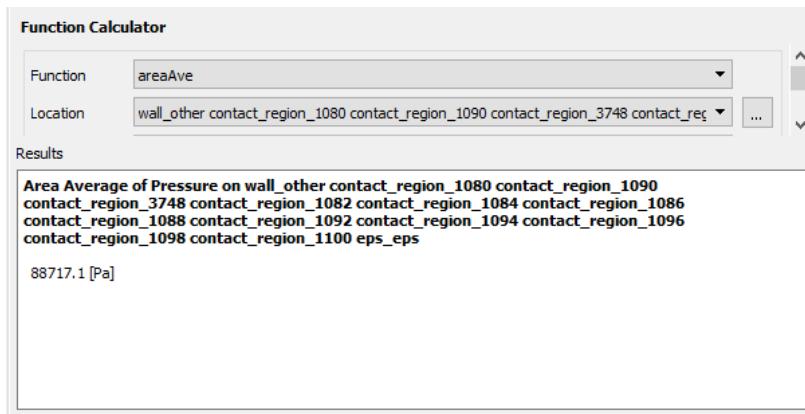
En la Figura 143 se visualiza una distribución homogénea de la presión sobre la pared frontal del bloque y con ayuda de la herramienta de cálculo de funciones en calcular el valor promedio del área de la pared se tiene un valor de 88.7 kPa sobre la pared.

Figura 143

Distribución de la presión en la placa (pared) frontal de la cámara de molde.



Fuente: Elaboración Propia.

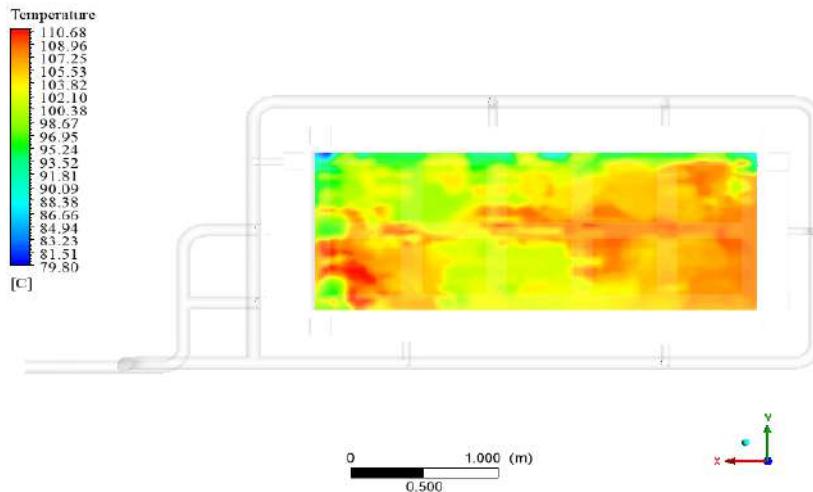


Fuente: Elaboración Propia.

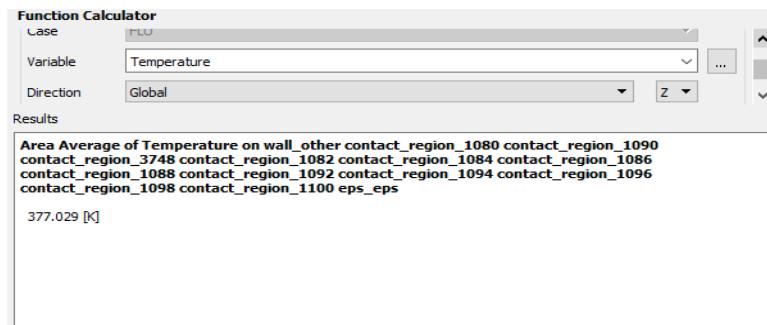
Ahora, en la Figura 144 sobre la distribución de la temperatura en la misma pared se visualiza una distribución no homogénea de la temperatura, con zonas de mayor temperatura con valores máximo y mínimo de 110.6°C y 98°C respectivamente en el área, a excepción de 79.8 °C ubicada en la esquina superior 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

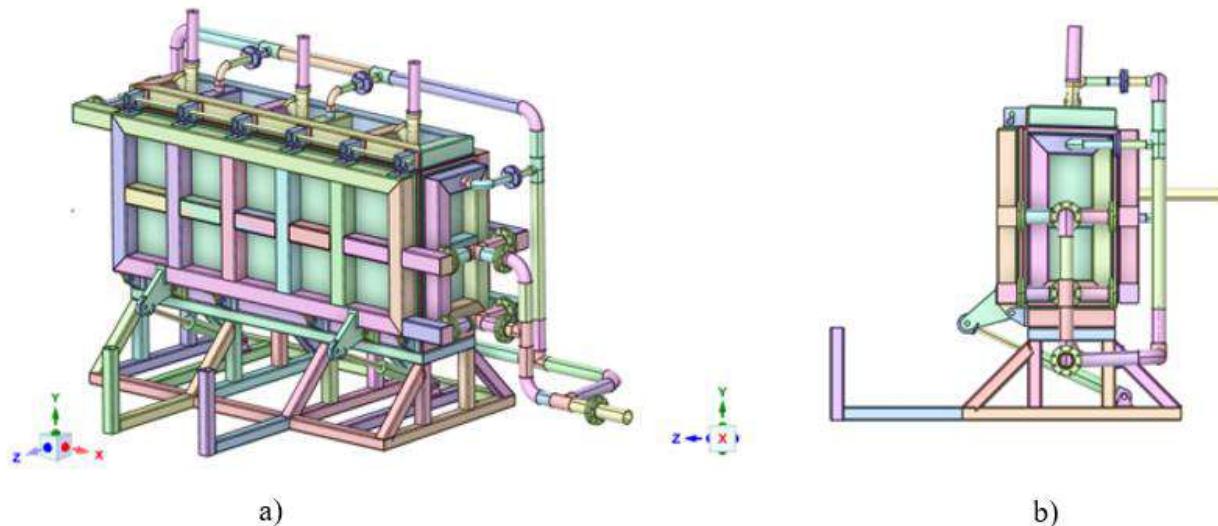
En esta sección se detalla la simulación FEM (Finite Element Method) de la estructura soporte del molde que cumple la función estructural de soportar la máquina de moldeo de EPS. Se evalúa dos casos de análisis cuando la máquina de molde está en operación, es decir, incluyendo las perlas de EPS dentro 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

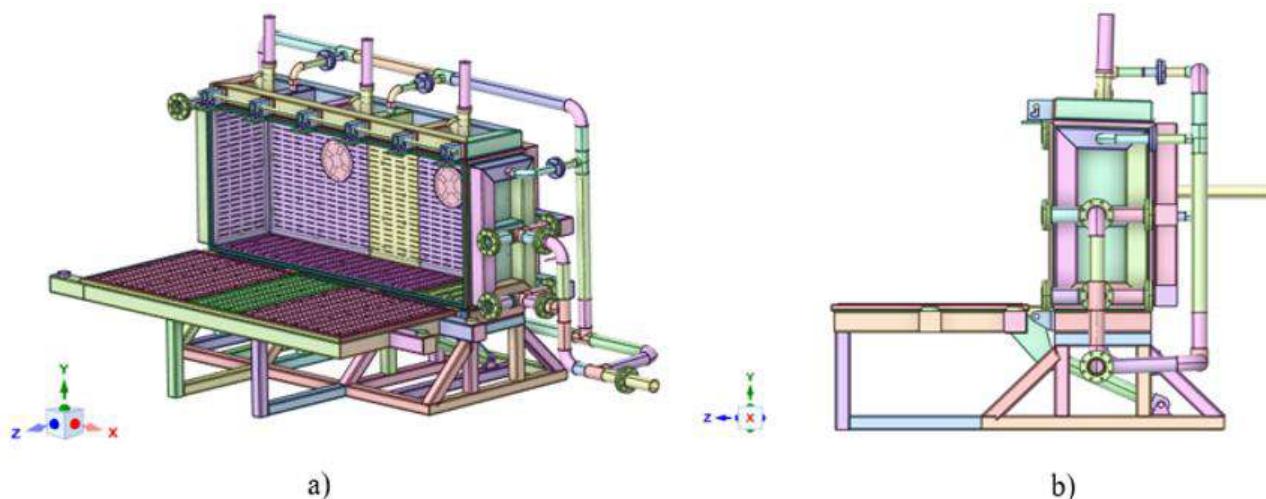
Primer caso de análisis con puerta cerrada, a) vista isométrica y b) vista lateral.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 146

Segundo caso de análisis con apertura de la puerta, a) vista isométrica y b) vista lateral.



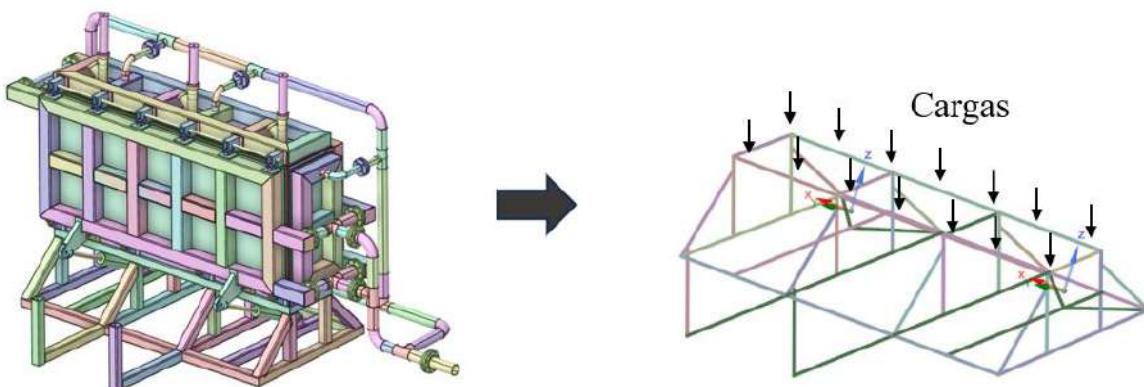
Fuente: Elaboración Propia.

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 componentes 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 |

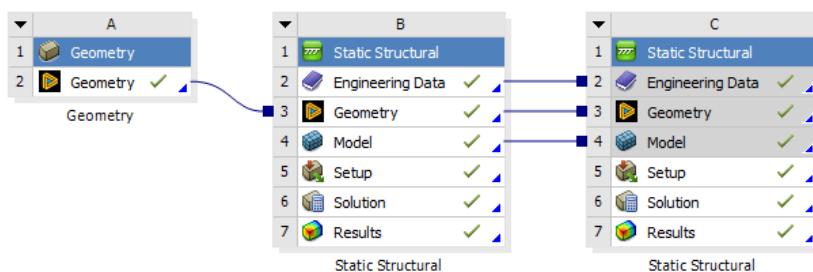
Fuente: Elaboración Propia.

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

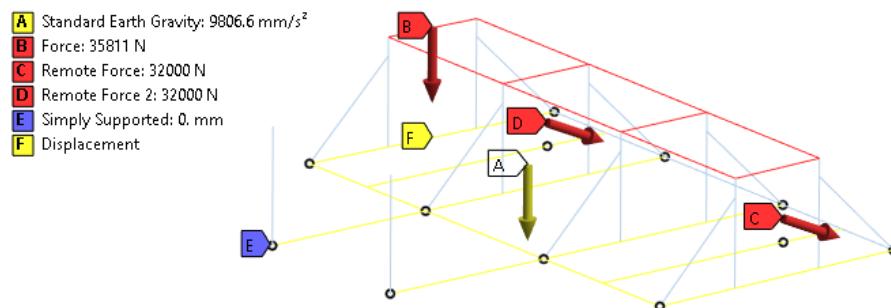
Condiciones de borde y las cargas sometidas del primer caso de análisis.

B: Static Structural

Static Structural

Time: 1. s

02/05/2025 08:38 p. m.



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 pivote 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.

C: Static Structural

Static Structural 2

Time: 1. s

02/05/2025 00:57 p. m.



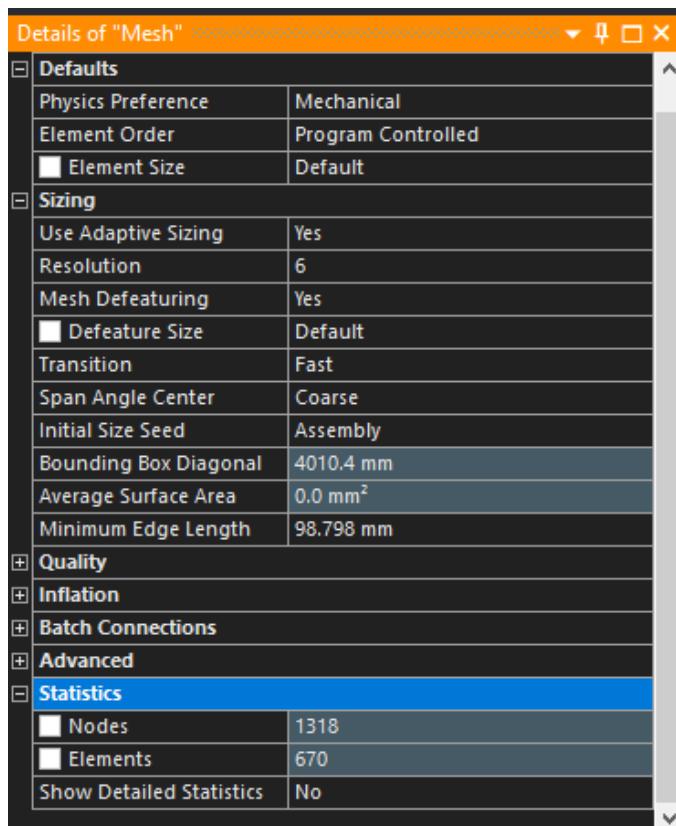
Fuente: Elaboración Propia.

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.

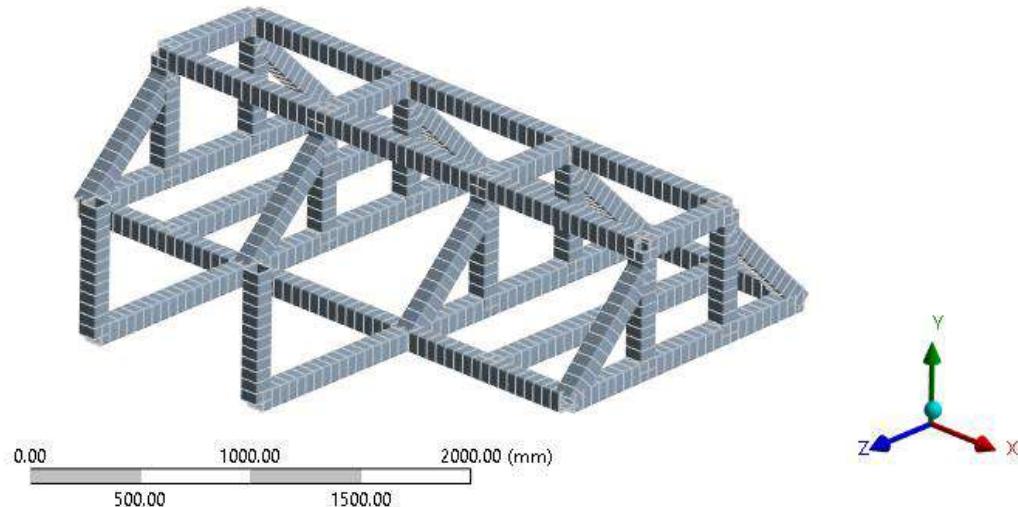


Fuente: Elaboración Propia.

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.

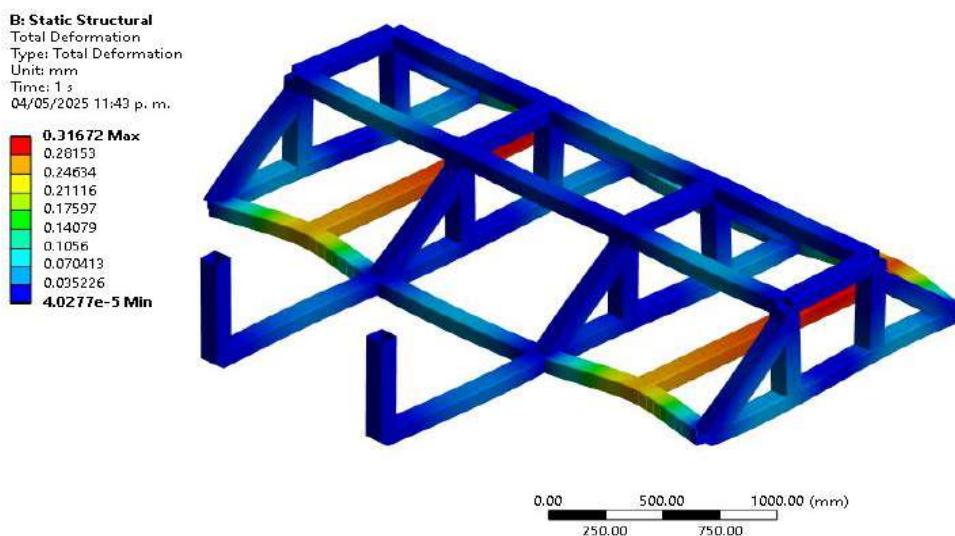
6.10.1.5 Resultados

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.

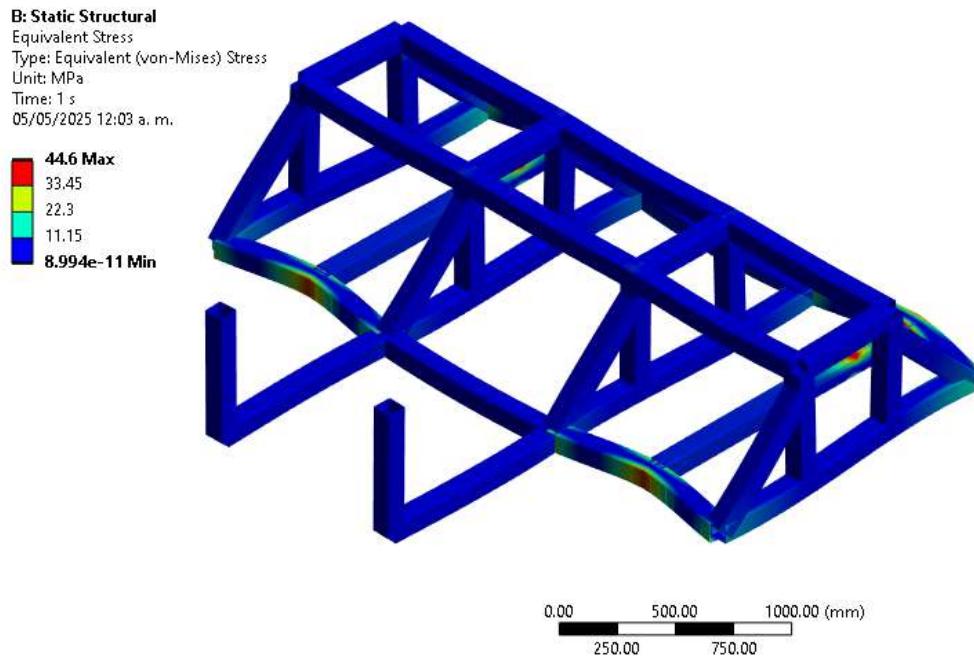


Fuente: Elaboración Propia.

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.



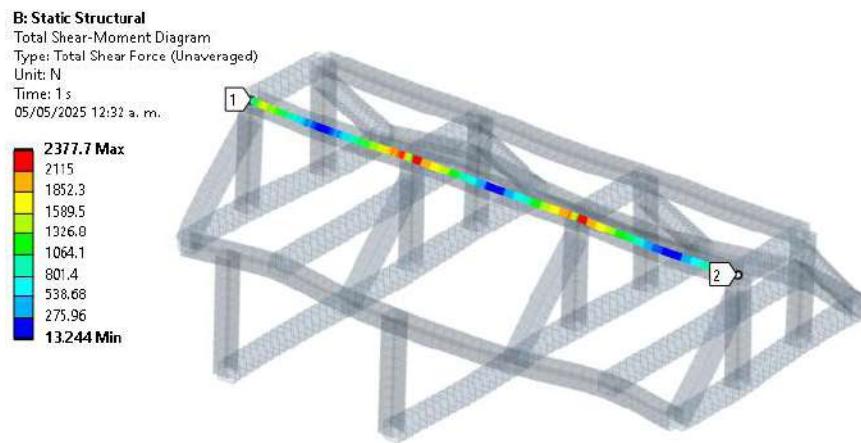
Fuente: Elaboración Propia.

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

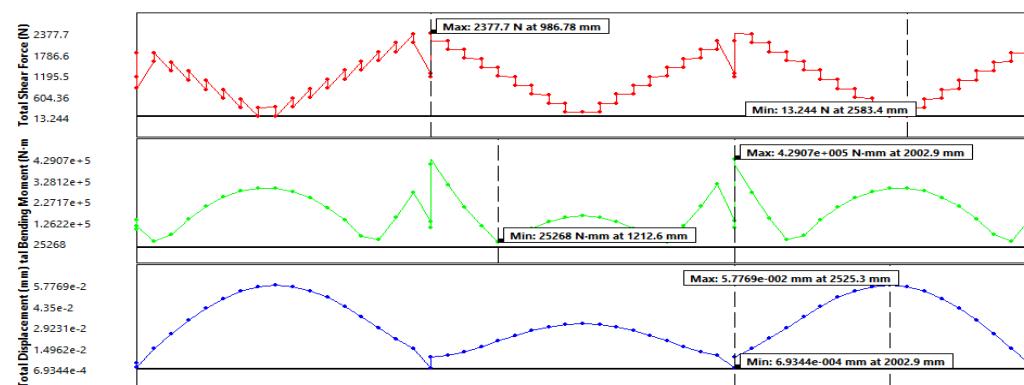
Path generado del miembro estructural superior de apoyo directo de la máquina de moldeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 156

Diagrama total de Fuerzas Cortantes, Momento Flector y Deformación en Path de miembro superior.



Fuente: Elaboración Propia.

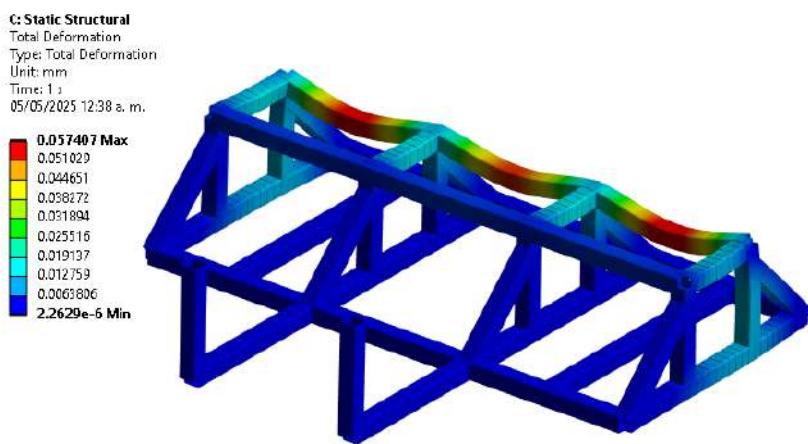
Se tiene un máximo momento flector de $4.2907e+05$ N mm (429.07 N m) ubicada a 2.0 m desde el punto 1 hacia el punto 2 según el Path generado en dirección del eje X.

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

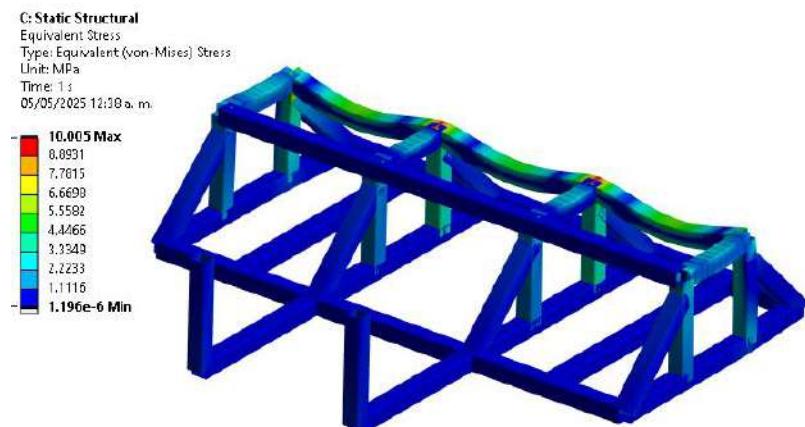
Estado de deformación general de toda la estructura soporte.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 158

Estado de esfuerzos en Von Mises de toda la estructura soporte.

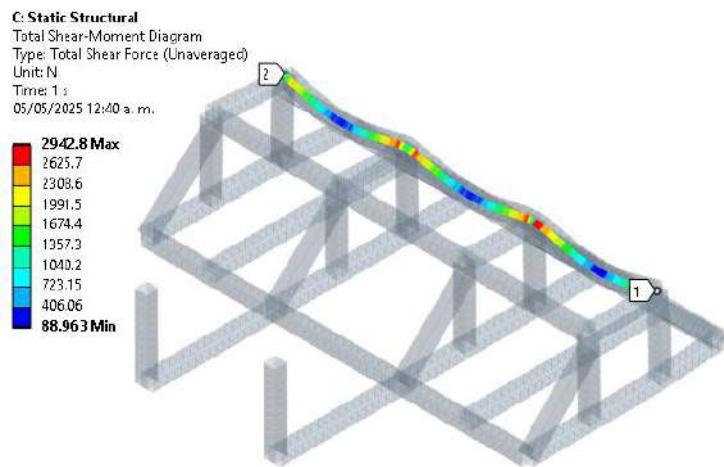


Fuente: Elaboración Propia.

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

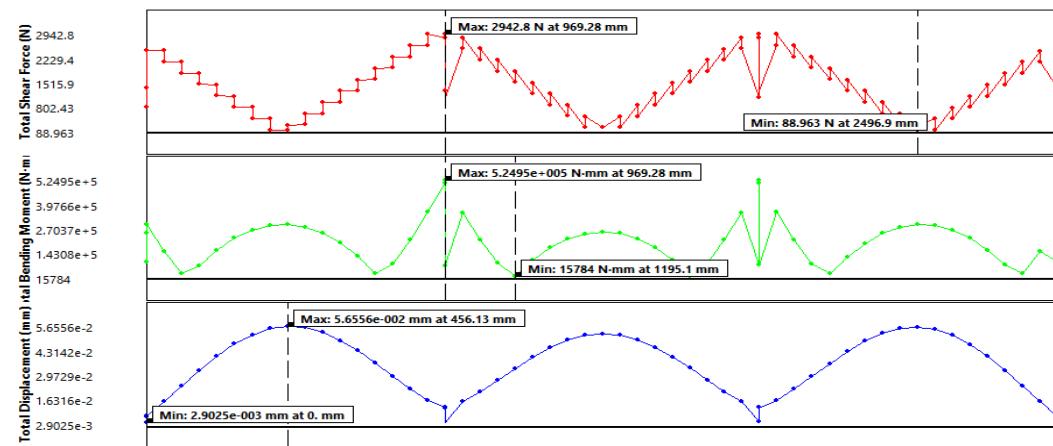
Path generado del miembro estructural superior de apoyo directo de la máquina de moldeo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 160

Diagrama total de Fuerzas Cortantes, Momento Flector y Deformación en Path de miembro superior.



Fuente: Elaboración Propia.

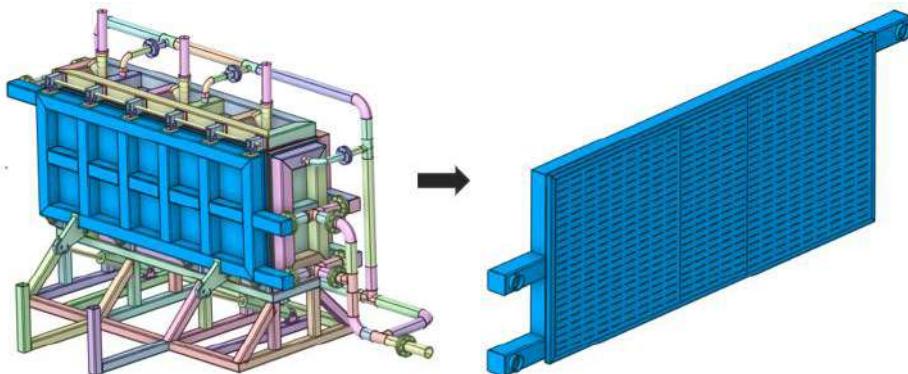
Se tiene como resultado de acuerdo con el diagrama por el Path en su momento flector de $5.2495e+05$ N mm (524.95 N m) a 0.97 m desde el punto 1 hacia el punto 2, este valor es mayor al valor máximo del momento flecto del primer caso de análisis donde se concentra la carga sobre estos miembros cuando 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.



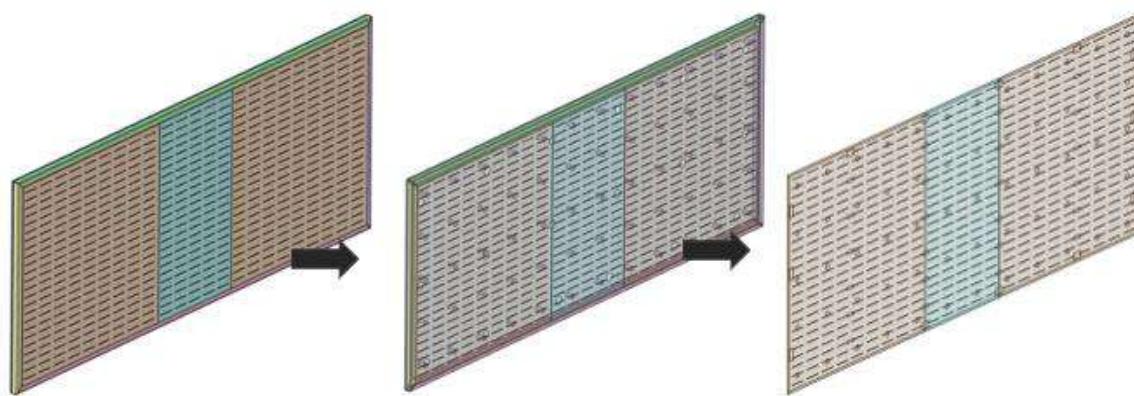
Fuente: Elaboración Propia.

6.10.2.1 Modelamiento Y Simplificación Geométrica

Se realizo 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 Fluencia | Resistencia a la tracción | Coeficiente de expansión térmica |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------|--|
| | | | |
| ASTM A36 Acero Estructural | 250 MPa | 400-550 MPa | 12e-6 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ |

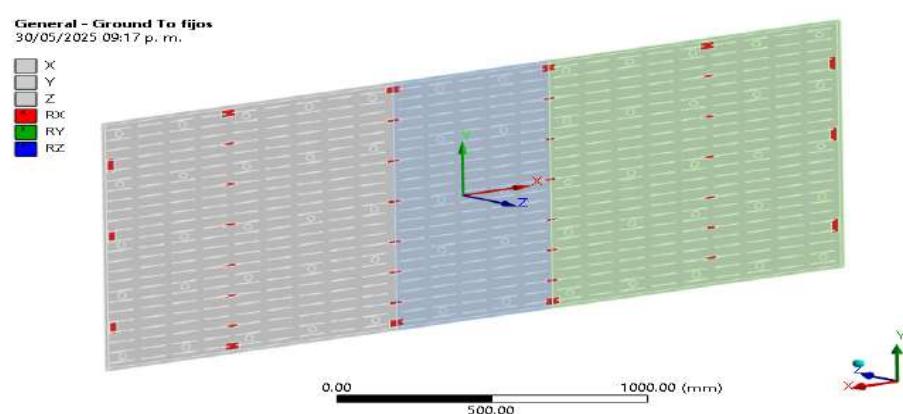
Fuente: Elaboración Propia.

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.

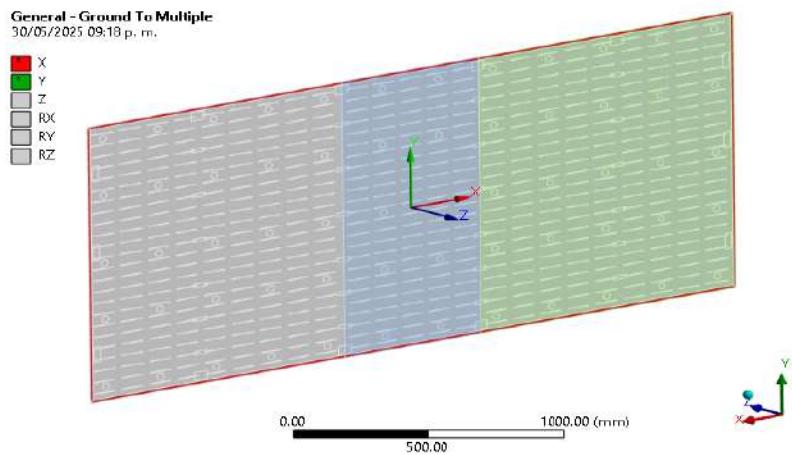


Fuente: Elaboración Propia.

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

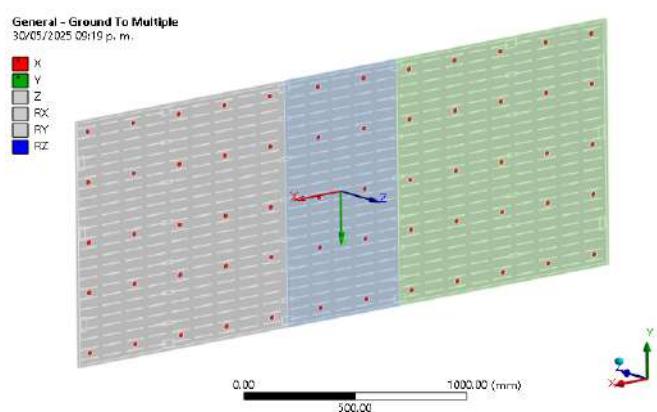


Fuente: Elaboración Propia.

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 presión 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.

B: Static Structural

Static Structural

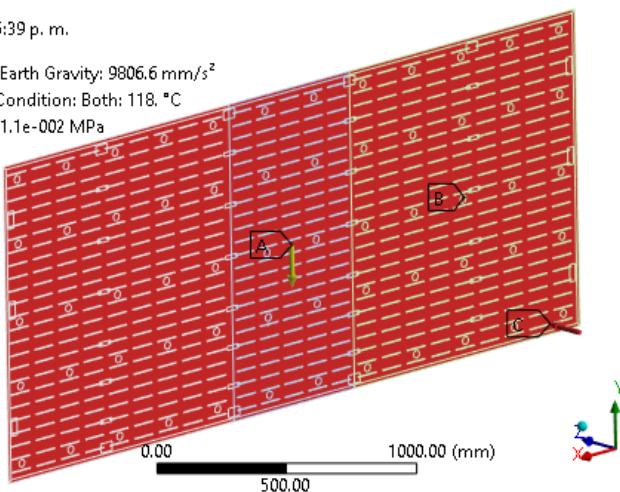
Time: 1. s

31/05/2025 05:39 p. m.

A Standard Earth Gravity: 9806.6 mm/s²

B Thermal Condition: Both: 118. °C

C Pressure: 1.e-002 MPa



Fuente: Elaboración Propia.

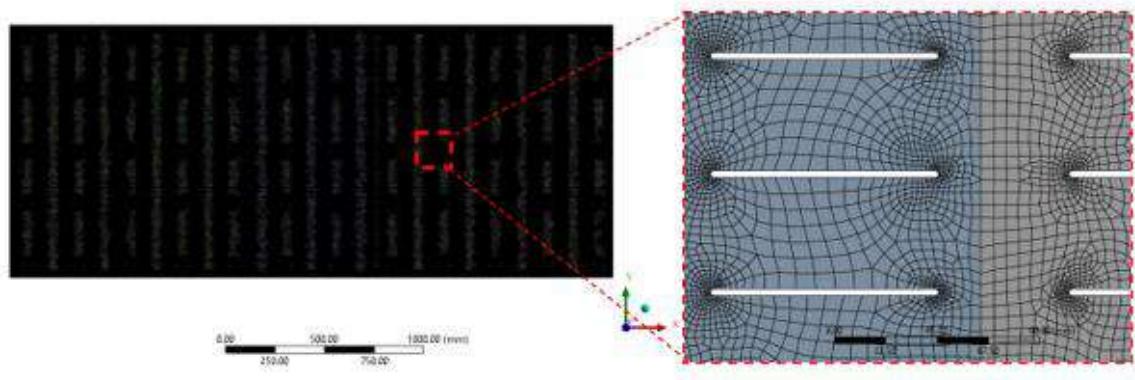
La presión según Fluent mostrado en el post procesamiento de la simulación CFD representa la presión relativa a la atmósfera conocido como “Presión Gauge”, debido a nuestras condiciones de operación de referencia de 1 atm (101 325 Pa) la presión absoluta se define como la suma de la presión de operación 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.

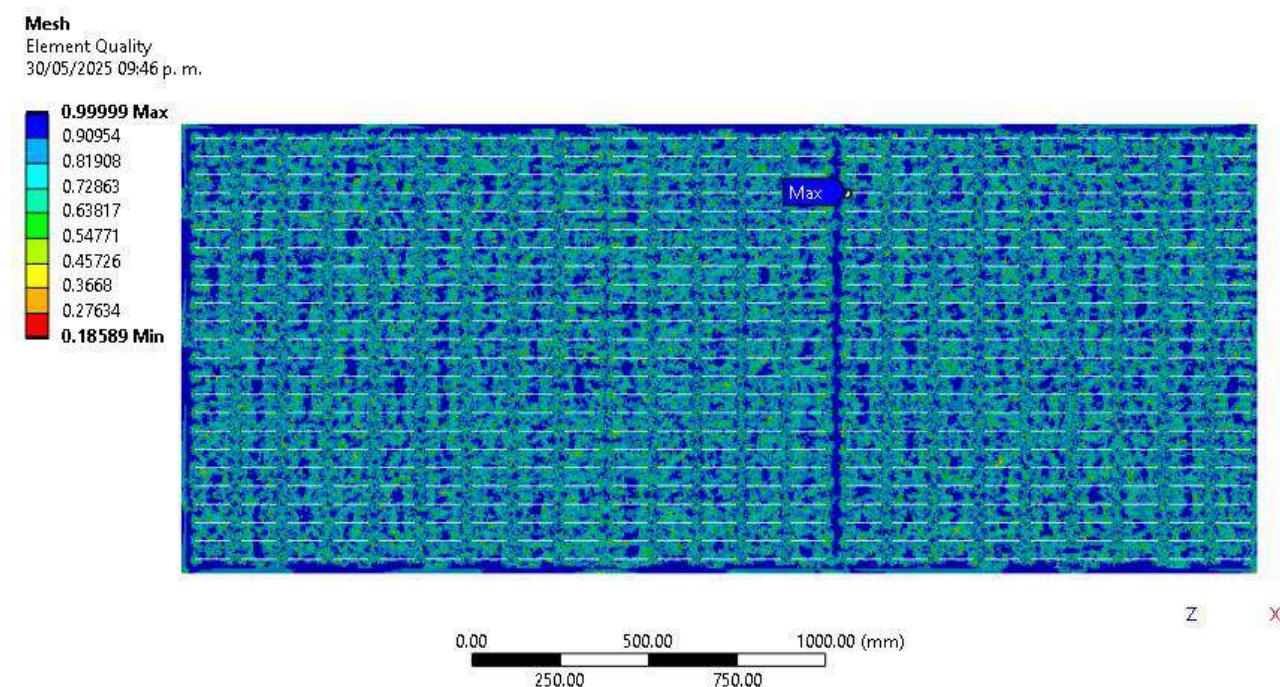
Para asegurarnos del control de calidad de la malla se tiene las métricas en la Tabla 79 que se presenta a continuación.

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 [-] \approx 1 | 1.2 (ok) |

Fuente: Elaboración Propia.

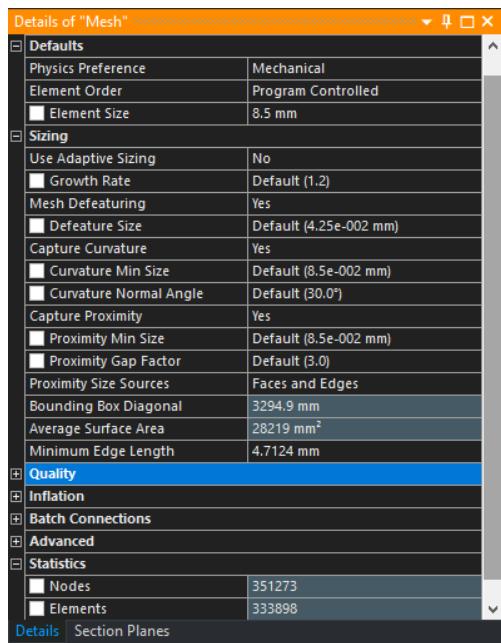
Para una visualización de los elementos de calidad de la plancha como métrica central de control se tiene la siguiente Figura 168 y en la Figura 169 se tiene la configuración de la malla general.

Figura 168*Vista del mallado en el entorno de su calidad de malla.*

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 169

Configuración de la malla general.



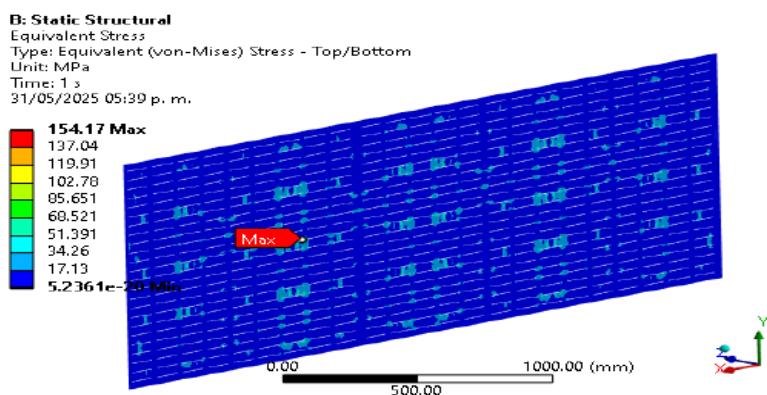
Fuente: Elaboración Propia.

6.10.2.6 Resultados

El resultado luego de procesamiento (calculo 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.

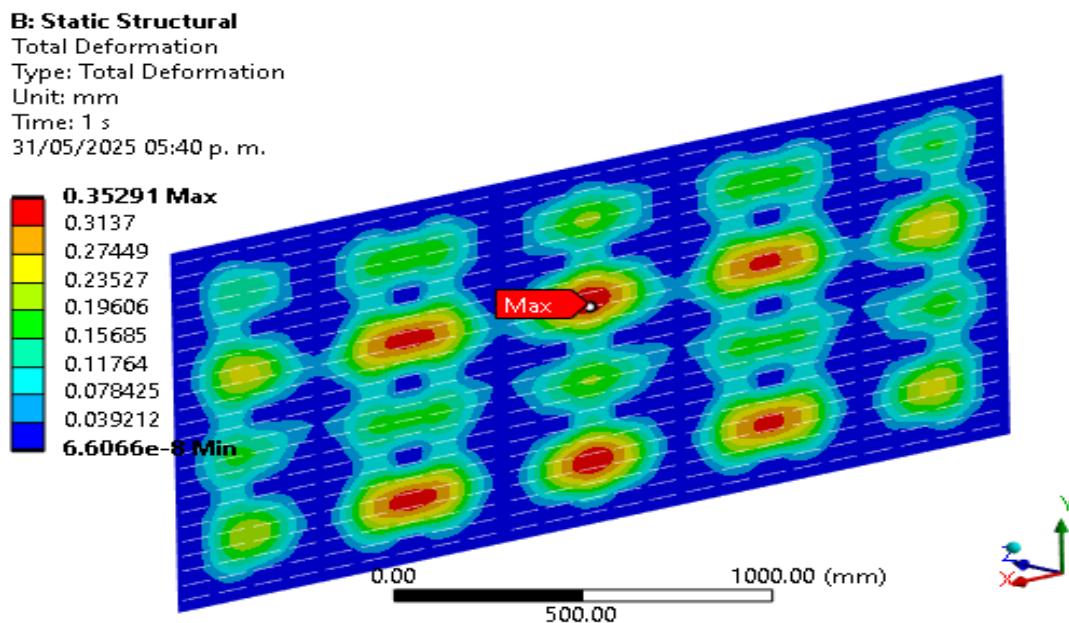


Fuente: Elaboración Propia.

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

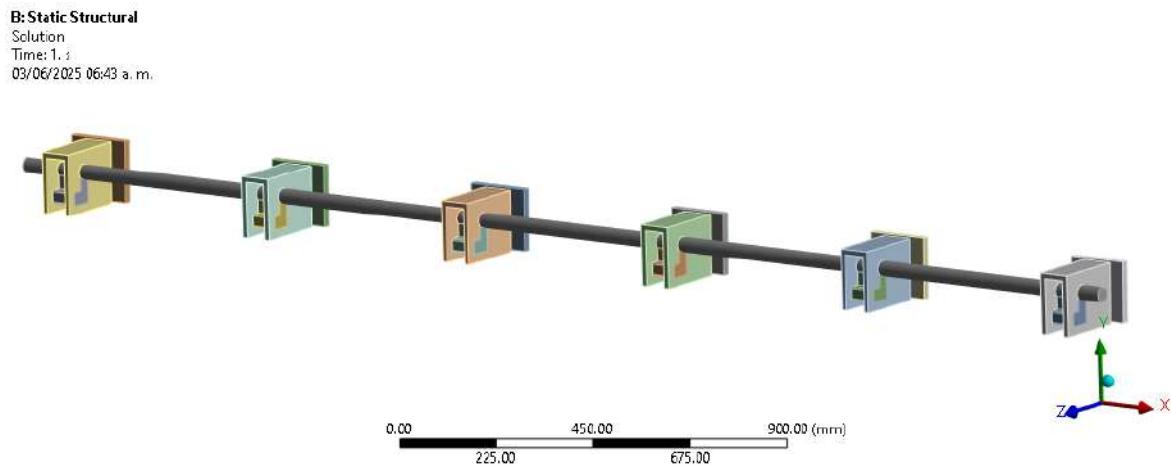
Por último, en el apartado de las simulaciones FEM se realiza la simulación que corresponde a conocer la resistencia del eje slider ubicado en la zona superior del bloque frontal para asegurar el cierre de la puerta misma.

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

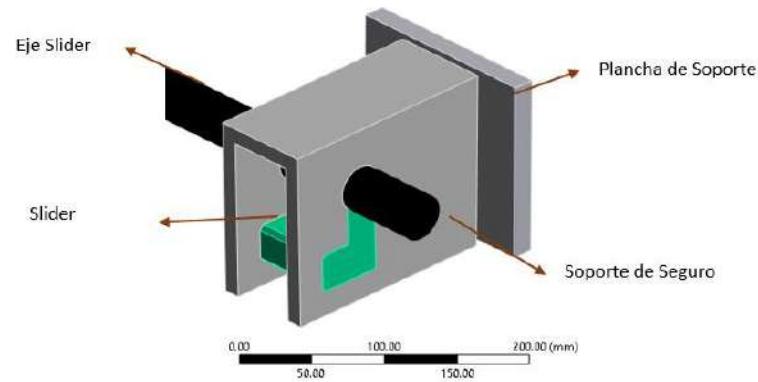


Fuente: Elaboración Propia.

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.

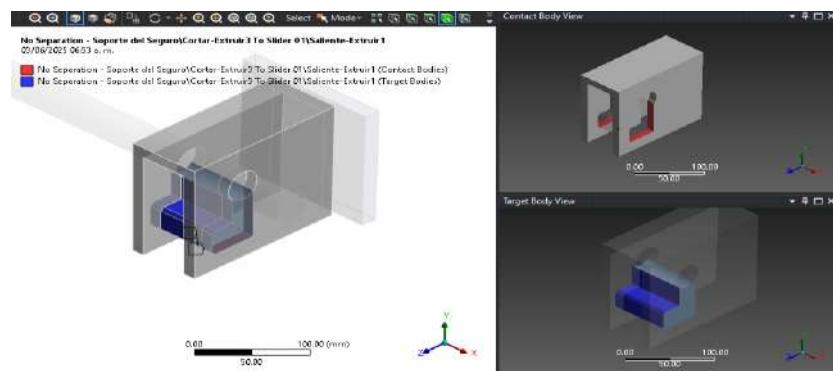
El material considera para estos componentes, todos ellos, son de acero ASTM A36.

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

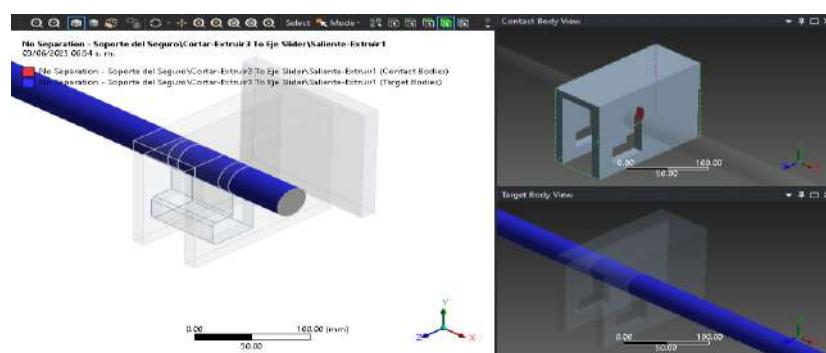
Tipo de contacto “No Separation” entre los Sliders y el soporte de Seguro.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 175

Tipo de contacto “No Separation” entre los soportes de Seguro y el eje Slider.

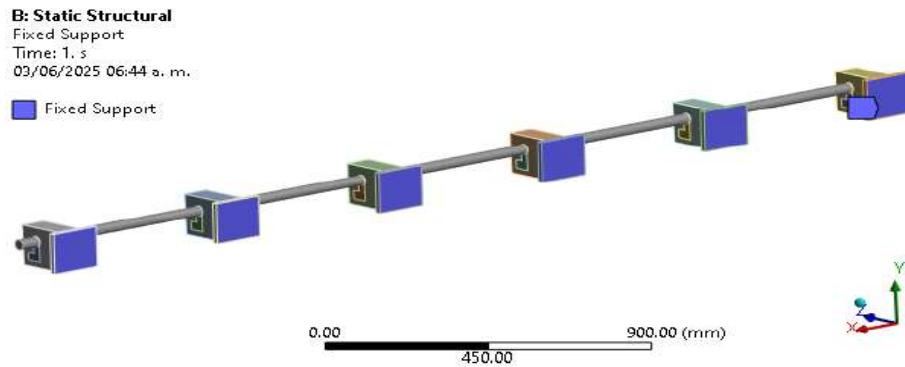


Fuente: Elaboración Propia.

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.



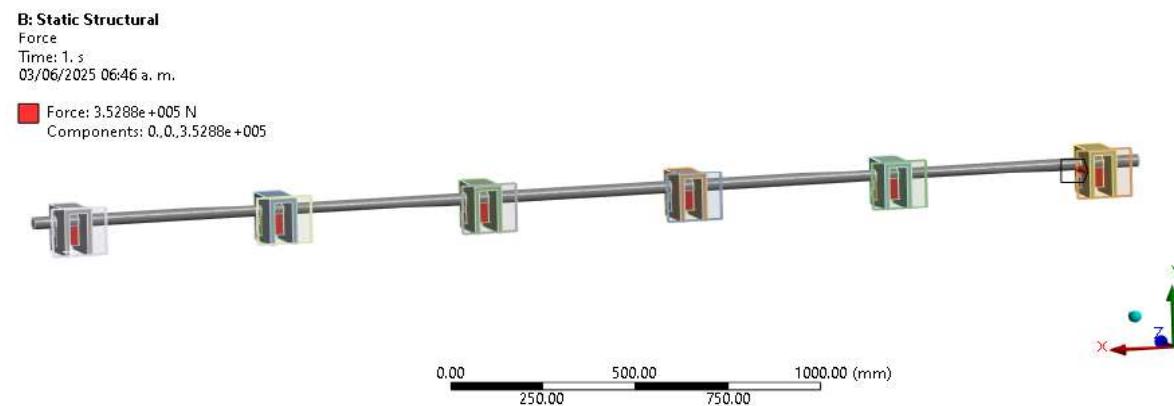
Fuente: Elaboración Propia.

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.

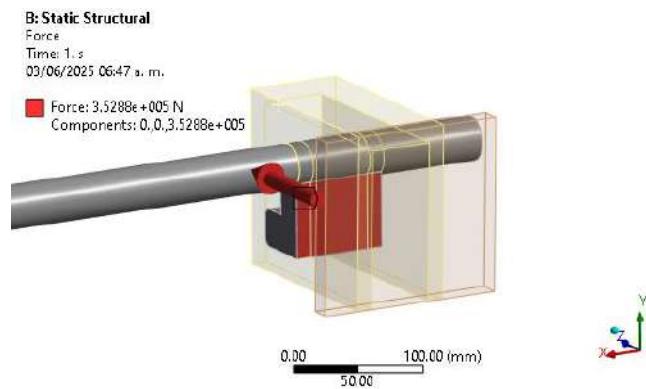


Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo, la carga de la gravedad en dirección -Y (m/s²) 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 geométricamente 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.

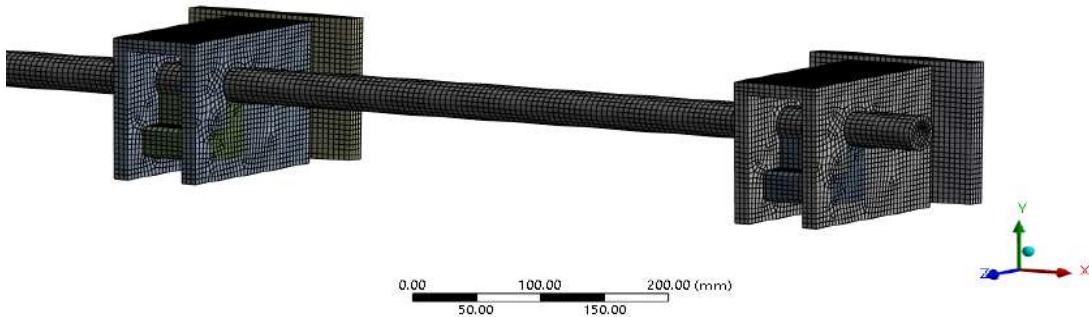
Con ello se tiene un total de elementos y nodo de 115608 y 559303 correspondientemente.

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

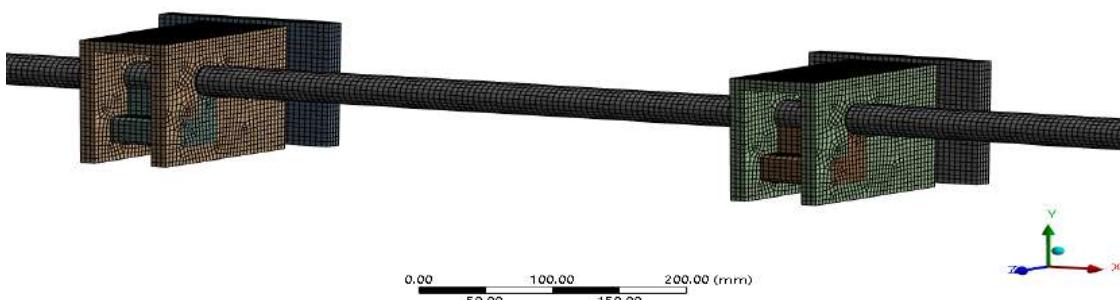
Vista del mallado parte No 01 del eje slider.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 180

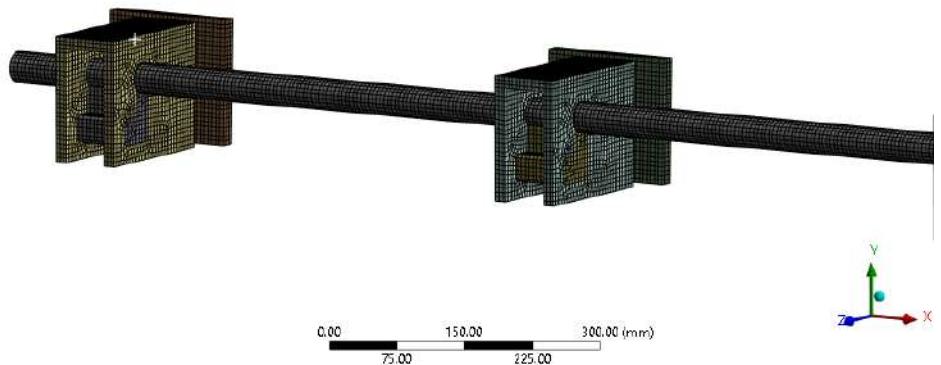
Vista del mallado parte No 02 del eje slider.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 181

Vista del mallado parte No 03 del eje slider.



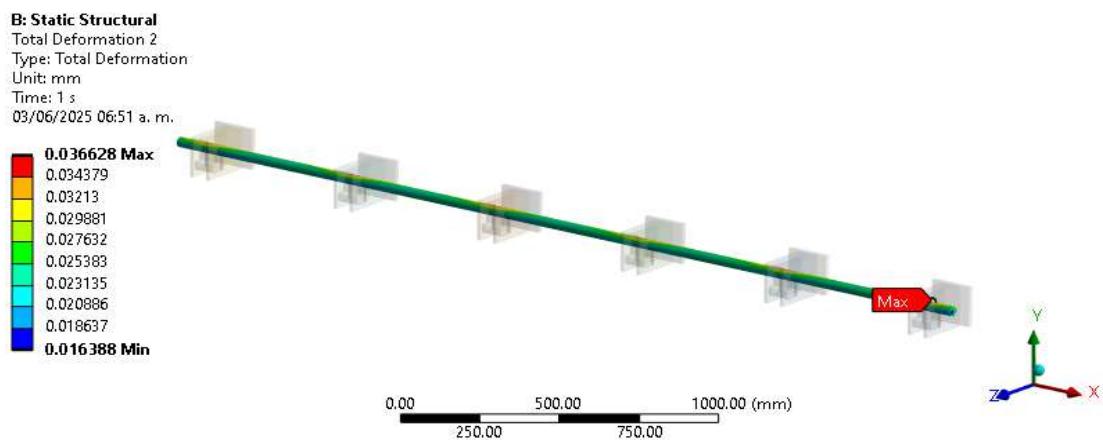
Fuente: Elaboración Propia.

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

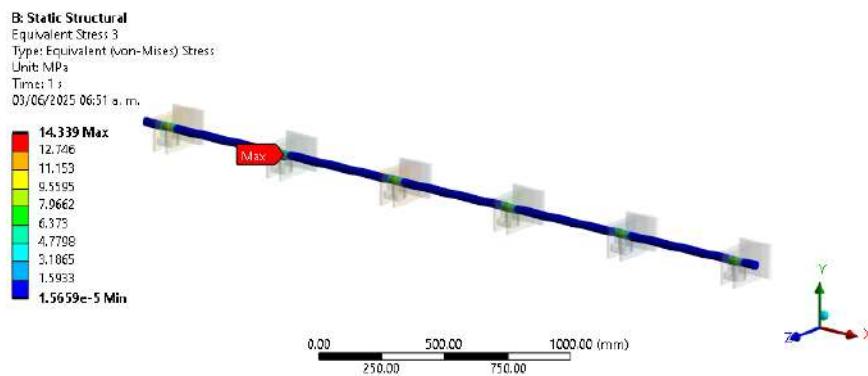
Vista del estado de deformación del eje slider.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 183

Vista del estado de esfuerzo del eje slider.

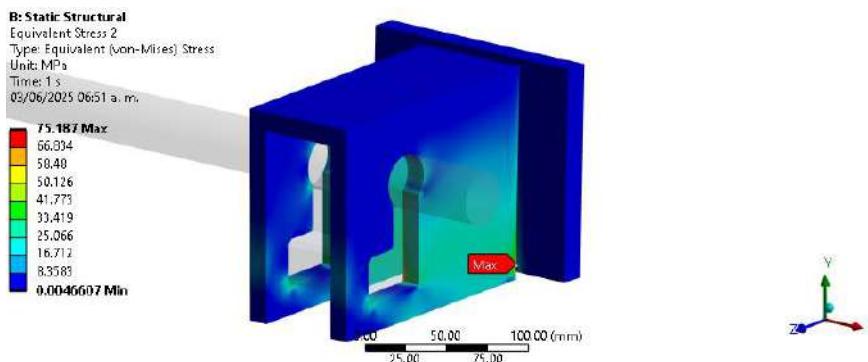


Fuente: Elaboración Propia.

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.

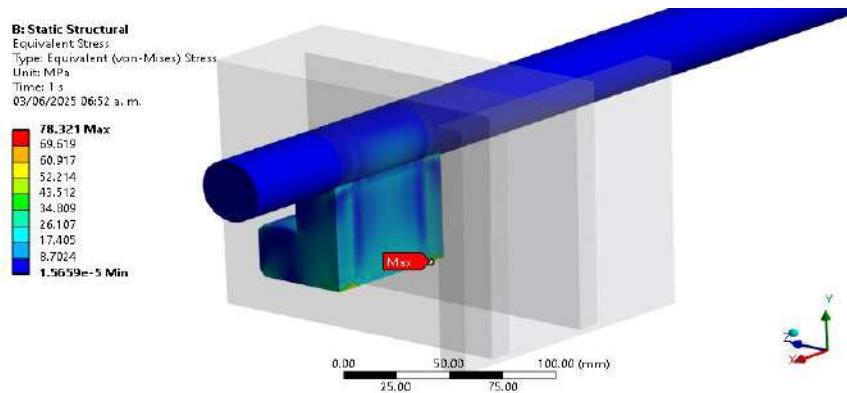


Fuente: Elaboración Propia.

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

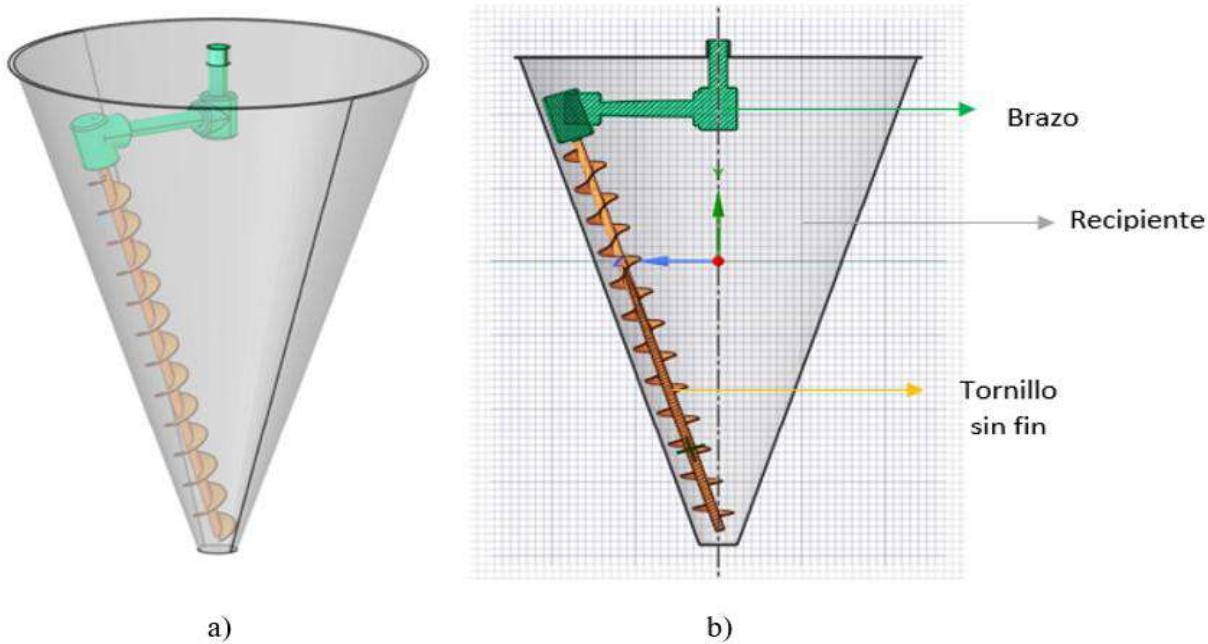
Para dicha simulación DEM se empleó el software Rocky DEM v.2023. Se inicio en importar la geometría creada a partir del mezclador o mixer seleccionado en SpaceClaim a formato STL al entorno de Geometría de Rocky DEM; luego, se configura las propiedades de material, contactos, entras de flujo de partículas, 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.



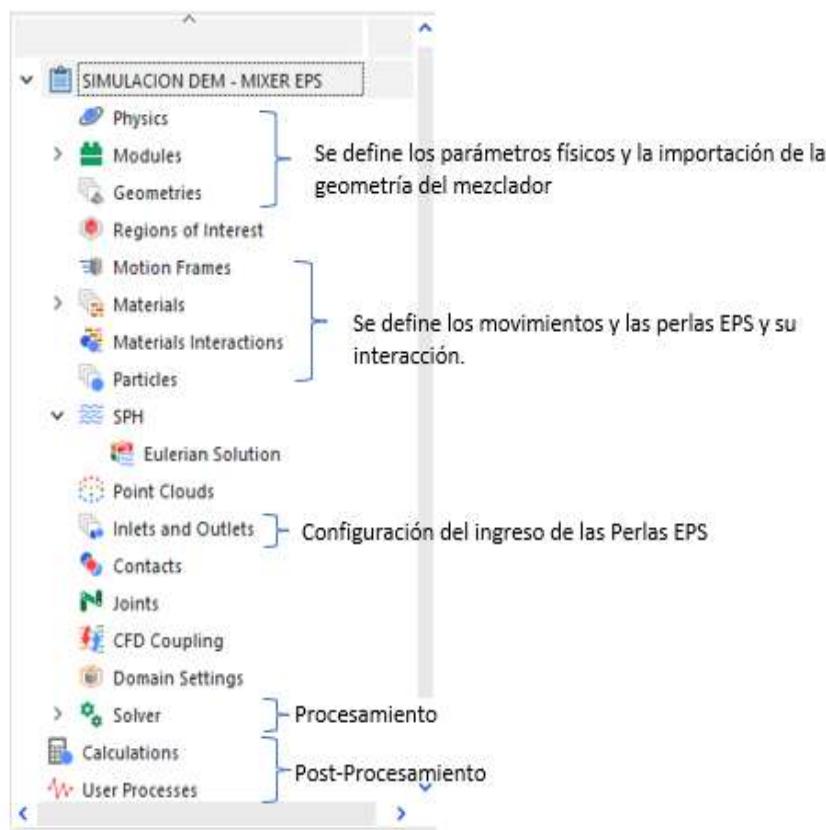
Fuente: Elaboración Propia.

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.



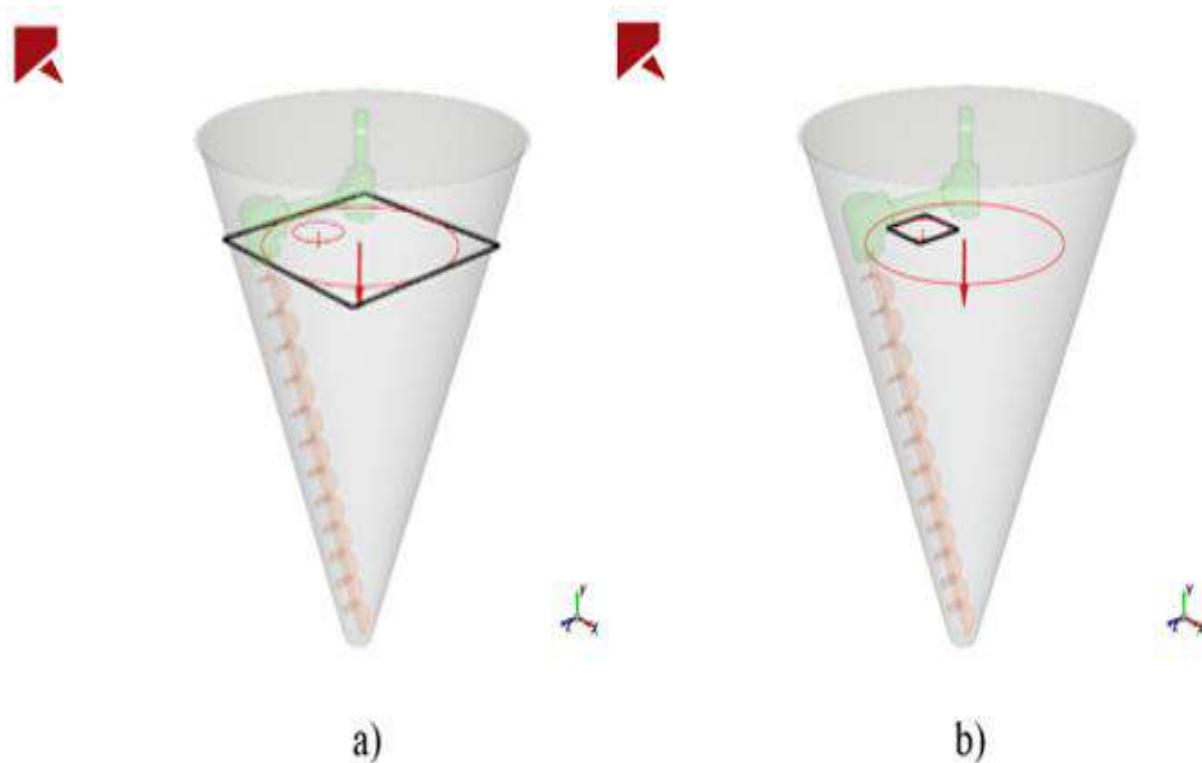
Fuente: Elaboración Propia.

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 |
|------------|-------------------------|--------------------------------|
|------------|-------------------------|--------------------------------|

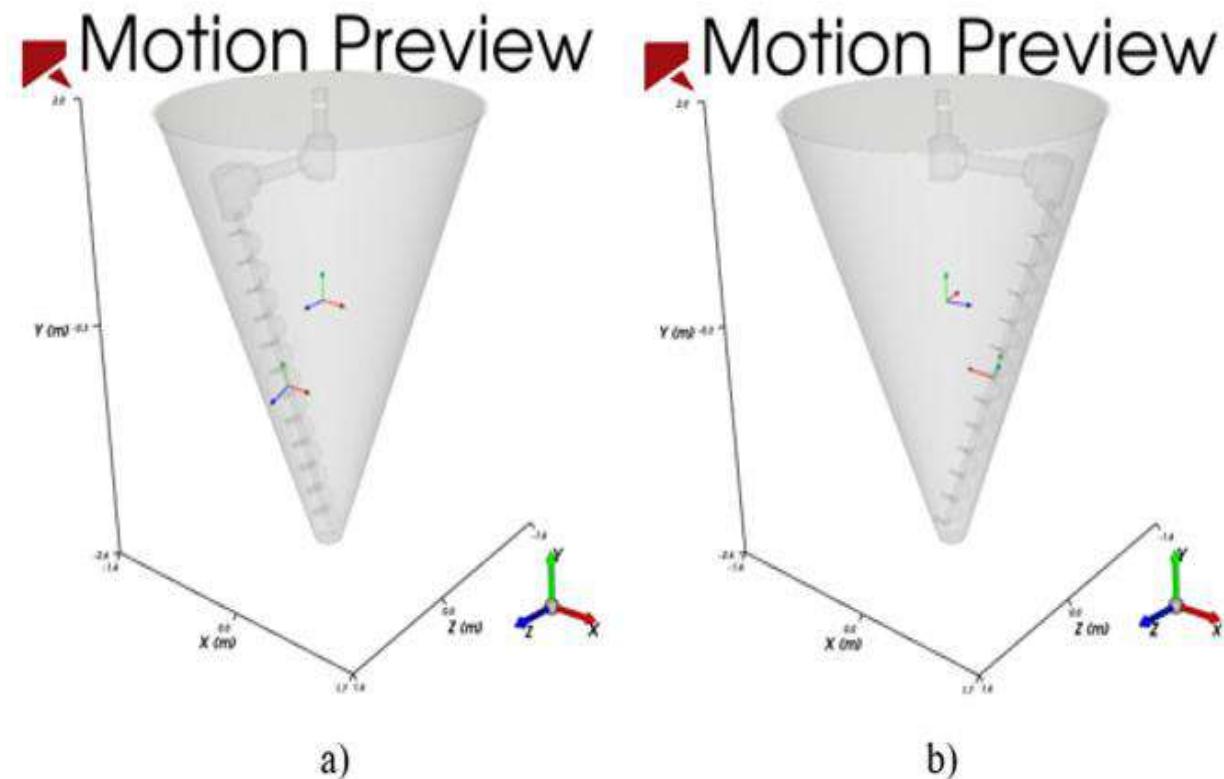
| | | |
|------------------|-------|------------|
| Brazo | 49.28 | 1.5s-1000s |
| Tornillo Sin Fin | 49.28 | 1.5s-1000s |

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*

| Componente | Densidad (kg/m3) | Módulo de Elasticidad | Relación de Poisson |
|--------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|
| 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 configuracion de la interaccion de los materiales previamente agregados que se muestra en la Tabla 83.

Tabla 83*Interaccion de los materiales configurados*

| Componente | Fricción estática | Fricción dinámica | Coeficiente de restitución |
|--|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 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 |

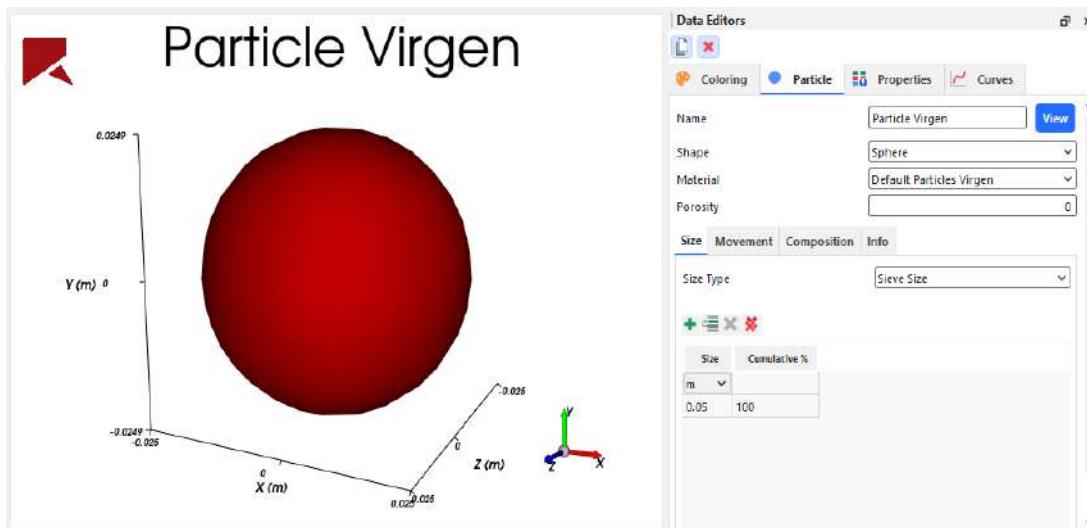
Fuente: Elaboración Propia.

Las particulas 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 particulas para la simulacion de 5cm cada una, esto reduce de gran manera el tiempo de simulacion ya que la cantidad de particulas

y el tamaño de este son uno de los factores a considerar para estimar el total del tiempo total de simulacion. La forma y tamaño se configura en la edicion de datos de cada particula creada tal como se muestran en la Figura 190 y Figura 191.

Figura 190

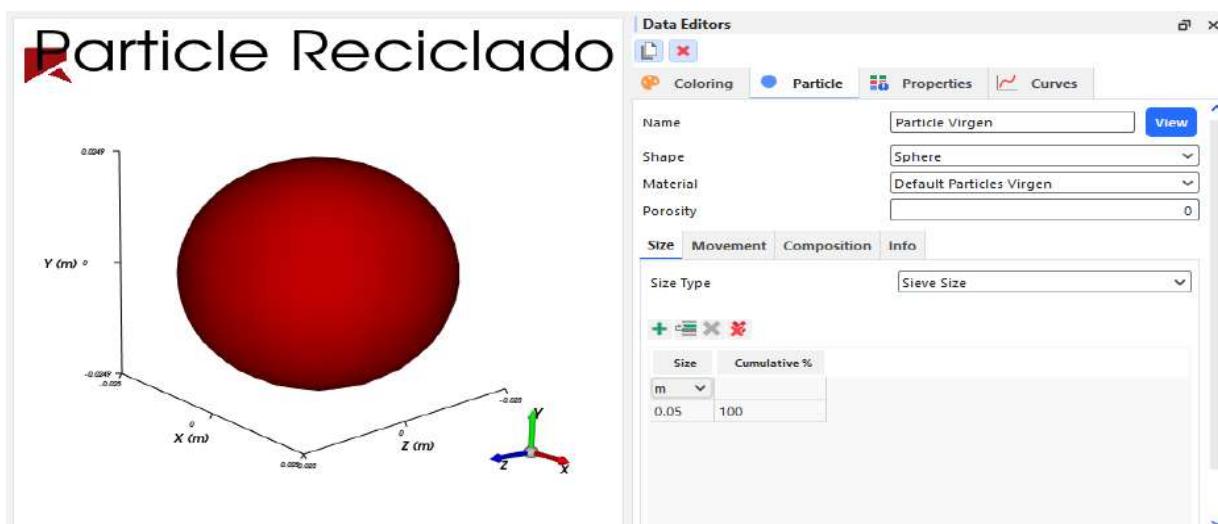
Vista previa de la forma y tamaño de la partícula para las perlas virgen de EPS.



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 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 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

| Componente | Volumen (m ³) | Masa (kg) | Flujo Masico (kg/s) | Numero de Partículas |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------|
| 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.

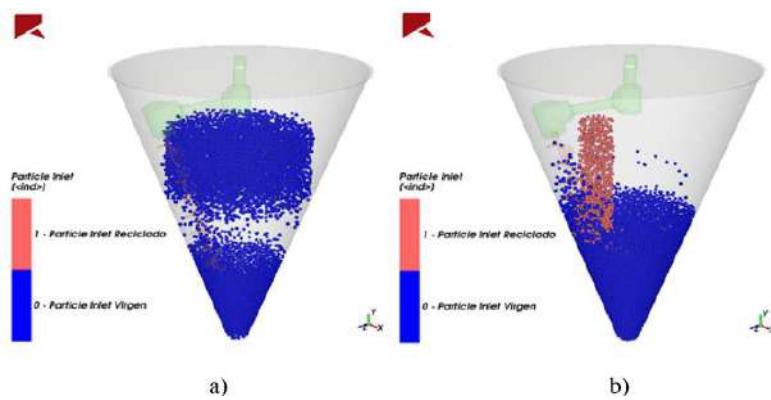
Por último, se configura el solver para su procesamiento, es decir, el cálculo numérico que realiza el software. Se tiene una salida de cálculo durante el tiempo de simulación cada 0.025 s para un total de 20 s de tiempo total de la duración de la simulación.

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.



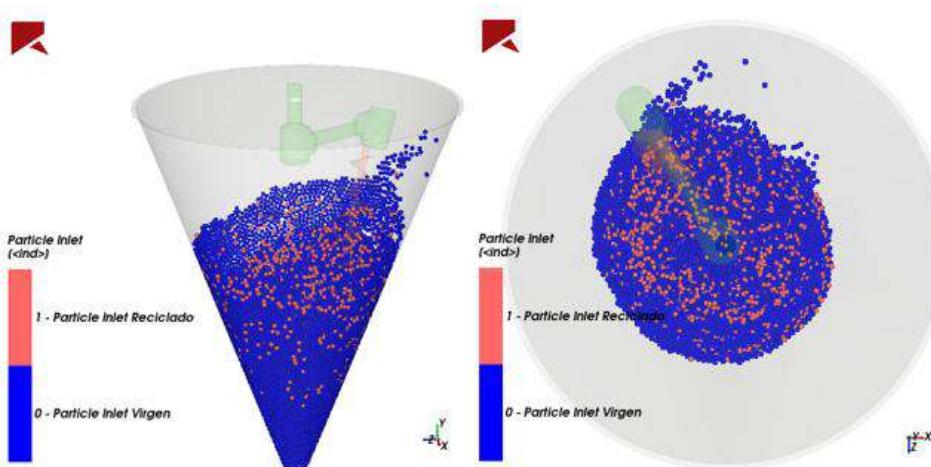
Fuente: Elaboración Propia.

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.

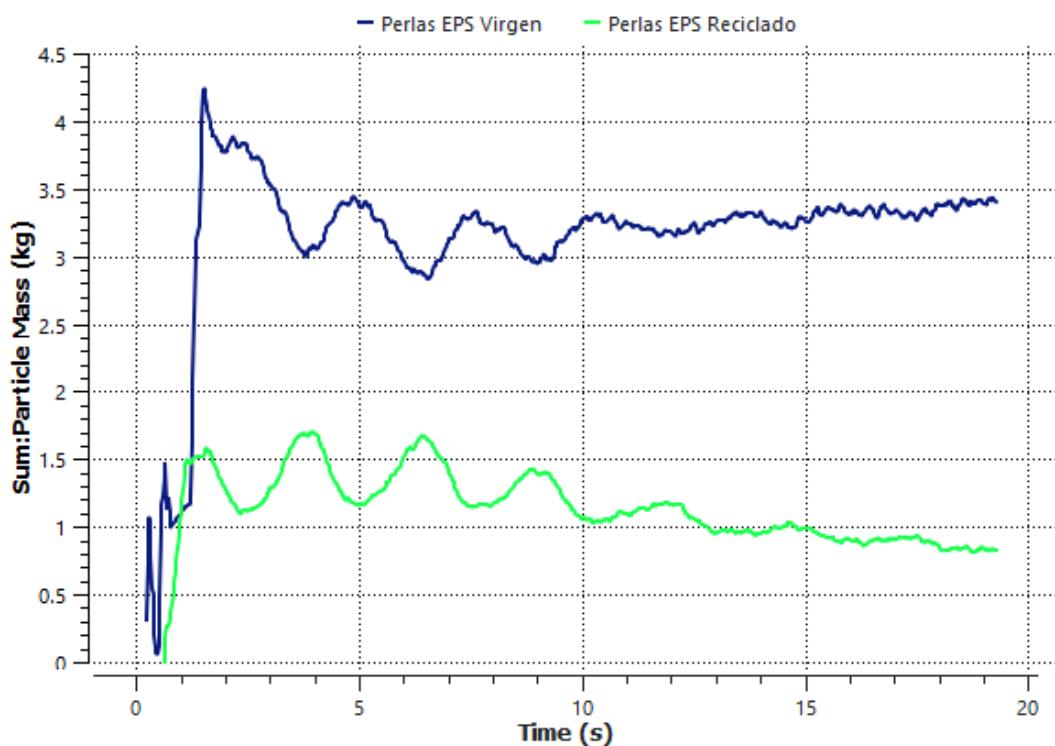


Fuente: Elaboración Propia.

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 | Precio |
|------|--|--------|----------|----------|---------------------|
| | | | | unitario | 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 | Precio total sin igv \$ | Precio 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 | Precio |
|--------------|---|--------|----------|-------------------|-------------------------|
| | | | | unitario | total sin sin igv \$ |
| 23 | Brida Ciega 4" ASTM 105 Válvula Mariposa Lug Acero al | und | 2 | 8.32 | 16.64 |
| 24 | Carbono A216 WCB P/Montaje entre Bridas ASME B16.5 CLASE 150 4" | und | 5 | 142.47 | 712.33 |
| 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 |
| 34 | Termómetro Bimetálico, DIAL 4", 0- 300°C, 6MMX100MM,1/2"NPT Inferior | und | 2 | 41.33 | 82.66 |
| 35 | MBT5250, -50 A 200°C, 100mm, 1/2"NPT, PT100, Sin Transmisor Sensor de Temperatura Pt100 | und | 2 | 85.28 | 170.56 |
| 36 | Tx Presión, 0-4000PSI,1/4"NPT, 4- 20mA, Keller, Mod. PA-21Y | und | 2 | 128.00 | 256.00 |
| TOTAL | | | | \$ 8517.02 | |

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 | Precio |
|--------------|--|--------|----------|--------------------|---------------------|
| | | | | unitario | 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 |
| TOTAL | | | | \$ 12875.06 | |

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 | Precio |
|--------------|------------------------------|--------|----------|----------------|---------------------|
| | | | | unitario | total sin igv \$ |
| 1 | sistema de control eléctrico | Unid | 1 | 4250 | 4250 |
| TOTAL | | | | \$ 4250 | |

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 | Precio |
|--------------|------------------------------------|--------|----------|----------|---------------------|
| | | | | unitario | total sin igv \$ |
| 1 | instalación eléctrico e hidráulico | Unid | 1 | 5382.4 | 5382.4 |
| TOTAL | | | | | \$ 5382.4 |

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 |
| TOTAL | | | | | \$ 31024.48 |

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 | Precio total sin igv \$ |
|------|---------------------|--------|----------|-----------------|-------------------------|
| 1 | Diseño | horas | 624 | 6 | 3744 |
| | TOTAL | | | | \$ 3744 |

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 |
|--------------|----------------|
| Ingenieriles | 3744 |
| Utilidad | 0 |
| total | \$ 3744 |

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 |
| TOTAL | \$ 34768.48 |

Fuente: Elaboración Propia.

7.4 Rentabilidad de la máquina de moldeo

a) Depreciación

La depreciación es perdida 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 22º)** 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 22º)**. 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 | Depreciación | Valor |
|----------------|---------------------|---------------------|--------------|
| | Anual | Acumulada | 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 : Días laborables al mes 26 días

$$P_m = 8 \frac{h}{dia} * 7 \frac{bloques}{h} * 26 dias = 1456 bloques$$

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/dia

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

$$E_{dia} = 60\text{KW} - h * 0.22 = 13.2 \text{ dolares} \approx 48.6 \text{ soles}$$

Por lo tanto, el costo mensual trabajando los 26 días es:

$$E_{dia} = 60\text{KW} - h * 0.22 * 26 = 343.2 \text{ dolares} \approx 1201.1 \text{ soles}$$

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: | 06/06/2025 | (dd/mm/aaaa) | Consultar | Exportar |
| Tasa de Interés Activa Promedio de Mercado Efectiva al 06/06/2025 | | | | |
| Moneda Nacional(TAMN) | 14.85% | Anual | Factor Diario | 0.00038 |
| | | | *Factor Acumulado ¹ | 9,902.10004 |
| Moneda Nacional(TAMN + 1) | 15.85% | Anual | Factor Diario | 0.00041 |
| | | | *Factor Acumulado ¹ | 19,505.89271 |
| Moneda Nacional(TAMN + 2) | 16.85% | Anual | Factor Diario | 0.00043 |
| | | | *Factor Acumulado ¹ | 38,192.26743 |
| Moneda Extranjera(TAMEX) | 9.58% | Anual | Factor Diario | 0.00025 |
| | | | *Factor Acumulado ¹ | 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

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.

| Inversión inicial \$ | Ingreso mensual \$ | Egreso mensual \$ | Recuperación neta mensual \$ |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|
| 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.

| Tiempo | Flujo de caja |
|--------|---------------|
| 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)

$$VAN = \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{f_n}{(1+i)^n} - I_0 \quad (175)$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial

f_{caja} : Flujo de caja neto por periodo

i : Tasa de descuento 15% segun 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 pagara 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 determinó 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 kg/cm^2 , una presión de vapor de 1.22 kg/cm^2 y una temperatura de operación de 115°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 L/min y una presión de 110.04 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 realizo 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). *Tecnología de Polímeros*. San Vicente: Universidad de Alicante.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de Polímeros*. 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 obtener el título 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
- Billmeyer, F. (1978). *"Ciencia de los Polímeros"* (2º 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 INGENERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (UNDÉCIMA ed.). (V. Jorge A., & C. Carlos R., Trads.) Cuidad 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 nº 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 neumatico de quinua*. Lima, Peru: Universidad Catolica 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 Bogota. 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
- 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). Distibucion 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 titulo 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 Solidos Inertes para la Produccion de Dinamita , Mediante el Diseño y Construccion de un Mezclador Conico*. Quito, Ecuador: Facultad de Ingenieria Quimica 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 Vacio*. Barcelona, España: Marpa Vacuum.
- Valverde, O., & Martinez, E. (2009). Seleccion de sistema de Vacio Utilizando Bombas Tipo Distribuidor Giratorio Para Maquina 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 antivibrantes, tiranas y de gran resistencia, columnas de edificios, vigas, tirantes, carrocería, etc.

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 |
| Manganoso (%) máx. | 1,400 |
| Fósforo (%) máx. | 0,045 |
| Azufre (%) máx. | 0,045 |
| Cobre (%) mln. | 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)

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Esfuerzo de fluencia (mín) Mpa | 400 |
| Resistencia a la Tracción (mín) Mpa | 315 |

Cuadrados y Rectangulares

Av. Ramiro Prialé Mz A, Lt 10-B, Huachipa - Lurigancho - Lima
994 109 503 / 989 248 204 Central: +511-3710628

comercial@acerotramontana.com
www.acerotramontana.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

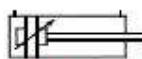
Presión máxima de trabajo
PN [p max.] = 200 bar



Campo de Hidráulica



Sin amortiguación



Con amortiguación regulable

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 estandar según DIN ISO 6020-1.
- Diseños especiales según necesidades del cliente.



Descripción:

| | | | |
|---|---|--|---|
| Tipo de Sujeción Conexión | Ver características (Pág. 2) Rosca interior (ver tabla) | Materiales | Bridas, acero Tubo, acero ST52 Vástago, Acero CK45 cromado duro Sellos, Perbunan |
| Posición de Montaje Amortiguación | Cualquiera A elegir con o sin amortiguación Regulable en los extremos | Rango de viscosidad cSt (mm²/s) | 3 hasta 300 |
| Fluido Rango de temperatura (°C) Presión de trabajo estática y Dinámica máx. (bar) | Aceite hidráulico - 20 hasta 80 200 | Presión de prueba estática máx. (bar) | 300 |



FLUIDTEK s. r. l.
NEUMATICA - HIDRAULICA - VALVULAS SOLENOIDES Y PROYECTOS

Jr. Raúl Porras Barrenechea 2134 - Lima 01 Telf.: (01) 6197100 / 814*2021 Fax: (01) 425-7962
e-mail: ventas@fluidtekslrl.com - fluidtekventas@hotmail.com

Magnitudes Características

| Embrolo Ø (mm) | Vástago Ø (mm) | Conexión | Área de embolo (cm ²) | Área anular (cm ²) | Long. De amortiguacion (mm) | Número Base | Tipo de sujeción | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------|------------------------------|---------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------|
| | | | | | | | Del cilindro | | | Del vástago | | | | | | | |
| | | | | | | | Amortiguacion en ambos lados | Amortiguacion | Ejecución básica | Sujección con patillas | Pivote intermedio | Pivote esférico | Brida posterior | Brida anterior | Pivote posterior | Ejecución básica | Horchilla |
| 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 | 30,84 | 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 | 201,08 | 169,89 | 50 | 44815 | 44841 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 60 | 61 | 62 |
| 160 | 80 | G1 | 201,08 | 150,80 | 50 | 44816 | 44842 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 60 | 61 | 62 |
| 160 | 100 | G1 | 201,08 | 122,52 | 55 | 44817 | 44843 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 60 | 61 | 62 |
| 200 | 80 | G1 1/4 | 314,18 | 263,89 | 55 | 44818 | 44844 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 60 | 61 | 62 |
| 200 | 100 | G1 1/4 | 314,18 | 235,62 | 55 | 44819 | 44845 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 60 | 61 | 62 |
| 200 | 125 | G1 1/4 | 314,18 | 191,64 | 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

Nº de pedido 44803 . 50 60 0150

Numero base

Tipo de sujecion

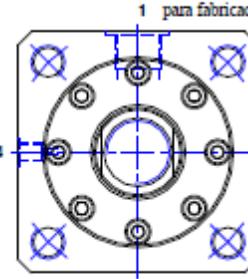
carrera (mm)

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

Vista mirando el vástago

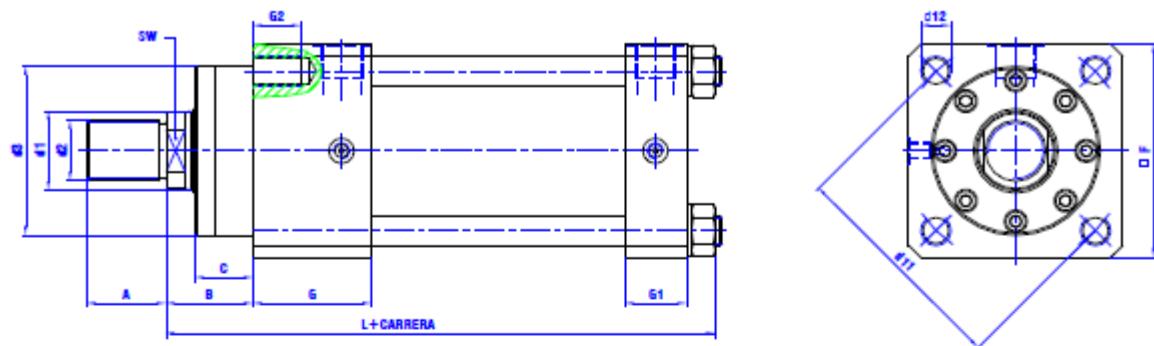
= Posición de conexión para fabricaciones en serie



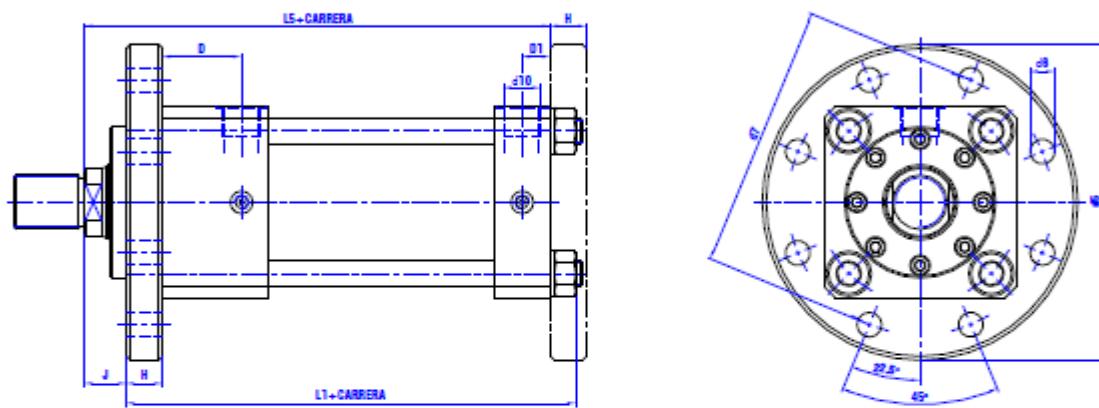
2 Posición del estrangulamiento de amortiguación

Magnitudes Características

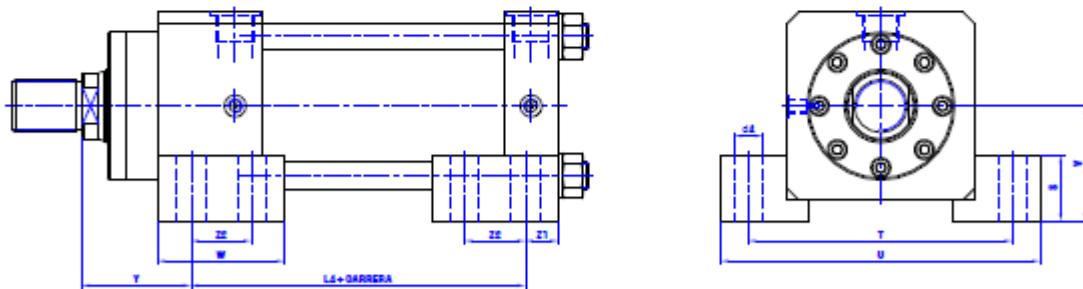
Ejecución básica



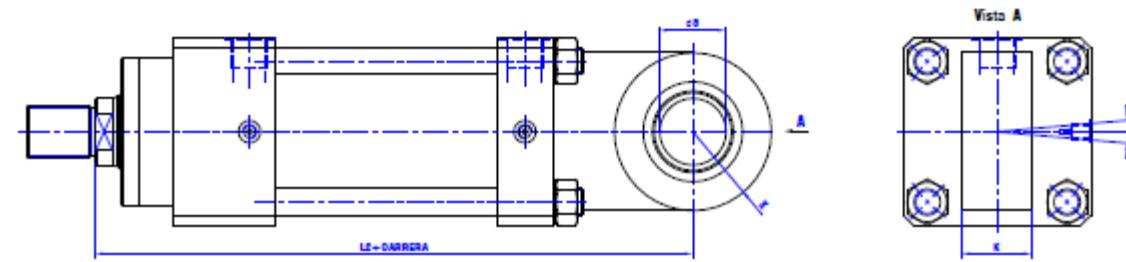
Brida anterior / Brida posterior



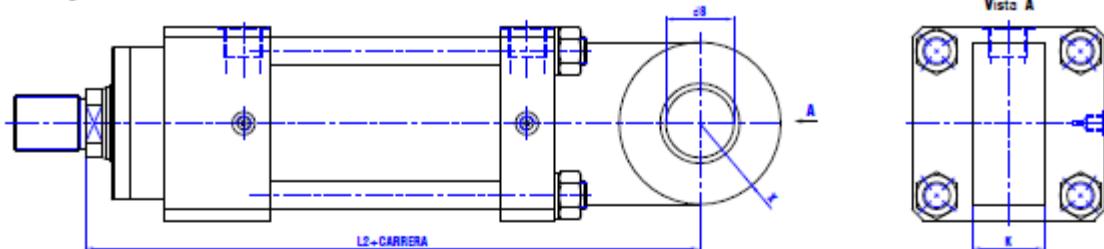
Sujeción con Patitas



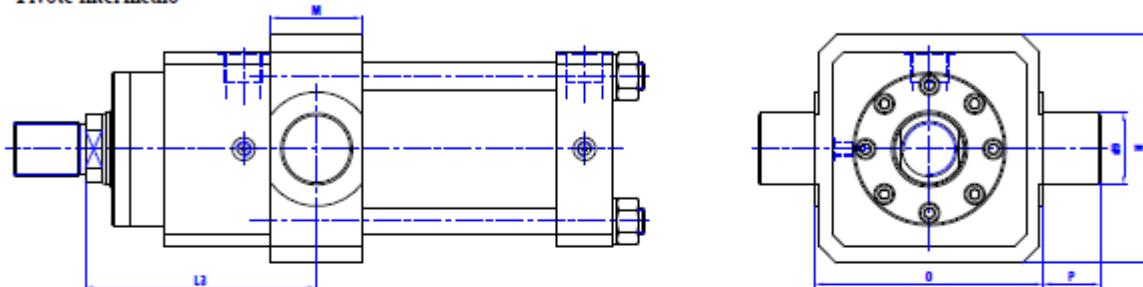
Pivote Esférico



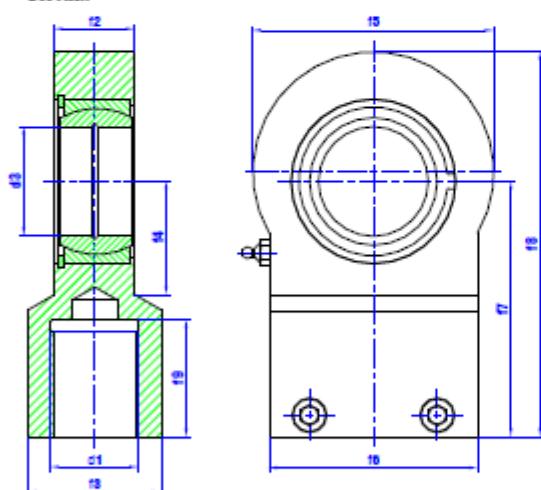
Pivote posterior



Pivote intermedio



Rotula



Horquilla

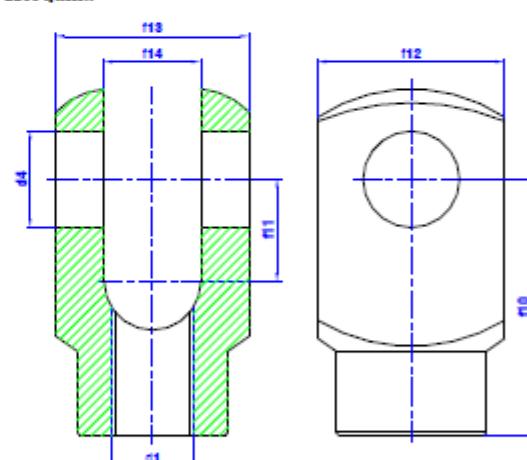


Tabla de medidas de Rotula y Horquilla (medidas en mm)

| Tolerancias | 6H | H7 | H7 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|-----|----|----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Vastago Ø | d1 | d3 | d4 | f2 | f3 | f4 | f5 | f6 | f7 | f8 | f9 | f10 | f11 | f12 | f13 | f14 |
| 20 | M 16x1,5 | 16 | 20 | 21 | 22 | 22 | 42 | 27,5 | 64 | 85 | 28 | 55 | 25 | 40 | 40 | 20 |
| 25 | M 20x1,5 | 20 | 25 | 25 | 30 | 26 | 50 | 34 | 77 | 102 | 33 | 70 | 30 | 50 | 50 | 25 |
| 32 | M 27x2 | 30 | 32 | 24 | 38 | 32 | 70 | 66 | 80 | 118 | 37 | 85 | 34 | 62 | 64 | 32 |
| 40 | M 33x2 | 40 | 40 | 28 | 47 | 41 | 89 | 80 | 100 | 149 | 46 | 100 | 40 | 80 | 80 | 40 |
| 50 | M 42x2 | 50 | 50 | 35 | 58 | 50 | 108 | 96 | 120 | 179 | 57 | 130 | 55 | 100 | 100 | 50 |
| 63 | M 48x2 | 60 | 60 | 44 | 73 | 62 | 132 | 114 | 140 | 211 | 84 | 165 | 69 | 126 | 126 | 63 |
| 80 | M 64x3 | 80 | 80 | 56 | 90 | 78 | 168 | 148 | 180 | 270 | 86 | 200 | 86 | 160 | 170 | 80 |
| 100 | M 80x3 | 100 | - | 72 | 110 | 98 | 210 | 178 | 220 | 332 | 98 | - | - | - | - | - |
| 125 | M 100x3 | 120 | - | 94 | 160 | 125 | 280 | 200 | 295 | 435 | 120 | - | - | - | - | - |

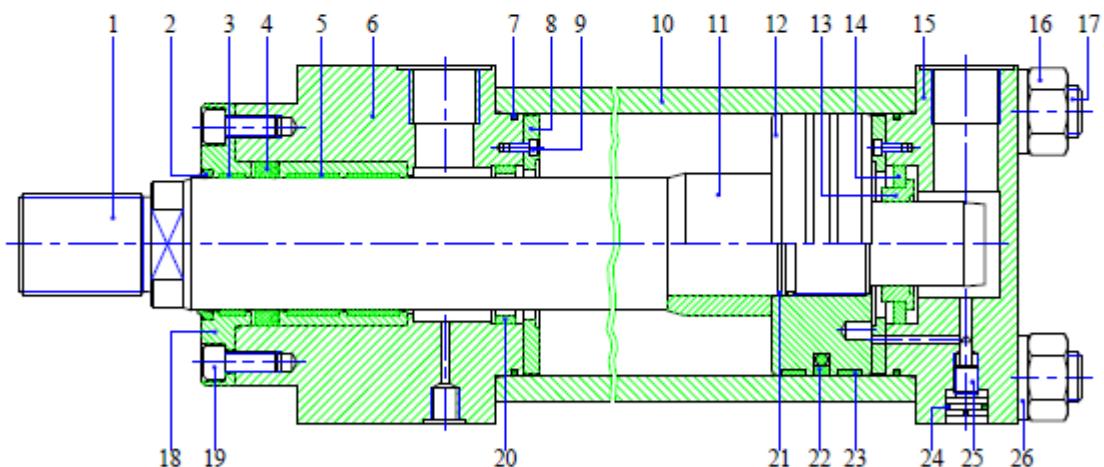
Tabla de Medidas (medidas en mm)

Con amortiguación

| Toleran. | | | 18 | | Ø d5 | Ø d6 | Ø d7 | js 13 | H7 | 18 | 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 | | | |
| 63 | 32 | M 27x2 | | | | | | | | | | | 36 | 52 | 32 | |
| 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 | 48 | |
| 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 | | G 1 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 | G 1 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 | L4 | L5 | | |
| 40 | 20 | 33,5 | 16 | 65 | 54 | 37 | 20 | 15 | 20,5 | 19 | 188,5 | 168 | 228,5 | 104,5 | 95 | 180,5 | | |
| 50 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 25 | 45 | 17 | 75 | 61 | 33 | 24 | 19 | 23 | 25 | 218 | 195 | 270 | 122 | 132 | 208 | | |
| 63 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 63 | 32 | 41 | 16 | 90 | 56,5 | 31,5 | 28 | 25 | 27 | 32 | 227 | 200 | 284 | 131 | 127 | 215 | | |
| 80 | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 40 | 46,5 | 19,5 | 110 | 65,5 | 38,5 | 32 | 32 | 26,5 | 38 | 260,5 | 234 | 344,5 | 149 | 146 | 244,5 | | |
| 80 | 50 | | | | | | | | | | | | 272 | 242 | 356 | 152,5 | 158 | 256 |
| 100 | 40 | | | | | | | | 30 | | 265 | | 361 | 155 | | 246 | | |
| 100 | 50 | 44 | 19 | 140 | 63 | 38 | 32 | 32 | 35 | | 270 | | 366 | 160 | 138 | 251 | | |
| 100 | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | 63 | 70 | 25 | 170 | 94 | 49 | 40 | 32 | 38 | 63 | 326 | | 430 | 204 | 185 | 303 | | |
| 125 | 80 | | | | | | | | | | | | 332 | 436 | 210 | 309 | | |
| 180 | 63 | | | | | | | | 31 | | 368 | | 497 | 212 | | 342 | | |
| 180 | 80 | 70 | 27 | 205 | 95 | 52 | 45 | 36 | 37 | 80 | 372 | | 503 | 218 | 219 | 348 | | |
| 180 | 100 | | | | | | | | 41 | | 376 | | 507 | 222 | | 352 | | |
| 200 | 80 | | | | | | | | 44 | 100 | 421 | | 593 | 266 | 245 | 393 | | |
| 200 | 100 | 79 | 34 | 245 | 109 | 64 | 52 | 38 | | 377 | | 601 | 274 | | 401 | | | |
| 200 | 125 | | | | | | | | 52 | | 429 | | | | | | | |
| 250 | 100 | 106 | 37 | 320 | 140 | 71 | 60 | 50 | 44 | | 490 | | 689 | | | 449 | | |
| 250 | 125 | | | | | | | | 51 | | 497 | | 696 | | | 456 | | |
| 250 | 150 | | | | | | | | 57 | | 503 | | 702 | | | 462 | | |

Sección



| | | |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1.- Vastago | 10.- Tubo | 19.- Perno |
| *2.- Rascador | 11.- Buje amortiguador | 20.- Arandela de amortiguacion 2 |
| *3.- Banda guia de vastago | 12.- Embolo | *21.- O-ring de vastago |
| *4.- Sello de vastago | 13.- Bocina de amortiguacion | *22.- Sello compuesto de embolo |
| *5.- Banda guia de vastago | 14.- Arandela de amortiguacion 1 | *23.- Banda guia 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 presion |
| 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 | | = | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 25 | M 20x1,5 | 28 | | = | = | = | = | = | | | | | | 120 | 196 | = | | |
| 50 | 32 | M 27x2 | 28 | 43 | | | | | | 24 | 207 | | | | 259 | 123 | 197 | 60 | |
| 63 | 25 | M 20x1,5 | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 63 | 32 | M 27x2 | 36 | | = | = | = | = | = | | | | | | | 113 | 201 | = | |
| 63 | 40 | M 33x2 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 32 | M 27x2 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | 40 | M 33x2 | 45 | | = | = | = | = | = | | | | | | | 132 | 230,5 | = | |
| 80 | 50 | M 42x2 | 45 | | | | | | | | | | | | | | 234 | | |
| 100 | 40 | M 33x2 | 45 | | | | | | | | | 248,5 | | | | | | | |
| 100 | 50 | M 42x2 | 56 | | | | | | | | | 220 | 330,5 | | | | | | |
| 100 | 63 | M 48x2 | 63 | | | | | | | | | | 250 | 334 | | | | | |
| 125 | 50 | M 42x2 | 56 | | | | | | | | | | 251 | | | | 232 | | |
| 125 | 63 | M 48x2 | 63 | | | | | | | | | | 256 | 347 | | | | | |
| 125 | 80 | M 64x3 | 85 | | | | | | | | | | | 221 | | | 124 | | |
| 160 | 63 | M 48x2 | 63 | | | | | | | | | | 312 | 352 | | | 237 | | |
| 160 | 80 | M 64x3 | 85 | | | | | | | | | | | | 416 | | | | |
| 160 | 100 | M 80x3 | 95 | | | | | | | | | | 318 | | | 171 | 289 | = | |
| 200 | 80 | M 64x3 | 85 | | | | | | | | | | 348 | 422 | | | | | |
| 200 | 100 | M 80x3 | 95 | | | | | | | | | | 354 | 479 | | | 324 | | |
| 200 | 125 | M 100x3 | 112 | | | | | | | | | | 358 | 485 | | | 330 | | |
| 250 | 100 | M 80x3 | 95 | | | | | | | | | | 400 | 317 | | | 201 | | |
| 250 | 125 | M 100x3 | 112 | | | | | | | | | | 408 | 572 | | | 334 | | |
| 250 | 150 | M 125x4 | 135 | | | | | | | | | | | 353 | 580 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 397 | 596 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 404 | 603 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 410 | 609 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 368 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 363 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 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, acoplamientos, 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

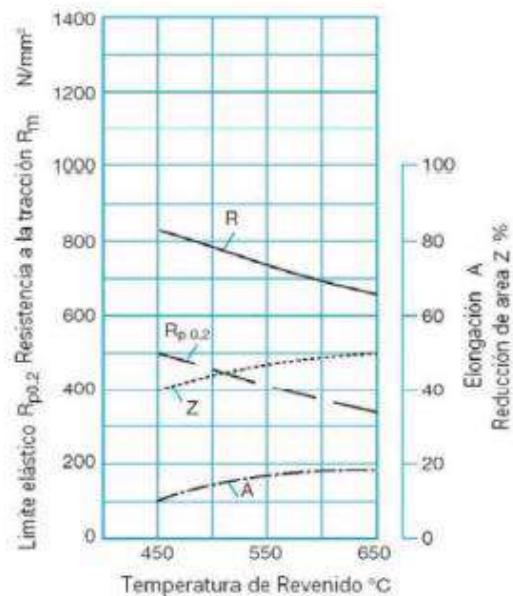
Propiedades Mecánicas.

| | |
|----------------------------------|---------|
| Resistencia a la tracción, R_m | 640 Mpa |
| Límite Elástico $R_{p,0,2}$ | 340 Mpa |
| Reducción de área, Z | 40% |
| Elongación, A_5 | 20% |

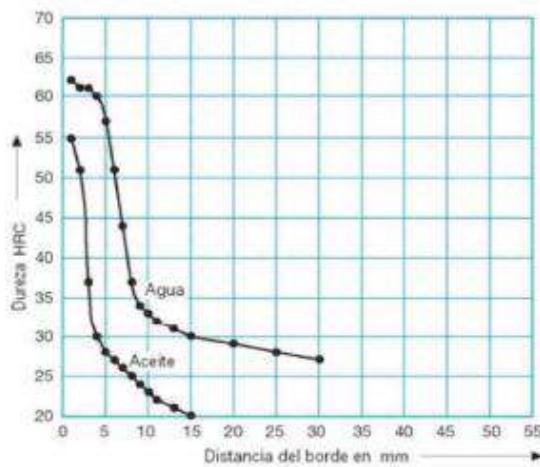
Propiedades Físicas.

| Temperatura | 20°C | 200°C | 400°C |
|--|------|-------|-------|
| Densidad kg/m ³ | 7870 | 7820 | 7750 |
| Expansión térmica (10 ⁻⁶ /°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

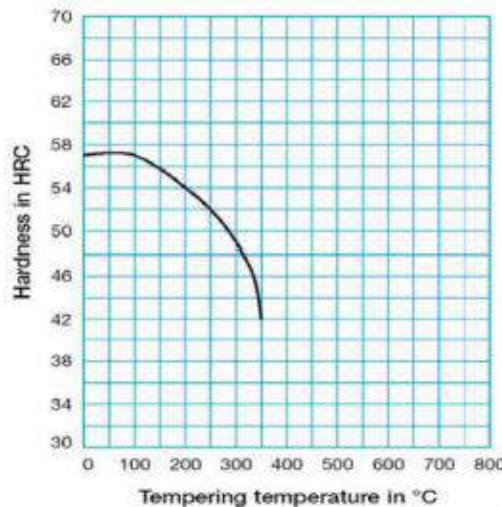
Normalizado

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



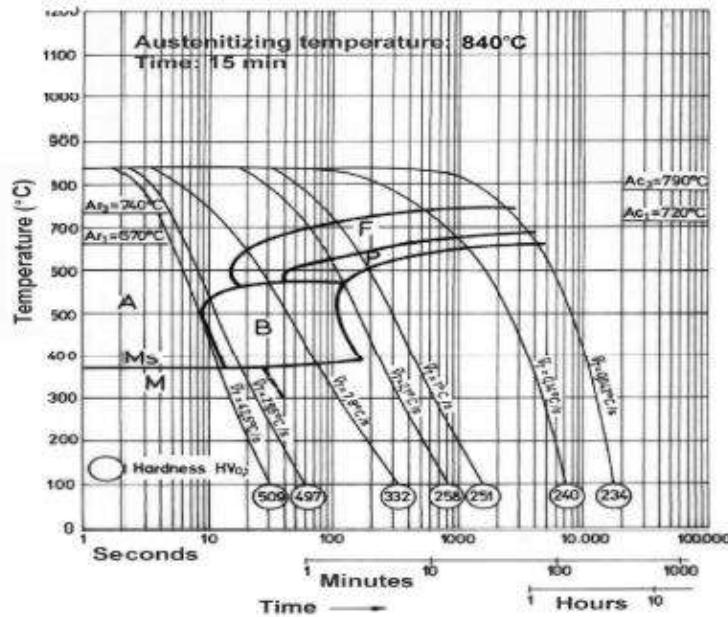
Temple

Austenizar a 840° C y enfriar en agua o salmuera. Para secciones bajo $\frac{1}{4}$ " 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 ¹⁾ |
| Avance (fz) mm/diente | 0,03 - 0,2 ²⁾ | 0,08 - 0,2 ²⁾ | 0,05 - 0,35 ²⁾ |
| 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 ¹⁾ |
| Velocidad de corte (vc) m/min. | 175 - 225 | 85 | 75 |
| Avance (f) mm/r | 0,05-0,25 ²⁾ | 0,10-0,25 ²⁾ | 0,15-0,25 ²⁾ |

¹⁾ Brocas con canales de refrigeración interna y plaqüita de metal duro.

²⁾ 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 milimetros (fija)
c = 903.28;          % En milimetros (fija)
d = 633.86;          % En milimetros (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 ACCELERACIONES
Ja = [-a.*sin(t2) b.*sin(t4); a.*cos(t2) -b.*cos(t4)];
Ba = [a*w2^2*cos(t2) + 2*w2*V0s*sin(t2) - Aps*cos(t2) - b*w4^2*cos(t4);
      a*w2^2*sin(t2) - 2*V0s*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 función de a')
xlabel('a (Variación de Tamaño de Vástago del Pistón)')
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 función de a')
xlabel('Aps (Variación del Tamaño del Vástago del Pistón)')
ylabel('w2 y w4')
legend('Curva w2', 'Curva w4')
grid
figure(3)
plot(A, ALFA2, A, ALFA4)
title('alfa2 y alfa 4 en función de a')
xlabel('Aps (Variación del Tamaño del Vástago del Pistón)')
ylabel('alfa2 y alfa 4')
legend('Curva alfa2', 'Curva alfa4')
grid

```

ANEXO E: FICHA TÉCNICA ACERO ASTM A-36

FICHA TÉCNICA 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.

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 |
| Manganoso | | 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.

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 |

Tabla abreviada para mostrar sólo aquellos elementos relevantes para Portland Bolt

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 | 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 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)

+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

Blaflex® con ferrules serie 20. Fittings de multiprensado Blaflex® 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 | 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

Blaflex® con ferrules serie 20. Fittings de multiprensado Blaflex® 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 Blaflex Balpac Premium. Aprobada a 1.000 000 ciclos de impulso, con una presión de trabajo de 1.33%**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

Blaflex 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

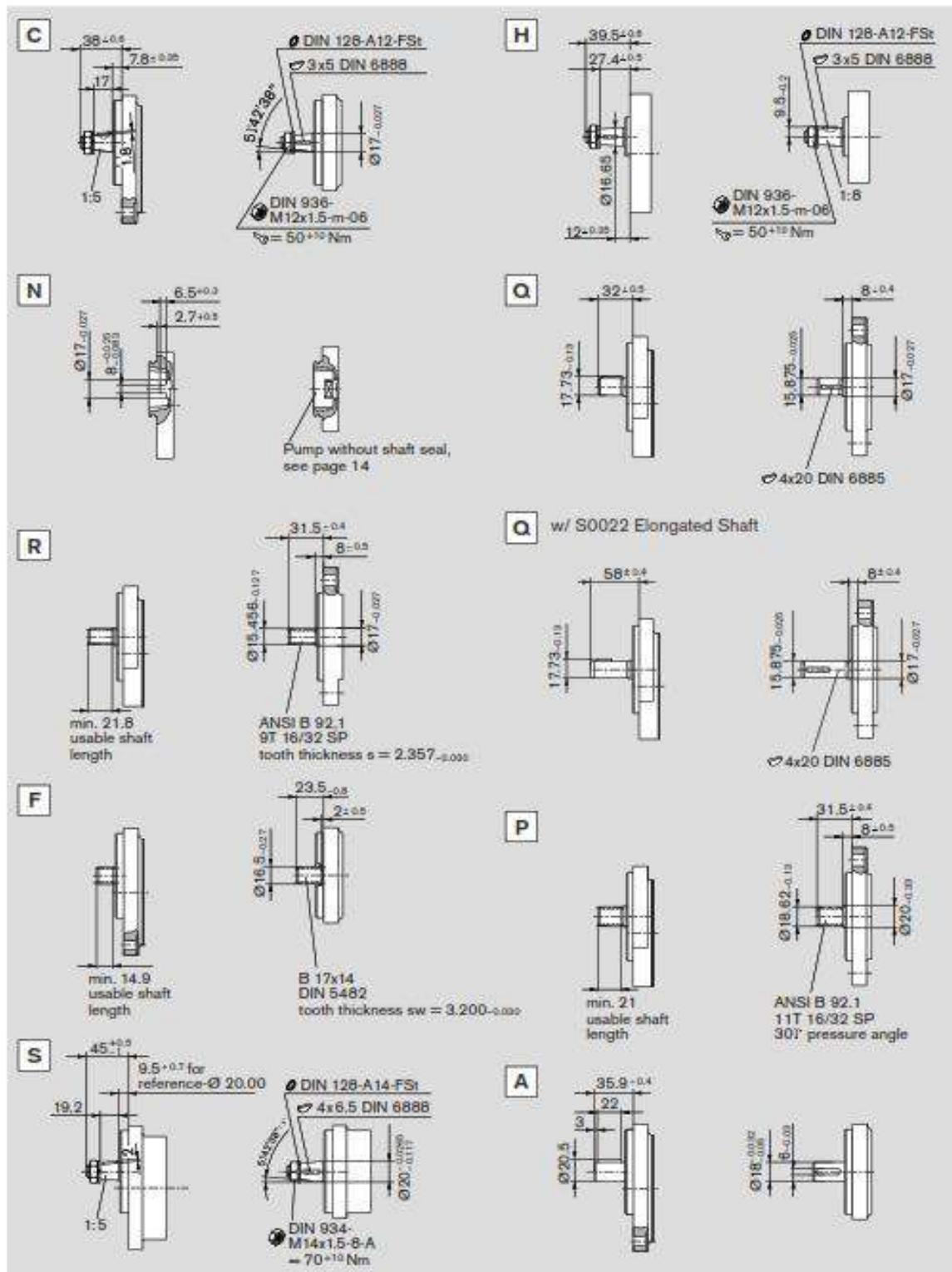


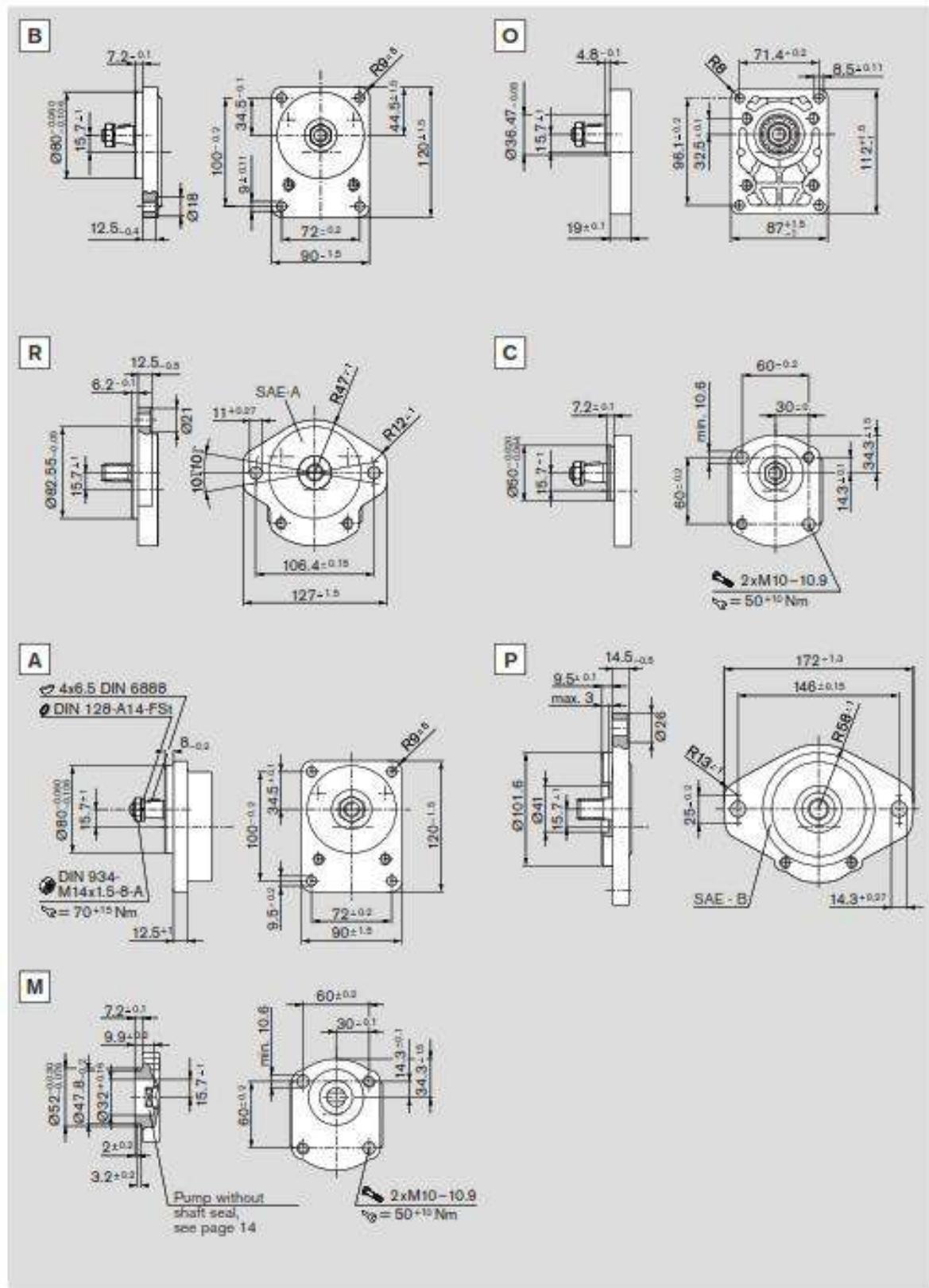
F Series Pump Product Index
(Reference page 14 for ordering code designators)

| 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 |

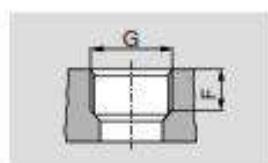
AZPF-XX-XXXX
--- MB

F Series Drive Shafts





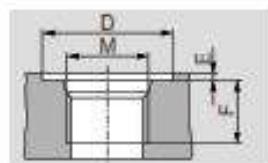
F Series Port Connections



01 Pipe thread
ISO 228/1

when pressure $p_2 > 210$ bar
limited fatigue strength

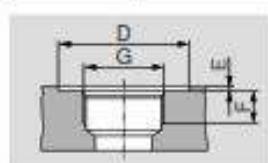
| Synopsis of Types | Size | Pressure port | Suction port |
|-------------------|---------------------------|---------------|--------------|
| 01 | 4 ... 16 cm ³ | G 1/2 16 | G 3/4 16 |
| | 19 ... 28 cm ³ | G 3/4 | G1 19 |



03 Thread metric
ISO 6149
with O-ring

when pressure $p_2 > 210$ bar
limited fatigue strength

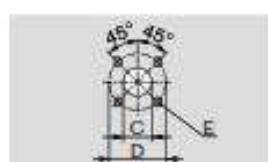
| Synopsis of Types | Size | Pressure port | D | E | F | Suction port | D | E | F |
|-------------------|---------------------------|---------------|----|-----|------|--------------|----|-----|------|
| 03 | 4 ... 5.5 cm ³ | M 18 x 1.5 | 29 | 0.5 | 14.5 | M 18 x 1.5 | 29 | 0.5 | 14.5 |
| | 8 ... 16 cm ³ | M 22 x 1.5 | 34 | | 18 | M 27 x 1.5 | 40 | | 19 |
| | 19 ... 28 cm ³ | | | | | M 33 x 1.5 | 46 | | 22 |



12 Thread
(UN-2B) SAE
O-ring BOSS

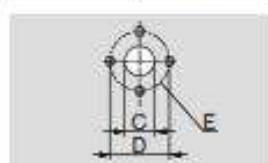
when pressure $p_2 > 210$ bar
limited fatigue strength

| Synopsis of Types | Size | Pressure port | D | E | F | Suction port | D | E | F |
|-------------------|---------------------------|---------------|----|-----|----|--------------|----|-----|----|
| 12 | 4 ... 5.5 cm ³ | SAE - 8 | 25 | 0.5 | 13 | SAE - 10 | 25 | 0.5 | 13 |
| | 8 ... 14 cm ³ | SAE - 10 | 35 | | 16 | SAE - 12 | 35 | | 16 |
| | 16 ... 28 cm ³ | SAE - 10 | | | | SAE - 16 | 45 | | 19 |



20 Rectangular flange
DIN 8901/8902

| Synopsis of Type | Size | Pressure port | C | D | E | Suction port | C | D | E |
|------------------|---------------------------|---------------|----|----|---|--------------|----|----|--------------|
| 20 | 4 ... 5.5 cm ³ | M 6 depth 13 | 15 | 35 | | M 6 depth 13 | 15 | 40 | |
| | 8 ... 16 cm ³ | | | | | | 20 | | |
| | 19 ... 28 cm ³ | | | | | | 26 | 55 | M 8 depth 13 |



30 Rectangular flange

| Synopsis of Type | Size | Pressure port | C | D | E | Suction port | C | D | E |
|------------------|---------------------------|---------------|------|------|---|--------------|------|------|--------------|
| 30 | 4 ... 8 cm ³ | M 6 depth 13 | 13.5 | 30.2 | | M 6 depth 13 | 13.5 | 30.2 | |
| | 11 ... 28 cm ³ | | | | | | 20.0 | 39.7 | M 8 depth 13 |

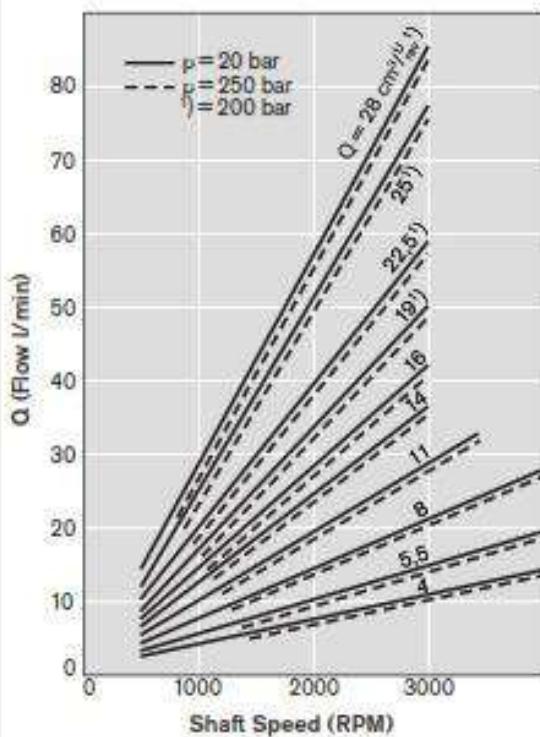
Diagrams

Size **F**

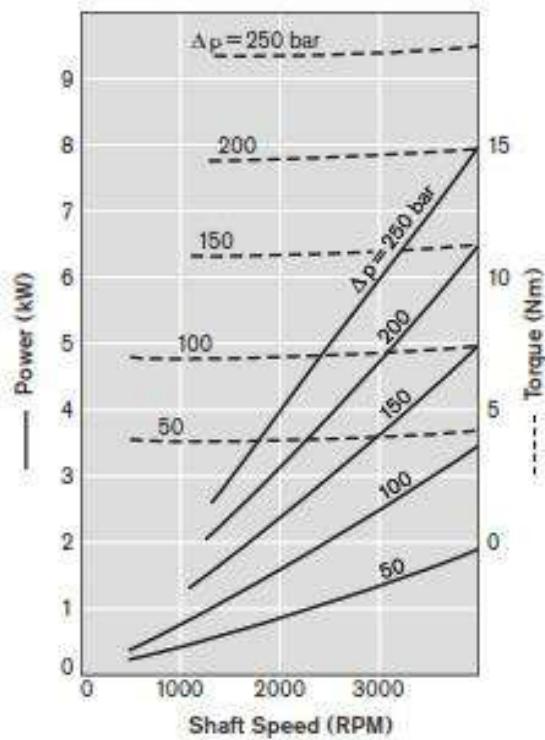
$v = 35 \text{ mm}^2/\text{s}$, $T = 50^\circ\text{C}$

Unit Conversions

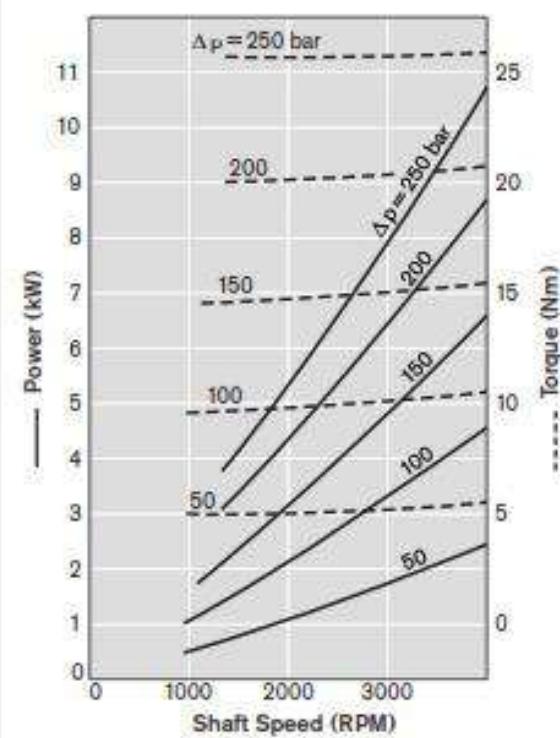
Pressure: $\text{psi} = \text{bar} \times 14.7$
 Torque: $\text{ft-lbs} = (\text{Nm}) \times .738$
 Power: $\text{hp} = (\text{kW}) \times 1.341$
 Volume: $\text{in}^3 = (\text{cc}) \times 16.39$
 $\text{gpm} = (\text{LPM}) \times .2642$

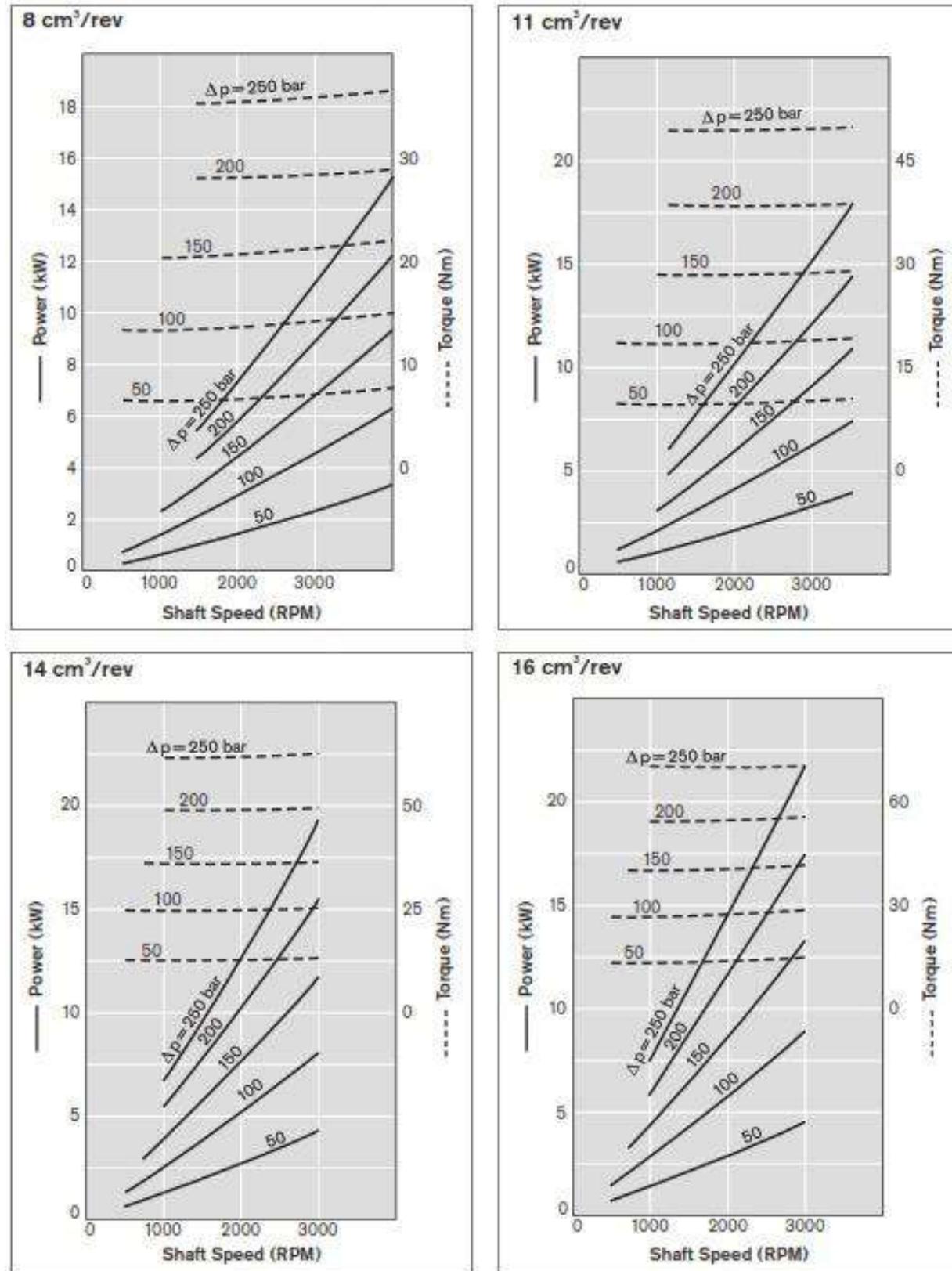


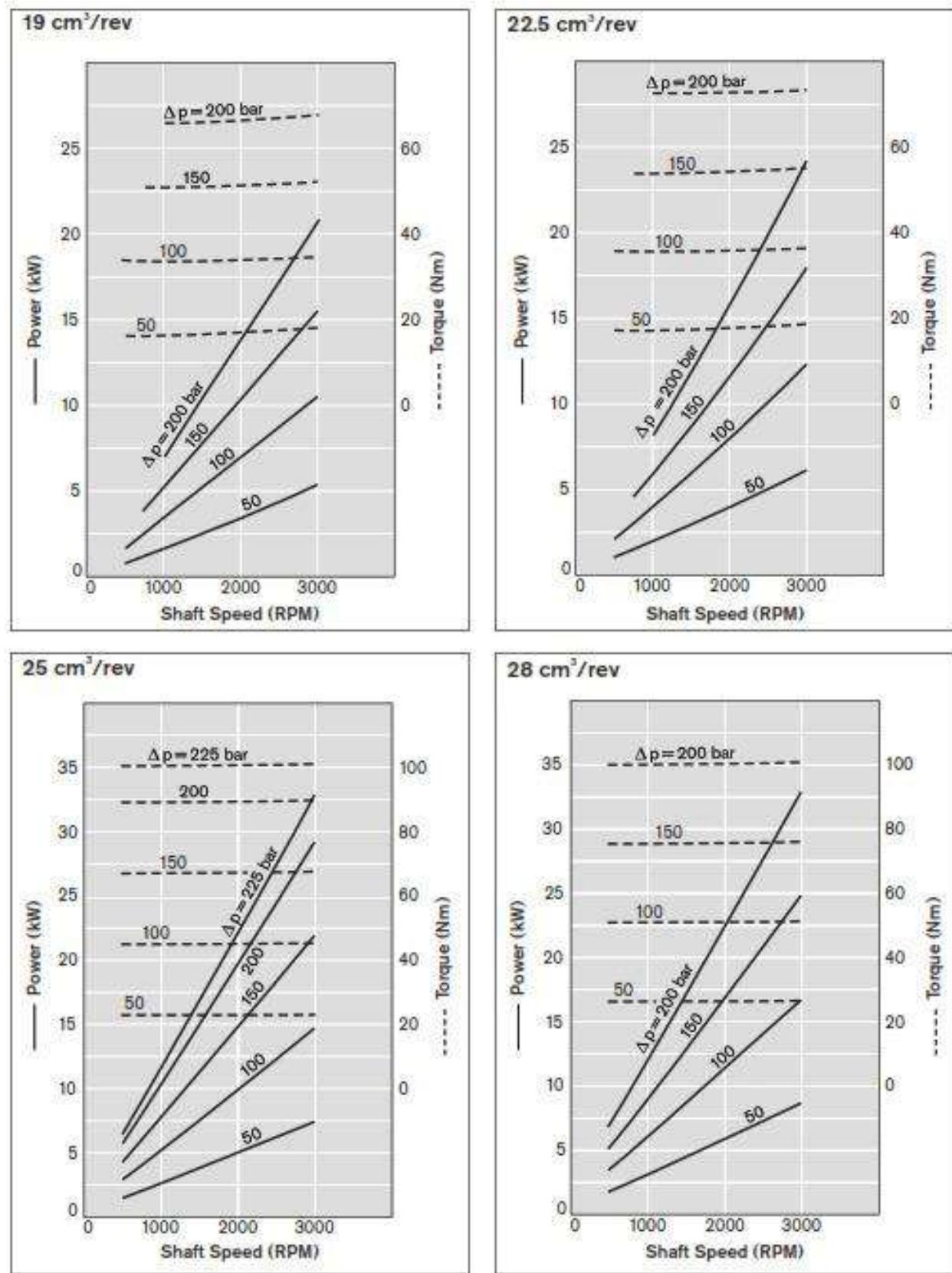
4 cm³/rev

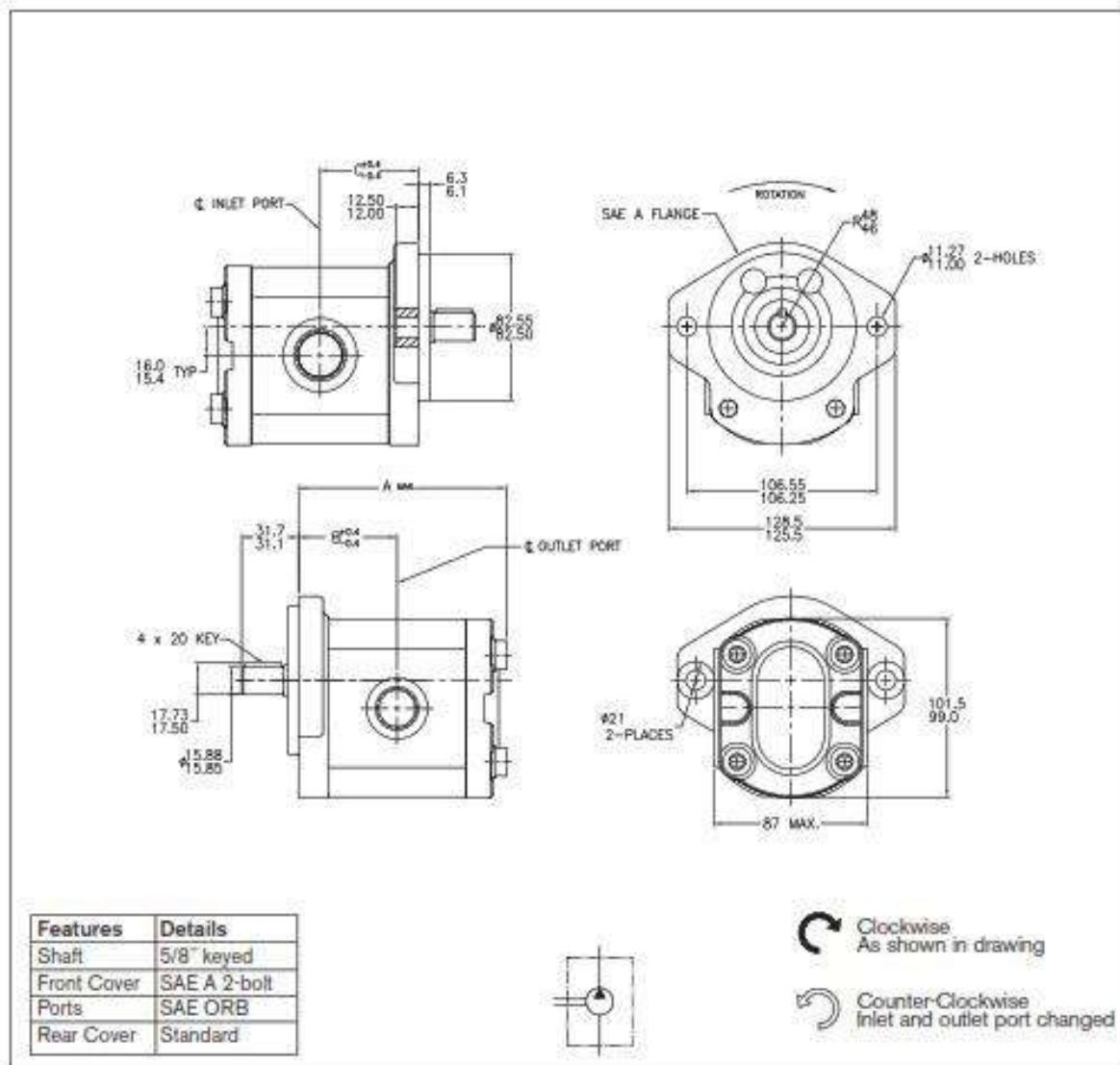


5.5 cm³/rev









Ordering code

AZPF - 1 2 - □ □ □ □ Q R 12 MB

| Displacement [cm ³ /rev] | Ordering-Number * | | Max. operating pressure [bar] | Max. rotation speed [min ⁻¹] | 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 (frio) 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 ¹ | : Ambos | | | |
| Rotación nominal | : 1760 rpm | | | Nivel de ruido ² | : 58.0 dB(A) | | | |
| Resbalamiento | : 2.22 % | | | Método de Arranque | : Partida directa | | | |
| Torque nominal | : 40.5 Nm | | | Masa aproximada ³ | : 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 kgm ² | | | | | | | |
| 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 | | |
| Delantero Tipo de cojinete Sello Intervalo de lubricación Cantidad de lubricante Tipo de lubricante | | | | | | | | |
| | | NU-308 C3 | | Trasero 6207 C3 | | | | |
| | | VRing | | VRing | | | | |
| | | 20000 h | | 20000 h | | | | |
| | | 11 g | | 7 g | | | | |
| Notas | | | | | | | | |
| Esta revisión reemplaza y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada. (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. | | | | 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. | | | | |
| Rev. | Resumen de los cambios | | | Ejecutado | Verificado | Fecha | | |
| Ejecutor | | | | | | | | |
| Verificador | | | | Página | Revisión | | | |
| Fecha | 08/07/2025 | | | 1 / 1 | | | | |

ANEXO I: CATALOGO WHYNCO PERU

UNIDADES HIDRÁULICOS ESTÁNDAR

www.whynco.com

COMPANY

Proporcionamos una gama de productos y servicios de principio a fin a organizaciones bien establecidas.

Nuestra presencia a nivel nacional nos permite ofrecer constantemente servicios de alta calidad, precios competitivos y comunicaciones fuertes para nuestros clientes.

Nuestro conocimiento técnico, nuestras complejas instalaciones de taller, con 2000 m², y nuestro control de calidad se combinan para proporcionar una vida útil y un rendimiento superior, desde alturas bajas en monóxido hasta cilindros reconstruidos y componentes.

Con un equipo de nuevas instalaciones de taller, trabajados por técnicos adiestrados y altamente capacitados que brindan servicios de repuesto y de emergencia dentro del mantenimiento planificado, servicios y soporte técnico.

www.whynco.com
Engineering & Design Manufacturing Supply Maintenance & Service Parts & Maintenance Industry Solutions

WHYNCO PERU
Fuerza innovadora

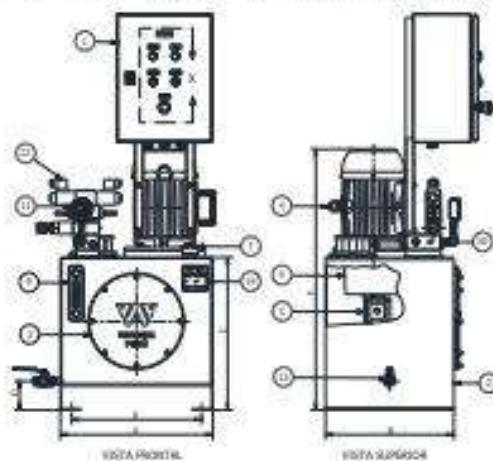
UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

SERIE WPUH 5 HP

| CÓDIGO | MOTOR | NOMINA | PRESIÓN | TANQUE | REF. | VOLTAJE | PESO | A | B | C | D | E | F |
|-----------|-------|--------|---------|--------|------|---------|------|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| | HP. | GF.M. | PSI | GL | REF. | V. | KG. | MM | MM | MM | MM | MM | MM |
| WPUH5-1-5 | 5 | 1.5 | 2000 | 5 | 1800 | 230/460 | 70 | 475 | 400 | 425 | 92 | 405 | 265 |
| WPUH5-2-5 | 5 | 2 | 2000 | 5 | 1800 | 230/460 | 75 | 475 | 400 | 425 | 92 | 405 | 265 |
| WPUH5-3-5 | 5 | 3 | 2000 | 5 | 1800 | 230/460 | 80 | 475 | 400 | 425 | 92 | 405 | 265 |
| WPUH5-4-5 | 5 | 1.5 | 2000 | 10 | 1800 | 230/460 | 85 | 475 | 400 | 425 | 92 | 405 | 265 |
| WPUH5-5-5 | 5 | 2 | 2000 | 10 | 1800 | 230/460 | 85 | 475 | 400 | 425 | 92 | 405 | 265 |
| WPUH5-6-5 | 5 | 3 | 2000 | 10 | 1800 | 230/460 | 90 | 475 | 400 | 425 | 92 | 405 | 265 |

ESQUEMA

| DETALLE | |
|---------|----------------------------|
| 1 | REFUGIO ELECTRICO |
| 2 | DISPOSITIVO DE ACOTE |
| 3 | BOMBA |
| 4 | DISPOSITIVO ELECTRICO |
| 5 | BOMBA |
| 6 | DISPOSITIVO HIDRAULICO |
| 7 | VALVULA DE ALTA PRESION |
| 8 | VALVULA DE BAJA PRESION |
| 9 | DISPOSITIVO TERMOMETRICO |
| 10 | DISPOSITIVO |
| 11 | DISPOSITIVO |
| 12 | DISPOSITIVO |
| 13 | DISPOSITIVO |
| 14 | DISPOSITIVO DE VENTILACION |



 Fuerza innovadora

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respaldadero.
- Puerto de depósito adicional para agregar accesorios.

Opciones

- Varias opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoplos 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.





 KOMPASS®

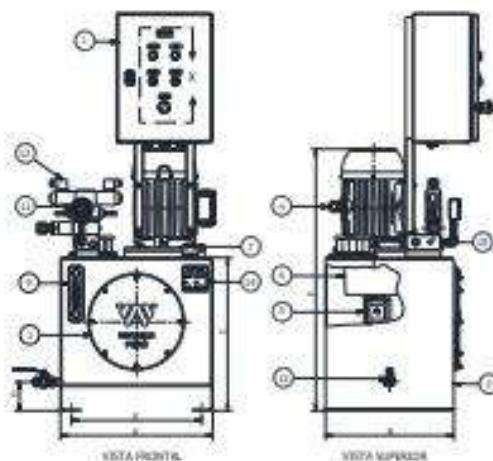
UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

SERIE WPUH 7.5 HP

| CÓDIGO | MOTOR | NOMINA | PRESIÓN | TANQUE | REF. | VOLTAJE | PESO | A | B | C | D | E | F |
|--------------|-------|--------|---------|--------|------|---------|------|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| | HP. | GF.M. | PSI | GL | REF. | V. | KG. | MM | MM | MM | MM | MM | MM |
| WPUH7.5-2-5 | 7.5 | 3 | 2000 | 30 | 1800 | 230/460 | 120 | 475 | 400 | 475 | 92 | 405 | 330 |
| WPUH7.5-4-5 | 7.5 | 4 | 2000 | 30 | 1800 | 230/460 | 130 | 475 | 400 | 475 | 92 | 405 | 330 |
| WPUH7.5-3-10 | 7.5 | 3 | 2000 | 15 | 1800 | 230/460 | 130 | 550 | 425 | 500 | 92 | 480 | 335 |
| WPUH7.5-4-10 | 7.5 | 4 | 2000 | 15 | 1800 | 230/460 | 140 | 550 | 425 | 500 | 92 | 480 | 335 |

ESQUEMA

| DETALLE | |
|---------|----------------------------|
| 1 | REFUGIO ELECTRICO |
| 2 | DISPOSITIVO DE ACOTE |
| 3 | BOMBA |
| 4 | DISPOSITIVO ELECTRICO |
| 5 | BOMBA |
| 6 | DISPOSITIVO HIDRAULICO |
| 7 | VALVULA DE ALTA PRESION |
| 8 | VALVULA DE BAJA PRESION |
| 9 | DISPOSITIVO TERMOMETRICO |
| 10 | DISPOSITIVO |
| 11 | DISPOSITIVO |
| 12 | DISPOSITIVO |
| 13 | DISPOSITIVO |
| 14 | DISPOSITIVO DE VENTILACION |



CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad.
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/respaldadero.
- Puerto de depósito adicional para agregar accesorios.

Opciones

- Varias opciones de válvulas.
- Diferentes presiones de trabajo.
- Filtros, Manómetros y Acoplos 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.





 KOMPASS®

 Fuerza innovadora

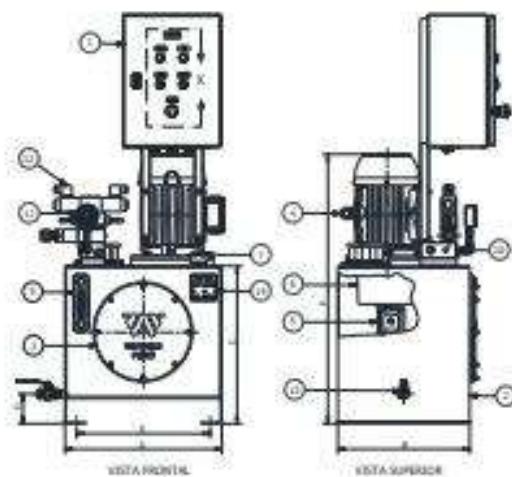
UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

SERIE WPUH 10 HP

| CÓDIGO | MOTO K.W. | BOMBA G.P.M. | PRESSIÓN P.S.I. | TORQUE LB. | R.P.M. | VOLTIOS V. | PESO K.G. | A MM | B MM | C MM | D MM | E MM | F MM |
|--------------|--------------|-----------------|--------------------|---------------|--------|---------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| WPUH 10-6-15 | 30 | 4 | 3000 | 15 | 1800 | 230/440 | 140 | 550 | 425 | 500 | 92 | 480 | 920 |
| WPUH 10-5-15 | 30 | 5 | 2600 | 15 | 1800 | 230/440 | 150 | 550 | 425 | 500 | 92 | 480 | 920 |
| WPUH 10-6-20 | 30 | 4 | 3000 | 20 | 1800 | 230/440 | 150 | 600 | 475 | 550 | 92 | 520 | 945 |
| WPUH 10-5-20 | 30 | 5 | 2600 | 20 | 1800 | 230/440 | 160 | 600 | 475 | 550 | 92 | 520 | 945 |

ESQUEMA

| DETALLE PART NUMBER | |
|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | ESTANTE |
| 2 | ESTANTE ELECTRICO |
| 3 | DISPOSITIVO DE SEÑAL |
| 4 | BOMBA |
| 5 | MOTOR ELECTRICO |
| 6 | RODAMIENTO |
| 7 | CAÑA MOTOR/RODAMIENTO |
| 8 | CAÑA DE ALTA PRESION |
| 9 | ESTANTE DE RETORNO CON MANGUERAS |
| 10 | DISPOSITIVO Y MEDIDOR TEMPERATURA |
| 11 | COMPRESOR |
| 12 | RODAMIENTO |
| 13 | VALVULAS |
| 14 | RODAMIENTO |
| 15 | ETIQUETA DE IDENTIFICACION |

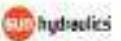


CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad,
- Bombas de engranajes de servicio pesado
- Depósitos hidráulicos resistentes
- Tapon de llenado/respaldero
- Puerto de depósito adicional para agregar accesorios

Opciones

- Varias opciones de válvulas
- Diferentes presiones de trabajo
- Filtros, Manómetros y Acoplos Rápidos
- Depósitos hidráulicos más grandes
- Controles Eléctricos y Activadores
- Calentador y enfriador de Aceite
- Diferentes estilos de bombas, paletas y platos
- Bombas compensadoras de presión



 Fuerza
Innovadora.

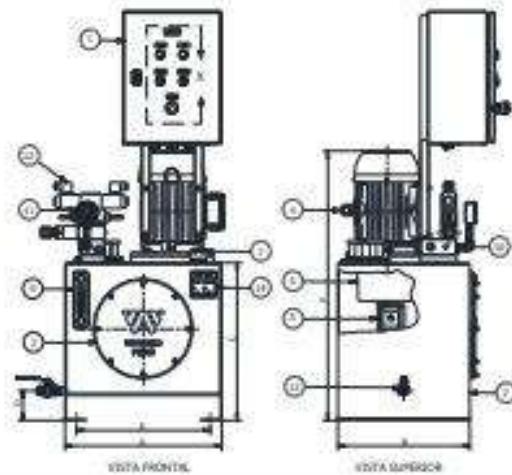
UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

SERIE WPUH 15 HP

| CÓDIGO | MOTO K.W. | BOMBA G.P.M. | PRESSIÓN P.S.I. | TORQUE LB. | R.P.M. | VOLTIOS V. | PESO K.G. | A MM | B MM | C MM | D MM | E MM | F MM |
|--------------|--------------|-----------------|--------------------|---------------|--------|---------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| WPUH 15-6-20 | 35 | 6 | 3000 | 20 | 1800 | 230/440 | 220 | 620 | 475 | 550 | 93 | 530 | 1025 |
| WPUH 15-5-20 | 35 | 5 | 2600 | 20 | 1800 | 230/440 | 230 | 620 | 475 | 550 | 93 | 530 | 1025 |
| WPUH 15-6-30 | 35 | 6 | 3000 | 30 | 1800 | 230/440 | 240 | 650 | 525 | 625 | 93 | 580 | 1080 |
| WPUH 15-5-30 | 35 | 5 | 2600 | 30 | 1800 | 230/440 | 260 | 650 | 525 | 625 | 93 | 580 | 1080 |

ESQUEMA

| DETALLE PART NUMBER | |
|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | ESTANTE |
| 2 | ESTANTE ELECTRICO |
| 3 | DISPOSITIVO DE SEÑAL |
| 4 | BOMBA |
| 5 | MOTOR ELECTRICO |
| 6 | RODAMIENTO |
| 7 | CAÑA MOTOR/RODAMIENTO |
| 8 | CAÑA DE ALTA PRESION |
| 9 | ESTANTE DE RETORNO CON MANGUERAS |
| 10 | DISPOSITIVO Y MEDIDOR TEMPERATURA |
| 11 | COMPRESOR |
| 12 | RODAMIENTO |
| 13 | VALVULAS |
| 14 | RODAMIENTO |
| 15 | ETIQUETA DE IDENTIFICACION |



CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad,
- Bombas de engranajes de servicio pesado
- Depósitos hidráulicos resistentes
- Tapon de llenado/respaldero
- Puerto de depósito adicional para agregar accesorios

Opciones

- Varias opciones de válvulas
- Diferentes presiones de trabajo
- Filtros, Manómetros y Acoplos Rápidos
- Depósitos hidráulicos más grandes
- Controles Eléctricos y Activadores
- Calentador y enfriador de Aceite
- Diferentes estilos de bombas, paletas y platos
- Bombas compensadoras de presión



 Fuerza
Innovadora.

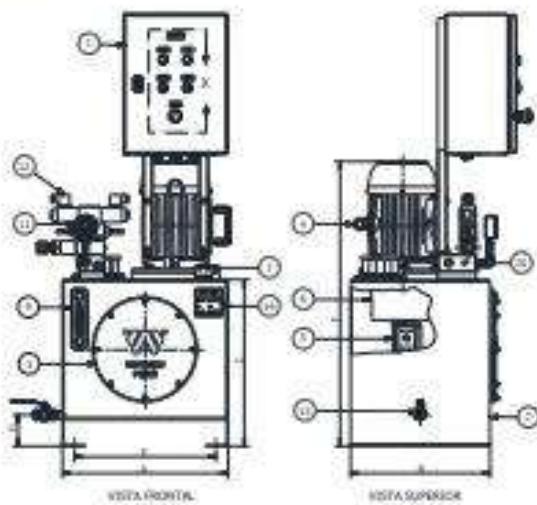
UNIDADES HIDRAULICAS BOMBA SUMERGIBLE SERIE WPUH1000

SERIE WPUH 20 HP

| CÓDIGO | MOTOR HP. | BOMBA HP.M. | PRESSION PSI. | TANQUE Q1 | 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 | 92 | 580 | 1140 |
| WPUH 20-10-30 | 20 | 10 | 3000 | 30 | 1800 | 220/440 | 280 | 650 | 525 | 625 | 92 | 580 | 1140 |
| WPUH 20-8-40 | 20 | 8 | 3000 | 40 | 1800 | 220/440 | 270 | 625 | 600 | 695 | 92 | 555 | 1210 |
| WPUH 20-10-40 | 20 | 10 | 3000 | 40 | 1800 | 220/440 | 290 | 625 | 600 | 695 | 92 | 555 | 1210 |

ESQUEMA

| PIEZAS LISTA | |
|--------------------|--------------------------------|
| 1. MOTOR ELECTRICO | |
| 2. | DISPOSITIVO DE ALTA PRESION |
| 3. | VALVULA |
| 4. | RODILLO PARA TUBOS |
| 5. | RODILLO |
| 6. | DISPOSITIVO HIDRAULICO |
| 7. | CAVAL DE ALTA PRESION |
| 8. | DISPOSITIVO DE REGULACION |
| 9. | RODILLO Y REGLADOR TEMPERATURA |
| 10. | DISPOSITIVO |
| 11. | DISPOSITIVO |
| 12. | VALVULA |
| 13. | VALVULA |
| 14. | DISPOSITIVO DE CENTRACION |



CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR

- Motores Eléctricos de Alta Calidad,
- Bombas de engranajes de servicio pesado.
- Depósitos hidráulicos resistentes.
- Tapón de llenado/replicadero
- Puertos de depósito adicionales para agregar accesorios

OPCIONES

- Varias opciones de válvulas
- Diferentes presiones de trabajo
- Filtros, Manómetros y Acoplos Rápidos
- Depósitos hidráulicos más grandes
- Controles Eléctricos y Activadores
- Calentador y enfriador de Aceite
- Diferentes estilos de bombas, paletas y pistones
- Bombas compresoras de presión



ANEXO J: FILTRO DE CATALOGO IKRON



HF 547

MICRO-FIBRE GLASS FLOWS

| Filter type | Ports | | Degree of filtration | | | | |
|--|------------|-----------|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| | GAS (BSPP) | NPT | SAE J514b | FG003 | FG006 | FG010 | FG025 |
| <i>Flow</i> <i>Δp = 5.8 psi (0.4 bar) ("AS" version values)</i> | | | | | | | |
| HF 547-10.095 | G 3/8 | 3/8 NPT | 9/16-16 UNF-2B | 4.0 (15) | 4.0 (15) | 5.3 (20) | 5.3 (20) |
| HF 547-10.145 | G 1/2 | 1/2 NPT | 3/4-16 UNF-2B | 5.3 (20) | 5.3 (20) | 6.6 (25) | 7.9 (30) |
| HF 547-10.195 | G 3/4 | 3/4 NPT | 1 1/16-12 UNF-2B | 6.6 (25) | 6.6 (25) | 7.8 (30) | 10.6 (40) |
| HF 547-20.077 | G 3/8 | 3/8 NPT | 9/16-16 UNF-2B | 5.3 (20) | 5.3 (20) | 5.3 (20) | 5.3 (20) |
| HF 547-20.122 | G 1/2 | 1/2 NPT | 3/4-16 UNF-2B | 6.6 (25) | 7.9 (30) | 7.9 (30) | 9.2 (35) |
| HF 547-20.201 | 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 547-20.280 | G 1/2 | 1/2 NPT | 9/16-16 UNF-2B | 5.3 (20) | 5.3 (20) | 5.3 (20) | 5.3 (20) |
| HF 547-20.201 | G 1/2 | 1/2 NPT | 3/4-16 UNF-2B | 7.9 (30) | 7.9 (30) | 10.6 (40) | 13.2 (50) |
| HF 547-20.280 | G 3/4 | 3/4 NPT | 1 1/16-12 UNF-2B | 7.9 (30) | 7.9 (30) | 10.6 (40) | 13.2 (50) |
| HF 547-20.201 | G 1 | 1 NPT | 1 5/16-12 UNF-2B | 7.9 (30) | 7.9 (30) | 10.6 (40) | 13.2 (50) |
| HF 547-20.280 | 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) |
| HF 547-20.201 | G 1/2 | 1/2 NPT | 3/4-16 UNF-2B | 10.6 (40) | 13.2 (50) | 15.9 (60) | 15.9 (60) |
| HF 547-20.280 | 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) |
| HF 547-20.280 | 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) |
| HF 547-20.201 | 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 | 18.5 (70) | 21.1 (80) | 23.8 (90) | 29.0 (110) |
| HF 547-20.201 | G 1 1/4 | 1 1/4 NPT | 1 5/8-12 UNF-2B | 18.5 (70) | 21.1 (80) | 26.4 (100) | 31.7 (120) |
| HF 547-20.280 | 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 547-20.201 | G 1 | 1 NPT | 1 5/16-12 UNF-2B | 29.0 (110) | 31.7 (120) | 34.3 (130) | 37.0 (140) |
| HF 547-20.280 | 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) |

ANEXO K: FILTRO DE CATALOGO IKRON



HF 410 / HF 412

FILTERING SURFACES

| Filter type | Standard filtering surface (AS) | Oversize filtering surface (FS) |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | cm ² (in ²) | cm ² (in ²) |
| HF 410-10.060 | 290 (44.9500) | 370 (57.3501) |
| HF 410-20.077 | 370 (57.3501) | 490 (75.8501) |
| HF 410-20.122 | 585 (90.6751) | 780 (120.9002) |
| HF 410-30.077 | 525 (81.3751) | 680 (105.4002) |
| HF 410-30.122 | 830 (120.6503) | 1075 (166.6253) |
| HF 410-30.162 | 1295 (200.7254) | 1425 (220.8754) |
| HF 410-30.195 | 1560 (241.0005) | 1870 (269.6506) |
| 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 | 3870 (515.3512) | 5260 (715.3016) |
| 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 (86.8001) |
| 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 |
| HB 70 FILLER CAP | | | | |
| 1 Cap | | CODE | | |
| Filter 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 5.3150 in (135 mm) long | | 30 | | |
| 3/4" GAB male thread | | 0E | | |
| 4 Cap options | | CODE | | |
| Without | | E | | |
| Basket | | G | | |
| Level dipstick 7.6740 in (200 mm) long | | M | | |
| Level dipstick 15.7400 in (400 mm) long | | N | | |
| Level dipstick 23.6220 in (600 mm) long | | P | | |
| Antispash | | S | | |
| Custom level dipsticks with different heights are available on request. | | | | |
| 5 Options | | CODE | | |
| Without | | 1 | | |
| Internal chainlet | | 2 | | |
| Security element arrangement | | 3 | | |

- Standard
- 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., <i>T</i> , °C | Densidad, <i>ρ</i> , kg/m ³ | Calor específico, <i>c_p</i> , J/kg · K | Conductividad térmica, <i>k</i> , W/m · K | Difusividad térmica, <i>α</i> , m ² /s ² | Viscosidad dinámica, <i>μ</i> , kg/m · s | Viscosidad cinemática, <i>ν</i> , m ² /s | Número de Prandtl, Pr |
|-------------------------|---|---|---|--|--|---|-----------------------------|
| -150 | 2.866 | 983 | 0.01171 | 4.158×10^{-6} | 8.636×10^{-6} | 3.013×10^{-6} | 0.7246 |
| -100 | 2.038 | 966 | 0.01582 | 8.036×10^{-6} | 1.189×10^{-6} | 5.837×10^{-6} | 0.7263 |
| -50 | 1.582 | 999 | 0.01979 | 1.252×10^{-5} | 1.474×10^{-5} | 9.319×10^{-6} | 0.7440 |
| -40 | 1.514 | 1 002 | 0.02057 | 1.356×10^{-5} | 1.527×10^{-5} | 1.008×10^{-5} | 0.7436 |
| -30 | 1.451 | 1 004 | 0.02134 | 1.465×10^{-5} | 1.579×10^{-5} | 1.087×10^{-5} | 0.7425 |
| -20 | 1.394 | 1 005 | 0.02211 | 1.578×10^{-5} | 1.630×10^{-5} | 1.169×10^{-5} | 0.7408 |
| -10 | 1.341 | 1 006 | 0.02288 | 1.696×10^{-5} | 1.680×10^{-5} | 1.252×10^{-5} | 0.7387 |
| 0 | 1.292 | 1 006 | 0.02364 | 1.818×10^{-5} | 1.729×10^{-5} | 1.338×10^{-5} | 0.7362 |
| 5 | 1.269 | 1 006 | 0.02401 | 1.880×10^{-5} | 1.754×10^{-5} | 1.382×10^{-5} | 0.7350 |
| 10 | 1.246 | 1 006 | 0.02439 | 1.944×10^{-5} | 1.778×10^{-5} | 1.426×10^{-5} | 0.7336 |
| 15 | 1.225 | 1 007 | 0.02476 | 2.009×10^{-5} | 1.802×10^{-5} | 1.470×10^{-5} | 0.7323 |
| 20 | 1.204 | 1 007 | 0.02514 | 2.074×10^{-5} | 1.825×10^{-5} | 1.516×10^{-5} | 0.7309 |
| 25 | 1.184 | 1 007 | 0.02551 | 2.141×10^{-5} | 1.849×10^{-5} | 1.562×10^{-5} | 0.7296 |
| 30 | 1.164 | 1 007 | 0.02588 | 2.208×10^{-5} | 1.872×10^{-5} | 1.608×10^{-5} | 0.7282 |
| 35 | 1.145 | 1 007 | 0.02625 | 2.277×10^{-5} | 1.895×10^{-5} | 1.655×10^{-5} | 0.7268 |
| 40 | 1.127 | 1 007 | 0.02662 | 2.346×10^{-5} | 1.918×10^{-5} | 1.702×10^{-5} | 0.7255 |
| 45 | 1.109 | 1 007 | 0.02699 | 2.416×10^{-5} | 1.941×10^{-5} | 1.750×10^{-5} | 0.7241 |
| 50 | 1.092 | 1 007 | 0.02735 | 2.487×10^{-5} | 1.963×10^{-5} | 1.798×10^{-5} | 0.7228 |
| 60 | 1.059 | 1 007 | 0.02808 | 2.632×10^{-5} | 2.008×10^{-5} | 1.896×10^{-5} | 0.7202 |
| 70 | 1.028 | 1 007 | 0.02881 | 2.780×10^{-5} | 2.052×10^{-5} | 1.995×10^{-5} | 0.7177 |
| 80 | 0.9994 | 1 008 | 0.02953 | 2.931×10^{-5} | 2.096×10^{-5} | 2.097×10^{-5} | 0.7154 |
| 90 | 0.9718 | 1 008 | 0.03024 | 3.086×10^{-5} | 2.139×10^{-5} | 2.201×10^{-5} | 0.7132 |
| 100 | 0.9458 | 1 009 | 0.03095 | 3.243×10^{-5} | 2.181×10^{-5} | 2.306×10^{-5} | 0.7111 |
| 120 | 0.8977 | 1 011 | 0.03235 | 3.565×10^{-5} | 2.264×10^{-5} | 2.522×10^{-5} | 0.7073 |
| 140 | 0.8542 | 1 013 | 0.03374 | 3.898×10^{-5} | 2.345×10^{-5} | 2.745×10^{-5} | 0.7041 |
| 160 | 0.8148 | 1 016 | 0.03511 | 4.241×10^{-5} | 2.420×10^{-5} | 2.975×10^{-5} | 0.7014 |
| 180 | 0.7788 | 1 019 | 0.03646 | 4.593×10^{-5} | 2.504×10^{-5} | 3.212×10^{-5} | 0.6992 |
| 200 | 0.7459 | 1 023 | 0.03779 | 4.954×10^{-5} | 2.577×10^{-5} | 3.455×10^{-5} | 0.6974 |
| 250 | 0.6746 | 1 033 | 0.04104 | 5.890×10^{-5} | 2.760×10^{-5} | 4.091×10^{-5} | 0.6946 |
| 300 | 0.6158 | 1 044 | 0.04418 | 6.871×10^{-5} | 2.934×10^{-5} | 4.765×10^{-5} | 0.6935 |

ANEXO N: FICHA TECNICA CALDERA DE VAPOR





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

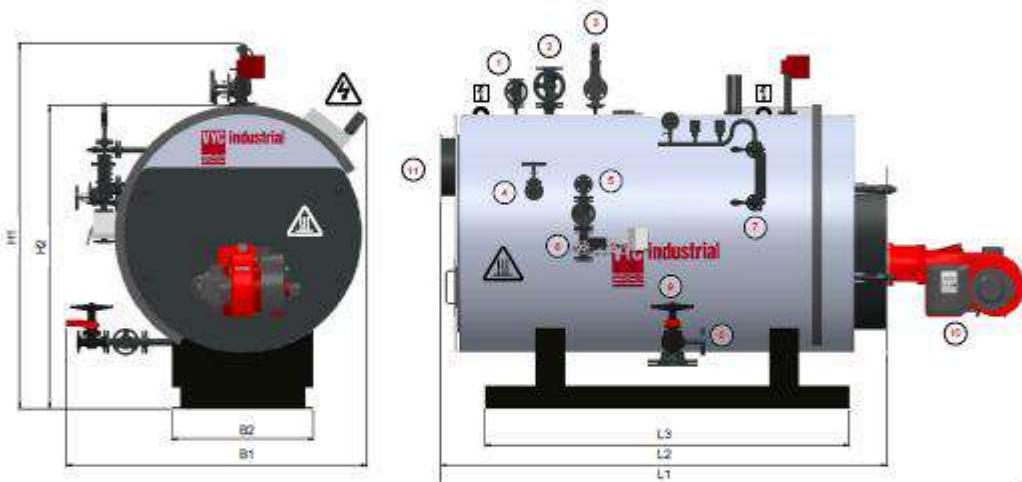
7 Conducción purga del nivel de agua

8 Conducción de purga

9 Línea de aire comprimido

10 Entrada combustible

11 Salida de humos



| HCI | Producción de vapor Kg/h | Presión máxima admisible bar g | Dimensiones principales mm | | | | | | | Salida humos | Base de soporte | Peso en vacío Tn |
|----------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------|------|------|------|------|------|--------------|-----------------|------------------|
| | | | L1 Gas | L2 Gas | H1 | H2 | B1 | ØD | Ød | | | |
| HCi-50 | 50 | 10 | 1542 | 1452 | 1140 | 1562 | 1312 | 1152 | 904 | 160 | 820 | 605 |
| HCi-100 | 100 | 10 | 1880 | 1887 | 1450 | 1747 | 1405 | 1325 | 1050 | 180 | 950 | 735 |
| HCi-200 | 200 | 10 | 2196 | 2330 | 1620 | 1725 | 1412 | 1275 | 1050 | 180 | 1100 | 895 |
| HCi-350 | 350 | 10 | 2700 | 2760 | 1940 | 1855 | 1545 | 1495 | 1170 | 200 | 1330 | 845 |
| HCi-550 | 550 | 10 | 2830 | 3030 | 2100 | 2080 | 1670 | 1460 | 1280 | 250 | 1450 | 865 |
| HCi-850 | 850 | 10 | 3188 | 3285 | 2320 | 2033 | 1800 | 1550 | 1360 | 315 | 1800 | 855 |
| HCi-1150 | 1150 | 10 | 3740 | 3820 | 2610 | 2245 | 1903 | 1668 | 1435 | 355 | 2100 | 915 |
| HCi-1450 | 1450 | 10 | 3995 | 3995 | 2970 | 2216 | 2012 | 1712 | 1504 | 355 | 2400 | 945 |
| HCi-1800 | 1800 | 10 | 4450 | 4450 | 3210 | 2382 | 2050 | 1847 | 1794 | 400 | 2600 | 1015 |

a) Para presiones máximas de servicio hasta 7,5 bar el modelo HCi-1450 se emplazará como clase 1^a.

b) Para presiones máximas de servicio hasta 6 bar el modelo HCi-1800 se emplazará como clase 1^a.

• 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. 609/2021, Reglamento de Equipos a Presión.

ANEXO N: 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 | $(L/D)_{eq}$ |
|---|--------------|
| 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 rosulado de 90° | 50 |
| Codo estándar de 45° | 16 |
| Codo rosulado 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.

| Medidas Nominal de la Tubería (pulg) | | Diámetro Ext (mm) | Espesor (mm) | Diámetro Interior (mm) | Medidas 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 | 3,08 | 38,1 |
| | 16 | 406,4 | 6,35 | 393,7 | | 2 | 60,3 | 3,54 | 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 |
| | 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 | 148,4 |
| | 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 |
| Cedula 20 | 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 |
| | 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 | | 24 | 609,6 | 30,96 | 547,7 |
| | 10 | 273,0 | 7,800 | 257,4 | Cedula 100 | 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 |
| | 30 | 762,0 | 15,880 | 730,2 | | 24 | 609,6 | 38,89 | 531,8 |
| Cedula 30 | 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 | 113,9 |
| | 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 | 344,3 |
| | 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 | | 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 140 | 1/2 | 21,3 | 4,78 | 11,7 |
| | 18 | 457,2 | 14,27 | 428,7 | | 3/4 | 26,7 | 3,56 | 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 |
| | 1/8 | 10,3 | 2,41 | 5,3 | | 10 | 273,0 | 28,58 | 215,8 |
| | 1/4 | 13,7 | 3,02 | 7,7 | | 12 | 323,9 | 33,34 | 257,2 |
| Cedula 80 | 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 | 43,24 | 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 ³ | Volumen específico m ³ /kg | Viscosidad dinámica cP | Viscosidad cinemática cSt | Calor específico kWh/kg·K |
|-------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 50 | 0,12 | 0,719908 | 0,083140 | 12,027864 | 0,010618 | 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 | 0,0005620 |
| 80 | 0,47 | 0,734171 | 0,293663 | 3,405265 | 0,011592 | 39,475082 | 0,0005689 |
| 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 | 16,637548 | 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 | 0,828863 | 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 | 1,068128 | 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 | 1,088087 | 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 | 0,840278 | 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 | 1,338373 | 0,748294 | 0,013163 | 9,849009 | 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 | 0,668084 | 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 | 1,582856 | 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 | 8,035047 | 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

TLV®

COSPECT®
VÁLVULAS REDUCTORAS DE
PRESIÓN PARA VAPOR
MODELO COS-3/COS-16

SDS SA0000-3

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 estérico 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 - 0.6 barg | | Dentro de 10 - 84% de la presión primaria, pero 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.

Copyright © TLV

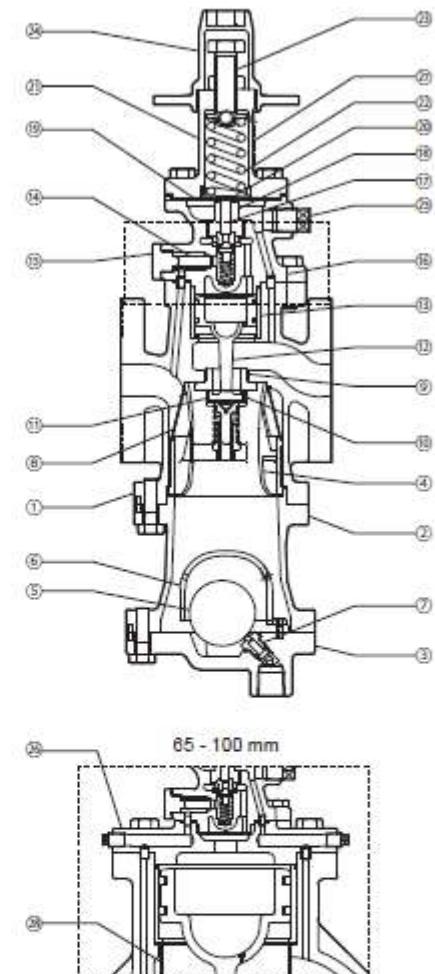


Configuración

| Nº | Descripción | Material | JIS | ASTM/AISI* |
|----|---------------------------------|--------------------|--------|-------------|
| ① | Cuerpo Principal | Fundición Hierro | FC250 | A126 Cl.B |
| ② | Cuerpo de la Trampa | Fundición Hierro | FC250 | A126 Cl.B |
| ③ | Cubierta Trampa | Fundición Hierro | FC250 | A126 Cl.B |
| 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 | Bonete 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 | Tapon - Conexión Línea Sensora | Acero al Carbón | SS400 | A6 |
| ㉖ | Cubierta Piloto | Fundición Hierro | FCV400 | A842 Gr.400 |
| ㉗ | Placa de Identificación | Acero Inoxidable | — | — |
| ㉘ | Stenclador | Acero Inoxidable | — | — |

* Equivalente

Contacte a TLV para piezas de reemplazo disponibles.
Todas las empaques son de PTFE.



La configuración de las piezas de los tamaños de 65 a 100 mm
difieren 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 (bar) | Presión de vapor secundaria (Ajuste) (bar) | | 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 | | 180 | 250 | 390 | 500 | 690 |
| | **0.1 | | 100 | 190 | 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 (barg) | Presión de vapor secundaria (Ajuste) (barg) | | 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 | 420 | 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 | 2080 | 2980 | 4480 |
| | **0.3 | | 50 | 140 | 340 | 520 | 740 | 1150 | 1830 | 2630 | 3860 |
| | *3.3 | *3.3 | 200 | 290 | 410 | 610 | 800 | 1250 | 1980 | 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 | 1580 | 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 | 2080 | 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 | 360 | 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 | 480 | 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 | 6840 |
| | 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 | 4680 | 7010 |
| | **0.7 | | 70 | 230 | 430 | 600 | 930 | 1450 | 2310 | 3310 | 4980 |
| | *6.7 | *6.7 | 280 | 410 | 670 | 930 | 1440 | 2230 | 3550 | 5100 | 7620 |
| | 6 | 6 | 300 | 480 | 780 | 1090 | 1690 | 2610 | 4160 | 5970 | 8980 |
| 12 | 5 | 5 | 340 | 540 | 870 | 1220 | 1890 | 2930 | 4670 | 6680 | 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 | 1080 | 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 | 480 | 680 | 970 | 1510 | 2390 | 3430 | 5170 |
| | *10 | *10 | 360 | 610 | 980 | 1380 | 2110 | 3270 | 5220 | 7480 | 11300 |
| | 8 | 8 | 500 | 760 | 1230 | 1710 | 2650 | 4110 | 6560 | 9400 | 14200 |
| 18 | 7 | 7 | 570 | 900 | 1290 | 1800 | 2780 | 4310 | 6870 | 9850 | 14800 |
| | 6 | **3.5 - 6 | 600 | 820 | 1320 | 1840 | 2950 | 4420 | 7050 | 10100 | 15200 |
| | 5 | | 500 | 680 | 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 | 3780 | 6000 | 8690 | 12400 |
| | 10 | 10 | 540 | 840 | 1360 | 1900 | 2940 | 4550 | 7260 | 10400 | 15600 |
| | 8 | 8 | 670 | 980 | 1490 | 2300 | 3220 | 4990 | 7960 | 11400 | 17200 |
| | 7 | **5.5 - 7 | 730 | 1050 | 1520 | 2450 | 3280 | 5090 | 8110 | 11600 | 17500 |
| 22 | 6 | | 600 | 940 | 1240 | 2000 | 2690 | 4170 | 6650 | 9630 | 14300 |
| | **5.5 | | 560 | 770 | 1130 | 1580 | 2450 | 3790 | 6040 | 8660 | 13000 |
| | *13.4 | *13.4 | 470 | 780 | 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 | 5860 | 9030 | 12900 | 19500 |
| | 8 | **7.5 - 8 | 880 | 1300 | 2000 | 2700 | 3710 | 5750 | 9170 | 13100 | 19800 |
| | **7.5 | | 820 | 1250 | 1800 | 2600 | 3400 | 5260 | 8390 | 12000 | 18100 |

* Máximo ajuste de la presión secundaria ** Mínimo ajuste de la presión secundaria

Copyright © TLV

1 bar = 0.1 MPa

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 catóforésis + pintura poliuretano RAL 7045.

Temperaturas del aire a transportar: -20°C/+100°C en continuo. Versión con rodamiento de refrigeración hasta +300°C.

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 400/680V 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.
- Versión con materiales antidesgaste.
- Motores para aplicaciones especiales.
- Versión para alta temperatura (hasta +600°C).
- 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.
- Calorifugado.

Versiones ATEX

Bajo pedido, versiones antiexplosivas según la Directiva 2014/34/UE (ATEX):

• Gas:

2G II B T2-T3

2G II B H2 T2-T3

3G II B T2-T3

3G II B H2 T2-T3

• Polvo no conductor:

2D III B T195°C-T295°C

3D III B T195°C-T295°C

• Polvo conductor (con motor IP 65 IIIC):

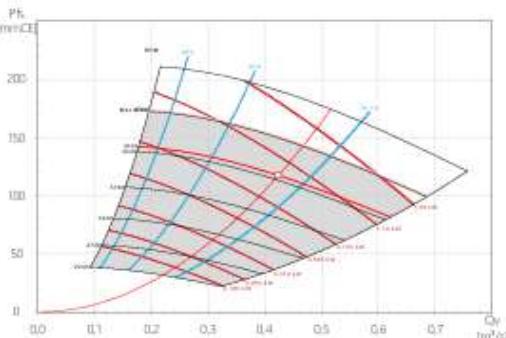
2D III C T195°C-T295°C

3D III C T195°C-T295°C

Punto requerido

| | |
|------------------|-------------------------|
| Caudal | 0,424 m ³ /s |
| Presión Estática | 118 mmwg |
| Temperatura | 20 °C |
| Altitud | 3400 m |
| Densidad | 0,8 kg / m ³ |
| Frecuencia | 60 Hz |

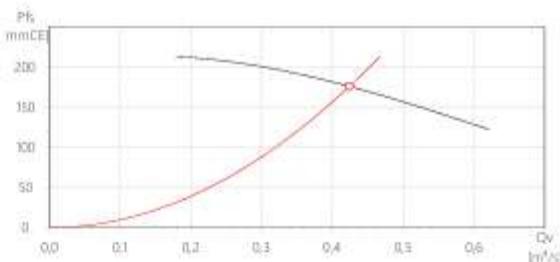
Curva(s)



Punto de trabajo

| | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Caudal | 0,424 m ³ /s |
| Presión estática | 118 mmwg @ 0,8 kg/m ³ |
| Presión dinámica | 9,40 mmwg @ 0,8 kg/m ³ |
| Presión total | 127 mmwg @ 0,8 kg/m ³ |
| Presión estática estándar | 776 mmwg @ 1,2 kg/m ³ |
| Presión dinámica estándar | 14,1 mmwg @ 1,2 kg/m ³ |
| Presión total estándar | 80,0 mmwg @ 1,2 kg/m ³ |
| Rend Total | 54,8 % |
| Rend Estático | 50,7 % |
| Potencia Utl. | 0,954 kW @ 0,8 kg/m ³ |
| Potencia Utl. estándar | 1,14 kW @ 1,2 kg/m ³ |
| Factor de servicio disponible | 42 % |
| Velocidad descarga | 15,1 m/s |

| | |
|----------------------------------|----------|
| Velocidad ventilador | 4302 rpm |
| Empuje axial | 25 N |
| Empuje en descarga | 37 N |
| Tiempo de arranque | 16,5 s |
| Construcción | |
| Diametro impulsor | 250 mm |
| Tamaño ventilador | 250 mm |
| Tipo de posición ventilador | 1 |
| Peso | 23,00 kg |
| Características del motor | |
| Número de Polos | 2 |
| Potencia motor | 15 kW |
| Velocidad motor | 3425 rpm |
| Intensidad máxima absorbida | 2,56 A |

Curva(s) (1,204 Kg / m³)

Características acústicas

| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | Total |
|-----------------------|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-------|
| Aspiración (LwA) | 69 | 80 | 81 | 84 | 84 | 82 | 75 | 68 | 90 |
| Aspiración LpA @ 1,5m | 56 | 67 | 68 | 71 | 71 | 70 | 62 | 53 | 77 |
| Descarga (LwA) | 72 | 83 | 84 | 87 | 87 | 83 | 78 | 71 | 93 |
| Descarga LpA @ 1,5m | 59 | 70 | 72 | 74 | 74 | 73 | 65 | 58 | 80 |
| Radiado (LwA) | 68 | 79 | 80 | 83 | 83 | 81 | 74 | 67 | 89 |
| Radiado LpA @ 1,5m | 51 | 62 | 64 | 66 | 66 | 65 | 57 | 50 | 72 |

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'' m ³ /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'' m ³ /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)

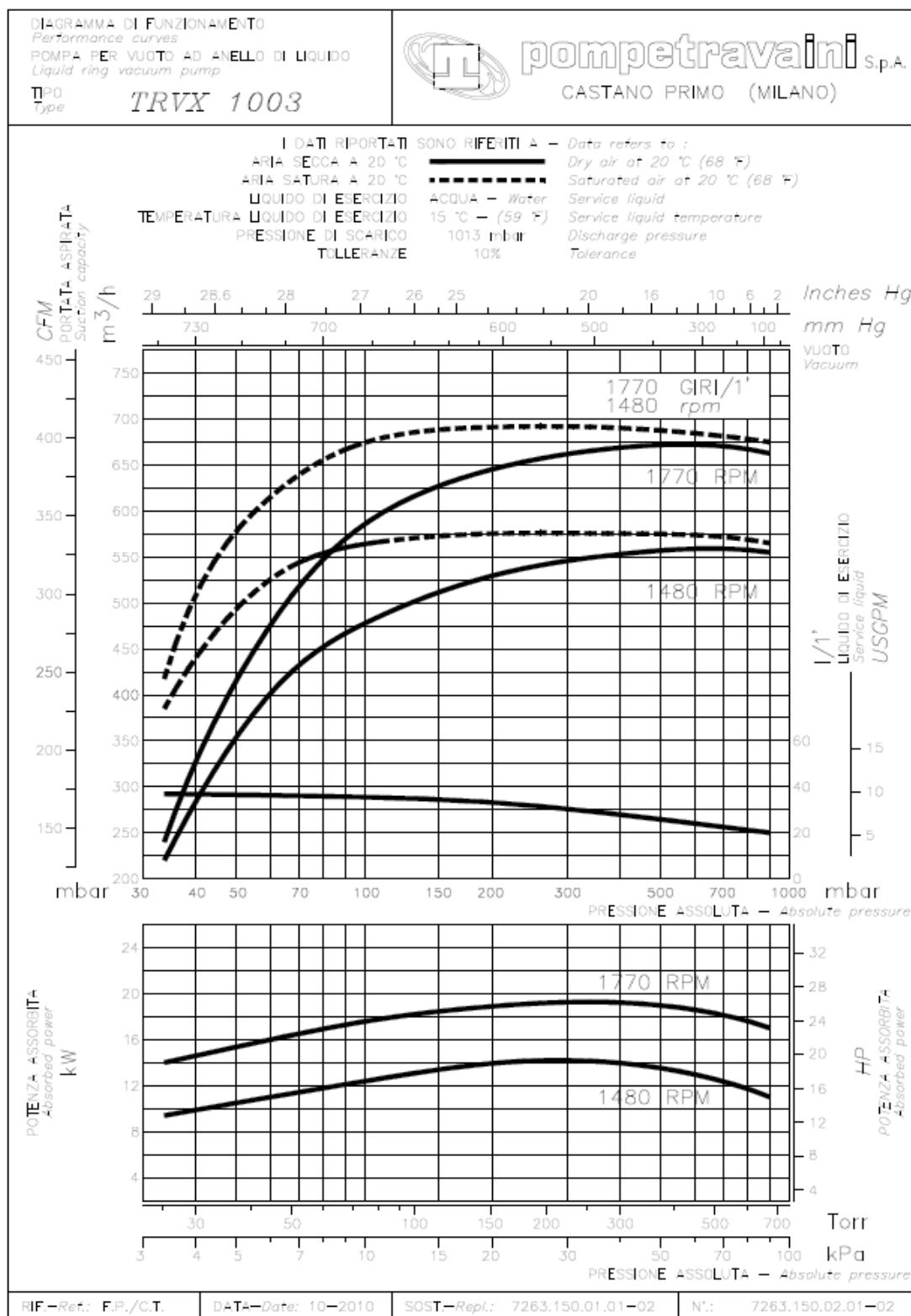
t, T = temperature
p = vapour pressure
v" = specific volume of waver vapour
r = evaporation heat

| t °C | T K | p mbar | v" m ³ /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" m ³ /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

Table 1-1
Código de Clasificación del Material

| 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 ₂₀₀ A ₁₀₀ A ₄₀ |
| | Fino Malla No. 6 (.132) y menor | B ₆ |
| | Granular ½" y menor (malla 6" a ½") 3" y menor (½" a 3") 7" y menor (3" a 7") | C _½ D ₃ D ₇ |
| | Terrones 16" y por debajo (0" a 16") Arriba de 16" a ser especificado X=Tamaño Máximo | D ₁₆ D _X |
| | Irregular Fibroso, Cilíndrico, etc. | E |
| Fluidez | Fluido Muy Libre Fluido Libre Fluido Promedio Fluido Lento | 1 2 3 4 |
| Abrasividad | Abrasividad Media Abrasividad Moderada Abrasividad Extrema | 5 6 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.

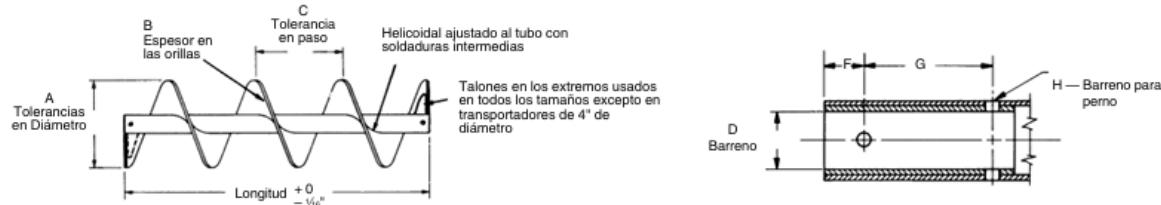
La Tabla 1-2 contiene muchos materiales que pueden ser transportados efectivamente en un transportador helicoidal. Si algún material no está en la Tabla 1-2, debe ser clasificado de acuerdo a la Tabla 1-1 o puede tomarse un material similar en cuanto al peso (densidad), tamaño de partícula u otras características.

| COMO LEER EL CÓDIGO DE MATERIAL DE LA TABLA 1-2 | | | |
|--|----------|-------------|-----------------------|
| Material: Granos de Cerveza Macerados, Húmedos | | | |
| C½ | 4 | 5 | T |
| Tamaño | Fluidez | Abrasividad | Otras Características |
| _____ | _____ | _____ | _____ |



Tabla 1-2 Características de los Materiales

| Material | Peso lb por pie cúbico | Código de Material | Selección de Rodamiento Intermedio | Serie de Componentes | Factor de Material F_a | 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, peletizado | - | - | - | - | - | - |
| 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 - ½" | 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 Arseníco (Arsenolita) | 100-120 | A100-35R | L-S-B | - | - | 30A |
| Óxido de Calcio (ver Cal Viva, molida) | - | - | - | - | - | - |
| Óxido de Manganese (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 ½" | 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 ½" | 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 ½" | 200-270 | B6-35 | H | 3 | 1.4 | 30A |
| Poliestireno en perlas | 40 | B6-35PQ | S | 1 | 0.4 | 30A |
| Polietileno, 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 |
| | -- | ----- | ... | - | -- | - |

**Estándares
CEMA**
Helicoidales Continuos


| Diámetro del Helicoidal y Paso | Diámetro del Eje | 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 | | | | | | | |
| | | | | | Más | Menos | Orilla Interior | Orilla Exterior | Más | Menos | Mínimo | Máximo | | | | | | |
| 4 | 1 | 4H206 | 1 1/4 | 9-10 1/2 | 1/16 | 1/8 | 3/16 | 5/32 | 1/2 | 1/4 | 1.005 | 1.016 | 1/8 | 2 | 13/32 | | | |
| 6 | 1 1/2 | 6H304 | 2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 1/8 | 5/32 | 1/2 | 1/4 | 1.505 | 1.516 | 7/32 | 3 | 17/32 | | | |
| 6 | 1 1/2 | 6H308 | 2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 1/4 | 1/8 | 3/4 | 1/4 | 1.505 | 1.516 | 7/32 | 3 | 17/32 | | | |
| 6 | 1 1/2 | 6H312 | 2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 3/8 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 1.505 | 1.516 | 7/32 | 3 | 17/32 | | | |
| 9 | 1 1/2 | 9H306 | 2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 3/16 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 1.505 | 1.516 | 7/32 | 3 | 17/32 | | | |
| 9 | 1 1/2 | 9H312 | 2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 3/8 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 1.505 | 1.516 | 7/32 | 3 | 17/32 | | | |
| 9 | 2 | 9H406 | 2 1/2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 3/16 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 2.005 | 2.016 | 7/32 | 3 | 21/32 | | | |
| 9 | 2 | 9H412 | 2 1/2 | 9-10 | 1/16 | 1/4 | 3/16 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 2.005 | 2.016 | 7/32 | 3 | 21/32 | | | |
| 9 | 2 | 9H414 | 2 1/2 | 9-10 | 1/16 | 1/4 | 7/16 | 7/32 | 3/4 | 1/4 | 2.005 | 2.016 | 7/32 | 3 | 21/32 | | | |
| 10 | 1 1/2 | 10H306 | 2 | 9-10 | 1/16 | 3/16 | 3/16 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 1.505 | 1.516 | 7/32 | 3 | 17/32 | | | |
| 10 | 2 | 10H412 | 2 1/2 | 9-10 | 1/16 | 1/4 | 3/8 | 5/32 | 3/4 | 1/4 | 2.005 | 2.016 | 7/32 | 3 | 21/32 | | | |
| 12 | 2 | 12H408 | 2 1/2 | 11-10 | 1/8 | 5/16 | 1/4 | 1/4 | 1 | 1/4 | 2.005 | 2.016 | 7/32 | 3 | 21/32 | | | |
| 12 | 2 | 12H412 | 2 1/2 | 11-10 | 1/8 | 5/16 | 1/8 | 5/16 | 1 | 1/4 | 2.005 | 2.016 | 7/32 | 3 | 21/32 | | | |
| 12 | 2 1/8 | 12H508 | 3 | 11-9 | 1/8 | 5/16 | 1/4 | 1/8 | 1 | 1/4 | 2.443 | 2.458 | 15/16 | 3 | 21/32 | | | |
| 12 | 2 1/8 | 12H512 | 3 | 11-9 | 1/8 | 5/16 | 3/8 | 5/16 | 1 | 1/4 | 2.443 | 2.458 | 15/16 | 3 | 21/32 | | | |
| 12 | 3 | 12H614 | 3 1/2 | 11-9 | 1/8 | 3/8 | 7/16 | 7/32 | 1 | 1/4 | 3.005 | 3.025 | 1 | 3 | 25/32 | | | |
| 14 | 2 1/8 | 14H508 | 3 | 11-9 | 1/8 | 5/16 | 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 | 7/16 | 7/32 | 1 | 1/4 | 3.005 | 3.025 | 1 | 3 | 25/32 | | | |
| 16 | 3 | 16H610 | 3 1/2 | 11-9 | 1/8 | 3/8 | 5/16 | 5/32 | 1 1/2 | 1/4 | 3.005 | 3.025 | 1 | 3 | 25/32 | | | |
| 16 | 3 | 16H614 | 4 | 11-9 | 1/8 | 3/8 | 7/16 | 7/32 | 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: INIEC PERU CONSULTORIA Y EJECUCION SOCIEDAD ANONIM

Nacional (Local):

RUC: 20101256422

Exportación:

Incoterm:

Dirección: MZA. F LOTE, 5 URB. LOS ALAMOS (COS.REST.WALLY 2 PDR.KIOSK 1P.PTA.GARAGE)

Teléfono:

Referencia:

Correo:

Atención:

*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 | PLANCHAS 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 | PLANCHAS 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 | 492.93 |
| 5 | 6.00 | Pza | 96.45 | 804510520 | TUBO ACERO SCH-40 S/C A-53 /A-106/API SL 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 | 105015520 | 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 SL 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

PESO TOTAL APROX.

3,229.02 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

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 variacion 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 dias

Observaciones:

Sin otro particular y a la espera de sus gratas órdenes, quedamos de usted.



Scotiabank.

BBVA

Interbank

Santander

CUENTA CORRIENTE:
DOL: 191-7395761-1-64
BOL: 191-9411616-0-26
SWIFT : BCPLPEPLCUENTA CORRIENTE:
DOL: 000-5174867
BOL : 000-2846258
SWIFT : BSUDPEPLXXXCUENTA CORRIENTE:
DOL: 001-0140-01-00007454
BOL : 001-0140-01-00002622
SWIFT: BCONPEPLCUENTA DE AHORROS:
DOL: 200-3327690277
BOL: 200-3327689601
SWIFT: BNPPEPLCUENTA CORRIENTE:
DOL: 000-5174867
BOL : 000-2846258
SWIFT : BSUDPEPLXXXEMPRESA
HOMOLOGADA



INGENIERIA - DISEÑO & FABRICACIÓN

Reparación de piezas de materiales metálicos o termoplásticos para la Industria y Minería
Fabricación estructural Mantenimiento industrial



COTIZACIÓN 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 : | venta@dinya.com |
| Telefono: | 947229213 |
| MONEDA: | DOLARES |

Estimados Señores:

En atención a su solicitud, nos permitimos cotizar los siguientes artículos

| ITEM | CANT | UND | DESCRIPCION | P/ UNT | IMPORTE |
|------|------|-----|---|--------|---------|
| 1 | 2 | UND | SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 1 MATERIAL: ACERO A36 MEDIDAS SEGÚN PLANO | 60.27 | 120.54 |
| | | | | | |
| 2 | 2 | UND | SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 2 MATERIAL: ACERO A36 MEDIDAS SEGÚN PLANO | 86.3 | 172.6 |
| | | | | | |



INGENIERIA - DISEÑO & FABRICACIÓN

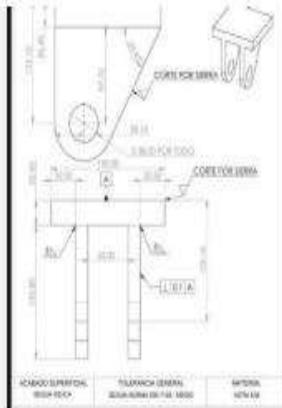
Reparación de piezas de materiales metálicos o termoplásticos para la Industria y Minería
Fabricación estructural Mantenimiento industrial



2

SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 3

MATERIAL: ACERO A36
MEDIDAS SEGÚN PLANO



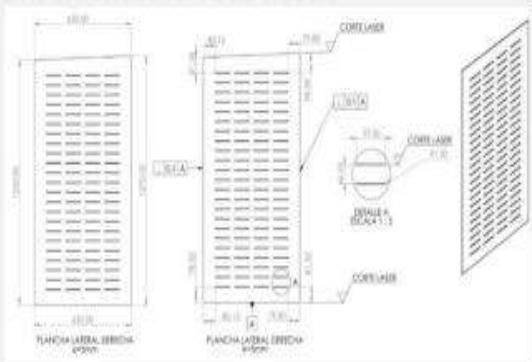
ACABADO SUPERFICIAL: BESA HOJA
TOLERANCIA GENERAL: 0.25 mm (0.005 in) / 0.50 mm (0.012 in)
MATERIAL: ACERO A36

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"



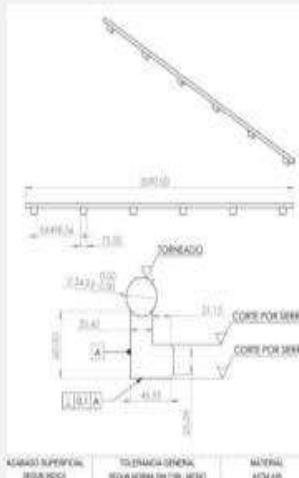
ACABADO SUPERFICIAL: BESA HOJA
TOLERANCIA GENERAL: 0.25 mm (0.005 in) / 0.50 mm (0.012 in)
MATERIAL: ACERO A36

4 1 UND

SERVICIO DE FABRICACION DE PIEZA 5

328.77 328.77

MATERIAL: ACERO A36
MEDIDAS SEGÚN PLANO



ACABADO SUPERFICIAL: BESA HOJA
TOLERANCIA GENERAL: 0.25 mm (0.005 in) / 0.50 mm (0.012 in)
MATERIAL: ACERO A36



OFICINA DE DISTRIBUCIONES S. R. L.
NEUMATICA HIDRAULICA VALVULAS MULTIPLOJOS



COTIZACION N° MBL-00126998-MB

SEÑORES
INGENIERIA & METALICA VARGAS EIRL - INMETVA E.I.R.L.
CUSCO
LIMA 07

ATE Sr. Luis Moroco

TEL: 719-2299 719-2298

FAX: 717-2095

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 17/07/2013
RESPONSABLE Ing. Neto Salas
REFERENCIA HIDRAULICA

| POS | N. DE PEDIDO | DESCRIPCION | CANT | Precio Unitario | Precio Total |
|-----|--|--|------|-----------------|--------------|
| 1 | SISTE.PAN | SISTEMA OLEOHIDRAULICO DE ACCIONAMIENTO DE COMPUERTAS | 1.00 | 14598.50 | 14598.50 |
| | | Induye los siguientes componentes: | | | |
| | CH-50x32x490ARPP | ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA | 2.00 | 850.00 | 1700.00 |
| | | Descripción Técnica : | | | |
| | | DIAmetro DE EMBOLo : 60mm | | | |
| | | DIAmetro DE VASTAGO : 40mm | | | |
| | | CARRERA : 490mm | | | |
| | | SLUCCION DE CILINDRO : PIVOTE POSTERIOR | | | |
| | | SLUCCION VASTAGO : ROTULA | | | |
| | | CILINDRO ACERO ST 52 | | | |
| | | VASTAGO CRONIACO CX-45 | | | |
| | | SEULOS PEREJILAN (NBR) | | | |
| | | PRESION MAXIMA PRELESA 200 BAR | | | |
| | | AMORTIGUACION REGULABLE | | | |
| | CH-40x20x650ARPA | ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA | 2.00 | 850.00 | 1700.00 |
| | | Descripción Técnica : | | | |
| | | DIAmetro DE EMBOLo : 40mm | | | |
| | | DIAmetro DE VASTAGO : 20mm | | | |
| | | CARRERA : 650mm | | | |
| | | SLUCCION DE CILINDRO : BREGA POSTERIOR | | | |
| | | SLUCCION VASTAGO | | | |
| | | CILINDRO ACERO ST 52 | | | |
| | | VASTAGO CRONIACO CX-45 | | | |
| | | SEULOS PEREJILAN (NBR) | | | |
| | | PRESION MAXIMA PRELESA 200 BAR | | | |
| | | AMORTIGUACION REGULABLE | | | |
| | CH-40x20x65ARPA | ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA | 1.00 | 850.00 | 850.00 |
| | | Descripción Técnica : | | | |
| | | DIAmetro DE EMBOLo : 40mm | | | |
| | | DIAmetro DE VASTAGO : 20mm | | | |
| | | CARRERA : 65mm | | | |
| | | SLUCCION DE CILINDRO : BREGA ANTERIOR | | | |
| | | SLUCCION VASTAGO | | | |
| | | CILINDRO ACERO ST 52 | | | |
| | | VASTAGO CRONIACO CX-45 | | | |
| | | SEULOS PEREJILAN (NBR) | | | |
| | | PRESION MAXIMA PRELESA 200 BAR | | | |
| | | AMORTIGUACION REGULABLE | | | |
| | Marcas para Armado de Pistones : | | | | |
| | Sellos: Parker (USA) | | | | |
| | Tubos y Vastagos IMPORTADOS ESPECIALES : AL (Alemania) | | | | |
| | Generales: 1 Año | | | | |
| | Reparación: Garantizada 3 años | | | | |
| | UPH-2,15.30-850 | UNIDAD DE PRESION HIDRAULICA | 1.00 | 5948.00 | 5948.00 |
| | | Diseñada para trabajar hasta 4200 mmtr. | | | |
| | | Desarrollo de caudal de: 28 litros/min con motor de: HP; Movimiento independiente de cada compuerta. | | | |
| | | LA UNIDAD INCLUYE : | | | |
| | | MOTOR ELECTRICO 0.9HP 4 POLES MARCA : INEG | 1.00 | | |
| | | CARROZA PROTECTORA ESPECIAL MOTOR - BOMBA | 1.00 | | |
| | | ACORDE FLEXIBLE ESPECIAL MOTOR-BOMBA | 1.00 | | |
| | | BOMBA ENGENIERA 1/4 BREGA SAE 14 C/REV 250 BAR GE/GD 25/30 | 1.00 | | |
| | | FLTRO DE SUICION 0.3/4" 160000 MN 21 FAS/100/MIN HBL00027 | 1.00 | | |

COTIZACION N° MBL-00126998-MB

SEÑORES
INGENIERIA & METALICA VARGAS EIRL - INMETVA E.I.R.L.

CUSCO

LIMA 07

ATE Sr. Luis Moncada

TEL.: 719-2298, 719-2299

FAX : 717-3099

De nuestra mayor consideración :

En atención a su amable solicitud de cotización, le tenemos el agrado de presentarle nuestra oferta económica por los componentes mencionados de la referencia

FECHA 17/07/2005
RESPONSABL Ing. Mario Balle
REFERENCIA HIDRAULICA

| POS | NºDE PEDIDO | DESCRIPCION | CANT | Precio Unitario | Precio Total |
|-----|------------------|--|------|-----------------|--------------|
| 1 | SISTE.PAN | SISTEMA OLEOHIDRAULICO DE ACCIONAMIENTO DE COMPUERTAS Incluye los siguientes componentes: | 1.00 | 14598.50 | 14598.50 |
| | CH-50x32x490ARPP | ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA Descripción Técnica : DIAMETRO DE EMBOLO 63mm DIAMETRO DE VASTAGO 40mm CARRERA 490mm SUJECCION DE CILINDRO PIVOTE POSTERIOR SUJECCION VASTAGO ROTULA CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CRONIADO CH 45 SELLOS PERBUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE | 2.00 | 150.00 | 300.00 |
| | CH-40x20x650ARPA | ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA Descripción Técnica : DIAMETRO DE EMBOLO 46mm DIAMETRO DE VASTAGO 28mm CARRERA 650mm SUJECCION DE CILINDRO BRIDA POSTERIOR SUJECCION VASTAGO CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CRONIADO CH 45 SELLOS PERBUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE | 2.00 | 150.00 | 300.00 |
| | CH-40x20x650ARPA | ACTUADOR HIDRAULICO DOBLE EFECTO MOVIMIENTO DE COMPUERTA Descripción Técnica : DIAMETRO DE EMBOLO 46mm DIAMETRO DE VASTAGO 28mm CARRERA 650mm SUJECCION DE CILINDRO BRIDA ANTERIOR SUJECCION VASTAGO CILINDRO ACERO ST 52 VASTAGO CRONIADO CH 45 SELLOS PERBUNAN (NBR) PRESION MAXIMA PRUEBA 200 BAR AMORTIGUACION REGULABLE | 1.00 | 300.00 | 300.00 |
| | UPH-2,15.30-850 | Mercas para Armando de Pistones : Sello: Pefka (LESA) Tuerca y Vistaiga DIFORTADOS ESPECIALES : AL (Aluminio) Garantia: 1 Año Requerido: Garantizado 3 años UNIDAD DE PRESION HIDRAULICA Diseñada para trabajo hasta 4200 mm. m. Desarrollo de caudal de 28 litros/min con motor de 1HP.; Movimiento Independiente de cada compuerta. LA UNIDAD INCLUYE : MOTOR ELECTRICO 1HP. 4 POLOS MARCA : WEG CARRERA PROTECTORA ESPECIAL MOTOR - KOMSA ACOPLE FLEXIBLE ESPECIAL MOTOR-BOMBA BOMBA ENGRANAJES BOMBA SAE 14 C/Q/REV 200 BAR GE/D/ D/B FILTRO DE SUCION G 3/4" M6000 MAG BI PASS 40L/MIN NH000027 | 1.00 | 5740.50 | 5740.50 |



OFICINA DE DISTRIBUCIONES S. r. l.
NEUMATICA HIDRAULICA, VALVULAS MULTIFLUIDOS



| | | | | |
|--|---|------|---------|---------|
| | FILTRO DE RETORNO G 1 PG002 MAGNET IND 15 L/MIN HND10298 | 1.00 | | |
| | FILTRO DE LLENADO HERON HHT6373 | 1.00 | | |
| | INDICADOR DE NIVEL Y TEMPERATURA. 158 MM | 1.00 | | |
| | SWITCH DE NIVEL DE ACEITE NAVIP | 1.00 | | |
| | VALVULA CHECK 40 L/MIN (APERTURA 2 BAR) | 1.00 | | |
| | VALVULA DE BOLA DIN 19 G 3/8 PRESION 900 BAR | 1.00 | | |
| | VALVULA DESTRIBUIDORA DE PRESION 25-220 BAR 45 L/MIN | 1.00 | | |
| | MANOMETRO 63 MM CON IMP G 1/4 6-250 BAR | 1.00 | | |
| | BLOQUE MANOPOLIS DE CUBIERTAS | 1.00 | | |
| | VALVULA DE DISTRIBUCION 4/3 DIN (023) C13 PT COR 10 L/MIN | 1.00 | | |
| | VALVULA ESTRANGULADORA CON CHECK ON 10 G 3/8 400BAR | 1.00 | | |
| | TANQUE 300 LITROS | 1.00 | | |
| | ACCESORIOS INTENSOS 2000 | 1.00 | | |
| TAB-01 | TABLERO ELECTRICO DE UPH Considerando la potencia total de 100W. Incluye : Panel de Control y Tablero Electrico, INCLUYE LIMIT SWITCH (para los cilindros hidráulicos) PULSADOR DE EMERGENCIA - PILOTOS - SELECTOR DE 2 POSICIONES ; PULSADORES HERMETICOS - CONTACTORES - LLAVE DE FUERZA - BURNERAS ; ROLE TERMICO - CAJA METALICA - FUEL DIN - DEMAS ACCESORIOS. SISTEMA PARA CONTROL TOTAL DE PAJAS ASI COMO DE PISTONES DE POSICIONAMIENTO DE COMPUESTA. INCLUYE GABINETE DE CONTROL Y FUERZA. CONTROL ESPECIALIZADO PARA CILINDRO HIDRAULICO. INCLUYE CONTROLADOR LOGO SIEMENS; MODULO DE COMUNICACION ETHERNET | 1.00 | 4250.00 | 4250.00 |
| INST-01 | ACCESORIOS DE INSTALACION HIDRAULICA Todas las accesorios considerados para altas presiones y caudales. CONECTOR RECTO , COLOCAS GRANULOS MANGUERAS Y CONECTORES DE INSTALACION ; ACCESORIOS ADICIONALES MARCA : REEL HERMETIC NOTA: 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 recotizar los accesorios) PERSONAL PARA CATACTALIZACION DE PERSONAL PARA EL USO DE LOS EQUIPOS EN LIMA NO INCLUYE INSTALACION DE LOS EQUIPOS | 1.00 | 900.00 | 900.00 |
| 2 ACCINST-389 HID | PERSONAL PARA INSTALACION Y PRUEBAS DE SISTEMA ELECTROHIDRAULICO EN OBRA - CUSCO. Incluye : 2 Técnicos - 1 Supervisor. Traslado de personal Lima-Planta Cusco-Lima. Personal técnico para mantenimiento. Vehículos y hospedajes para personal. Traslado a Obra. Traslado de herramientas y equipo de instalación Considerando * Supervisión a la puesta en marcha / Mantenimiento Electrohidráulico Herramientas de personal, bandejitas para desarranar de aceite. Herramientas para mantenimiento. No incluye Maquinaria para bajar , se considera que el cliente apoyara con maquinarias para el trabajo si fuera necesario. Incluye viajes para el personal, seguro SCTR. TIEMPO ESTIMADO : 3 DIAS , CADA DIA DE 8 HORAS, DE HABER HORAS ADICIONALES SE CONSIDERARA UN MONTO POR SOBRETIEMPO. * Comisionamiento / Puesta en operación de los equipos | 1.00 | 5382.40 | 5382.40 |
| INCLUYE : | | | | |
| La cotización incluye los siguientes ítems: | | | | |
| 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 INMETVA E.I.R.L. | | | | |
| 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



Suministros de Componentes Óleo Hidráulicos

FECHA : 03/07/2025 RUC : 20490217127
 SEÑORES : INDEC PERU CONSULTORIA Y EJECUCION TELEFONO : 51916764450 RUC: 20604544271
 CONTACTO : REFERENCIA : JR. GARCIA VILLON NRO. 536 LIMA - LIMA -
 DIRECCION : URB. LOS ALAMOS MZ. F LT. 5 CUSCO - CUSCO - WANCHAQ 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 |
| \$ 191-2567763-1-08 | \$ 002-191-002567763108-54 | \$ 0011-0609-01-00018064 |
| S/ 191-2554612-0-60 | S/ 002-191-002554612060-58 | S/ 0011-0609-01-00018056 |
| CUENTAS BANCARIAS. DIVISIÓN: BARRAS CROMADAS Y TUBOS MICRO BRUÑIDOS | | |
| CTA CTE BCP | CCI BCP | CCI BBVA |
| \$ 191-7395309-1-98 | \$ 00219100739530919857 | \$ 011-609-000100018064-54 |
| S/ 191-7001059-0-66 | S/ 00219100700105906652 | S/ 011-609-000100018056-50 |
| CUENTA DE DETRACCIONES | | |
| S/ 00-002-214989 | | |

CONDICION DE PAGO :

FORMA DE PAGO : TRANSFERENCIA

TIEMPO DE ENTREGA :

VALIDEZ DE OFERTA : 5 dias Calendarios, Sujeto a disponibilidad de stock

GARANTIA :

Sin otro particular, quedamos a la espera de sus comentarios y/o aclaración que deseé oportuno plantear.
 Saludos Cordiales.

CHRISITIAM CHAVEZ

Asesor Técnico

Telf / Cel : 986 350 124 /

ventas@hprsac.com

INPROCESS
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

RUC: 20514706302

Cal. Pablo de Olavide N° 110, San Isidro-Lima
Tel: 640-1666
ventas@inprocess.com.pe
www.inprocess.com.pe

COTIZACION

Fecha: 27/06/2025

Número: 00094056

| | | | |
|-------------|--|-------|--|
| Empresa: | INDECYERO CONSULTORIA Y EJECUCIÓN SUCURSAL ANTIGUA CERRADA-INPROCESS S.A.C. | RUC: | |
| Dirección: | - | | |
| Atención: | | Área: | |
| Referencia: | | | |

Atendiendo su solicitud, enviamos nuestra cotización por los siguientes productos:

| Item | Código | Descripción | Cantidad | U Med | Precio Unit | Importe |
|------|-------------|---|----------|-------|-------------|---------|
| 1.00 | TBM41040B34 |  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 vastago: 100 mm Diametro del vastago: 6 mm Material: Acero Inoxidable AISI 304SS Rosca al proceso: 1/2"NPT inferior Nota: En caso se requiera termoporoza, considerar el código: TBR3550-1 STOCK 1 DÍA HÁBIL | 1 | UNI | 41.33 | 41.33 |
| 2.00 | 08428057 |  MBT3250, -50 A 200°C, 100mm, 1/2"NPT, PT100, Sin Transmisor Sensor de Temperatura Pt100 Modelo: MBT3250 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 43600 Grado de protección: IP65 STOCK 1 DÍA HÁBIL | 1 | UNI | 85.28 | 85.28 |



RUC: 20507050990

JR. RAMON CÁRCAMO 565 INT. 144 - LIMA 1

TELEFONO: (01) 332-2536 / (01) 7172611 / (01) 7172612

correo: ventas1@destacingenieros.com

www.destacingenieros.com



20507050990

COTIZACIÓN

Nº 0018856

Emoresa : 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:

Precios :

Pago : 50 % adelanto 50% entrega

Validiz : 4 días

Entrega : Importación Exclusiva de 6 a 8 semanas

Garantía : Únicamente bajo las condiciones de falla de fábrica

Lugar de Entrega :

| | | |
|----------------|------|----------|
| Valor de Venta | US\$ | 6,000.00 |
| Descuento | US\$ | 0.00 |
| Sub Total | US\$ | 6,000.00 |
| IGV 18% | US\$ | 1,080.00 |
| Total general | US\$ | 7,080.00 |

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: 0011-0168-01000401-19

BBVA Soles (CCI): 011-0168-000100040119-68

BBVA Dólares: 0011-0168-01000633-99

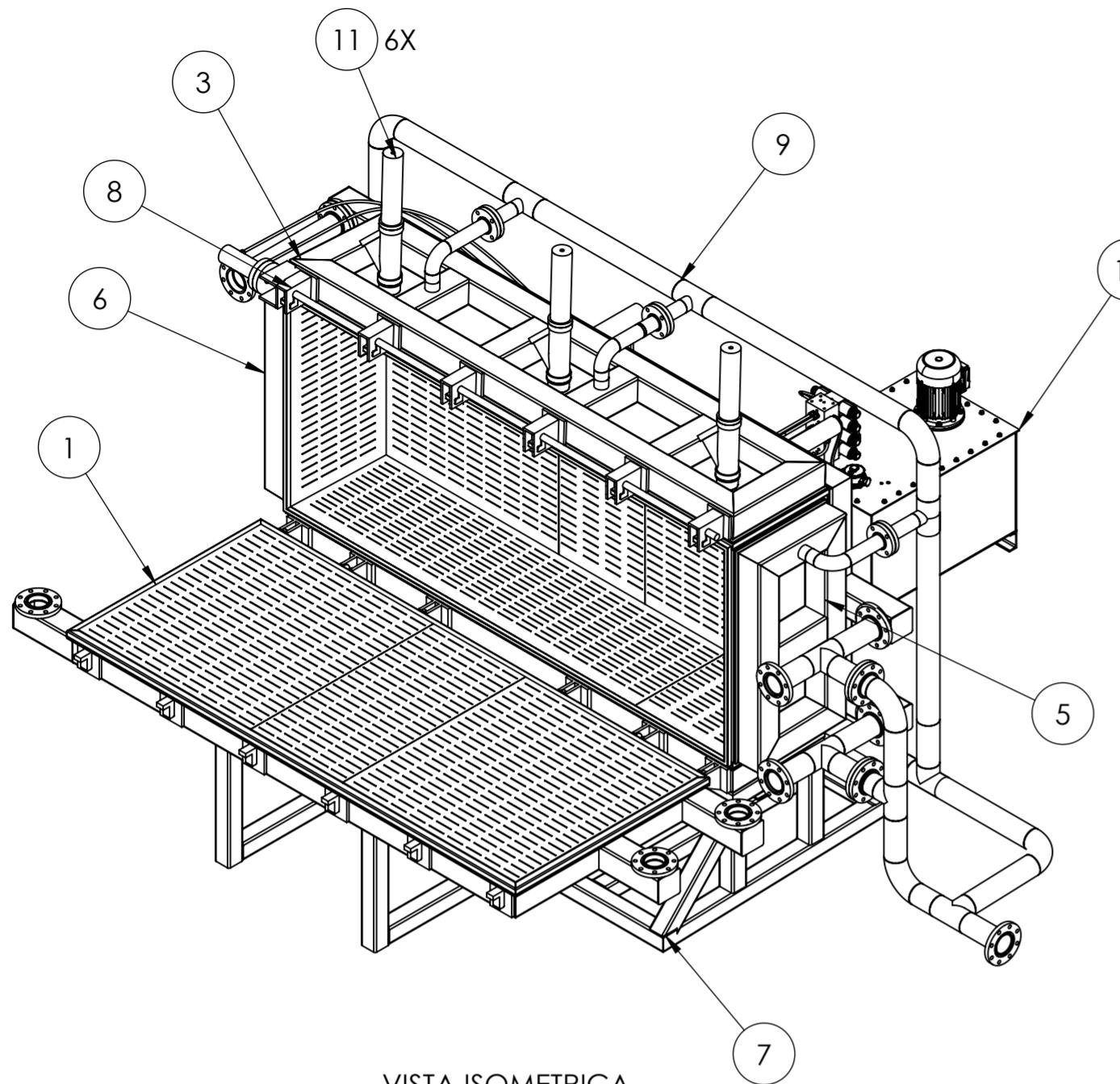
BBVA Dólares (CCI): 011-168-000100063399-68

JOSE ALONSO ALARCON HEREDIA

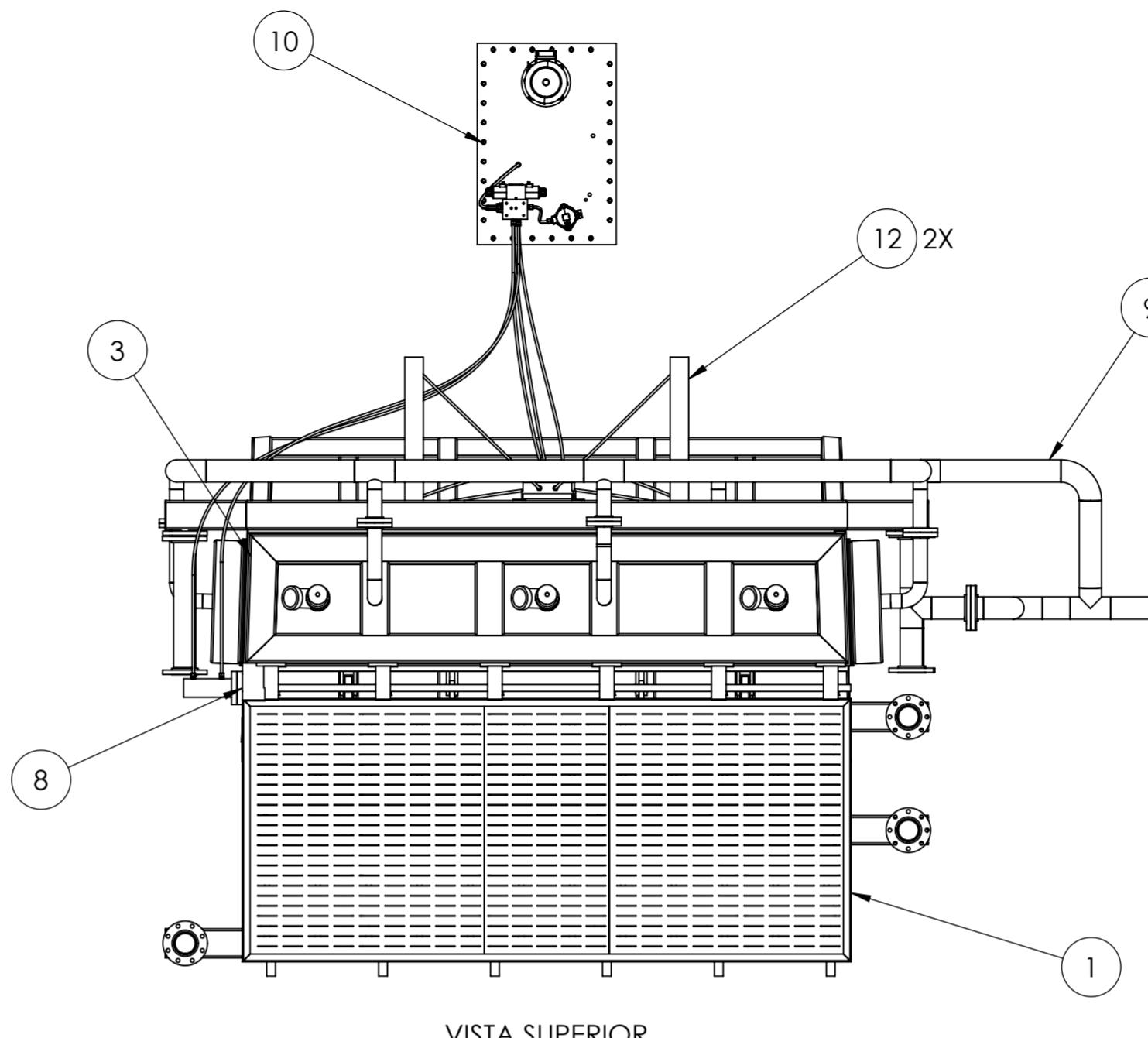
Destaco Ingenieros S.A.C

Cuenta Detracción:
Banco de la Nación: 00-024-020584

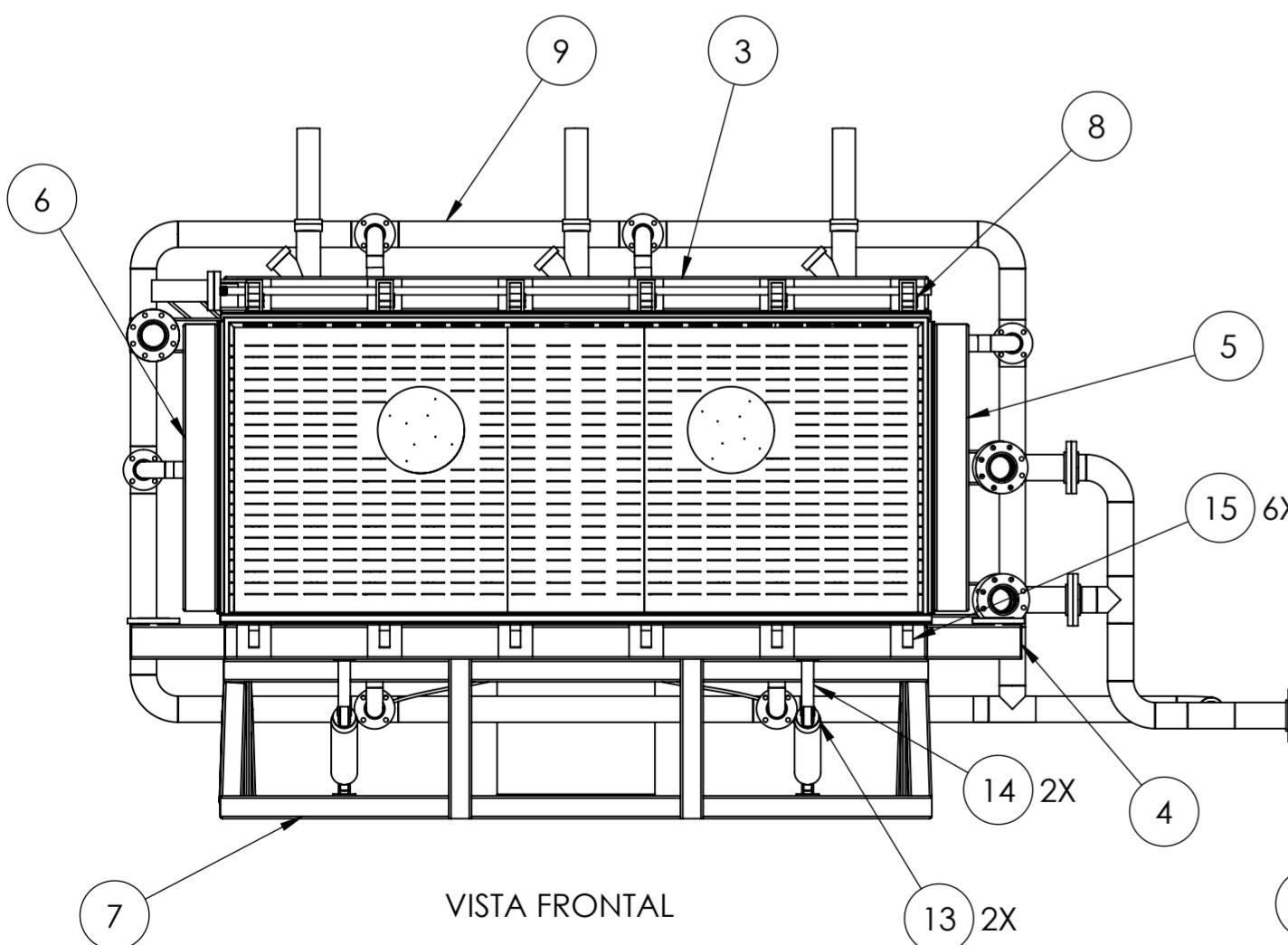
PLANOS



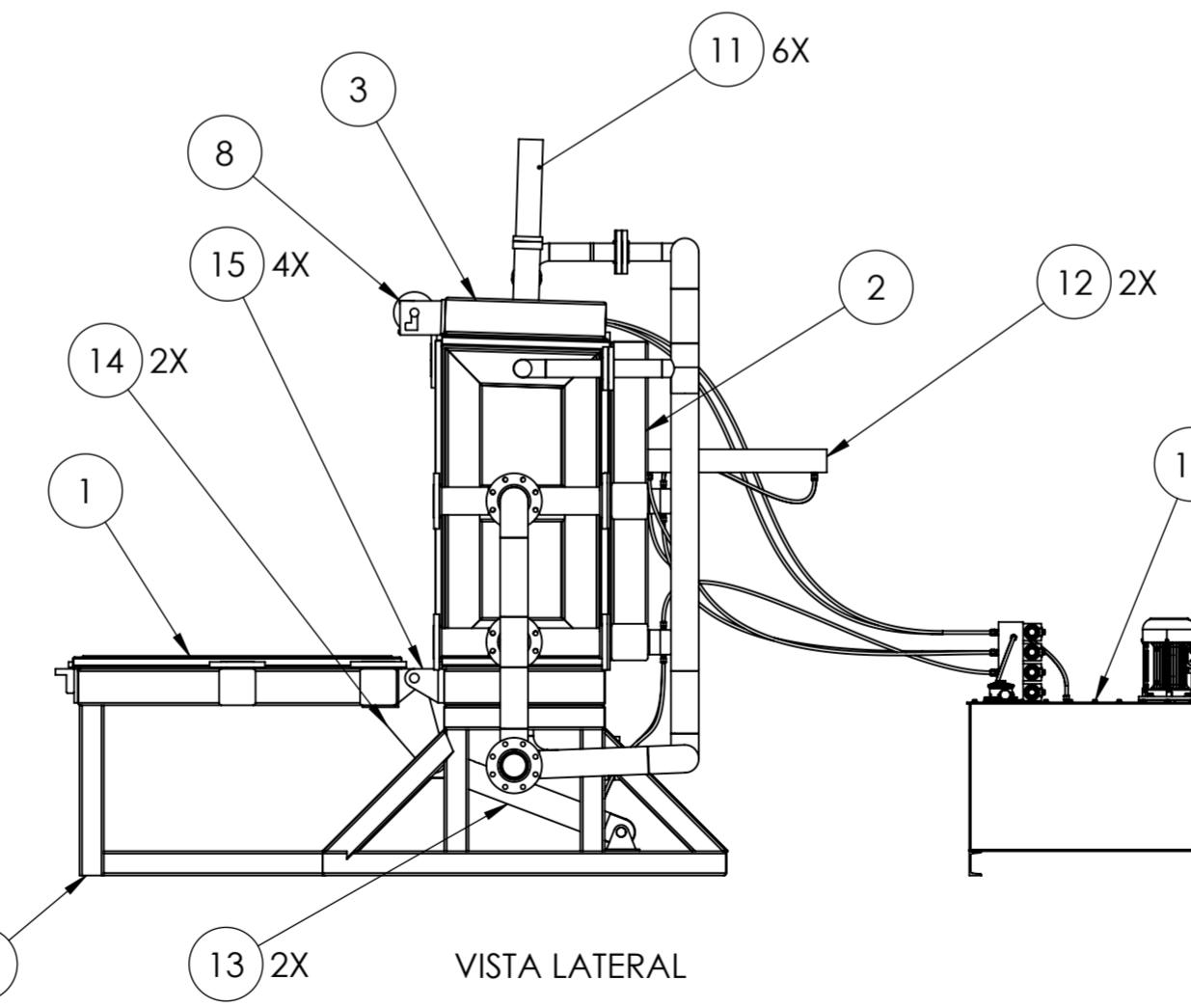
VISTA ISOMETRICA



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

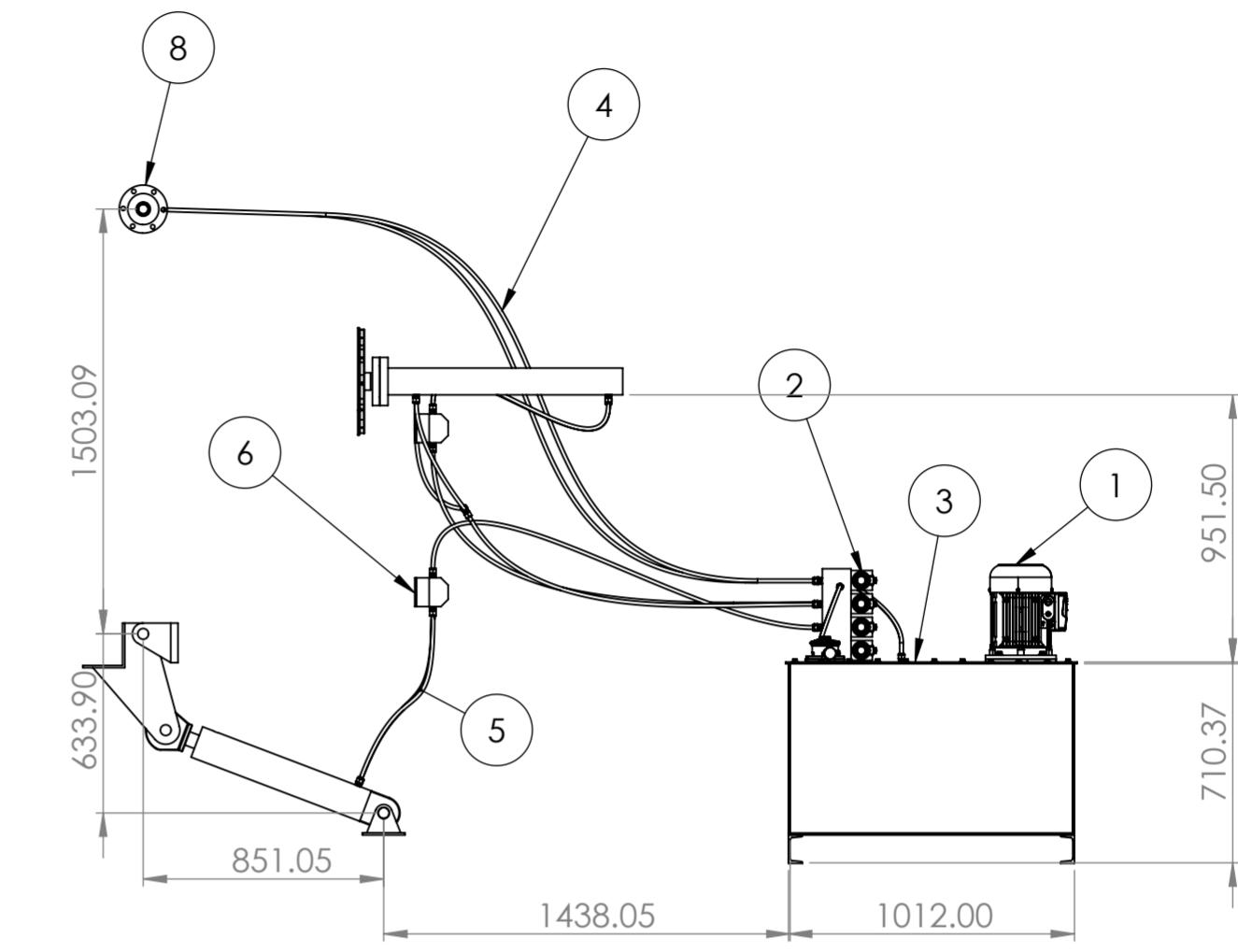
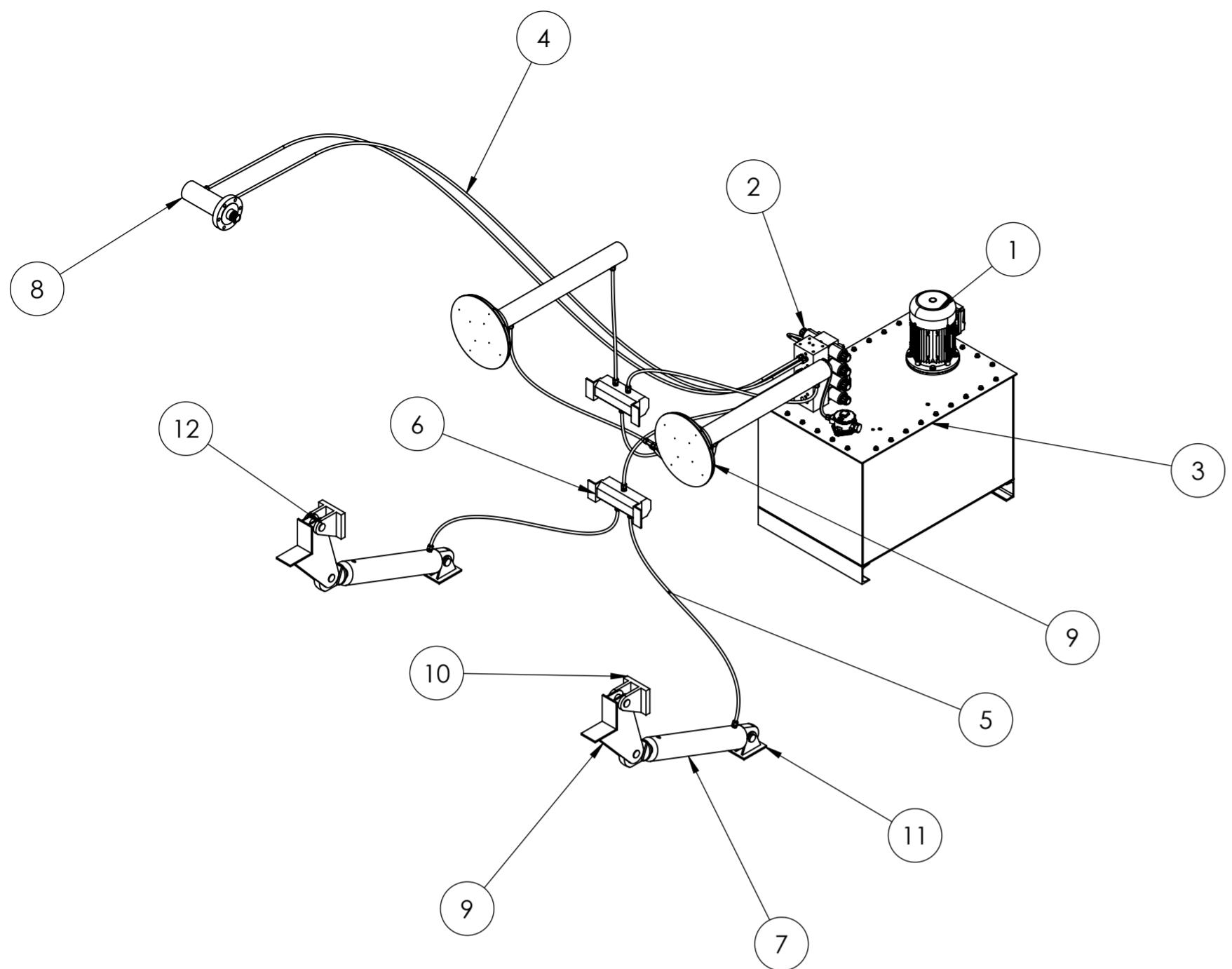


VISTA LATERAL

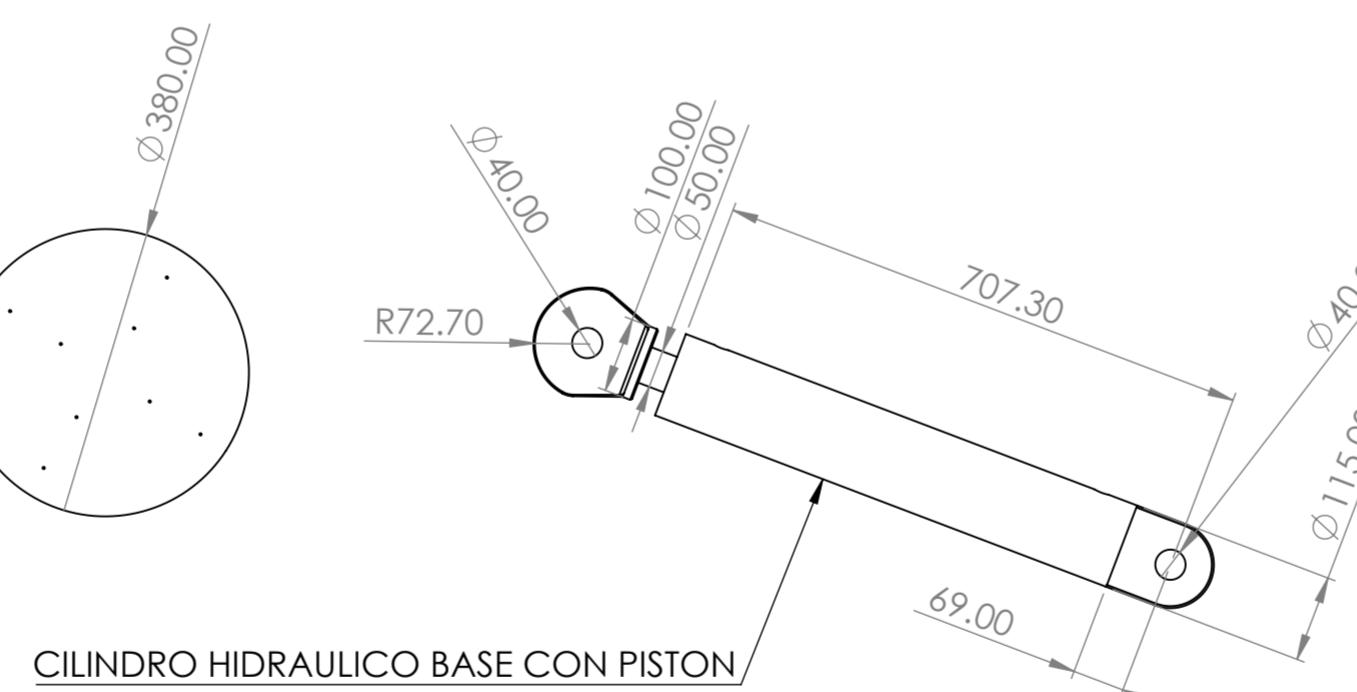
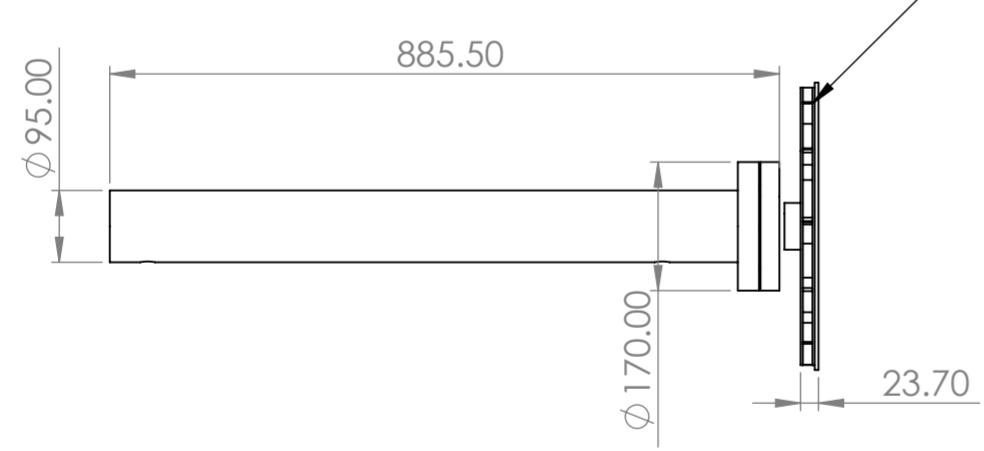
| POS. CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|-----------|---------------------------|-----------|------------------|
| 15 4 | VISAGRA INFERIOR | ASTM A36 | SE-C-20, SE-C-21 |
| 14 2 | SOPORTE PISTON (CILINDRO) | ASTM A36 | SE-C-22 |
| 13 2 | PISTON HIDRAULICO BASE | ASTM A36 | PLANO EC-02 |
| 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 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

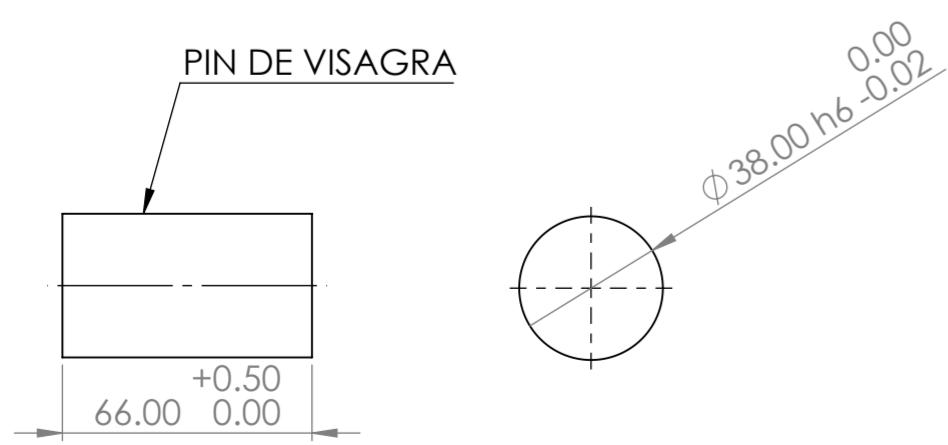
| | | |
|--|--|----------|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | TESIS: | 1:20 |
| | "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2022" | |
| | PLANO: | |
| | ENSAMBLE COMPLETO DE MAQUINA DE MOLDEO CON APERTURA DE BLOQUE DELANTERO | |
| RESPONSABLES: | | FORMATO: |
| Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | | A2 |
| ASESOR: | | HOJA: |
| Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | | EC-01 |



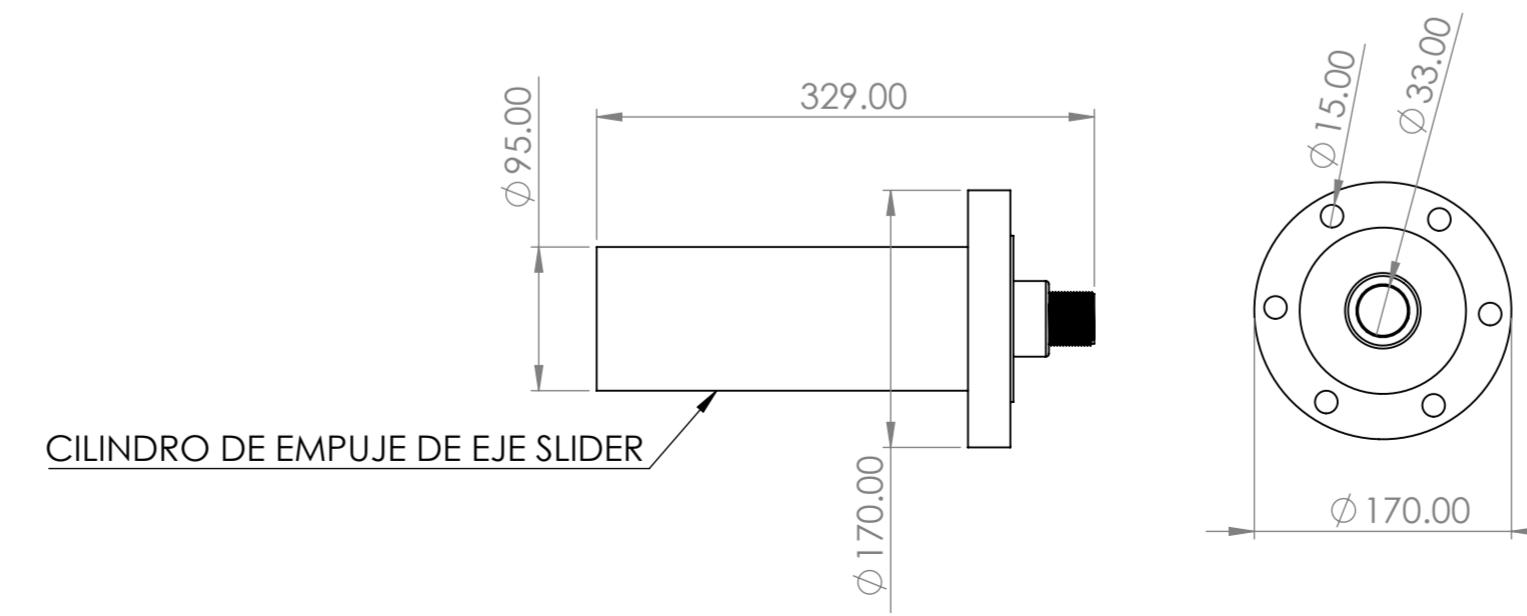
CILINDRO DE EMPUJE CON DISCO DE EXPULSION



PIN DE VISAGRA



CILINDRO HIDRAULICO BASE CON PISTON

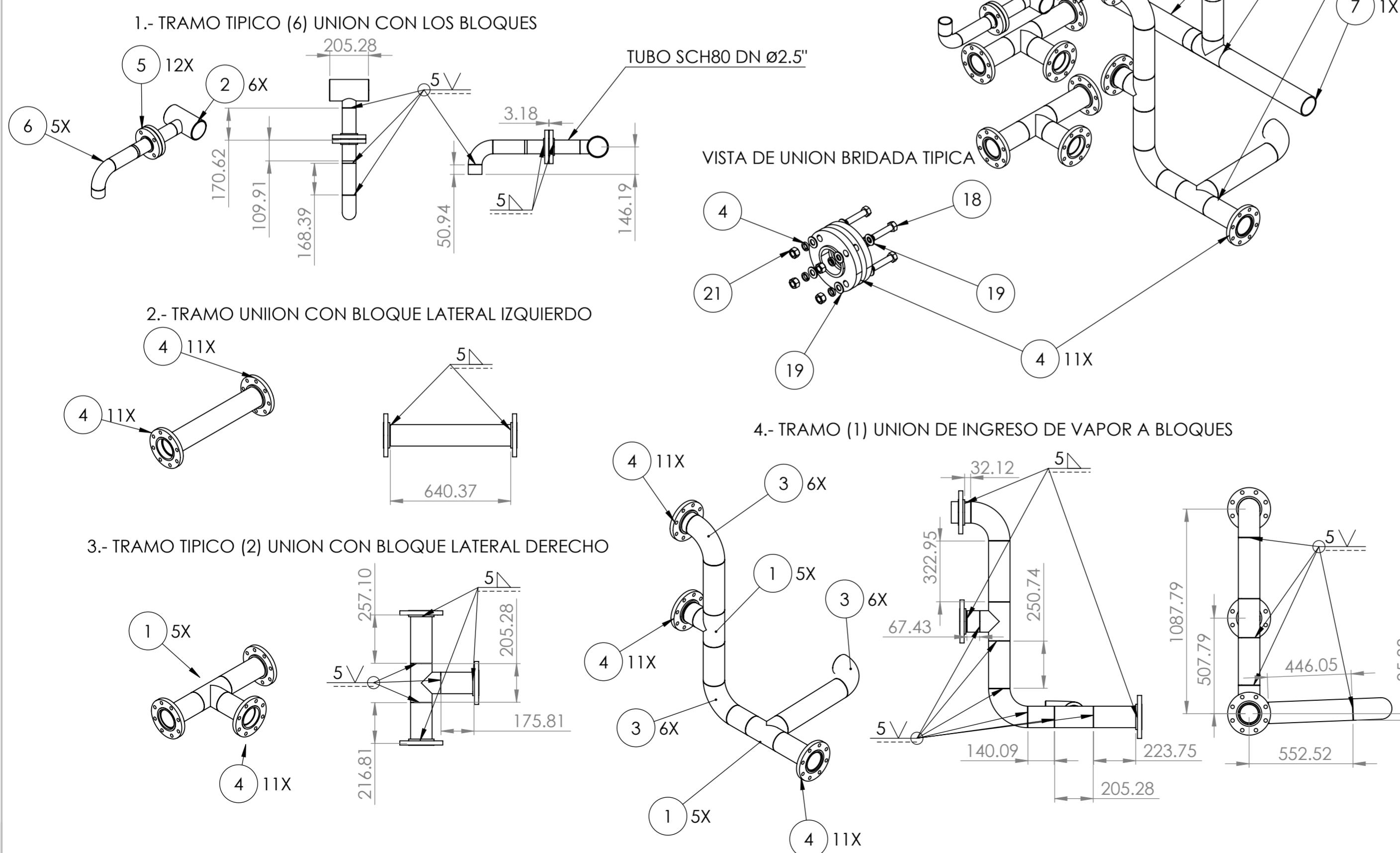
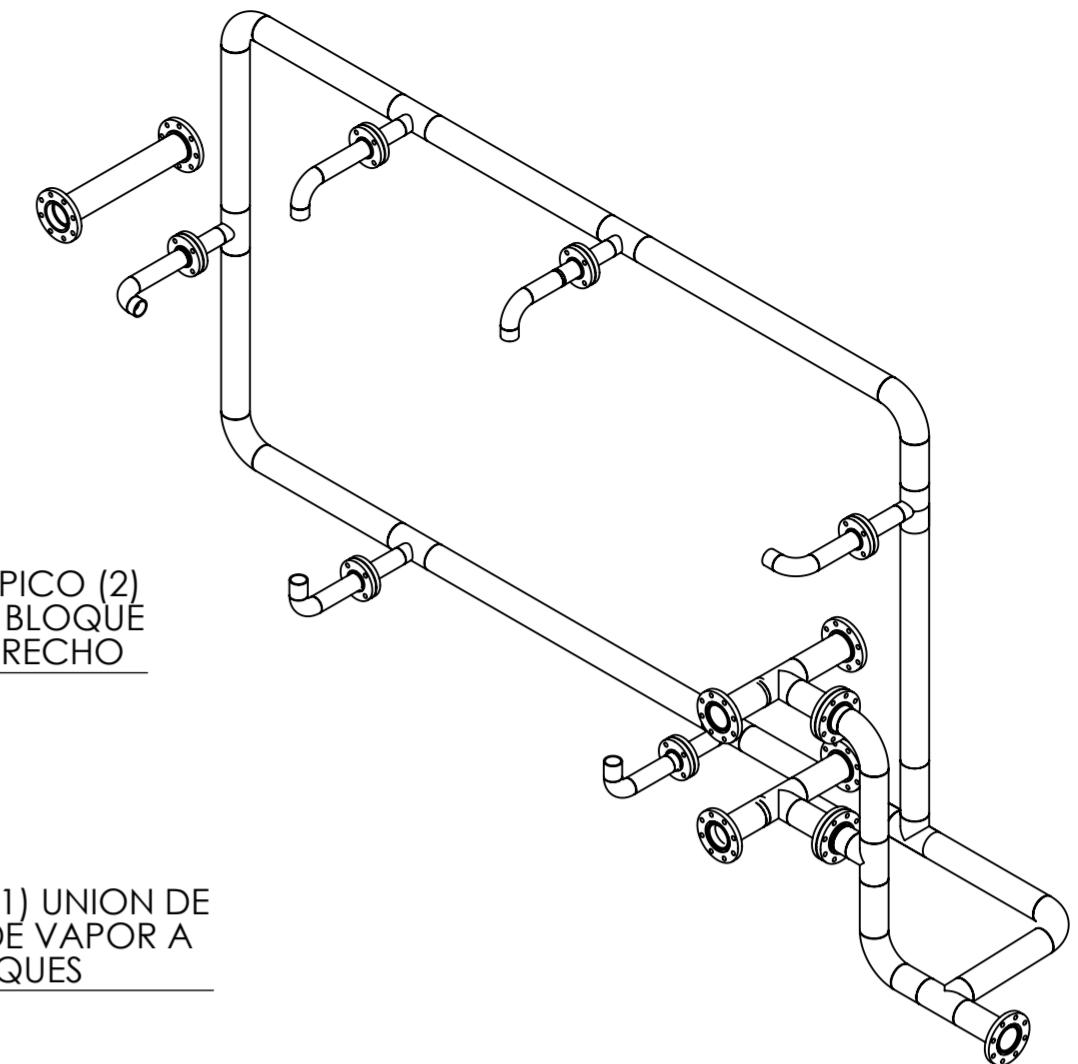
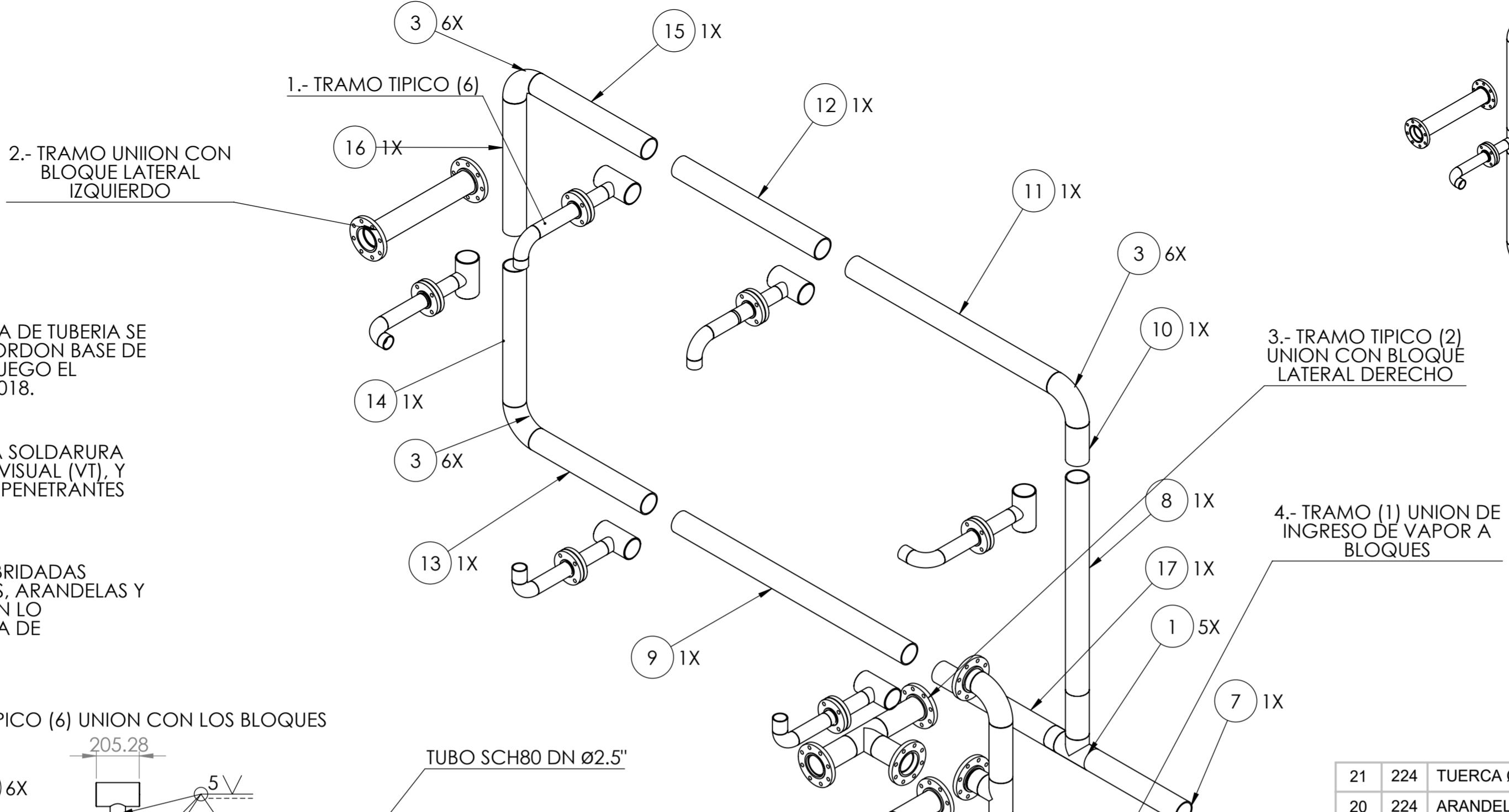


CILINDRO DE EMPUJE DE EJE SLIDER

| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|------|------|---------------------------------|----------|------------------|
| 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 | - | - |

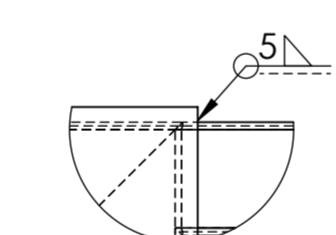
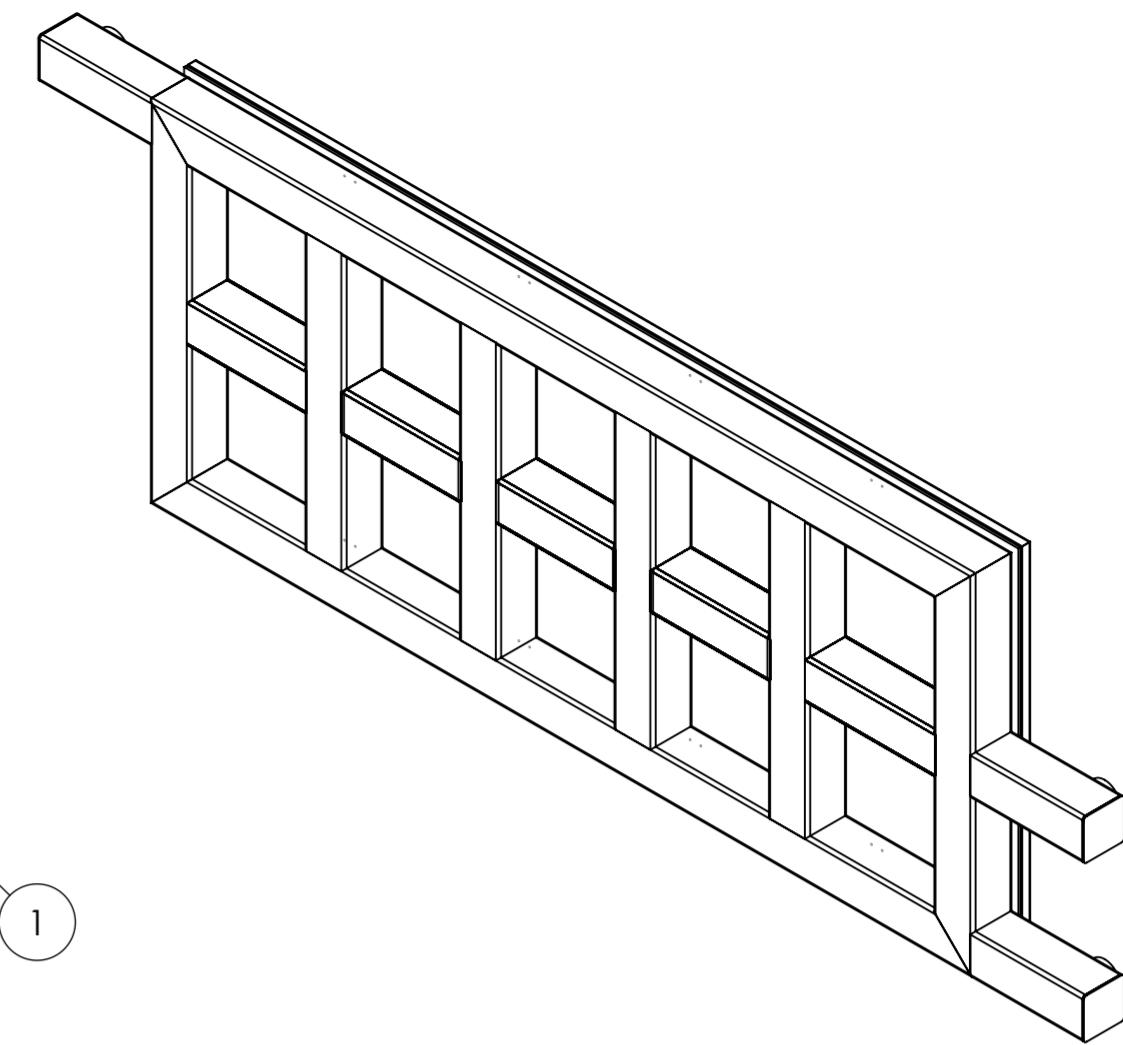
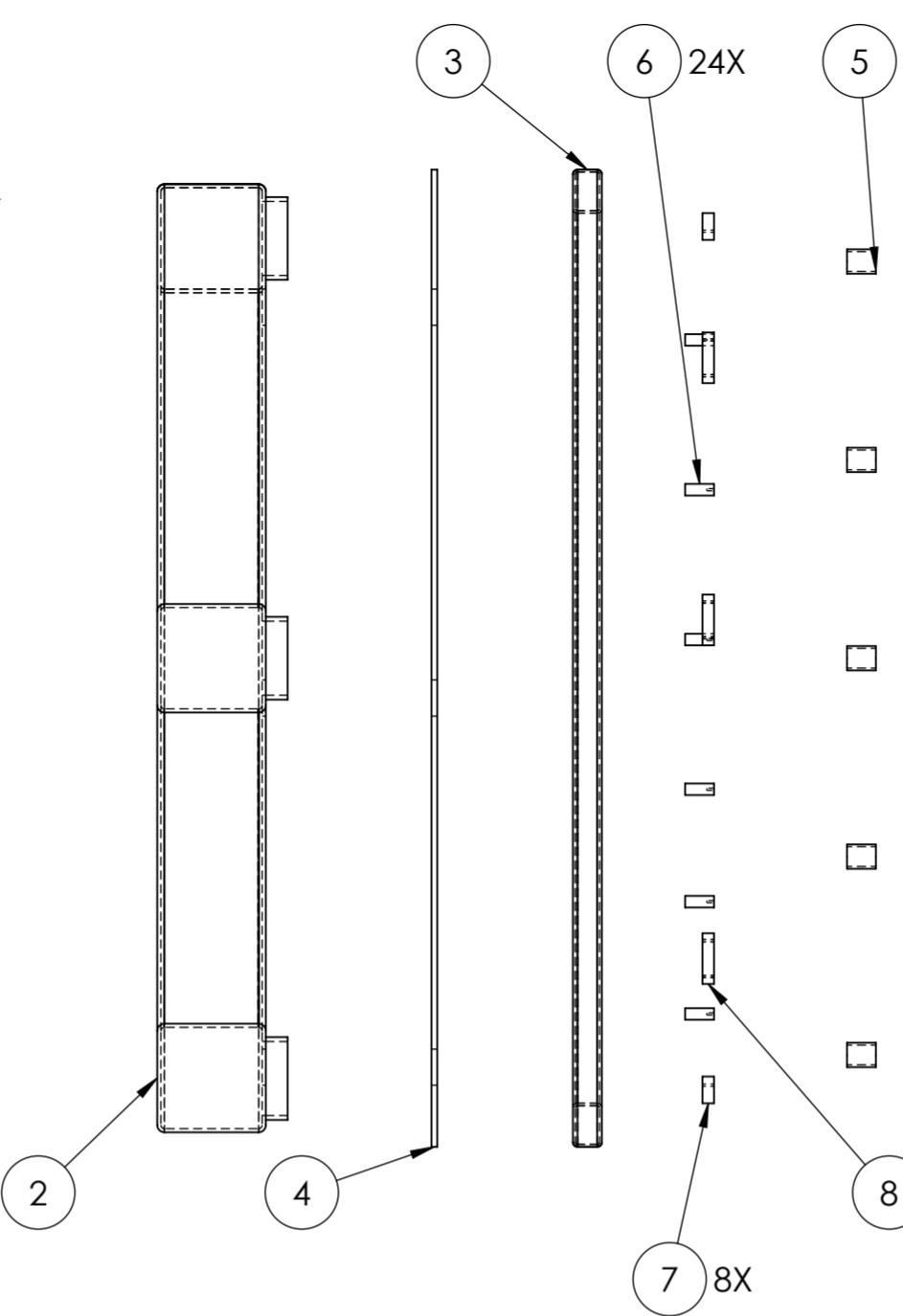
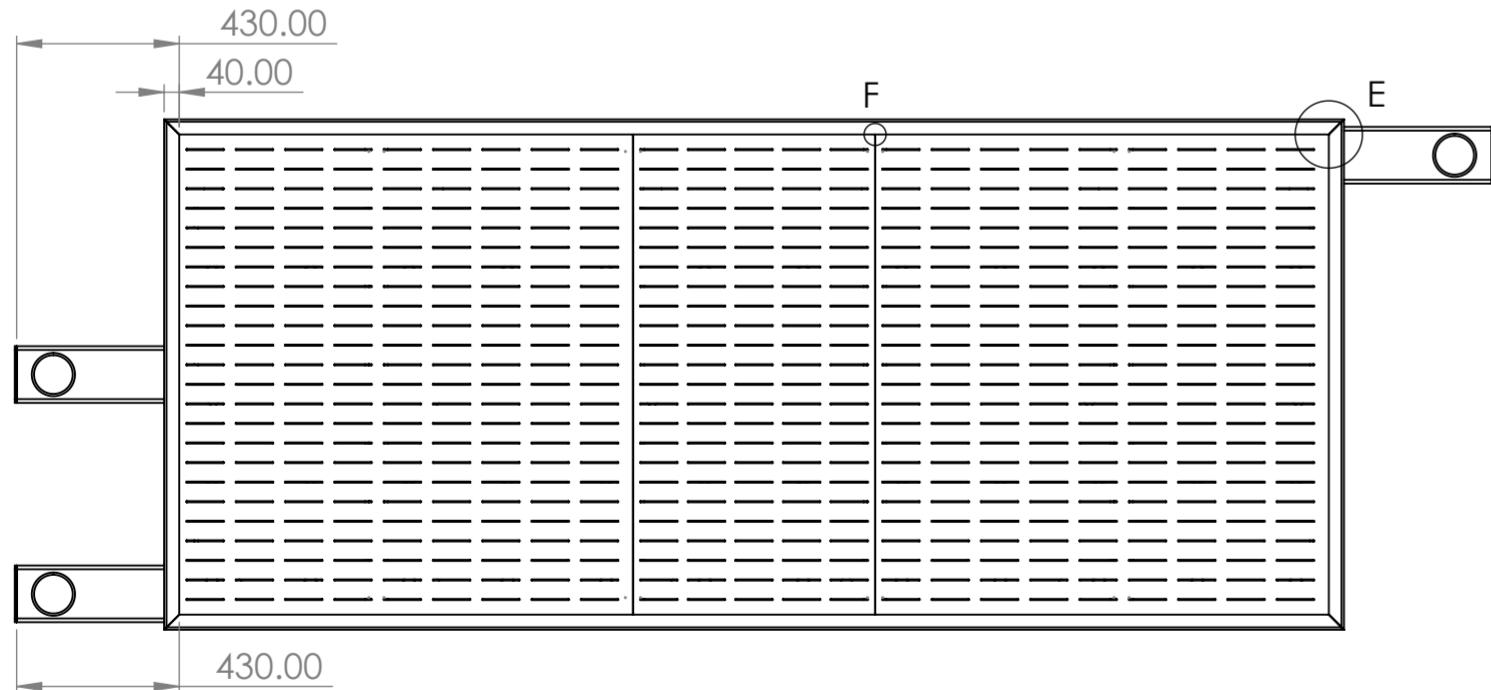
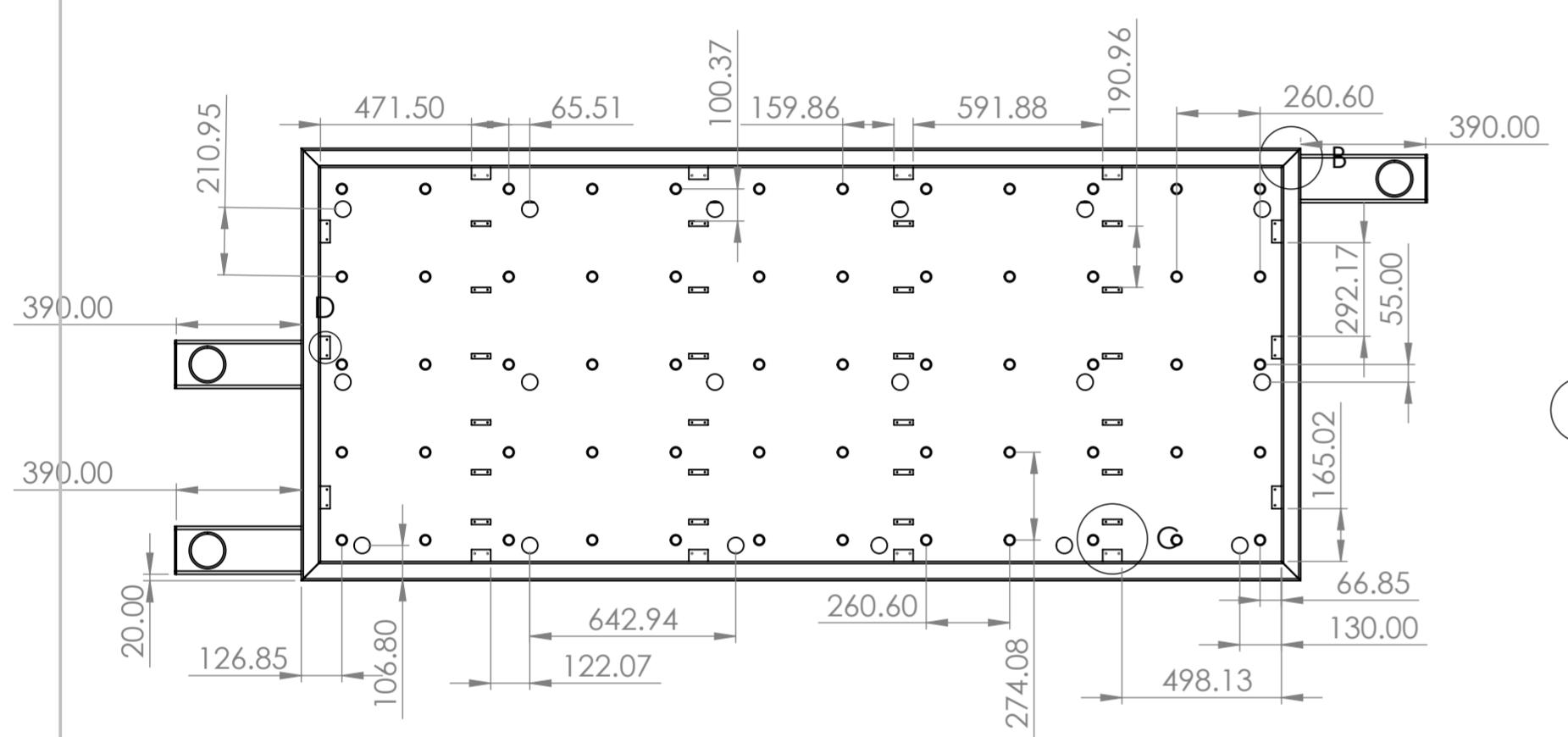
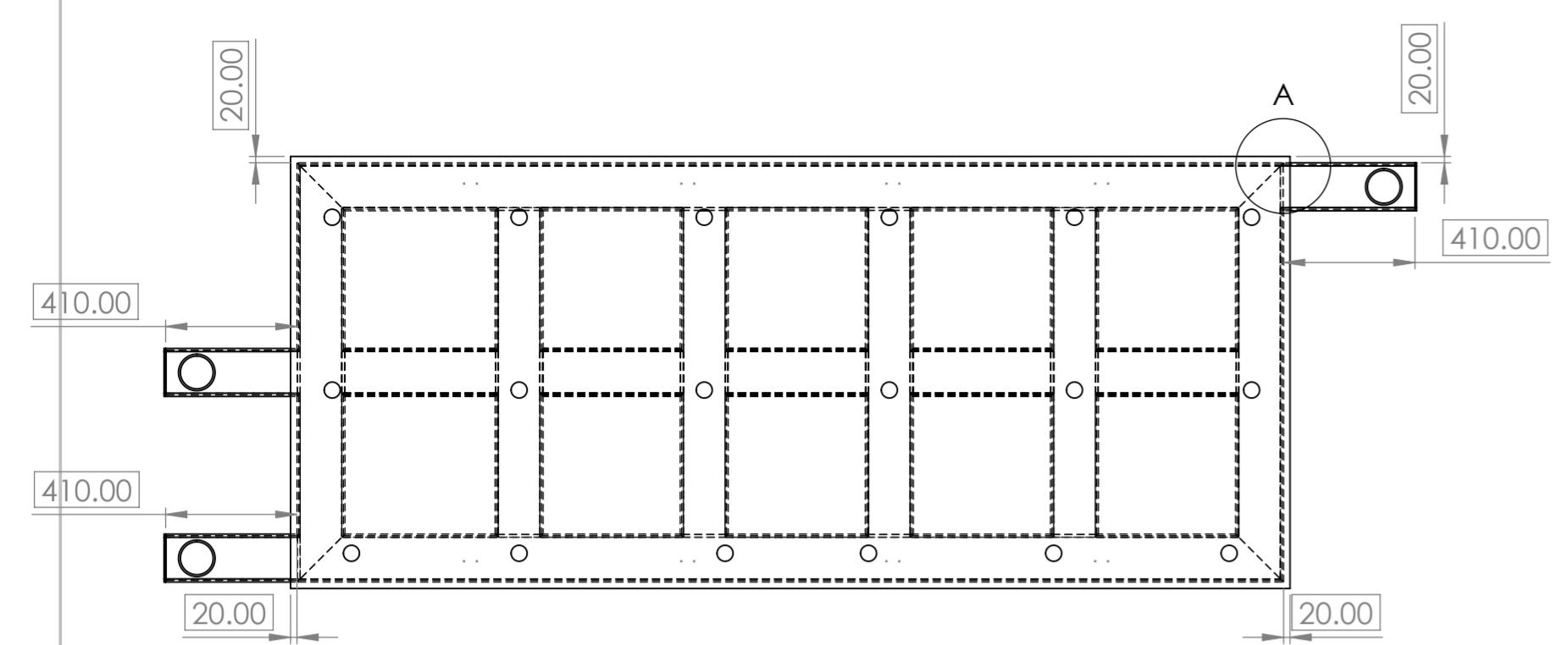
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: PLANO: ESCALA: 1:20
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"
RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil
ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA
FECHA: 14/08/25
FORMATO: A2
HOJA: EC-02

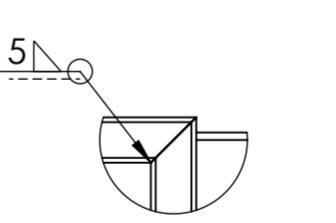


| POS. CAN. | DESCRIPCION | LONGITUD | OBSERVACIONES |
|---|-------------|----------|---------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA | | | |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA | | | |
| MODO DE PROYECCION: 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" | | | |
| PLANO: ENSAMBLE COMPLETO DE MAQUINA DE MOLDEO - SISTEMA DE TUBERIAS | | | |
| RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | | | |
| ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | | | |

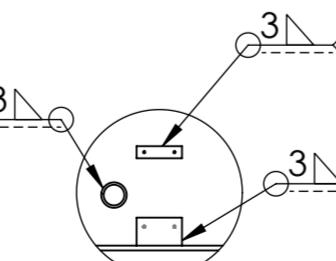
ESCALA: 1:20
 FECHA: 15/08/25
 FORMATO: A2
 HOJA: EC-03



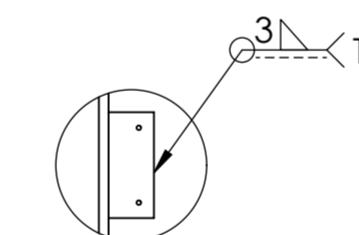
DETALLE A
ESCALA 1 : 10



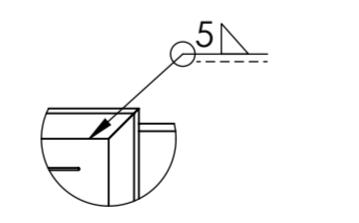
DETALLE B
ESCALA 1 : 10



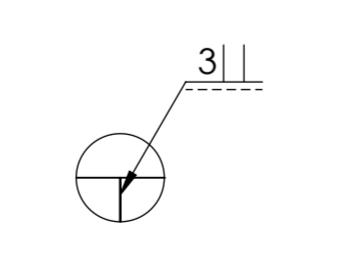
DETALLE C
ESCALA 1 : 10



DETALLE D
ESCALA 1 : 5



DETALLE E
ESCALA 1 : 10

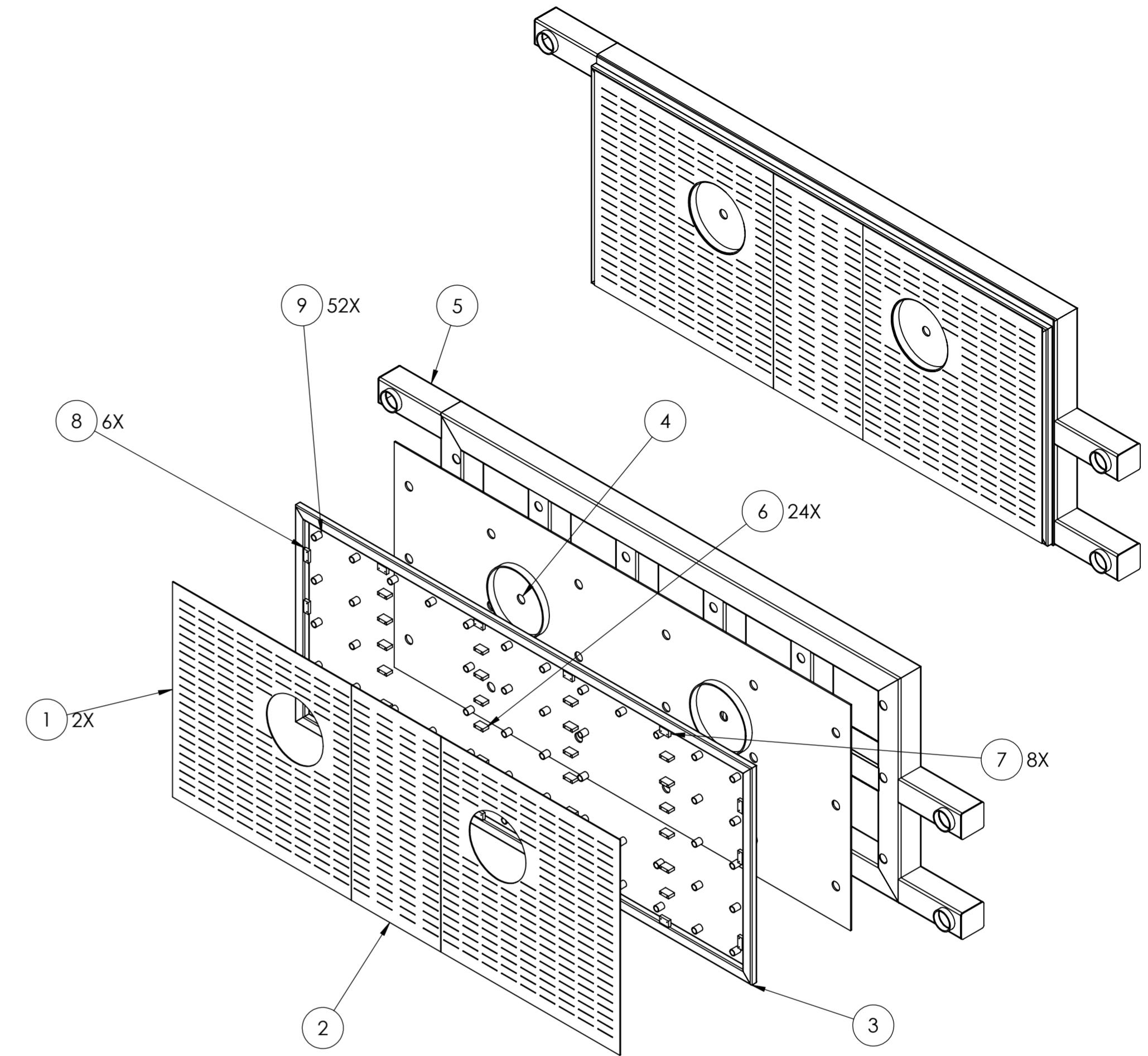
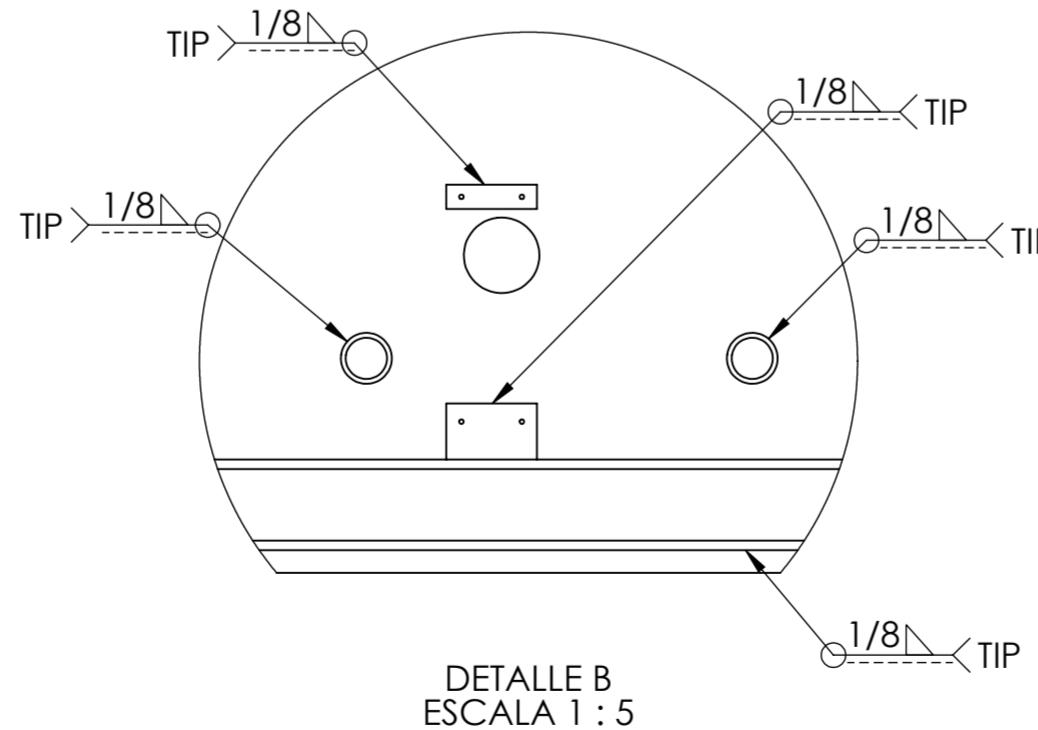
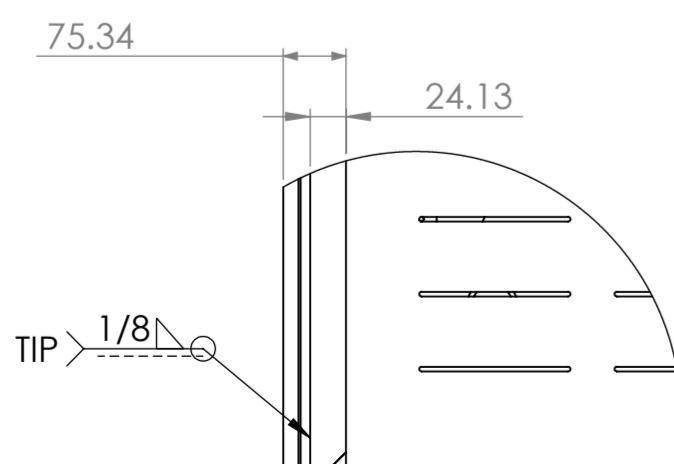
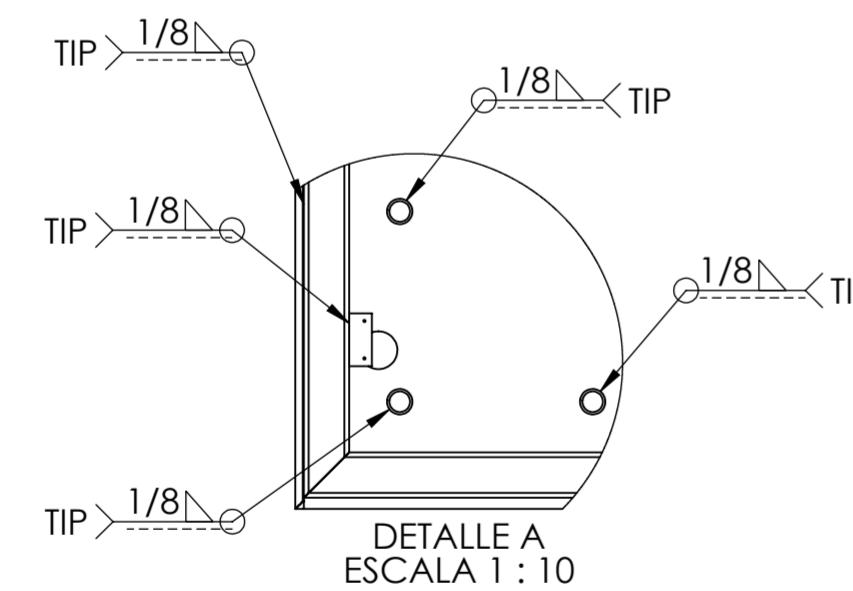
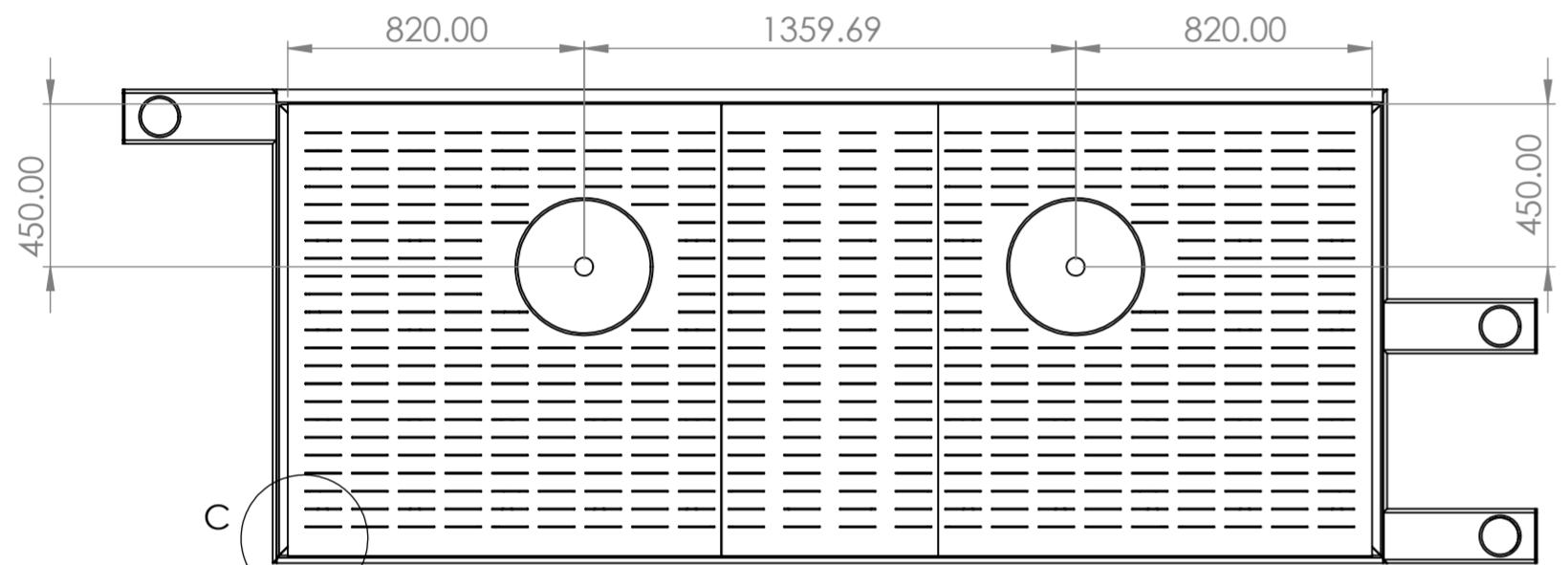
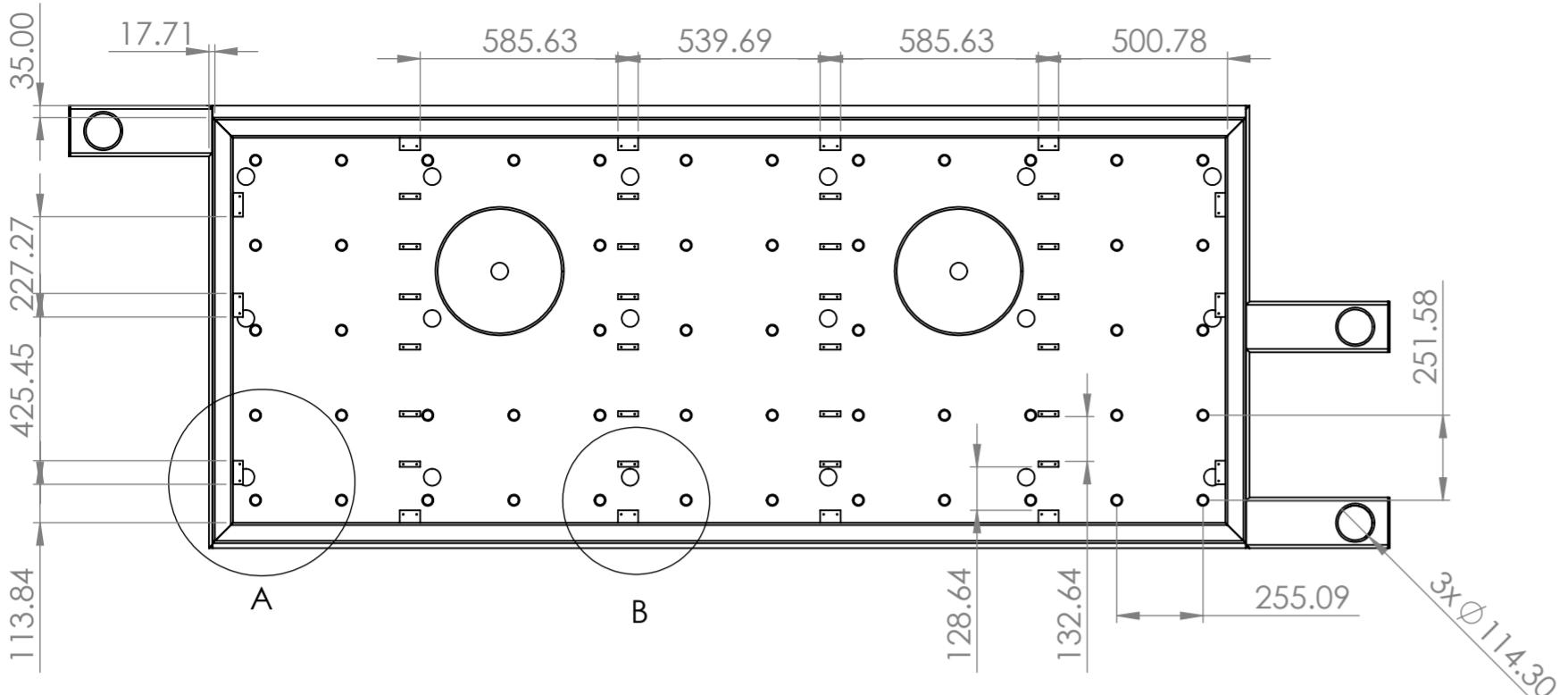


DETALLE F
ESCALA 1 : 5

| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|------|------|--------------------------|-----------|---------------|
| 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 | PLANCHAS PUERTA INTERIOR | ASTM A36 | - |
| 3 | 1 | MARCO PUERTA | ASTM A36 | - |
| 2 | 1 | DUCTO POSTERIOR | ASTM A500 | - |
| 1 | 1 | PLANCHAS DE PUERTA | ASTM A36 | - |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

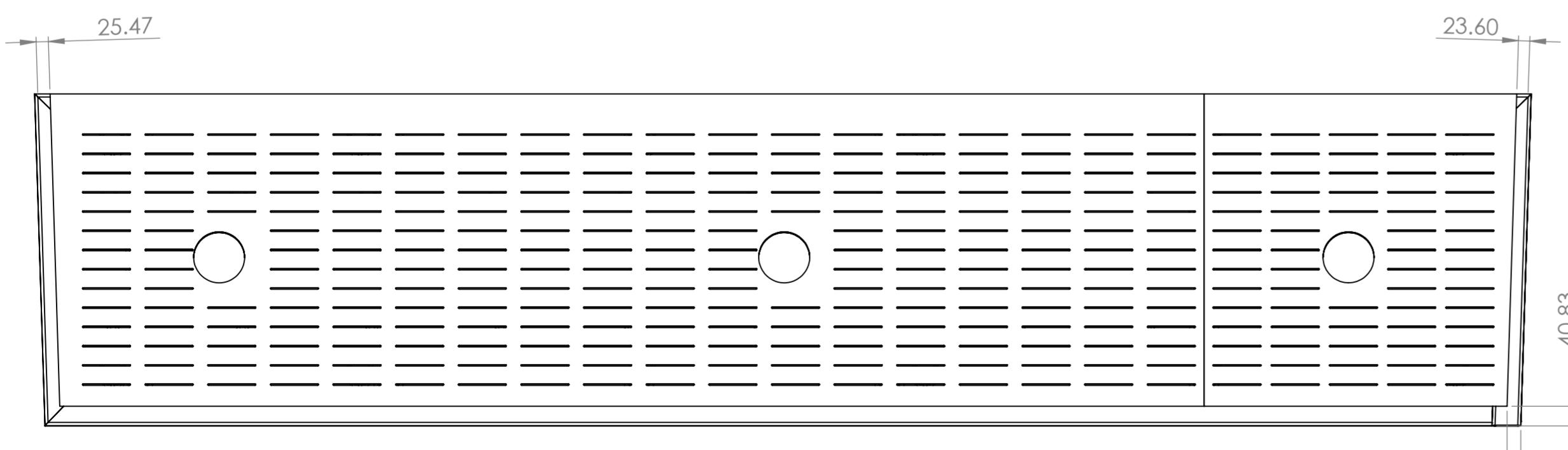
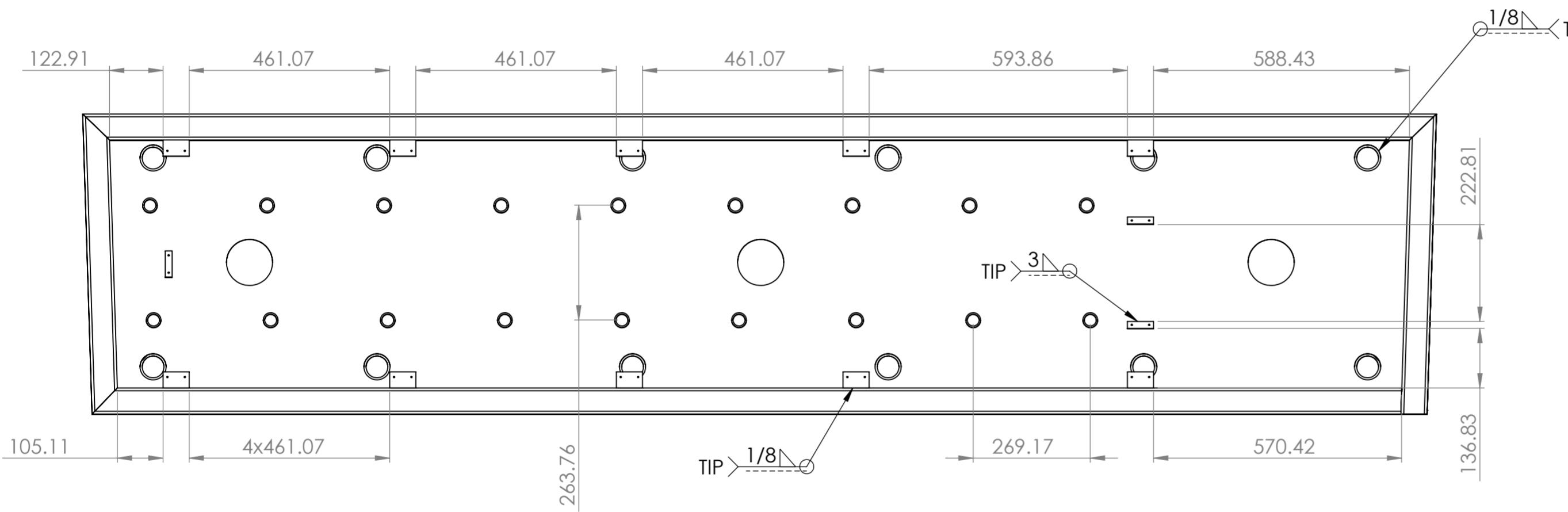
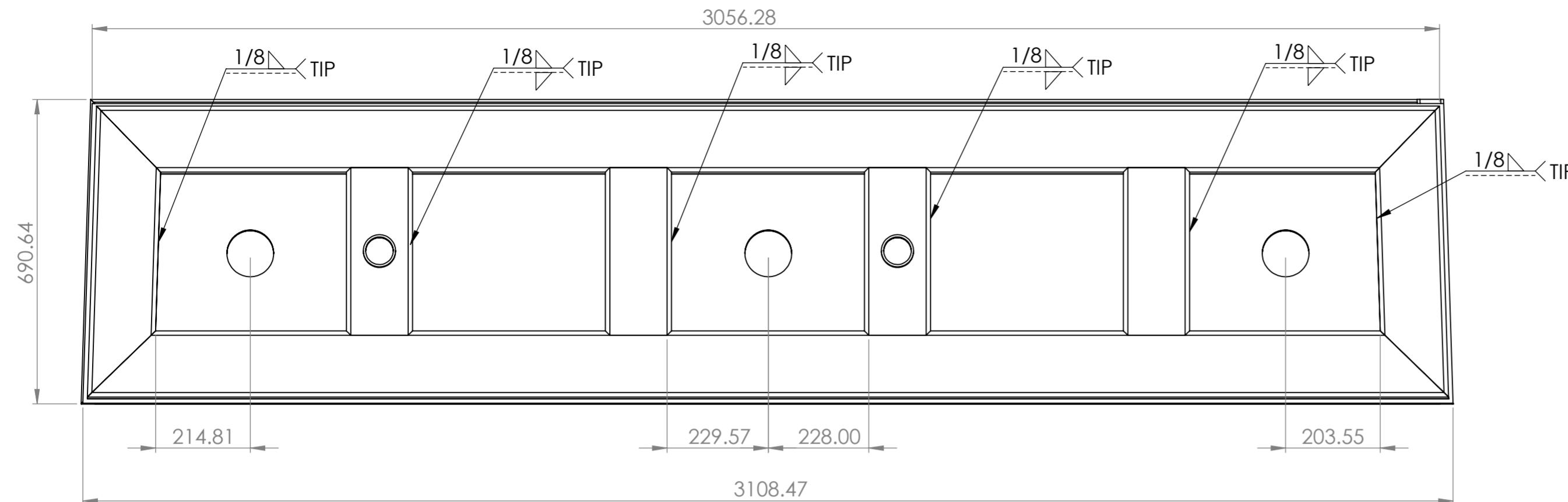
| | | | |
|-----------------------|--|--|--------------------|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | TESIS: | "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2022" | ESCALA: |
| | | | 1:20 |
| PLANO: | SUB ENSAMBLE - BLOQUE DELANTERO (PUERTA) | | |
| 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-01 |



| POS. CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|-----------|----------------------------|----------|---------------|
| 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 |

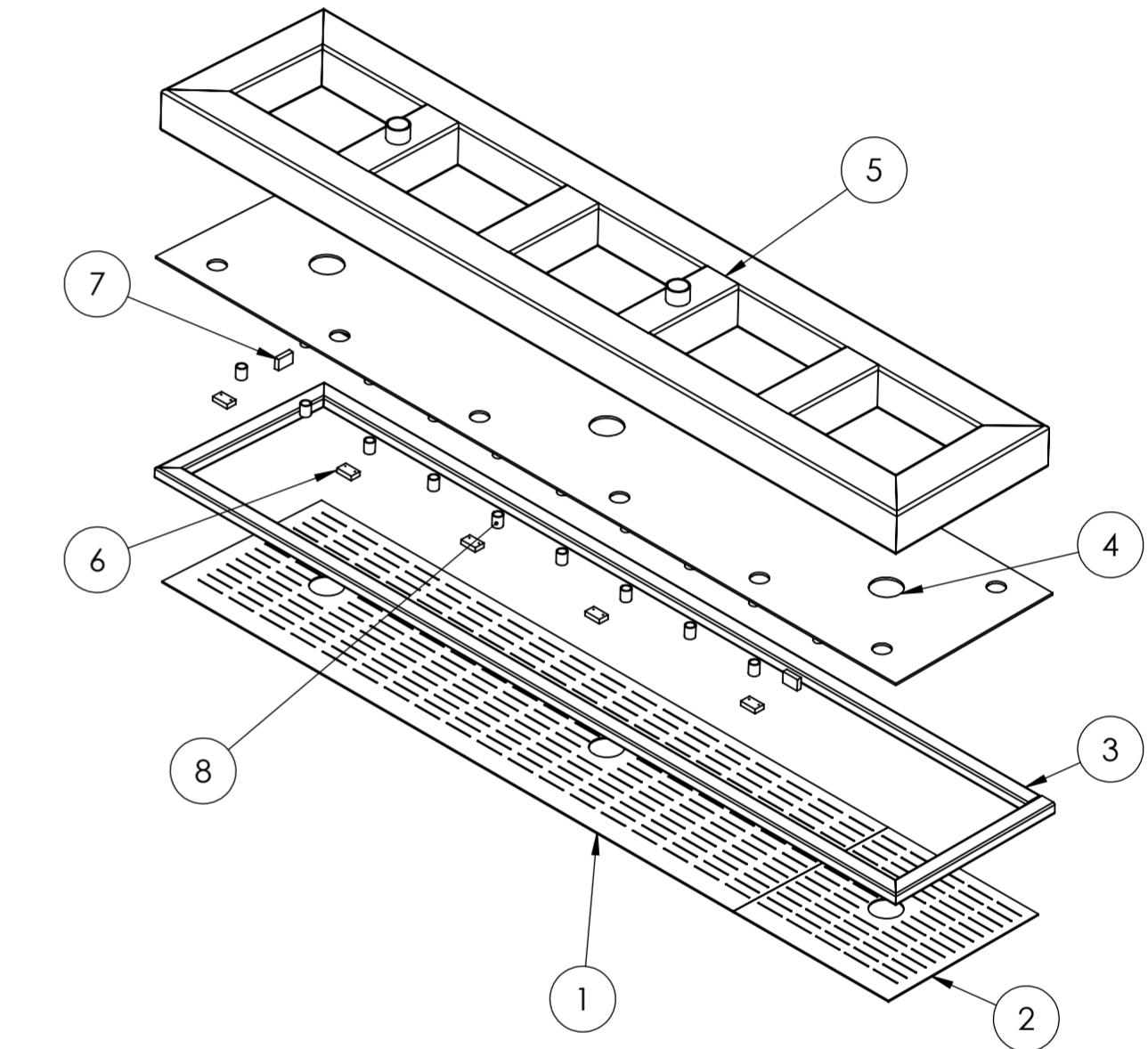
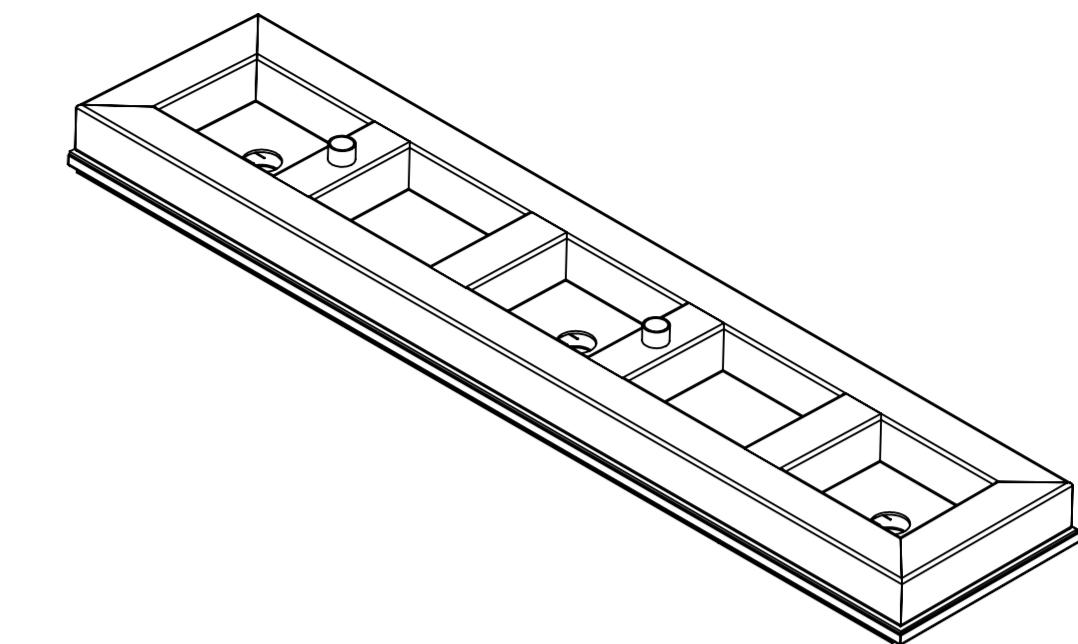
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

| | | |
|--|--|----------|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | PLANO: | ESCALA: |
| | SUB ENSAMBLE - BLOQUE POSTERIOR | 1:20 |
| RESPONSABLES: | TESIS: | FECHA: |
| Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | "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" | 15/06/25 |
| ASESOR: | FORMATO: | HOJA: |
| Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | A2 | SE-02 |



NOTA:

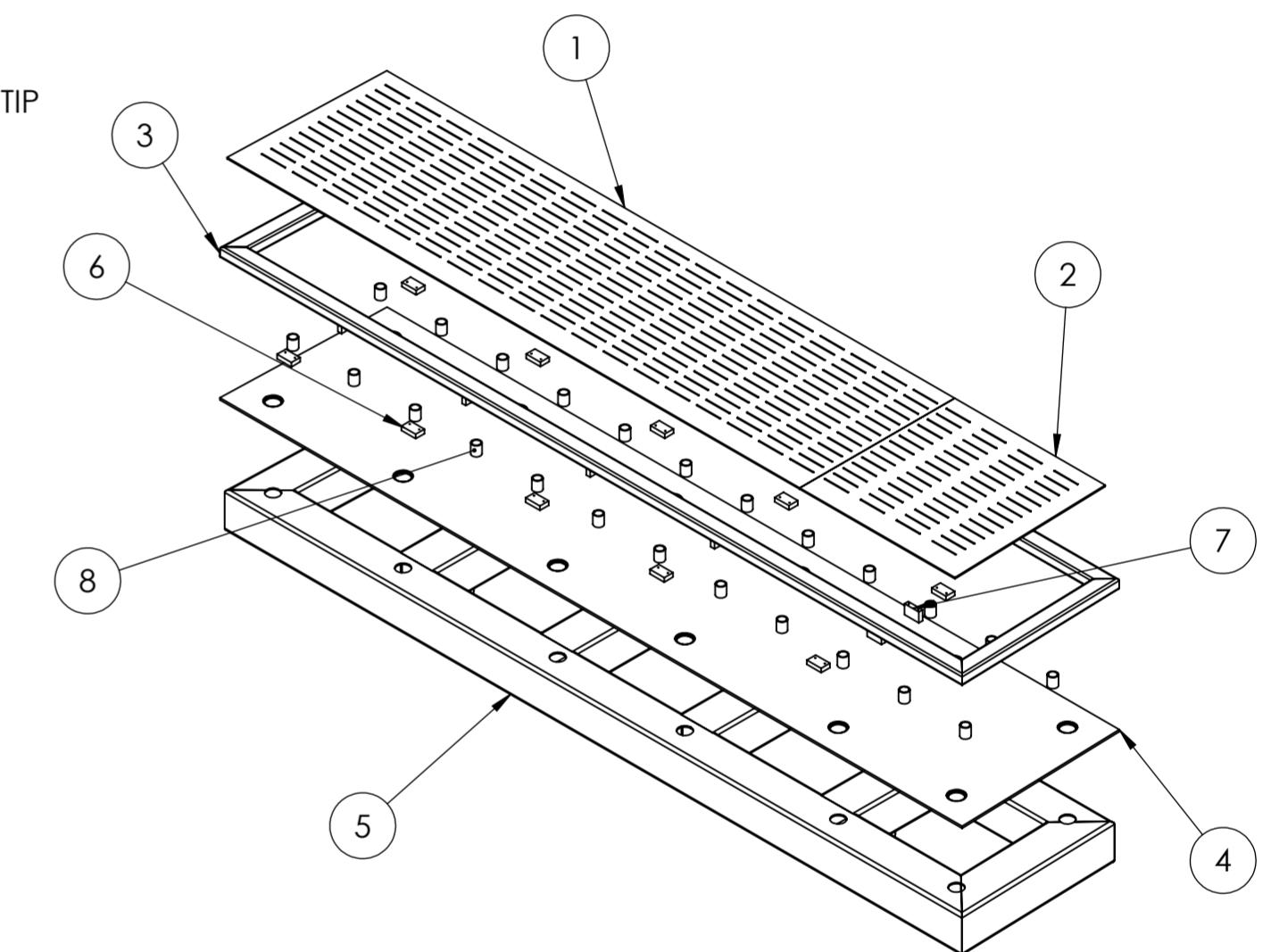
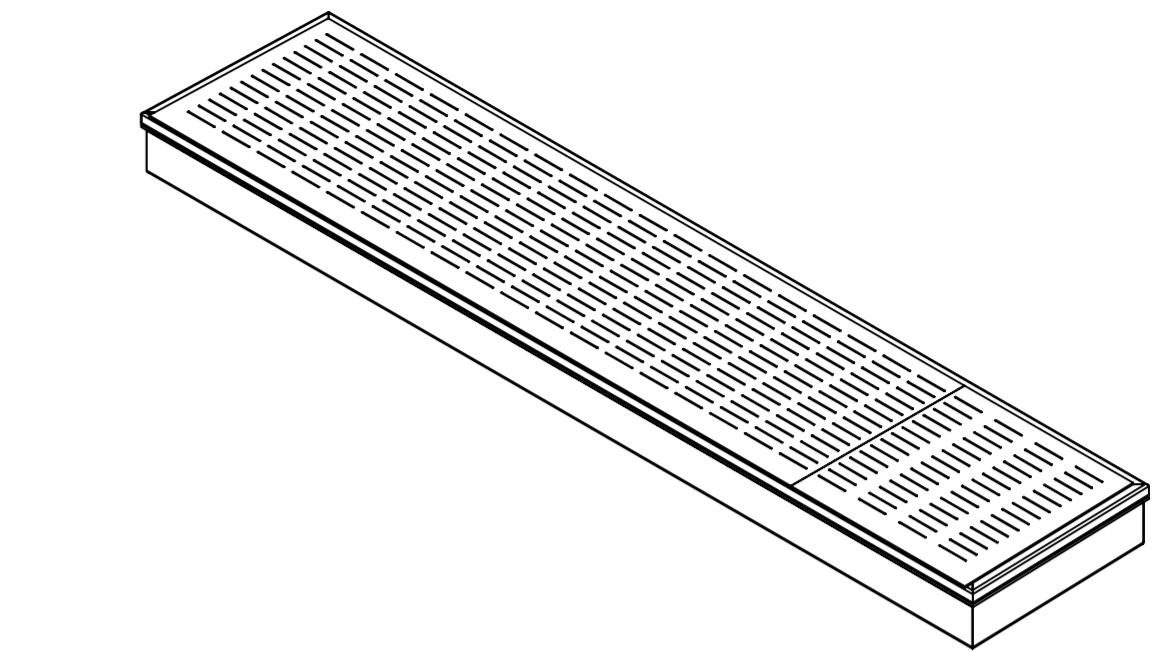
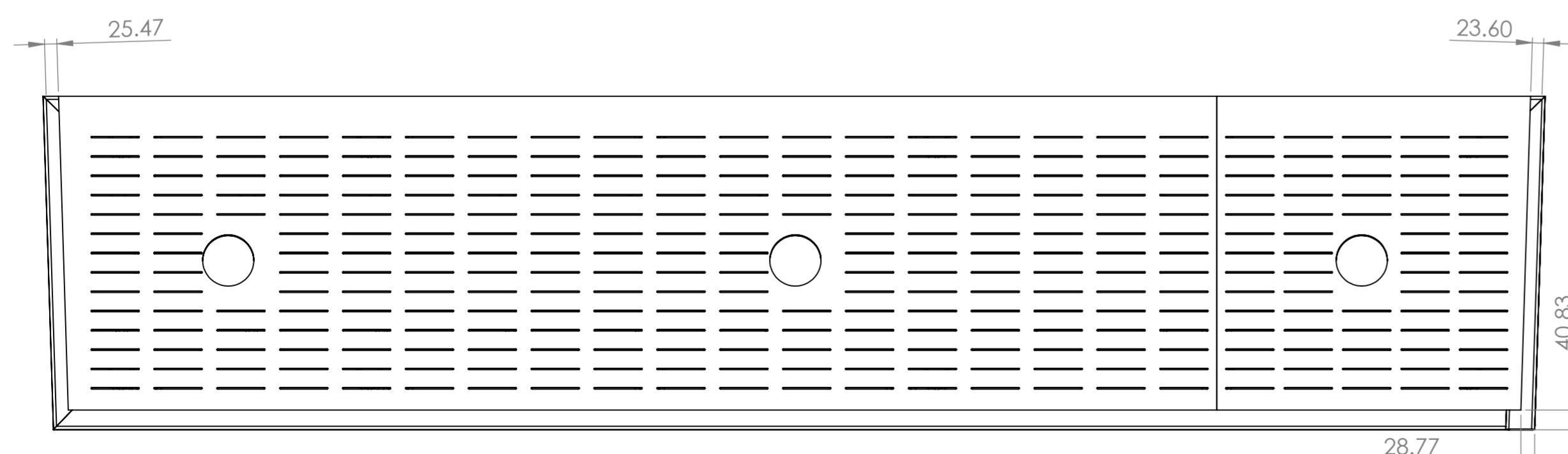
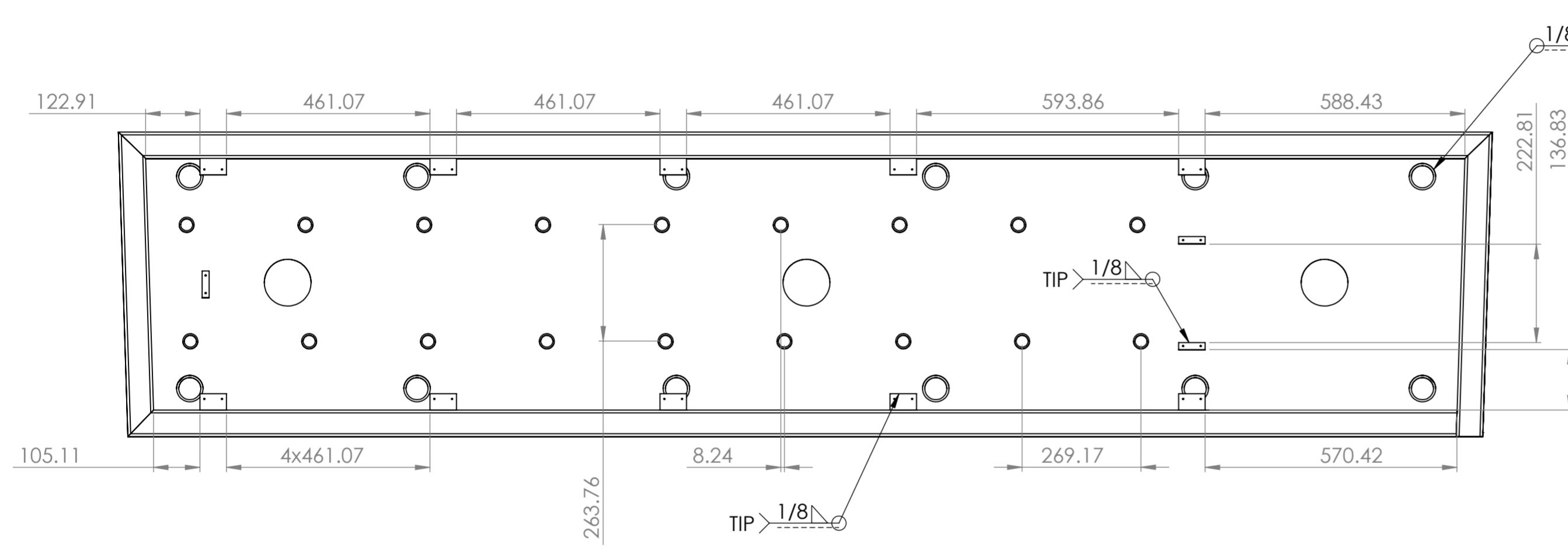
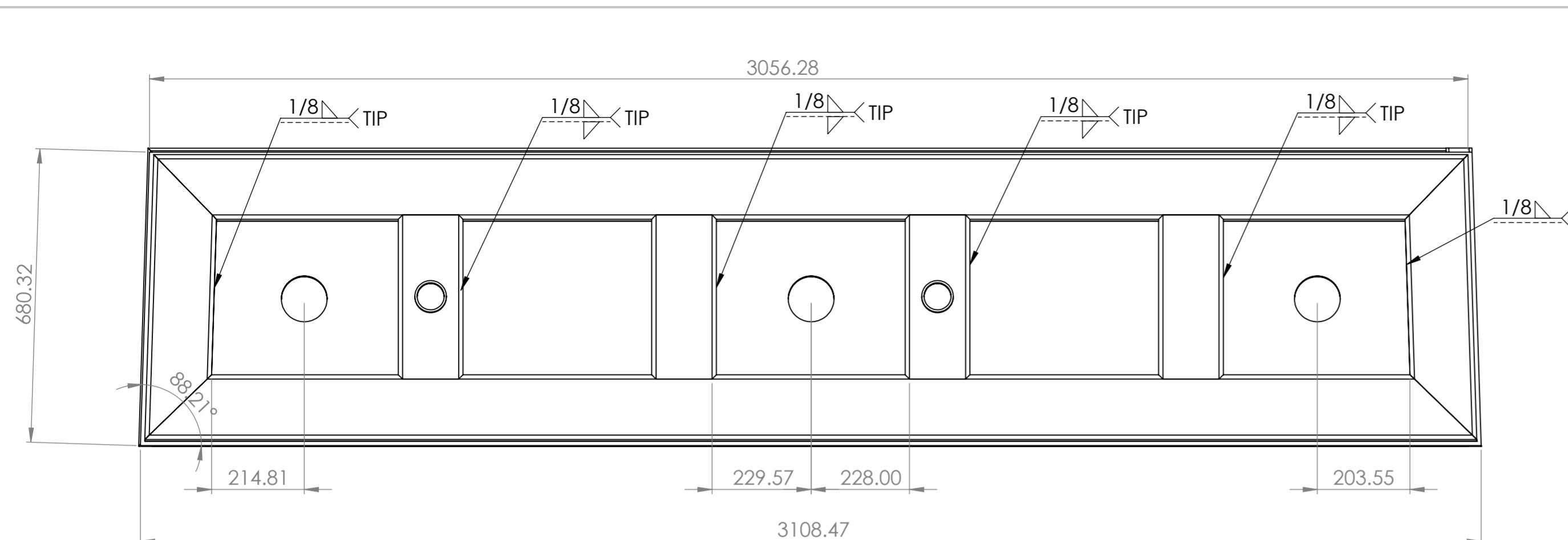
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.



| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|------|------|-----------------------------|----------|---------------|
| 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 | PLANCHAS POSTERIOR INTERIOR | ACERO | ASTM A36 |
| 3 | 1 | MARCO PUERTA | ACERO | ASTM A36 |
| 2 | 1 | PLANCHAS CENTRAL | ACERO | ASTM A36 |
| 1 | 1 | PLANCHAS POSTERIOR | ACERO | 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: | PLANO: | ESCALA: |
| | SUB ENSAMBLE - BLOQUE SUPERIOR | 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: |
| | | SE-03 |



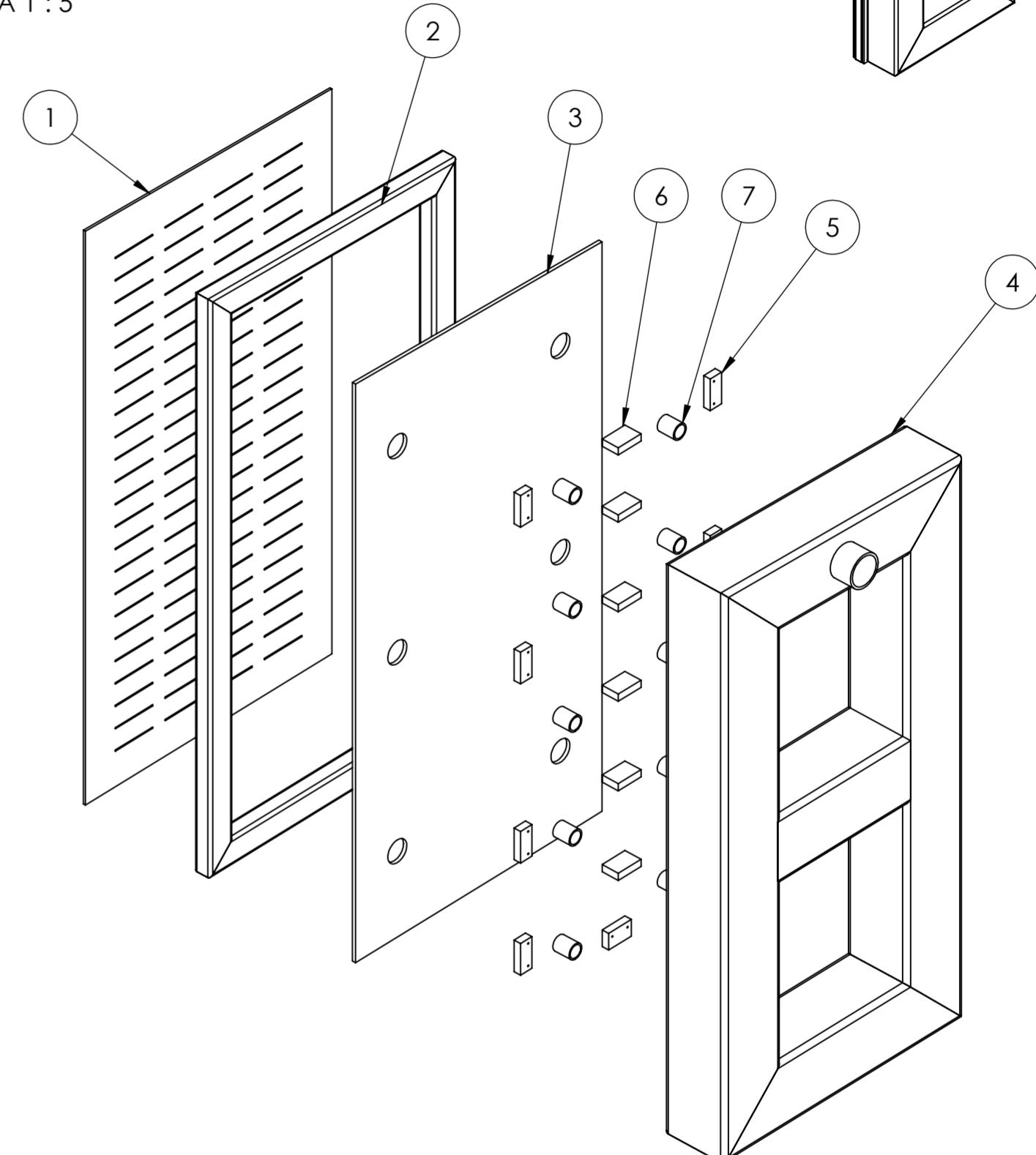
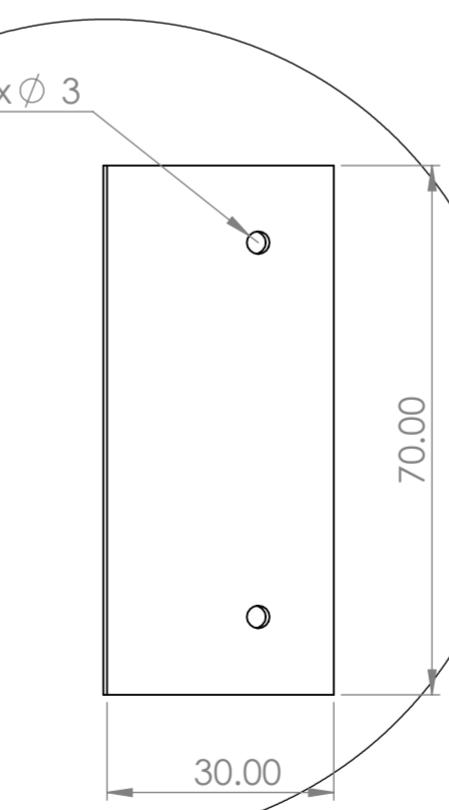
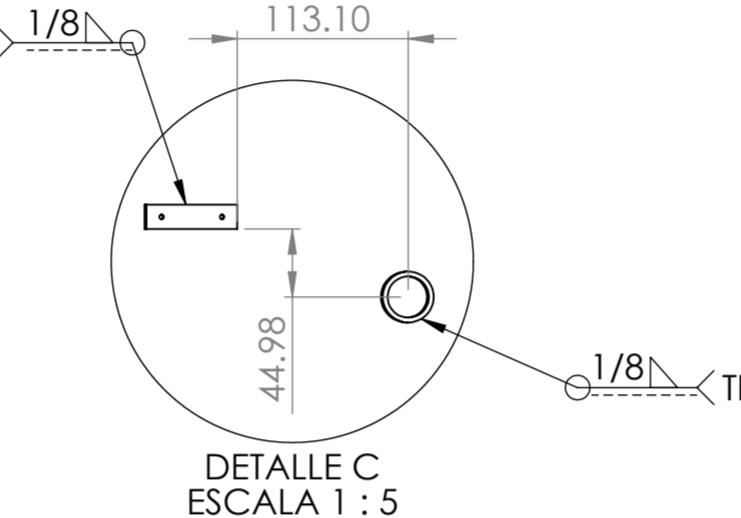
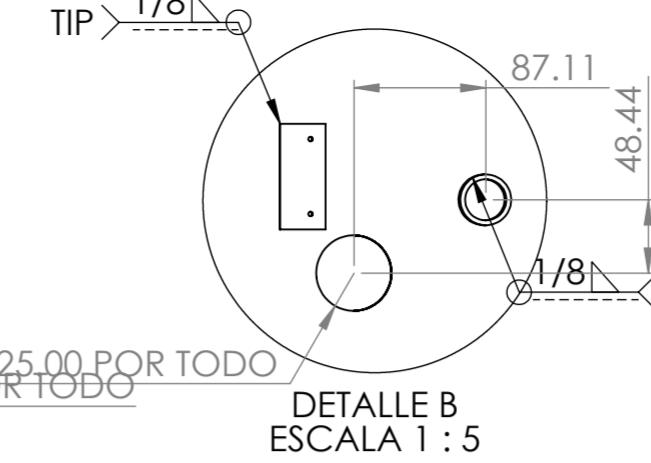
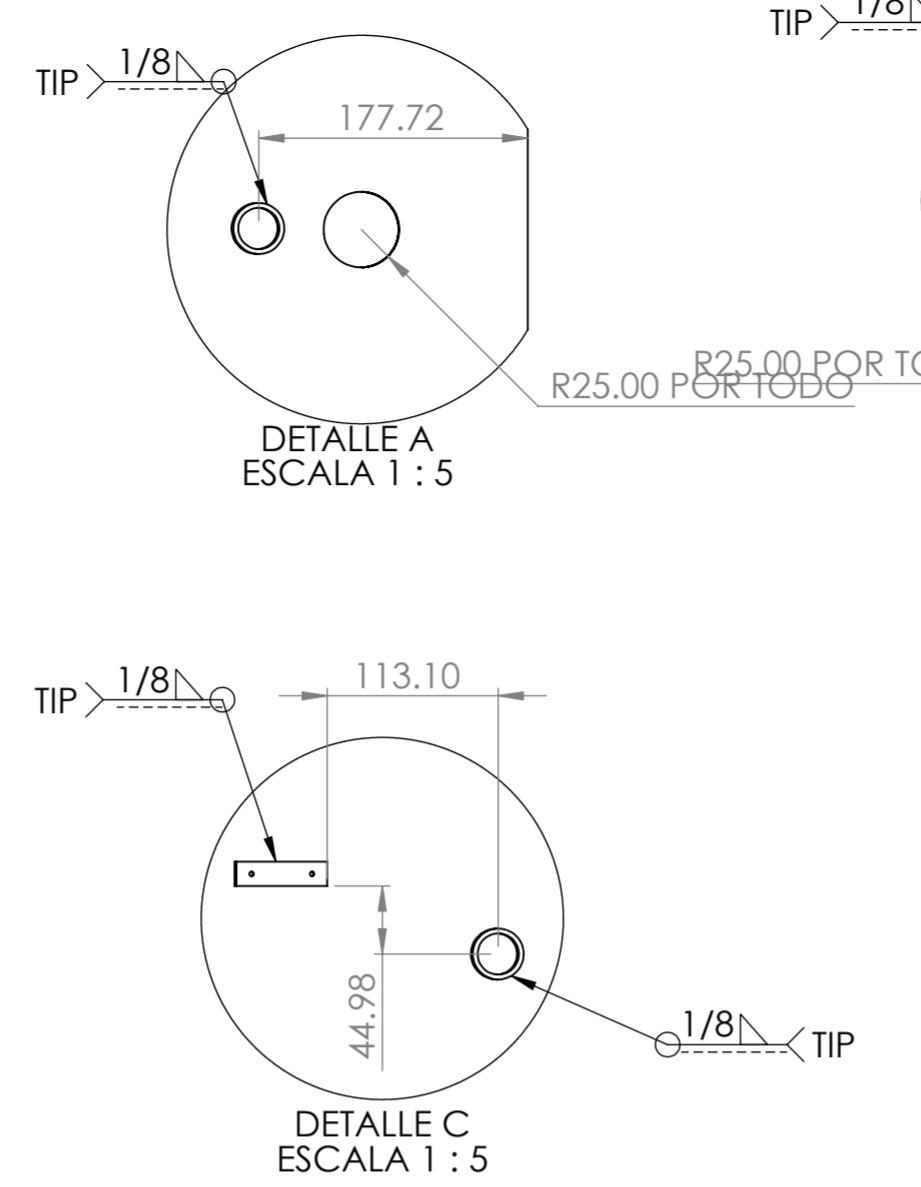
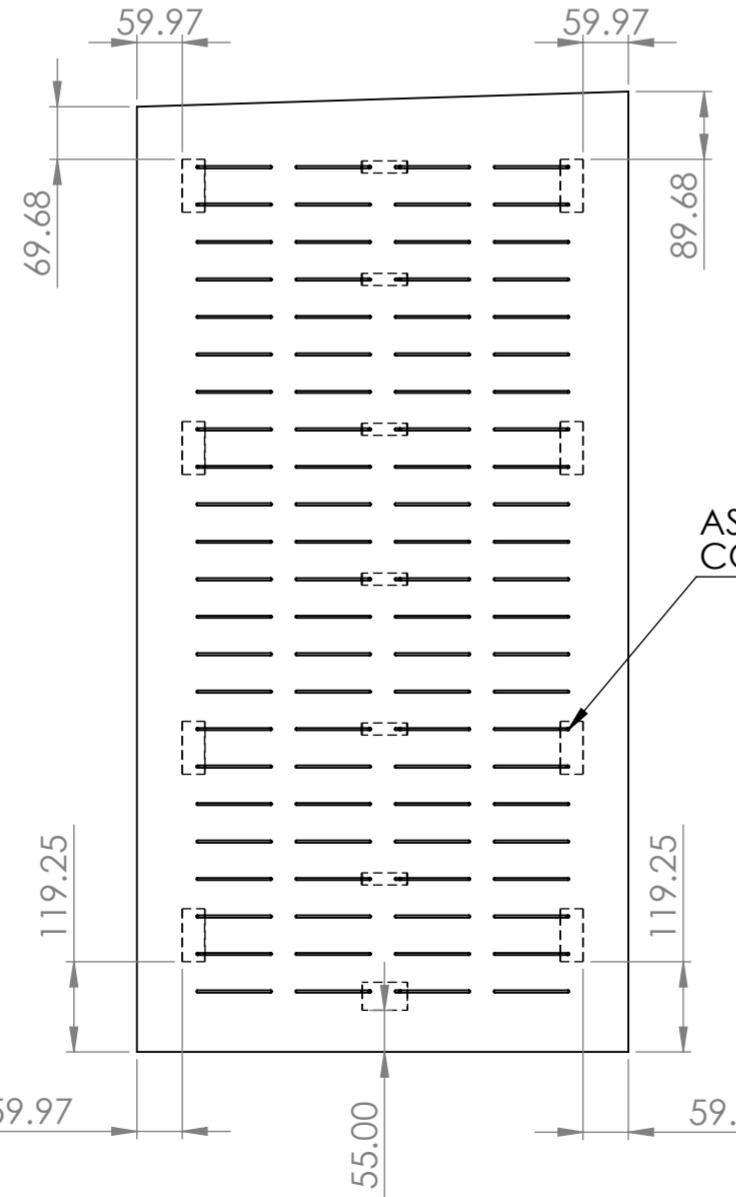
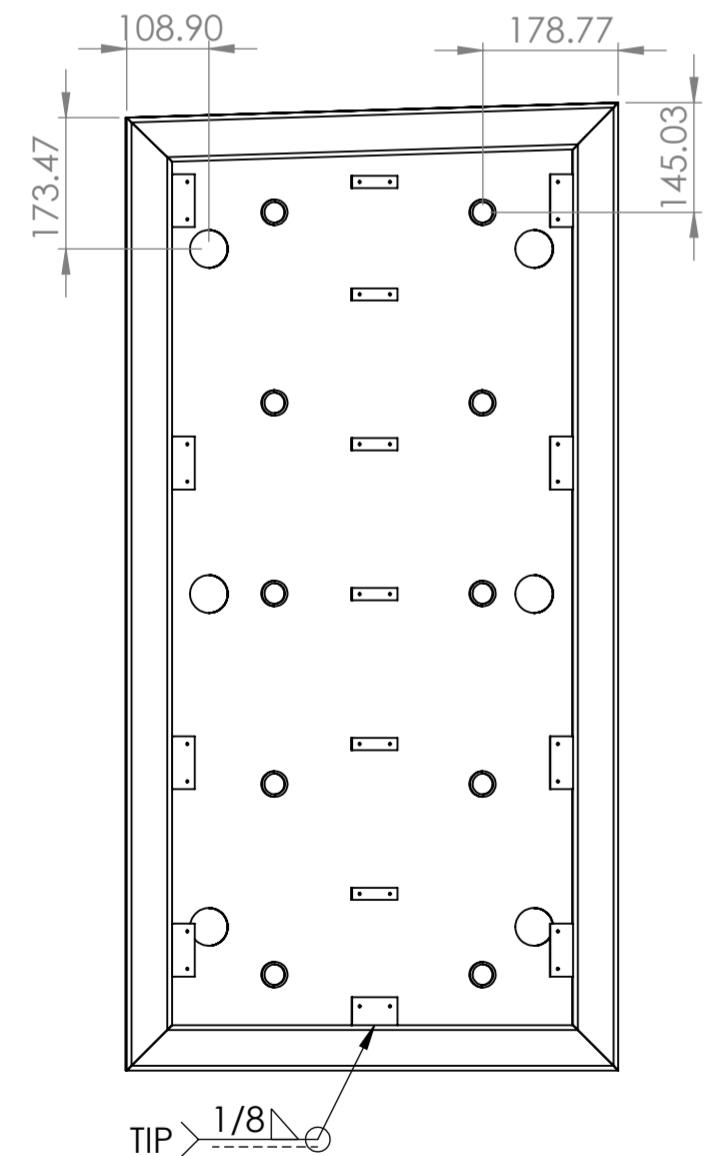
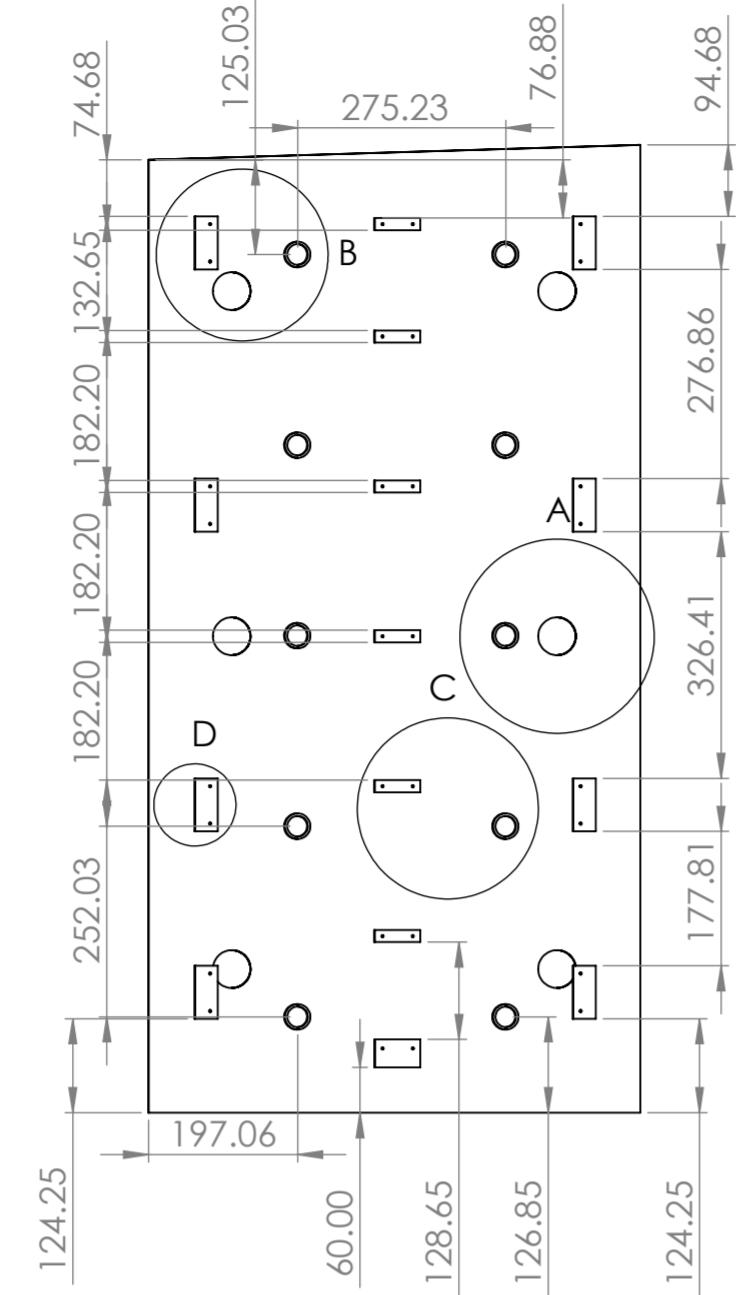
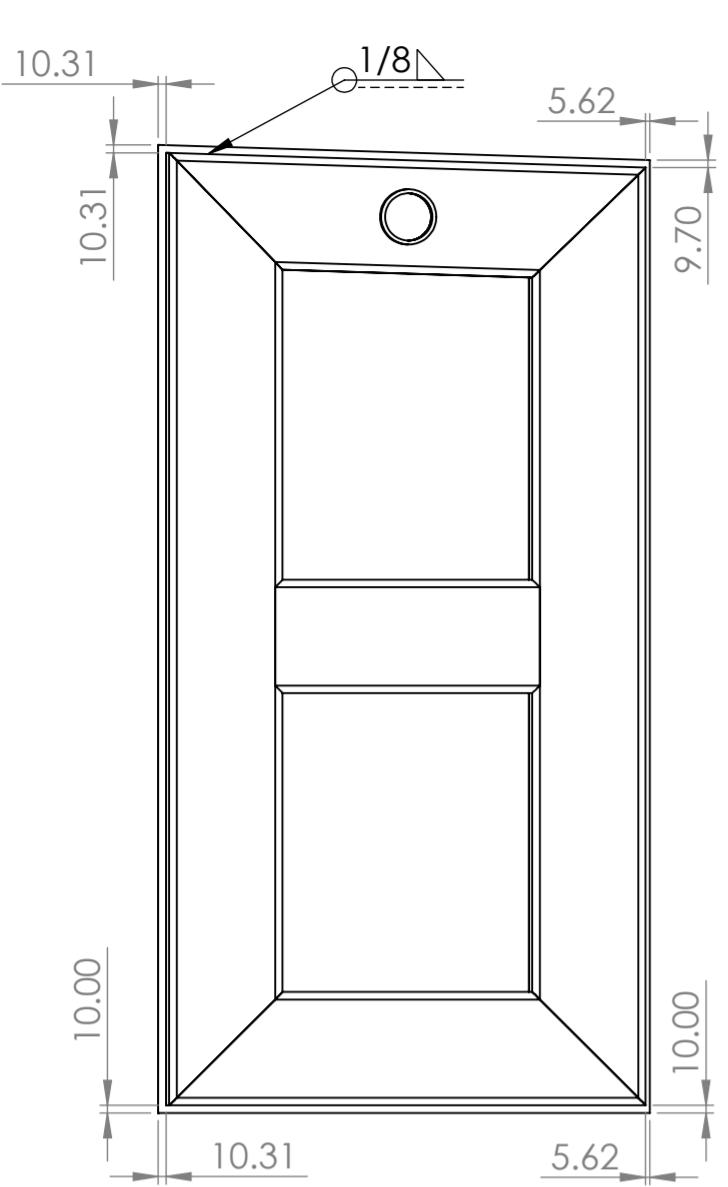
| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|------|------|-----------------------------|----------|---------------|
| 8 | 52 | TOPE DE APOYO CILINDRICO | ACERO | ASTM A36 |
| 7 | 6 | TOPE DE MARCO | ACERO | ASTM A36 |
| 6 | 8 | TOPE DE MARCO CENTRAL | ACERO | ASTM A36 |
| 5 | 1 | DUCTO SUPERIOR | ACERO | ASTM A500 |
| 4 | 1 | PLANCHAS POSTERIOR INTERIOR | ACERO | ASTM A36 |
| 3 | 1 | MARCO PUERTA | ACERO | ASTM A36 |
| 2 | 1 | PLANCHAS CENTRAL | ACERO | ASTM A36 |
| 1 | 1 | PLANCHAS POSTERIOR | ACERO | 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: | PLANO: | ESCALA: |
| | SUB ENSAMBLE - BLOQUE INFERIOR | 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: |
| | | SE-04 |

NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.



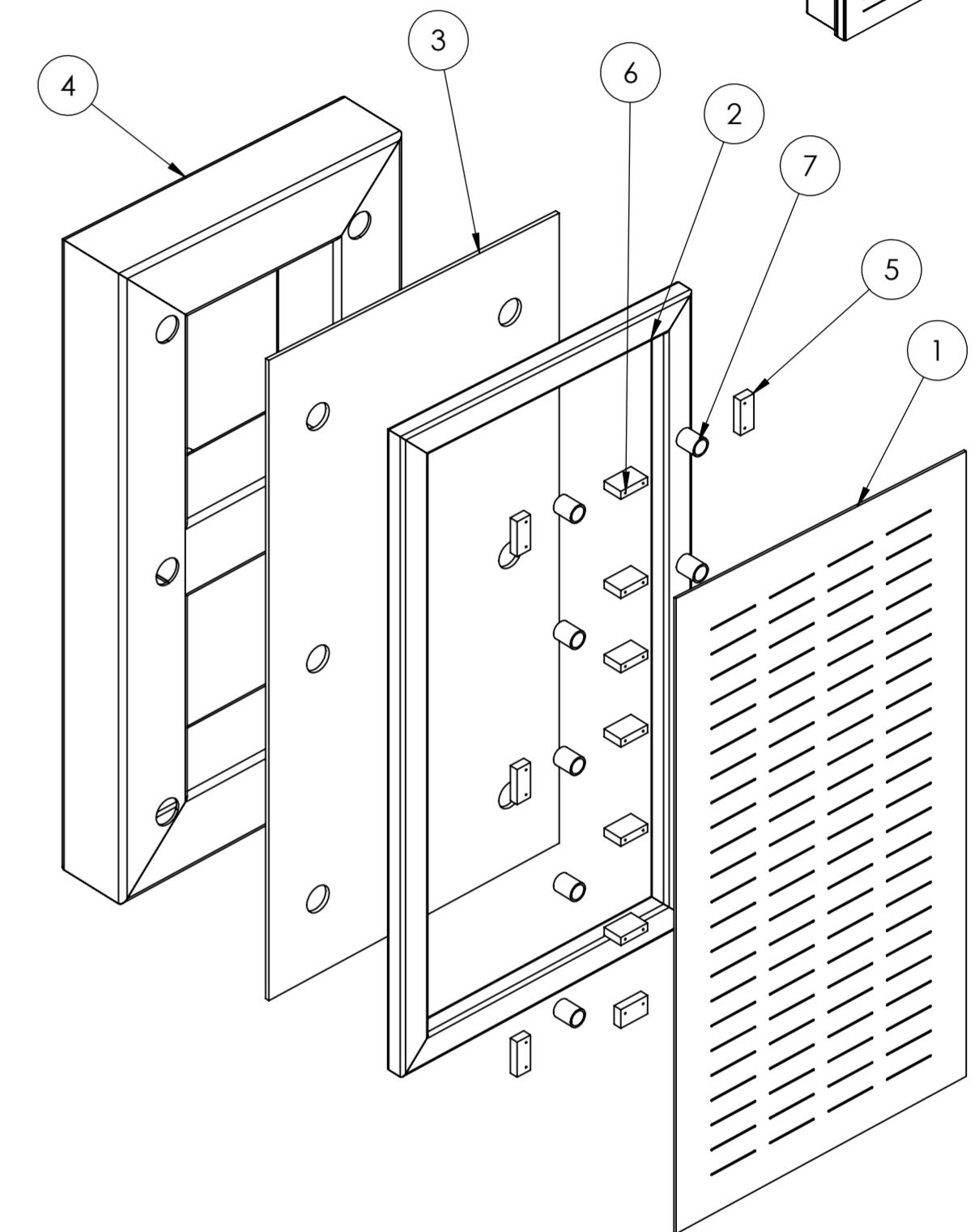
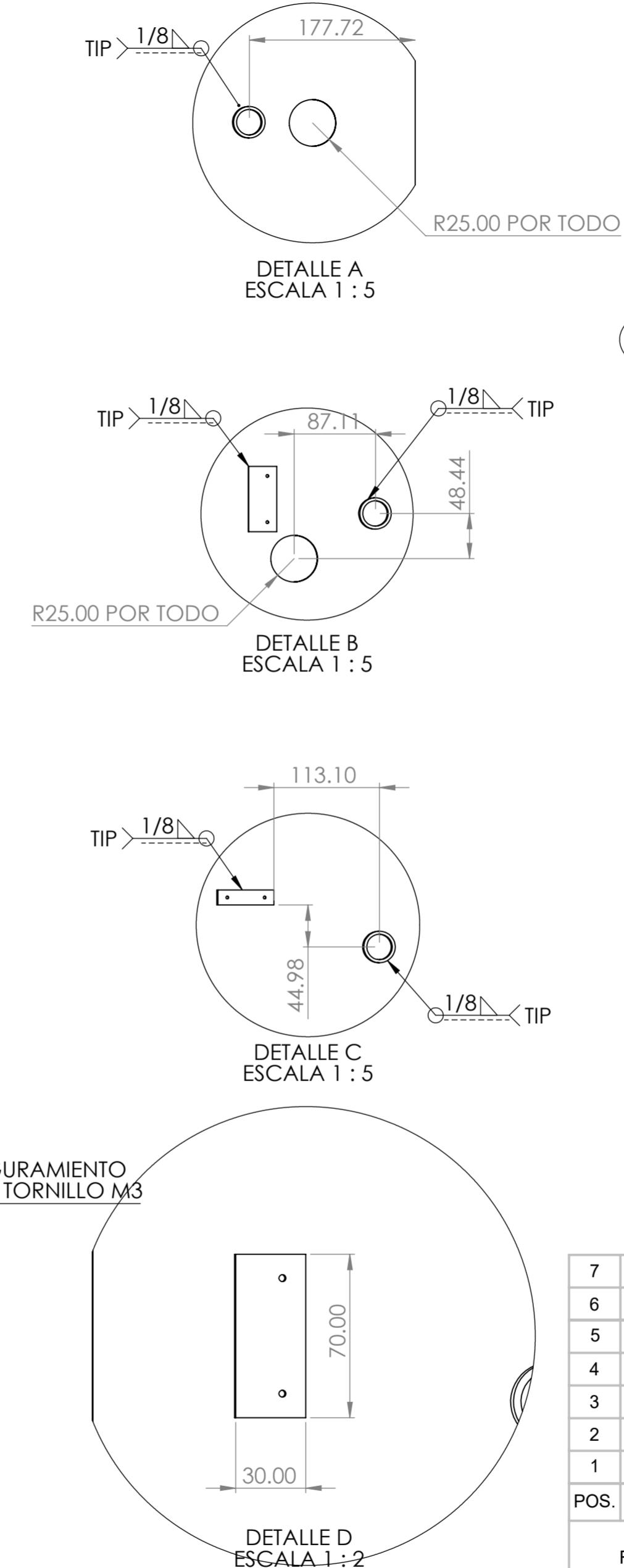
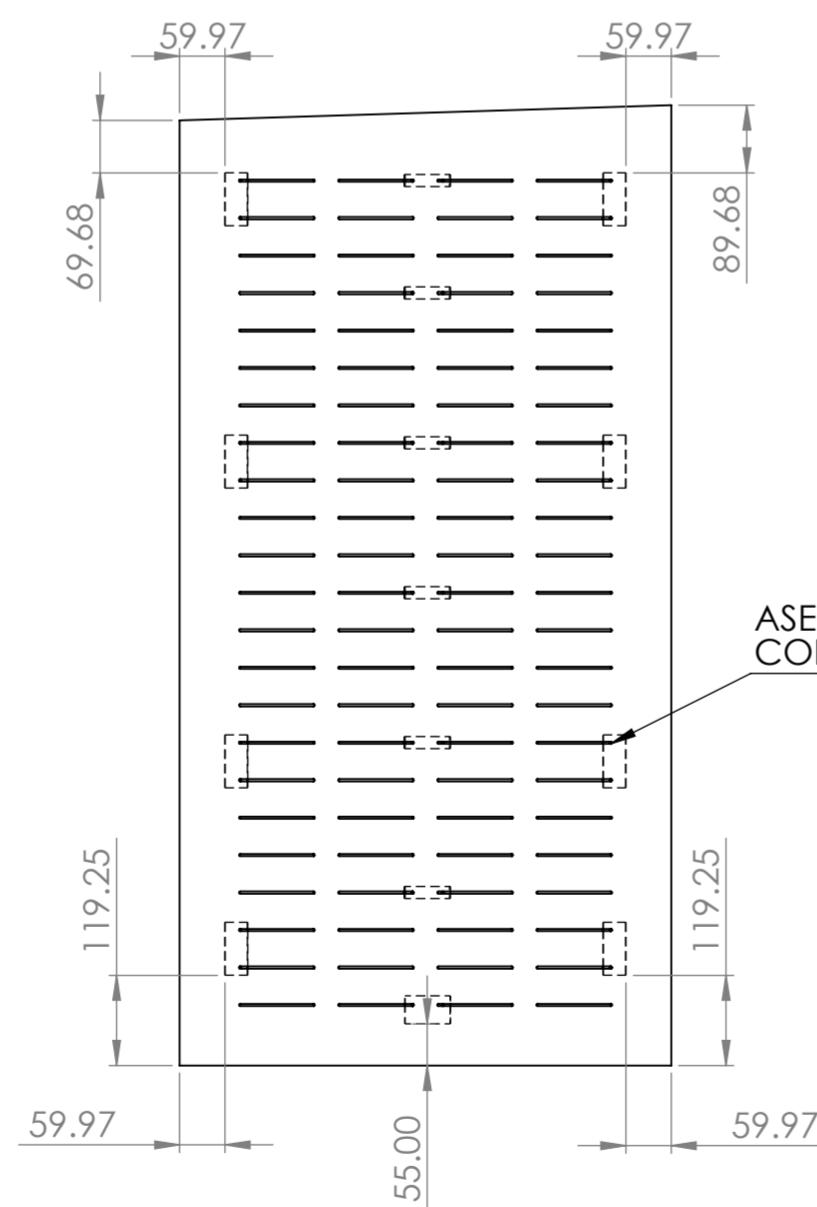
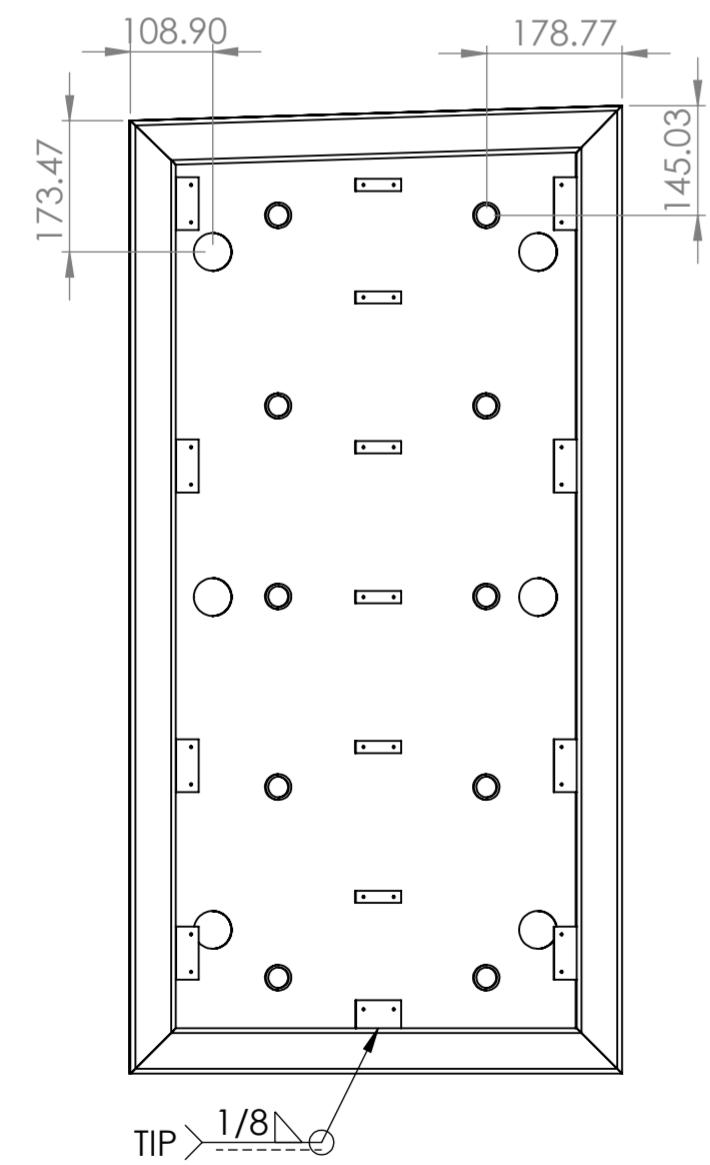
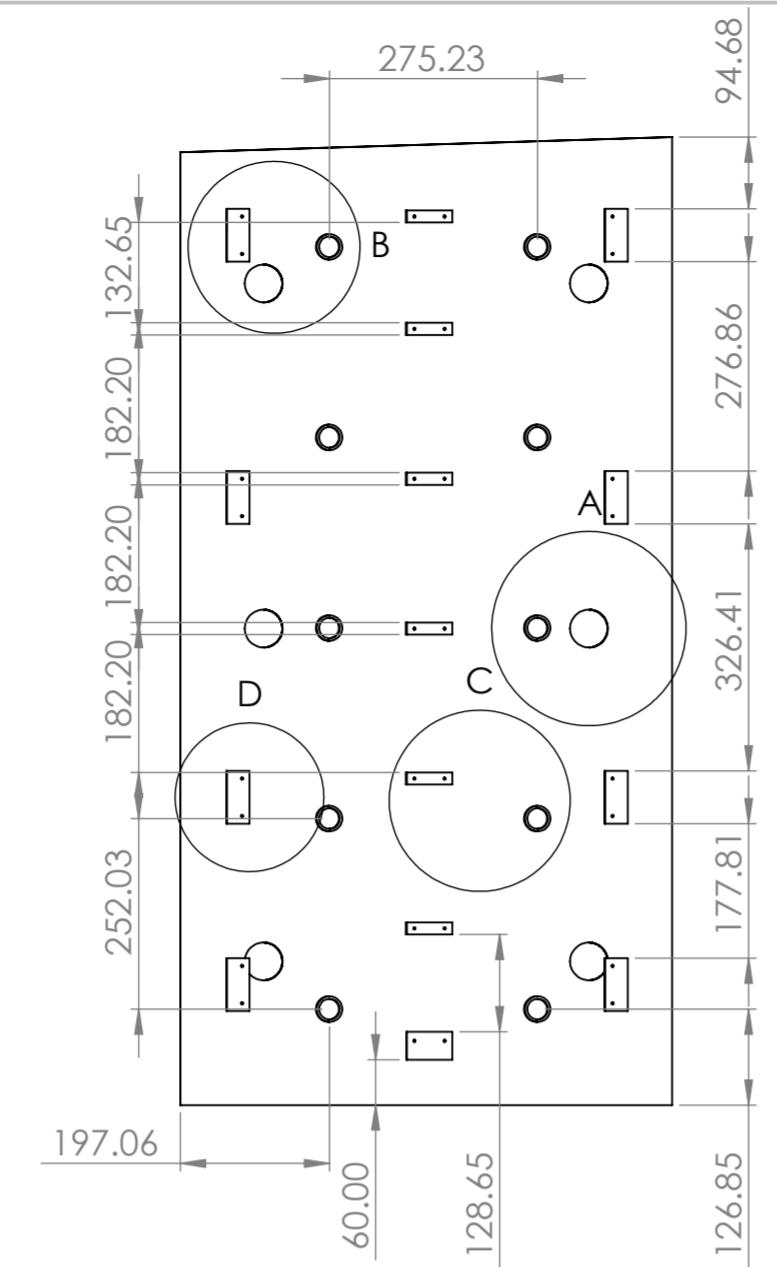
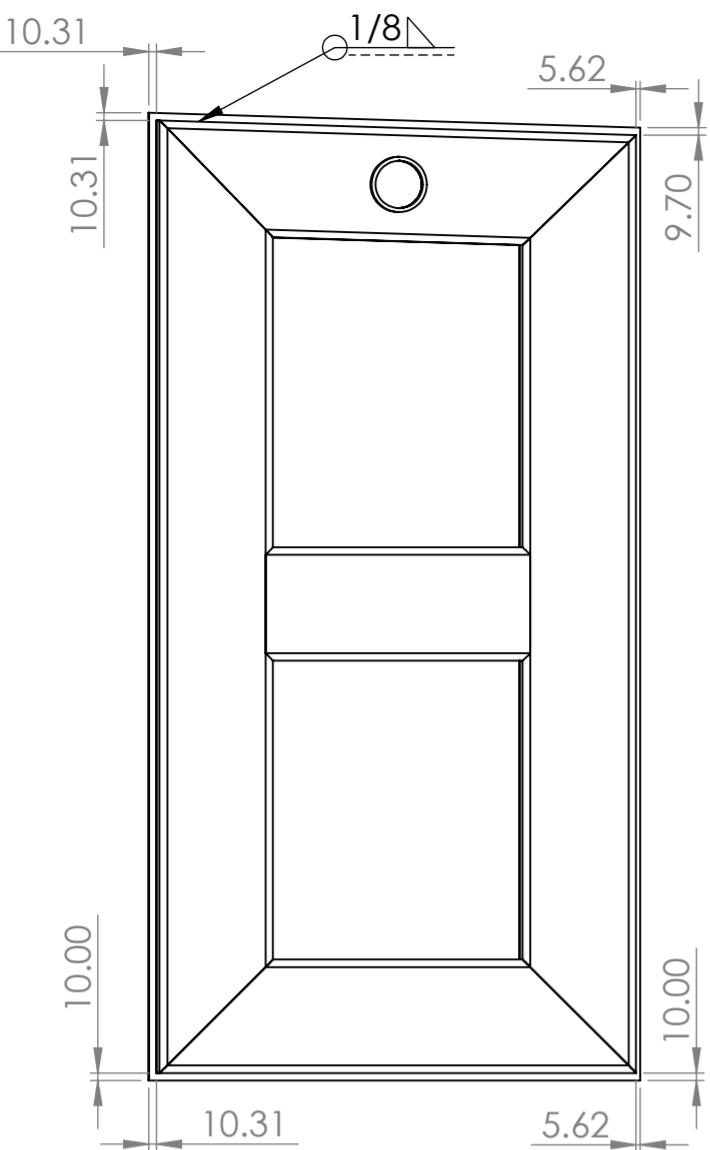
| POS. CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|-----------|-----------------------------|----------|---------------|
| 7 10 | TOPE DE APOYO CILINDRICO | ACERO | ASTM A36 |
| 6 7 | TOPE DE MARCO | ACERO | ASTM A36 |
| 5 8 | TOPE DE MARCO CENTRAL | ACERO | ASTM A36 |
| 4 1 | DUCTO SUPERIOR | ACERO | ASTM A500 |
| 3 1 | PLANCHAS POSTERIOR INTERIOR | ACERO | ASTM A36 |
| 2 1 | MARCO PUERTA | ACERO | ASTM A36 |
| 1 1 | PLANCHAS POSTERIOR | ACERO | 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: | PLANO: | 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" | 1:10 |
| RESPONSABLES: | PLANO: | SUB ENSAMBLE - BLOQUE LATERAL DERECHA | FECHA: |
| Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | RESPONSABLES: | | 15/06/25 |
| ASESOR: | FORMATO: | | A2 |
| Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | 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.



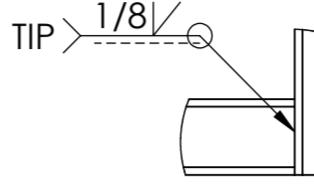
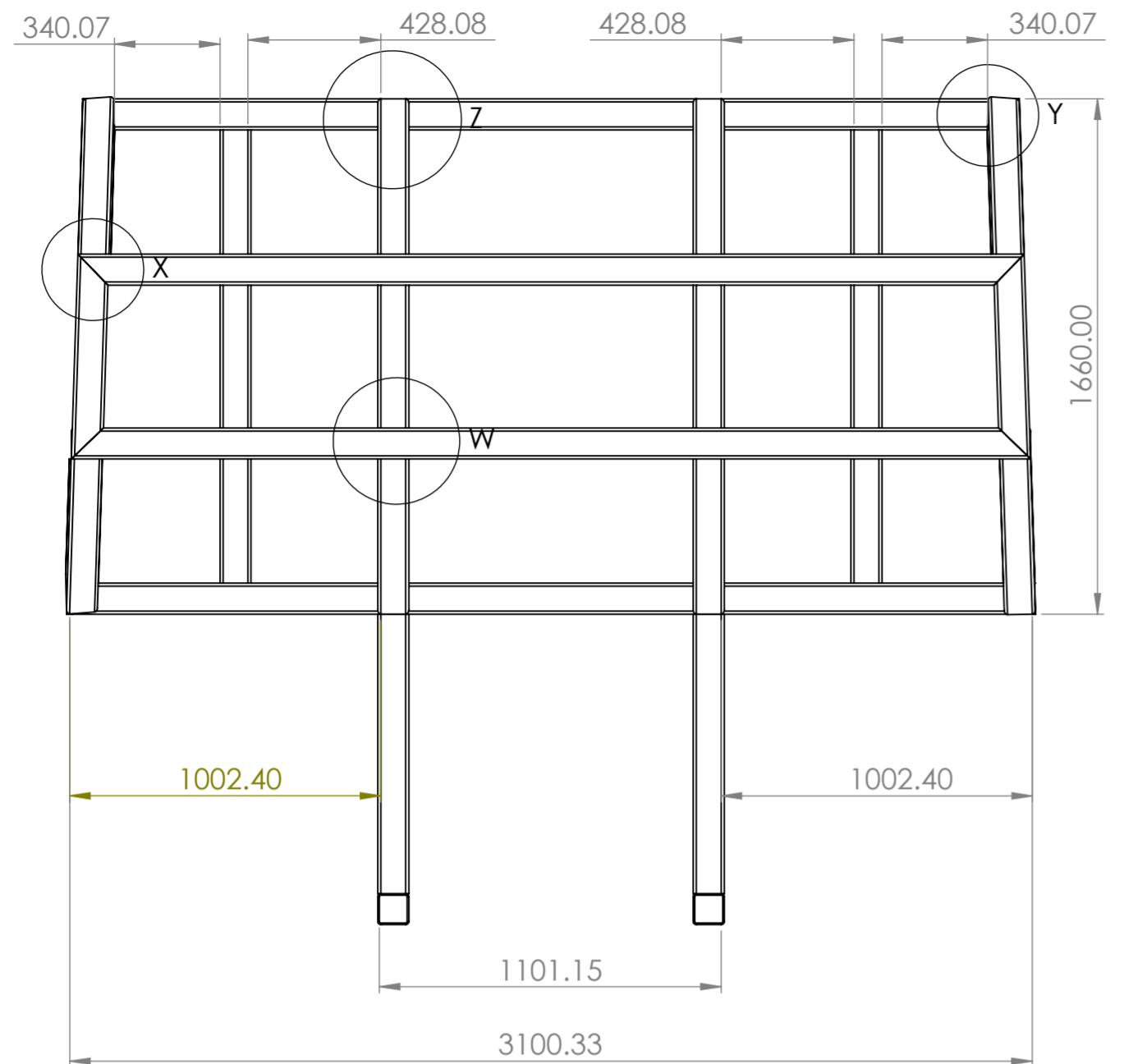
| POS. CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|-----------|-----------------------------|----------|---------------|
| 7 10 | TOPE DE APOYO CILINDRICO | ACERO | ASTM A36 |
| 6 7 | TOPE DE MARCO | ACERO | ASTM A36 |
| 5 8 | TOPE DE MARCO CENTRAL | ACERO | ASTM A36 |
| 4 1 | DUCTO SUPERIOR | ACERO | ASTM A500 |
| 3 1 | PLANCHAS POSTERIOR INTERIOR | ACERO | ASTM A36 |
| 2 1 | MARCO | ACERO | ASTM A36 |
| 1 1 | PLANCHAS POSTERIOR | ACERO | ASTM A36 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

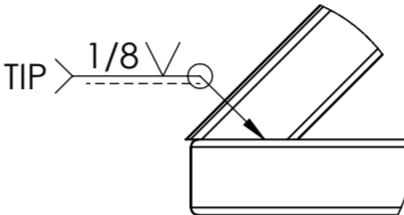
| | | | |
|-----------------------|----------|--|--------------------|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | PLANO: | TESIS: | ESCALA: |
| | | "DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO CON EL 15% DE MATERIAL RECICLADO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO) DE 2,4 m3 CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m3 CUSCO, 2021" | 1:10 |
| RESPONSABLES: | PLANO: | SUB ENSAMBLE - BLOQUE LATERAL IZQUIERDO | FECHA: 15/06/25 |
| ASESOR: | FORMATO: | Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | A2 |
| | HOJA: | Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | SE-06 |

NOTA:

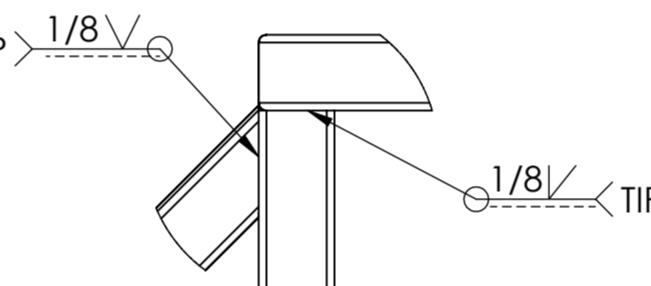
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.



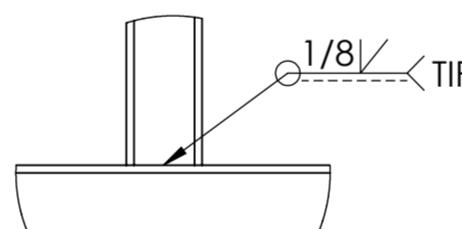
DETALLE A
ESCALA 1 : 10



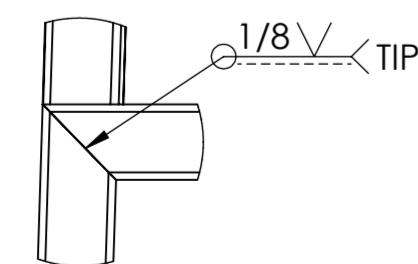
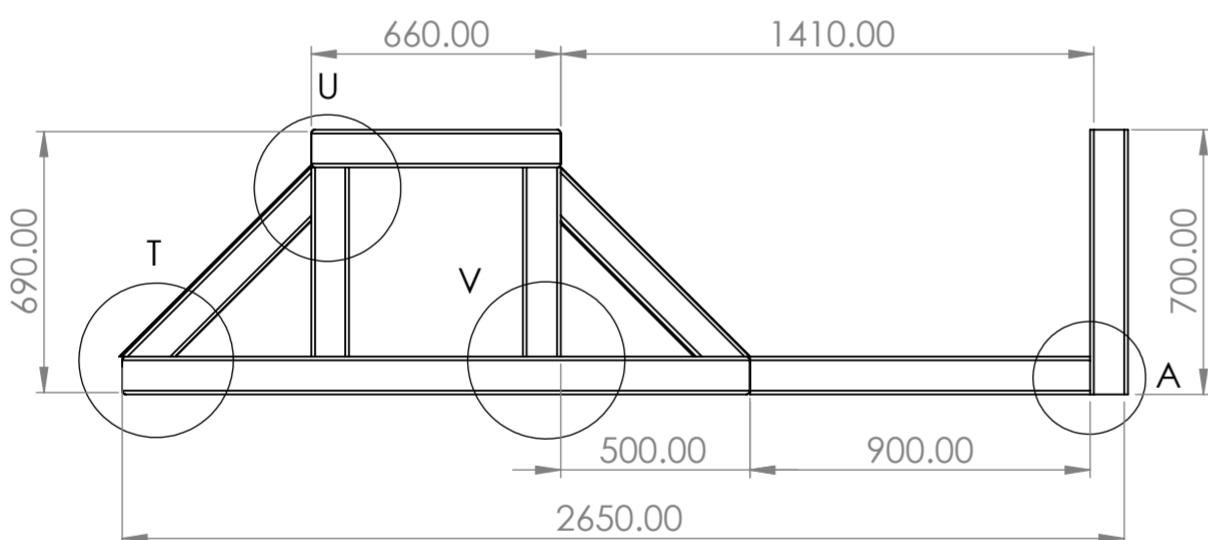
DETALLE T
ESCALA 1 : 10



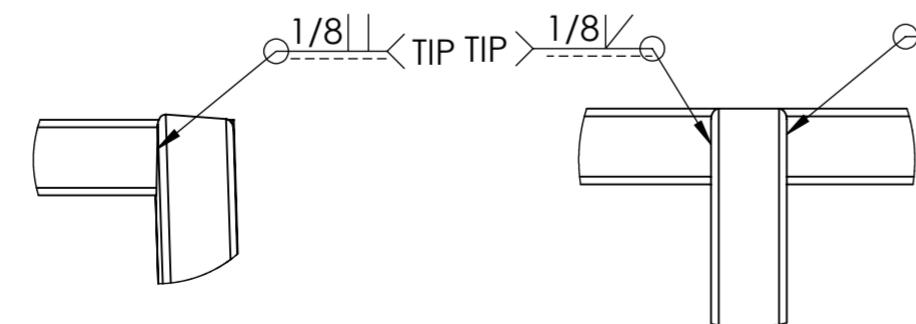
DETALLE U
ESCALA 1 : 10



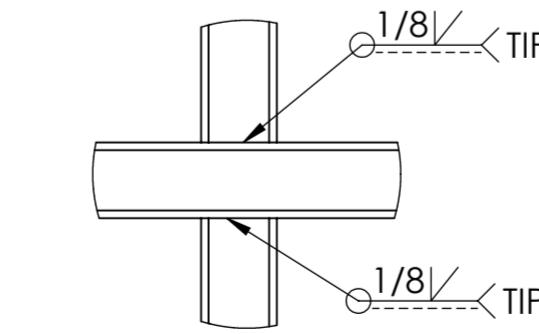
DETALLE V
ESCALA 1 : 10



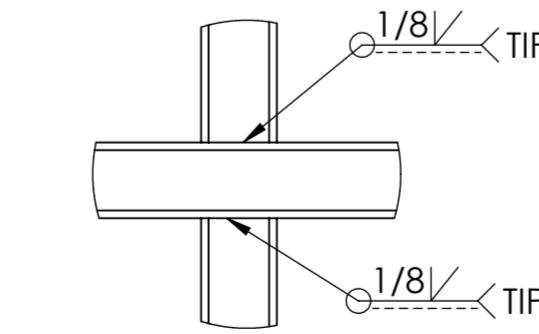
DETALLE X
ESCALA 1 : 10



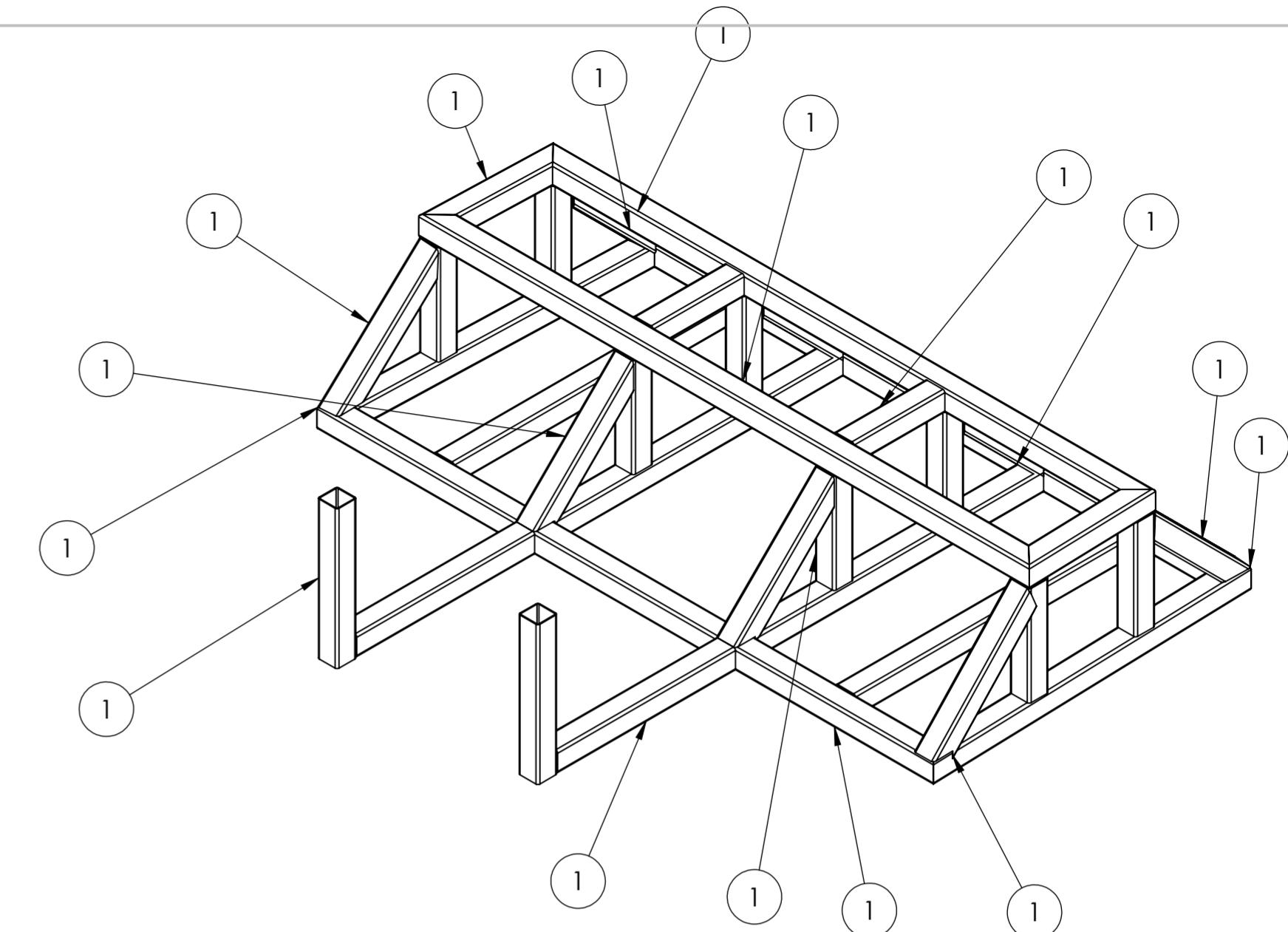
DETALLE Y
ESCALA 1 : 10



DETALLE Z
ESCALA 1 : 10



DETALLE W
ESCALA 1 : 10

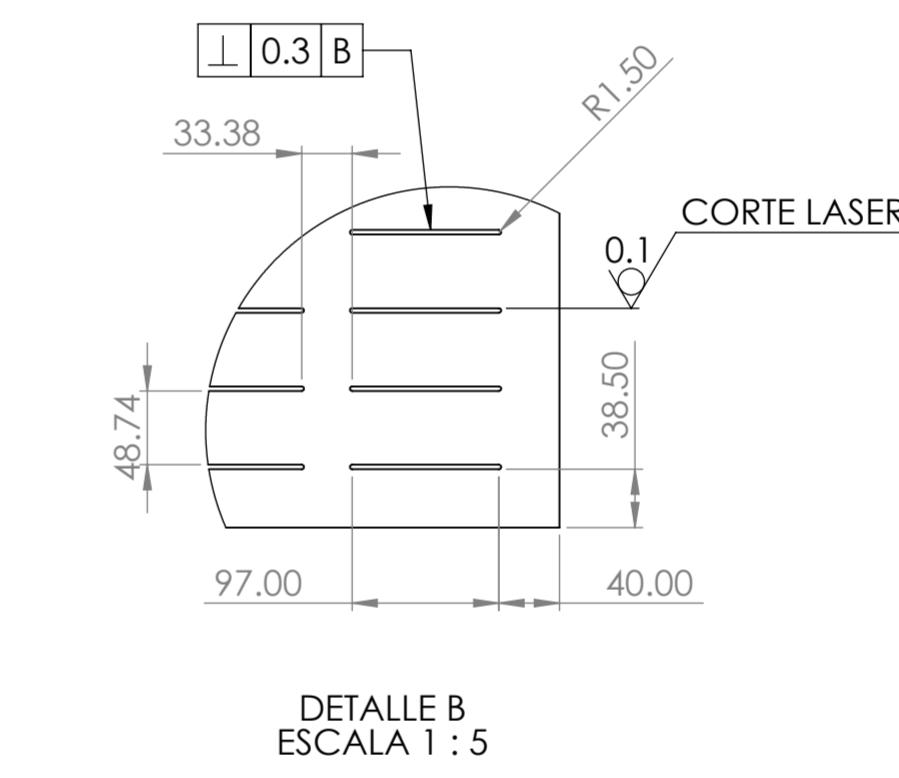
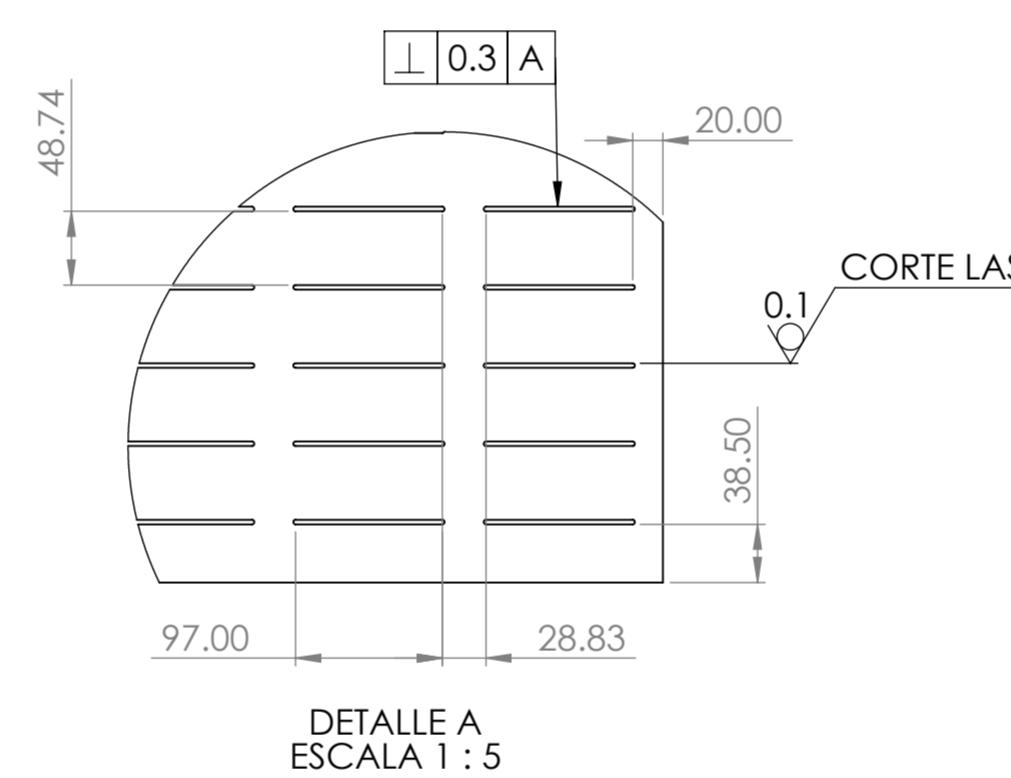
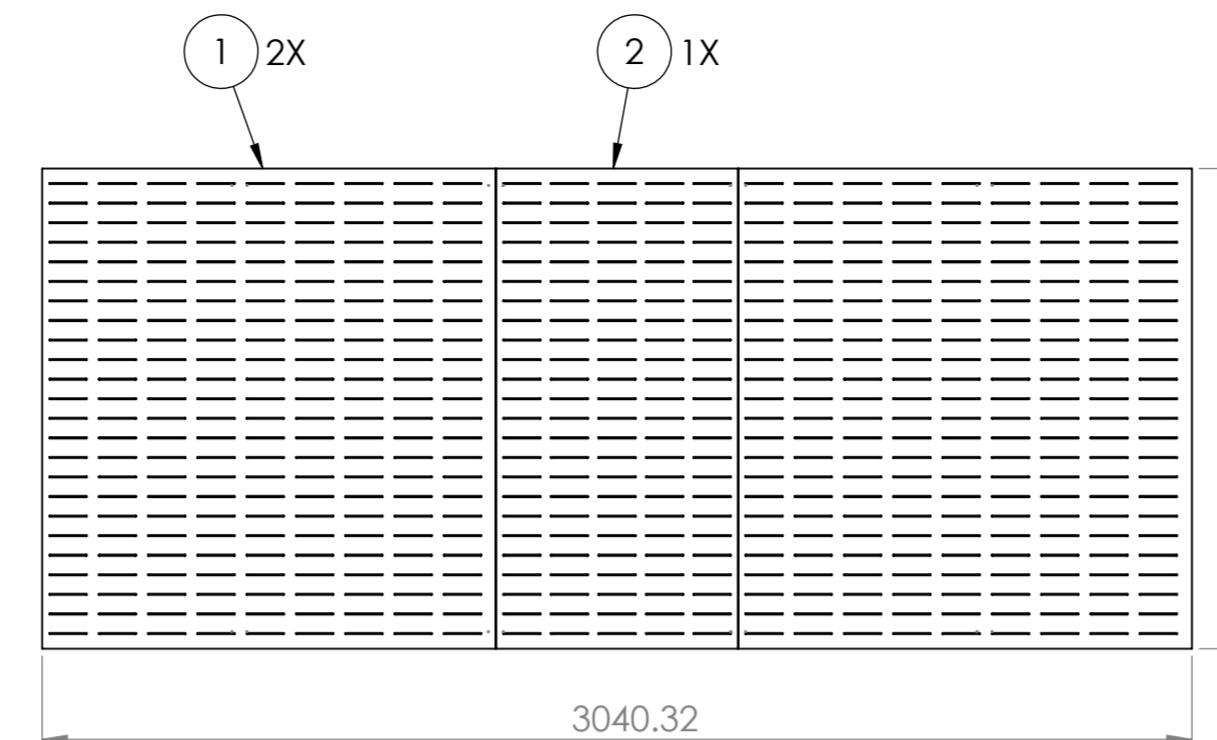
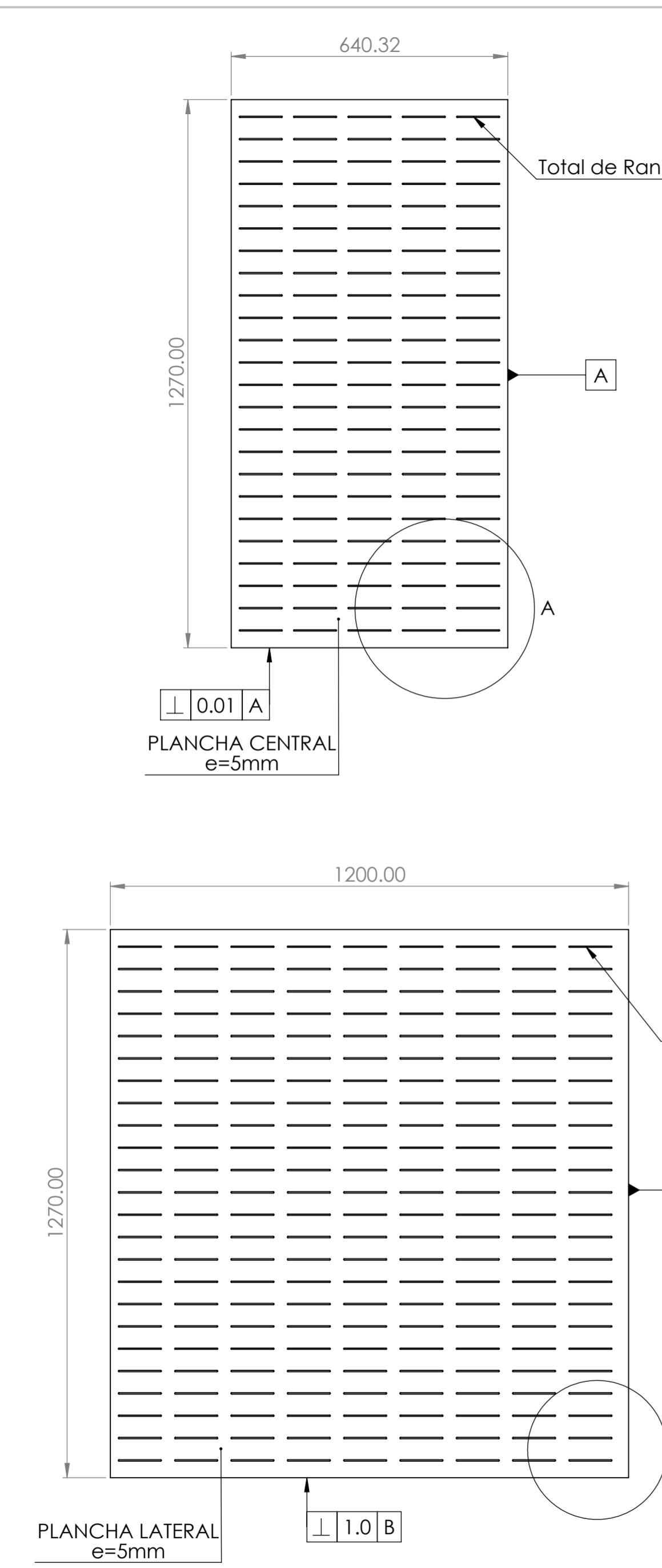


NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

| 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: | PLANO: | ESCALA: |
| | SUB ENSAMBLE - ESTRUCTURA DE SOPORTE | 1:10 |
| RESPONSABLES: | TESIS: | FECHA: |
| Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | "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" | 15/06/25 |
| ASESOR: | FORMATO: | HOJA: |
| Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | A2 | SE-07 |



NOTA:

- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

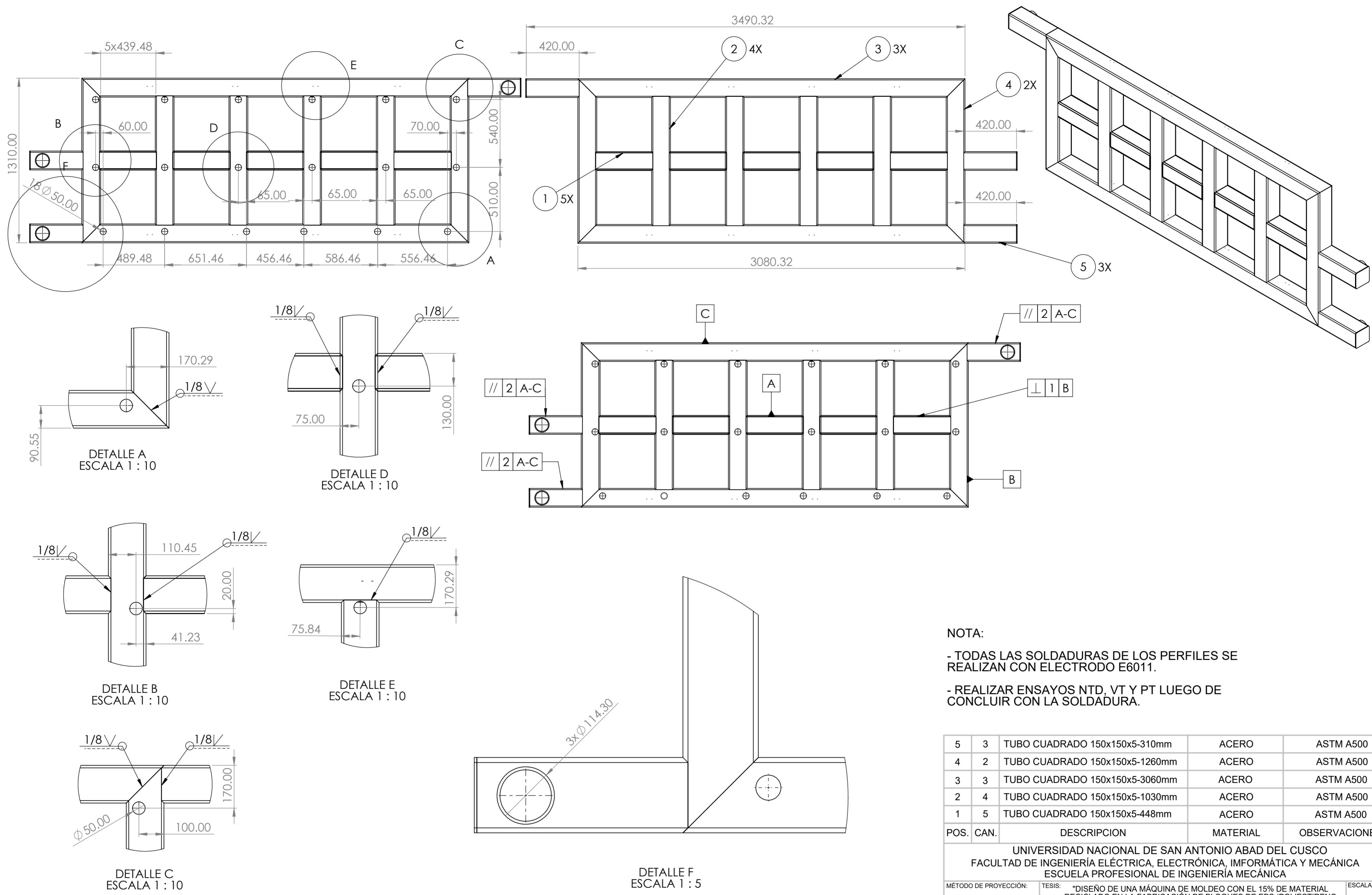
| 2 | 1 | PLANCHA CENTRAL | ACERO | ASTM A36 |
|------|------|-----------------|----------|---------------|
| 1 | 2 | PLANCHA LATERAL | ACERO | ASTM A36 |
| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

| | | |
|-----------------------|--|----------|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | PLANO: | ESCALA: |
| | PLANCHA INTERIOR DE MOLDE - BLOQUE DELANTERO (PUERTA) | 1:10 |
| | | |
| | | |
| RESPONSABLES: | | FECHA: |
| ASESOR: | Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | 15/06/25 |
| | Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | FORMATO: |
| | | A2 |
| | | HOJA: |
| | | SE-C-01 |

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:

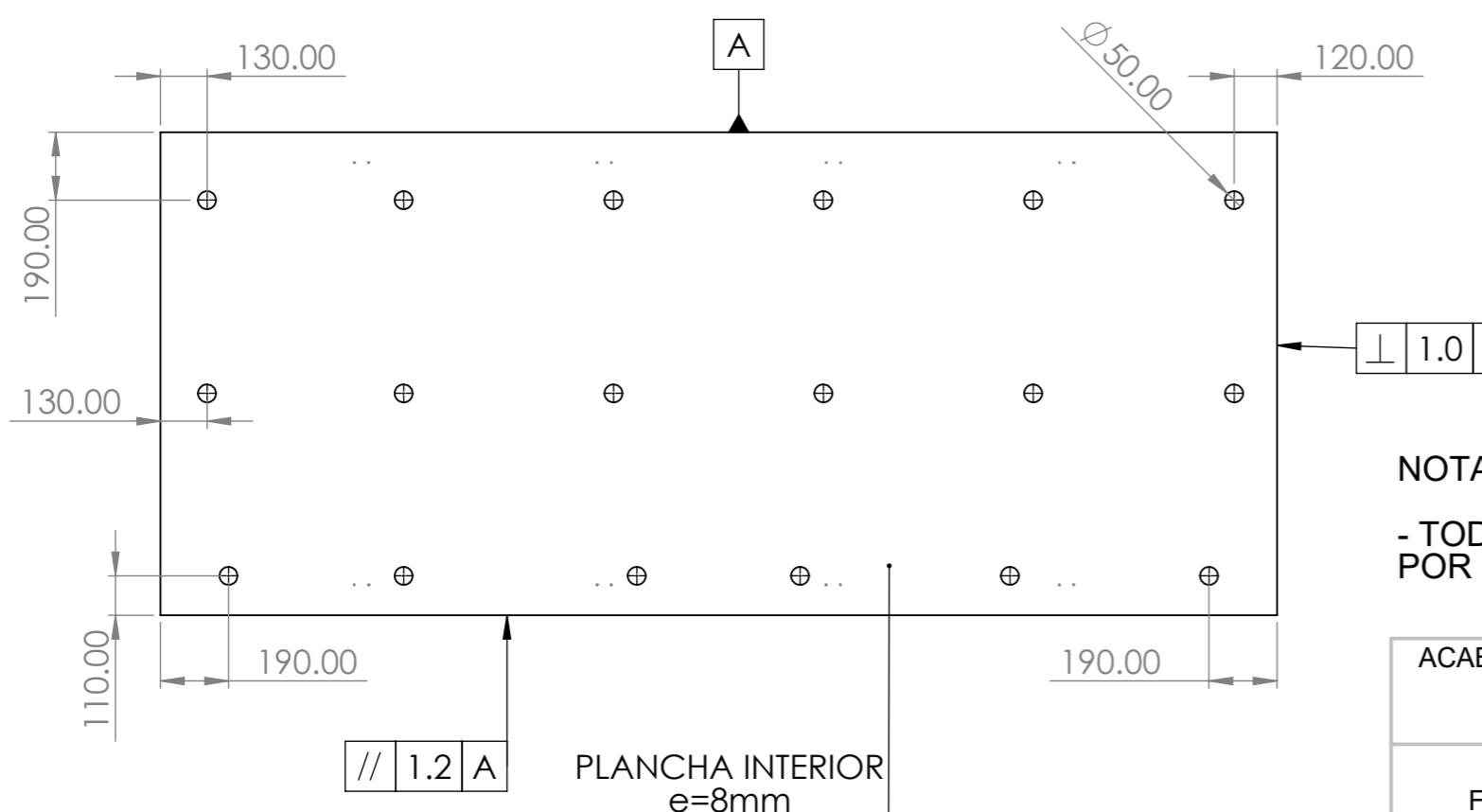
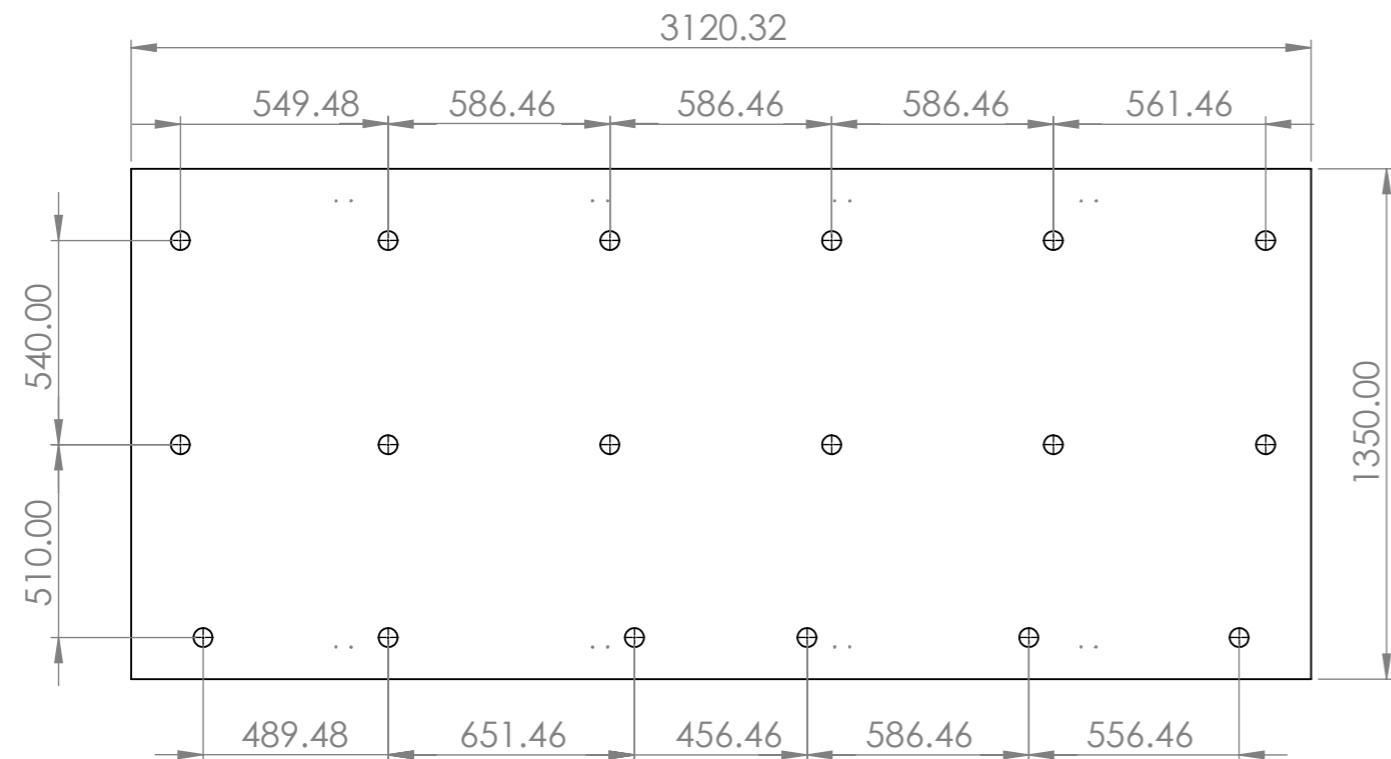
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|------|------|--------------------------------|----------|---------------|
| 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 |

| | | |
|-----------------------|--|--|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | PLANO: | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |
| | | "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" |
| RESPONSABLES: | DUCTO POSTERIOR - BLOQUE DELANTERO (PUERTA) | ESCALA: |
| ASESOR: | Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | 1:20 |
| | Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | FECHA: 15/06/25 |
| | | FORMATO: A2 |
| | | HOJA: SE-C-02 |

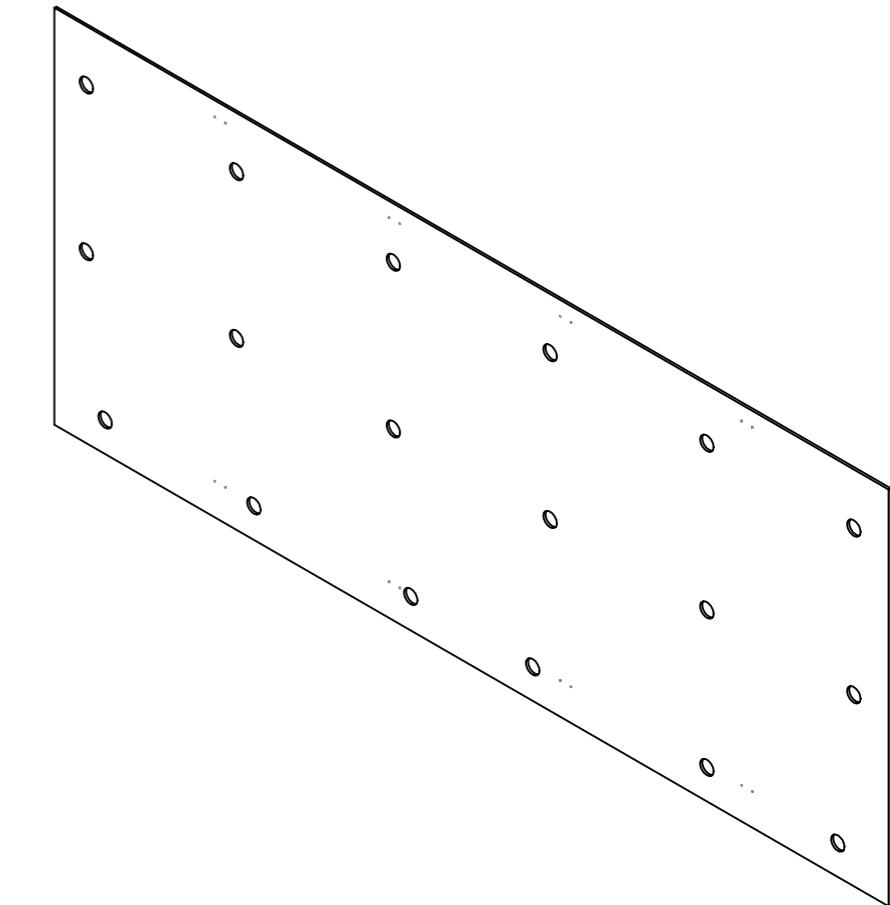
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168

| 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 |



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168

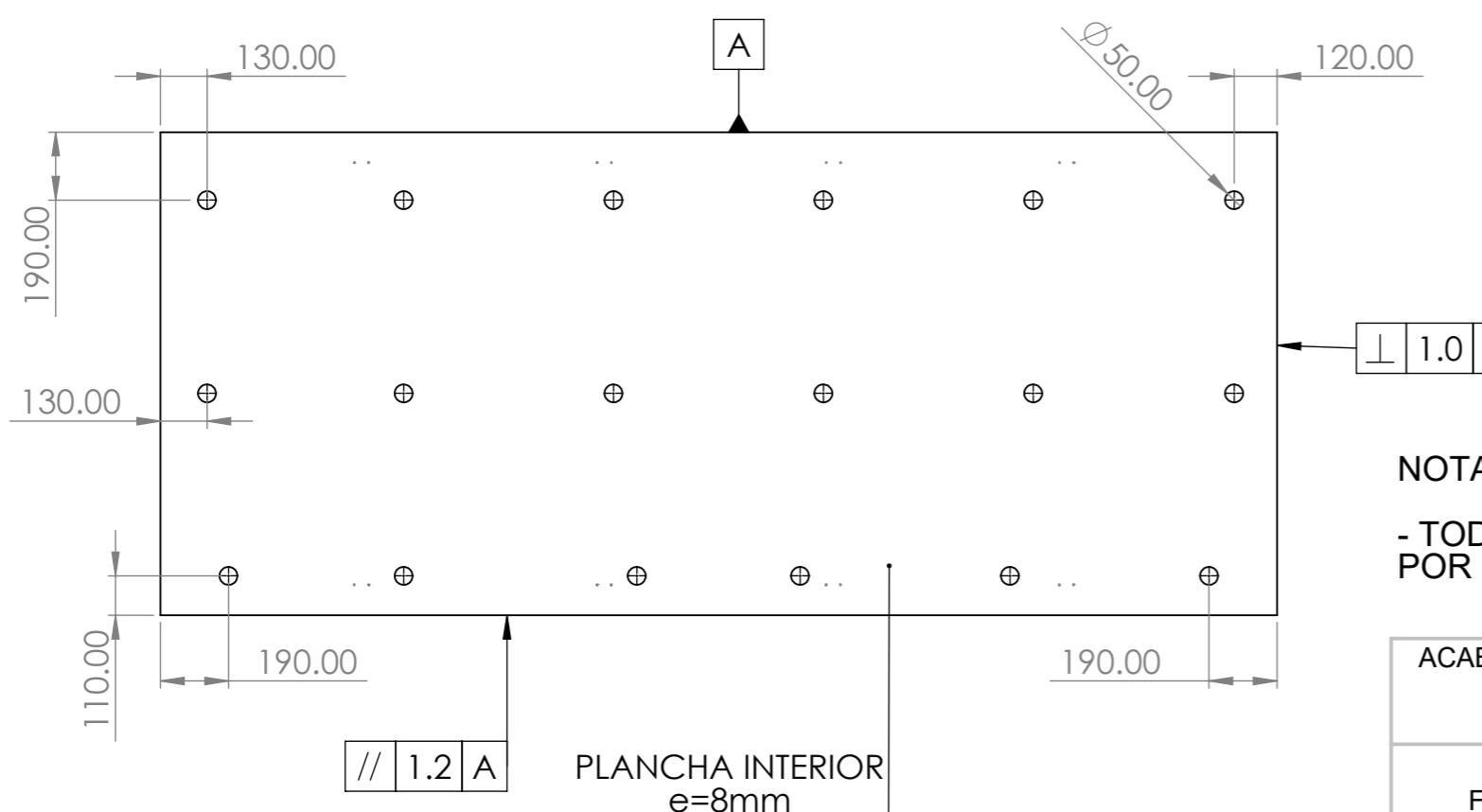
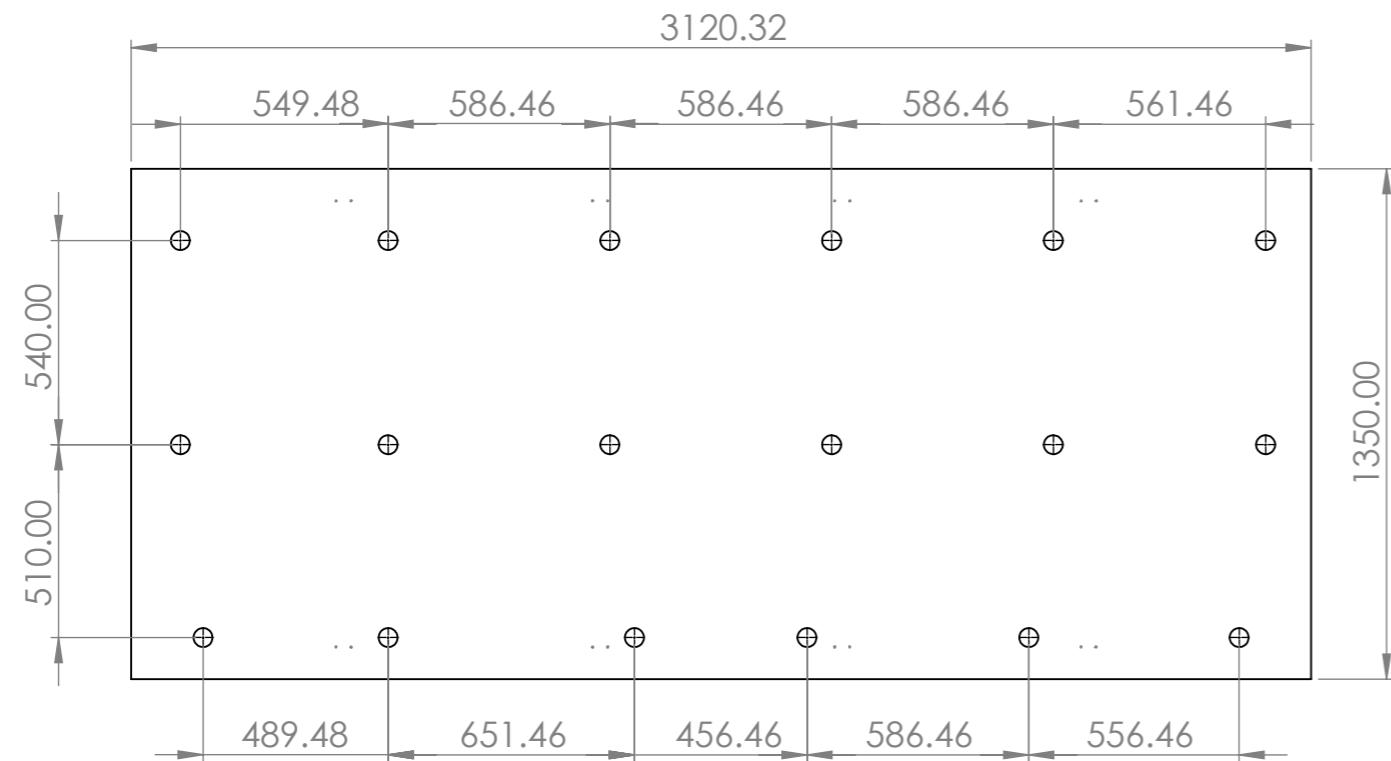
| GRADO DE EXACTITUD | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| MEDIO | ±0.1 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.8 | ±1.2 |



NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

| 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" | 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 |



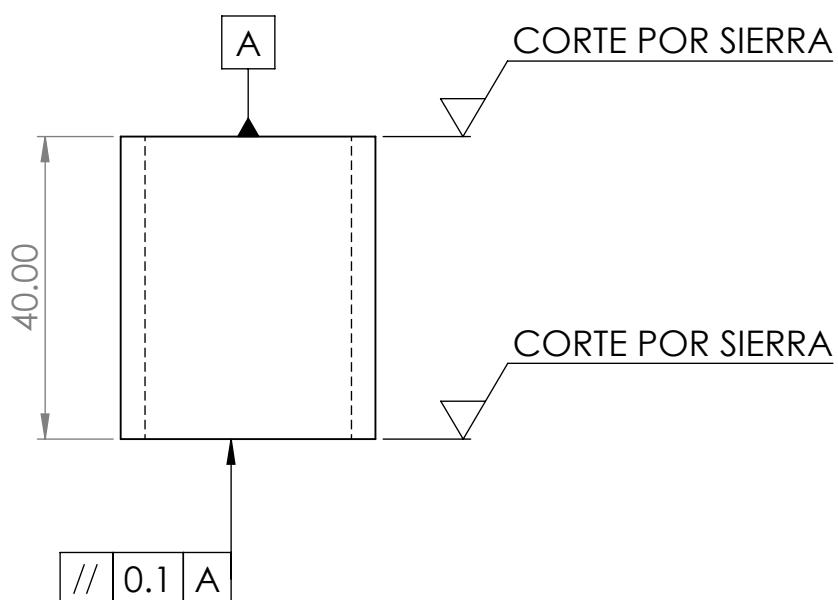
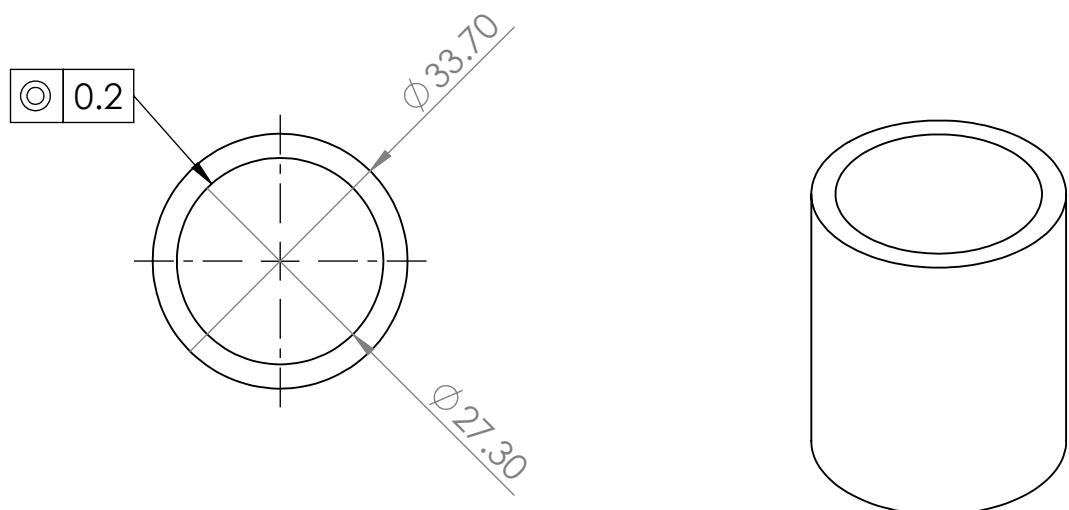
NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 50mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

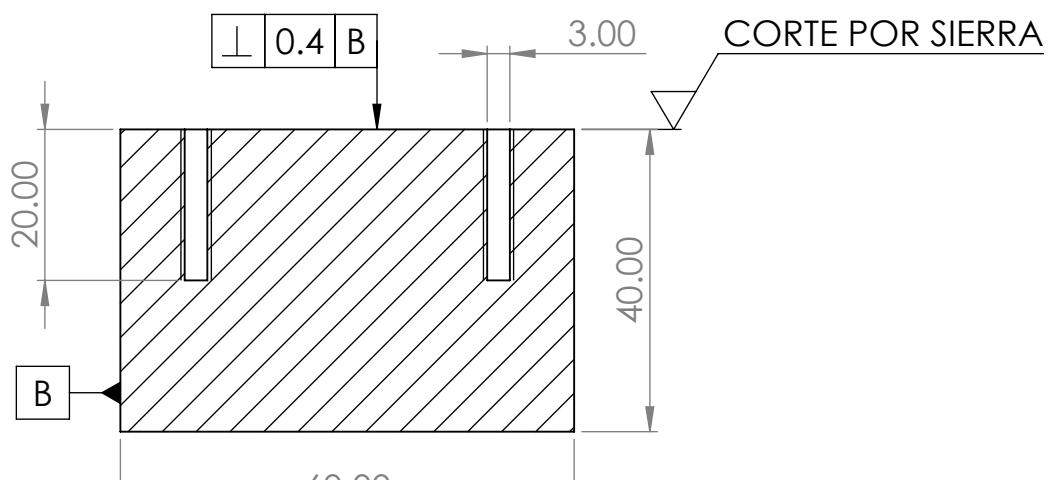
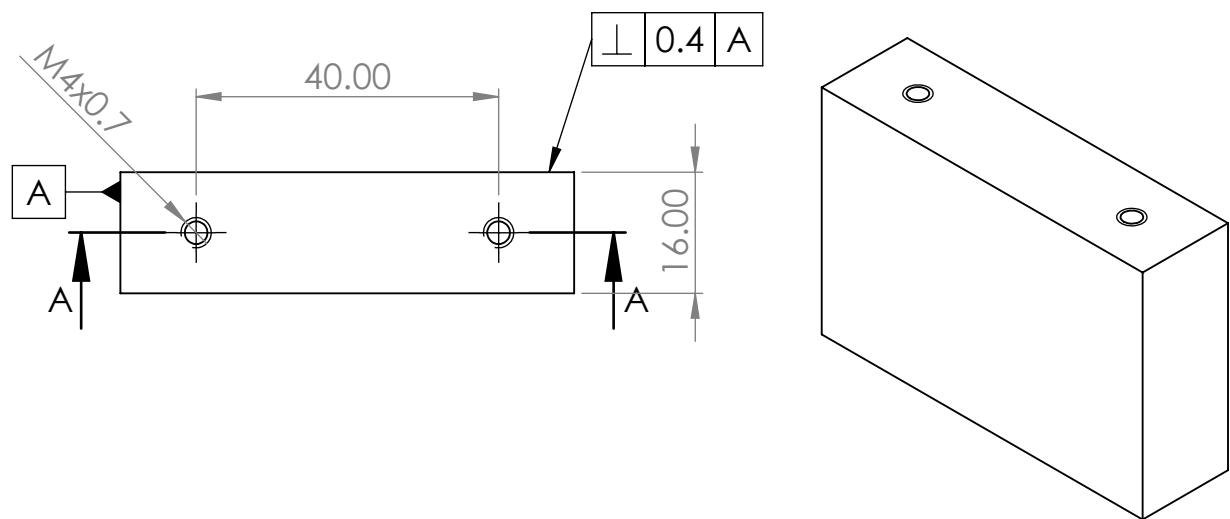
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL ASTM A36 |
|---|--|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| MÉTODO 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 ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" PLANO: PLANCHA PUERTA INTERIOR - BLOQUE DELANTERO (PUERTA) | ESCALA: 1:20 FECHA: 15/11/24 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-04 |
| 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 | RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA |
| MEDIO | ±0.1 ±0.2 ±0.3 ±0.5 ±0.8 ±1.2 | |

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 |

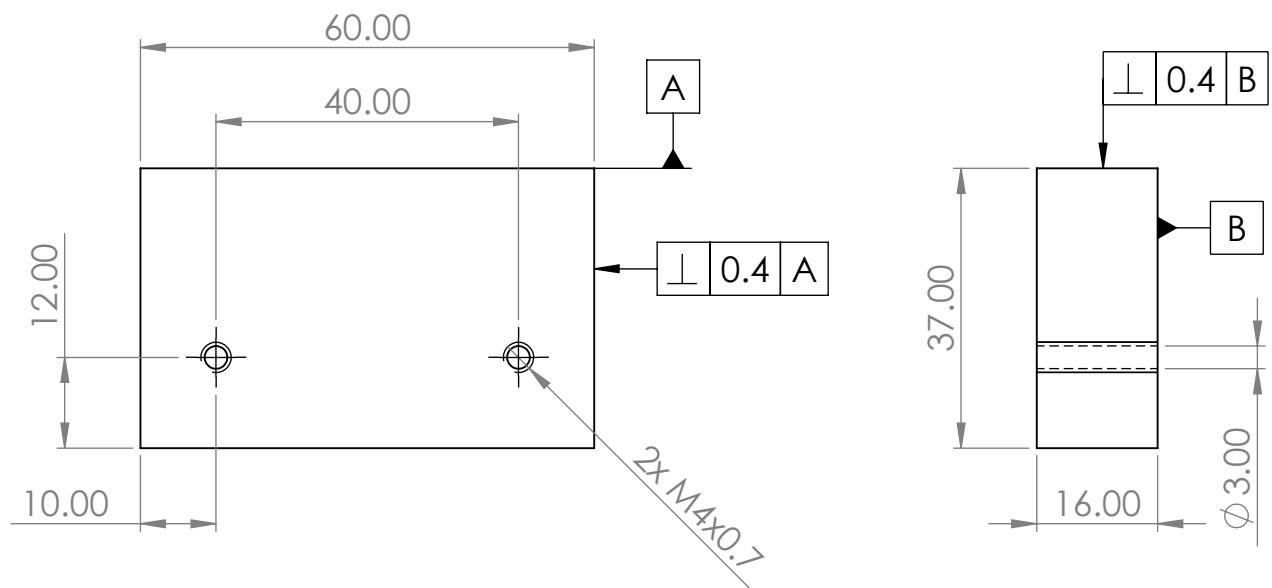
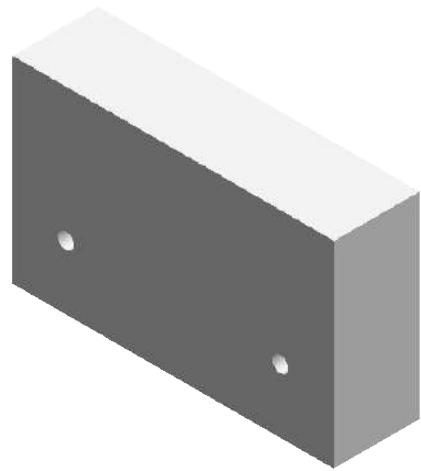


| | | |
|---|--|--------------------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL ASTM A36 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL 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: 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 |

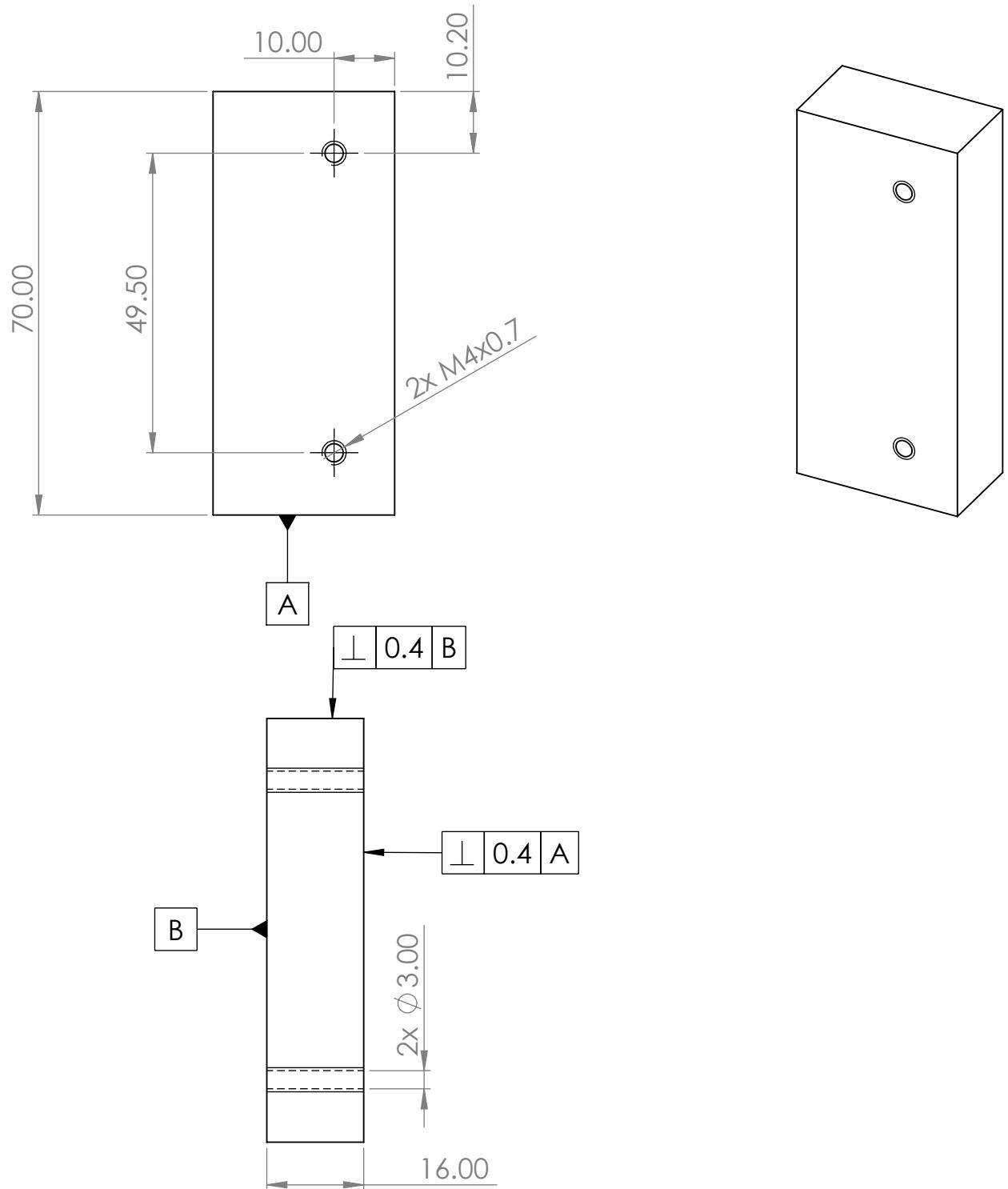


SECCIÓN A-A

| | | |
|--|--|--------------------------------------|
| 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 |
| 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 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-06 |



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"

ESCALA:

1:1

PLANO:

SEGUNDO TOPE ENTRE MARCO

FECHA:
15/06/25

RESPONSABLES:

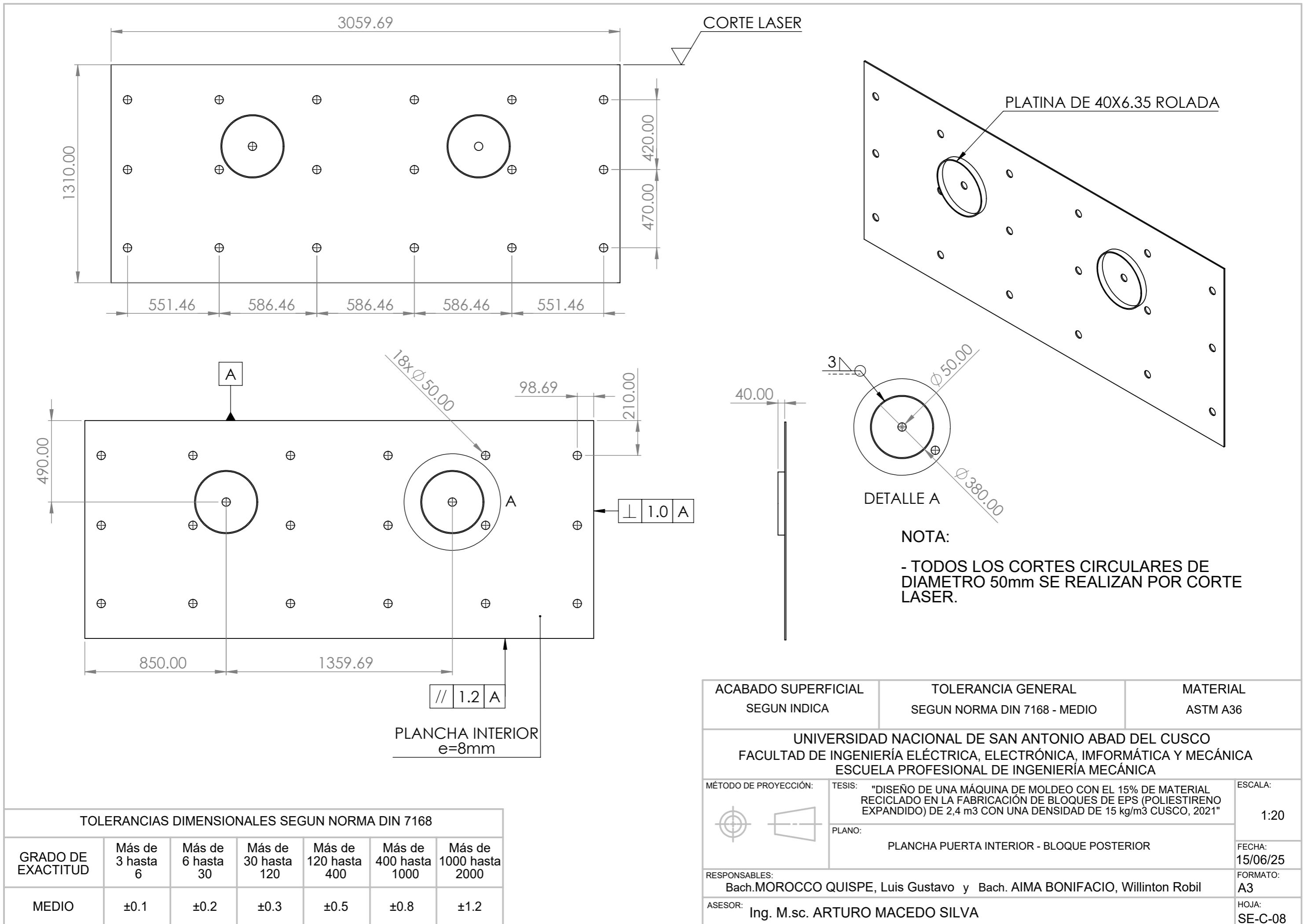
Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

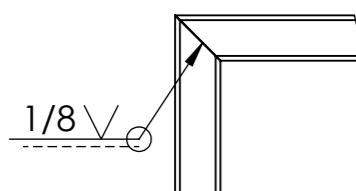
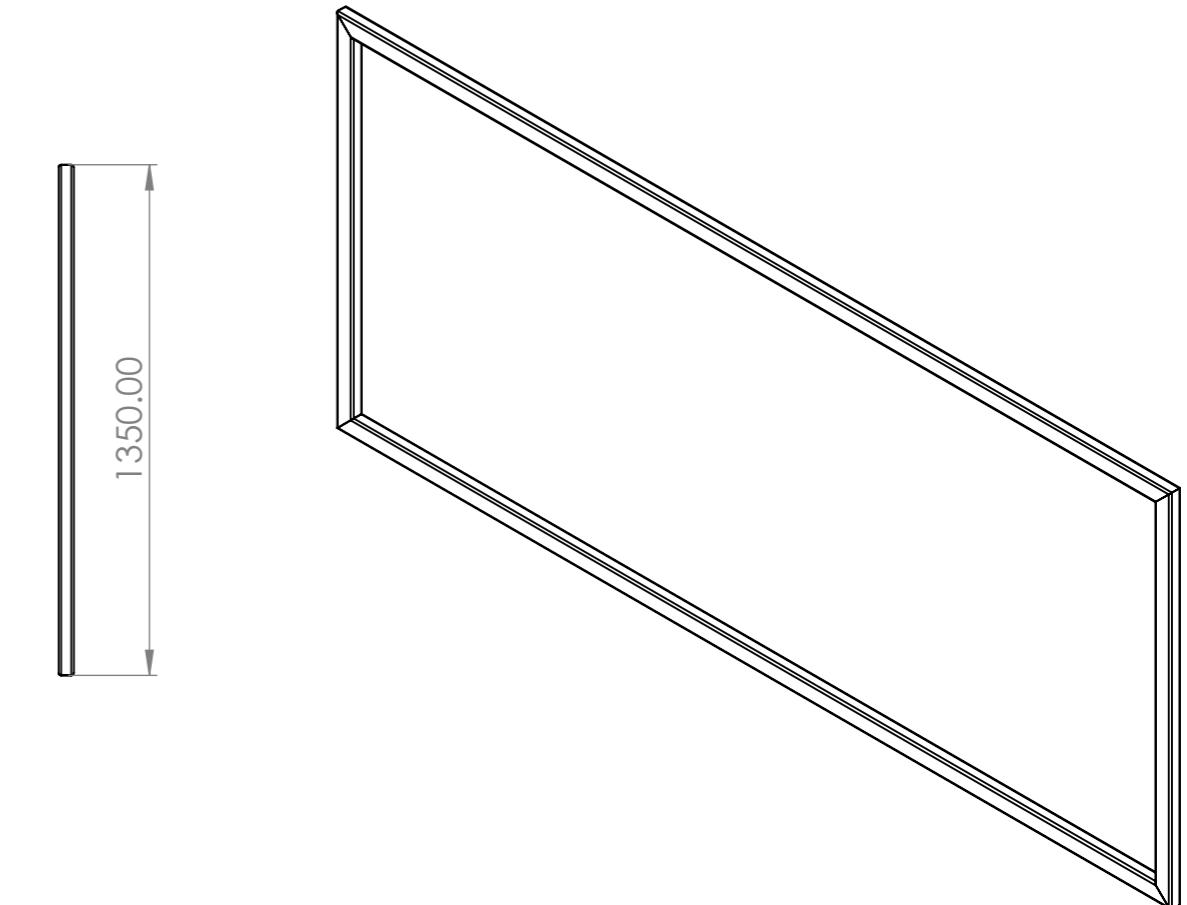
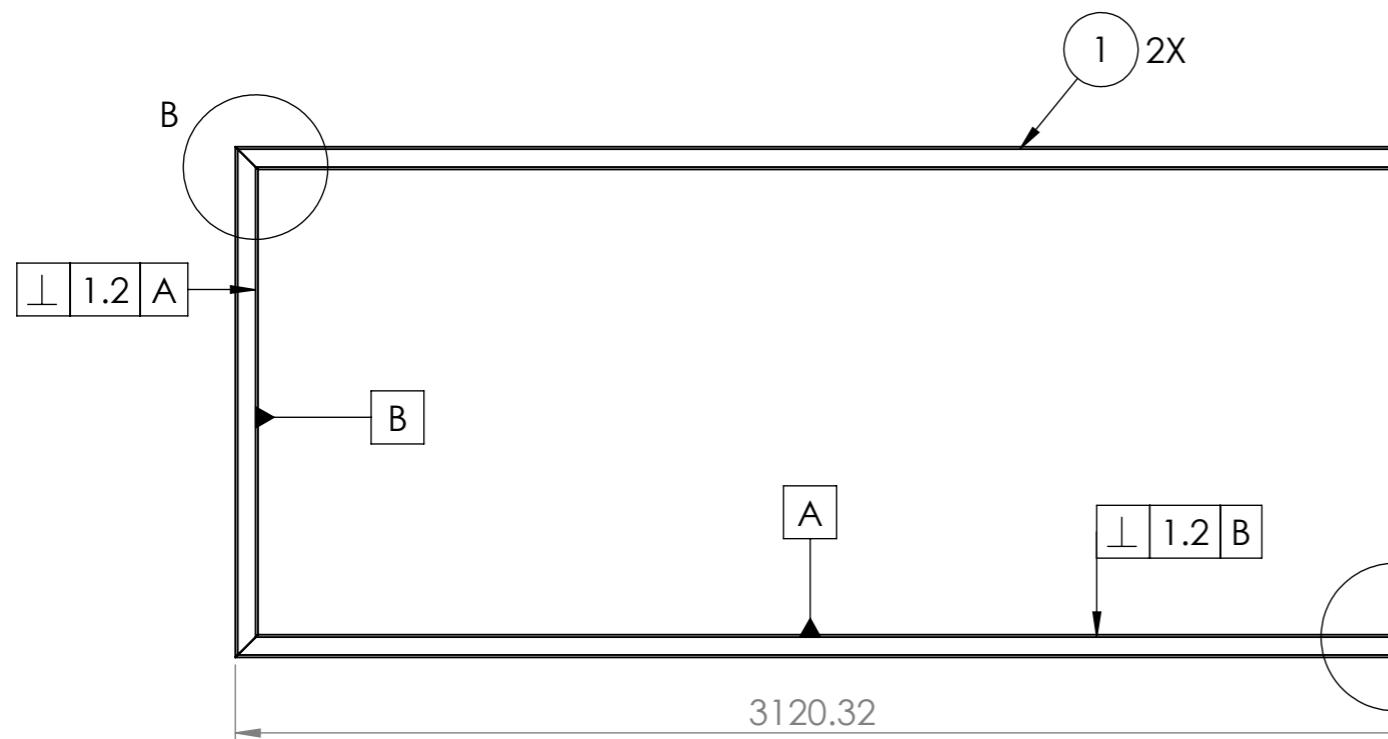
FORMATO:
A4

ASESOR:

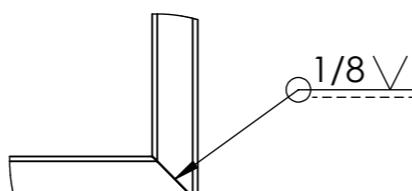
Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

HOJA:
SE-C-07





DETALLE B ESCALA 1 : 10



DETALLE A ESCALA 1 : 10

NOTA

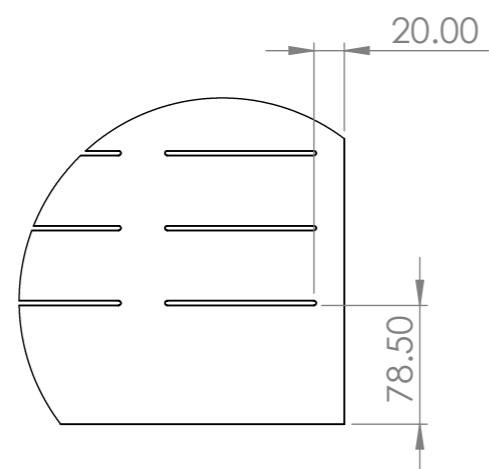
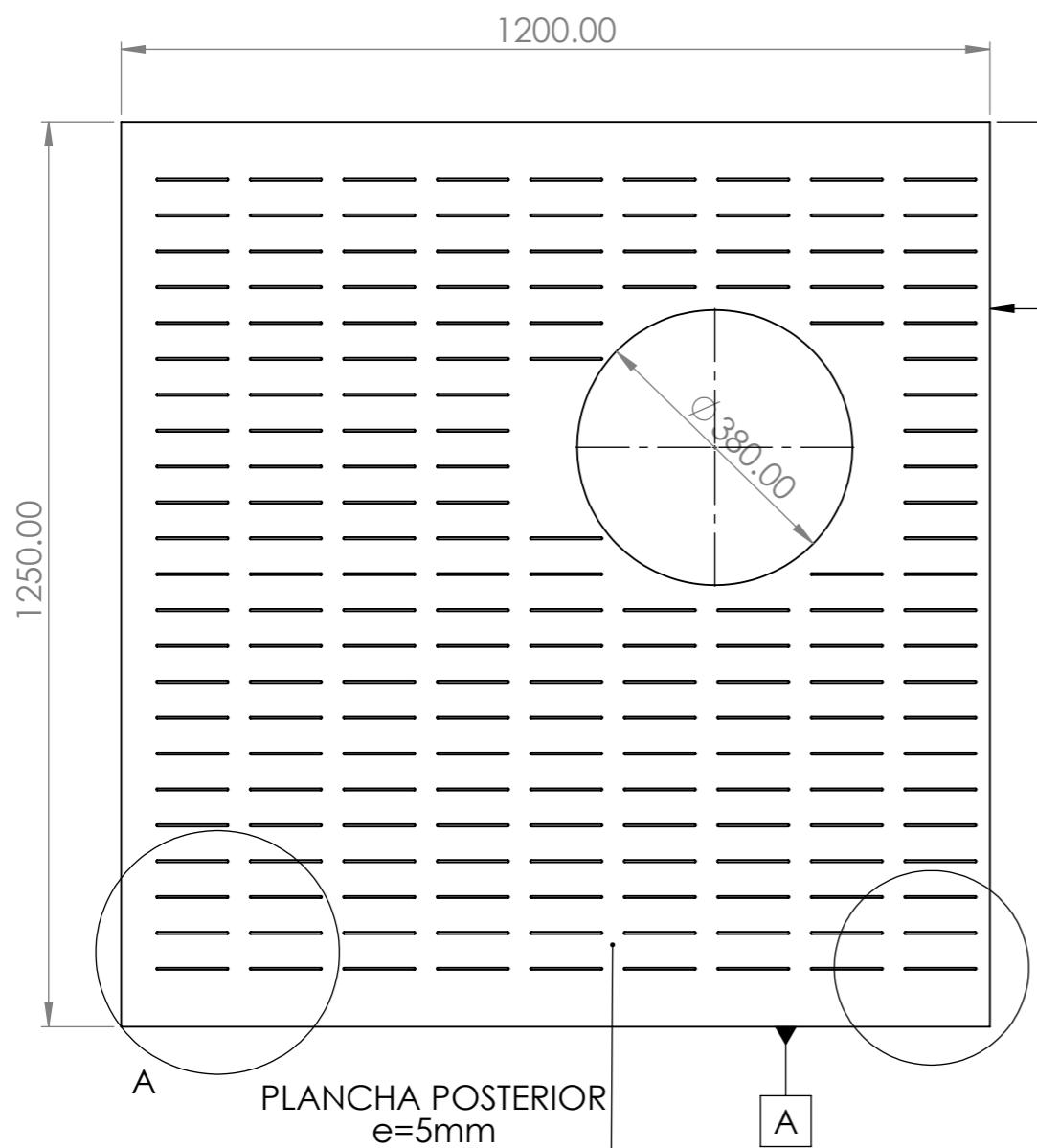
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
 - REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

| | | | | |
|---|---|-----------------------------------|-------|-----------|
| 2 | 2 | TUBO CUADRADO 40x60x3.2-1350mm | ACERO | ASTM A500 |
| 1 | 2 | TUBO CUADRADO 40x60x3.2-3120.32mm | ACERO | ASTM A500 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

| 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 |

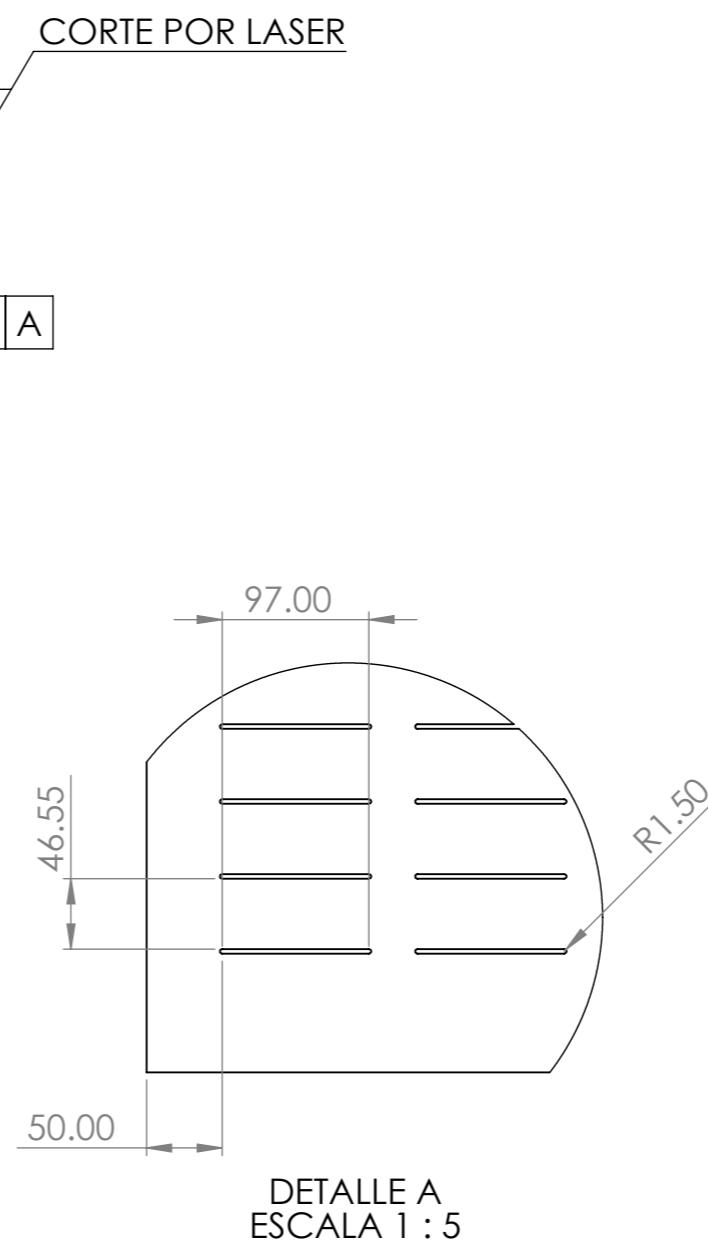
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL SEGUN INDICA |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, IMFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| MÉTODO 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: 1:5 FECHA: 15/06/25 |
| | PLANO: MARCO - BLOQUE POSTERIOR | |
| RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | FORMATO: A3 | |
| ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | HOJA: SE-C-09 | |



DETALLE B
ESCALA 1 : 5

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 |

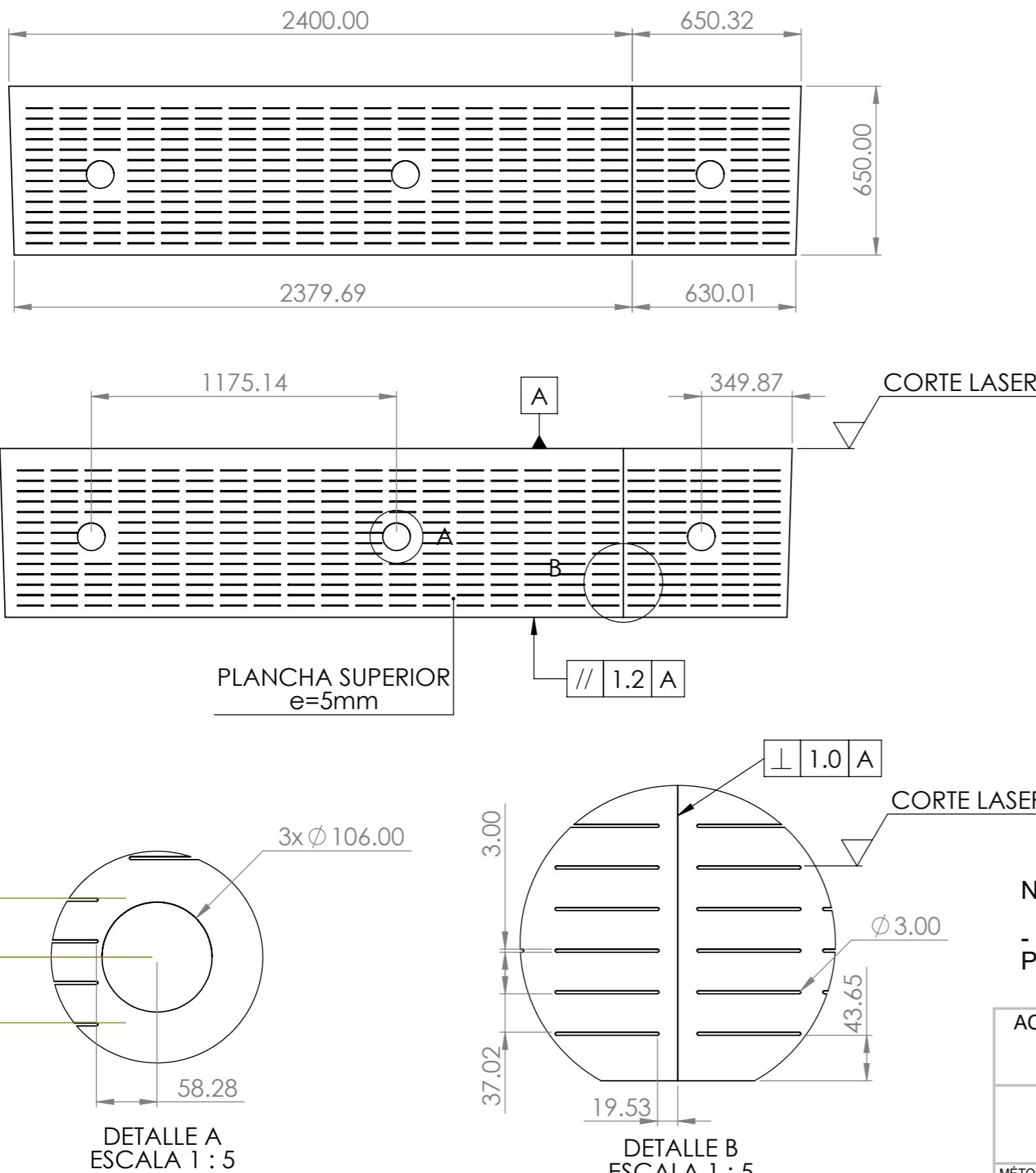


DETALLE A
ESCALA 1 : 5

NOTA:

- TODOS LOS CORTES RANURADOS DE APERTURA 3mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

| 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" | ESCALA: 1:20 |
| PLANO: | PLANCHA POSTERIOR - BLOQUE POSTERIOR | 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-10 |



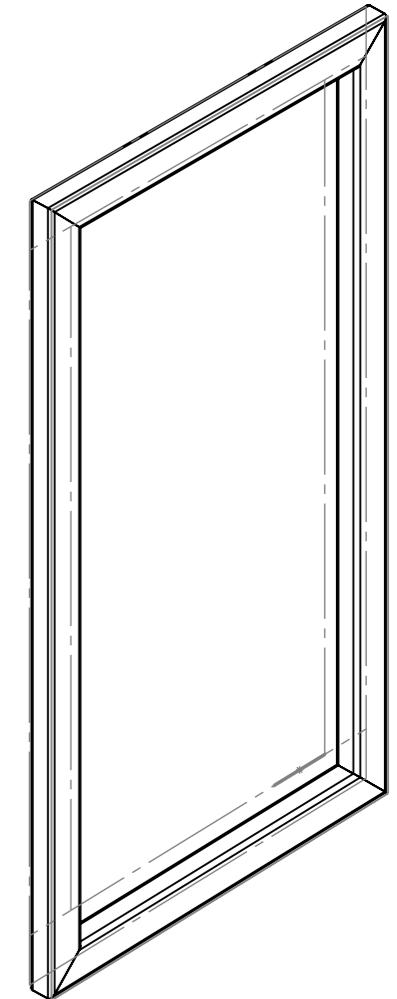
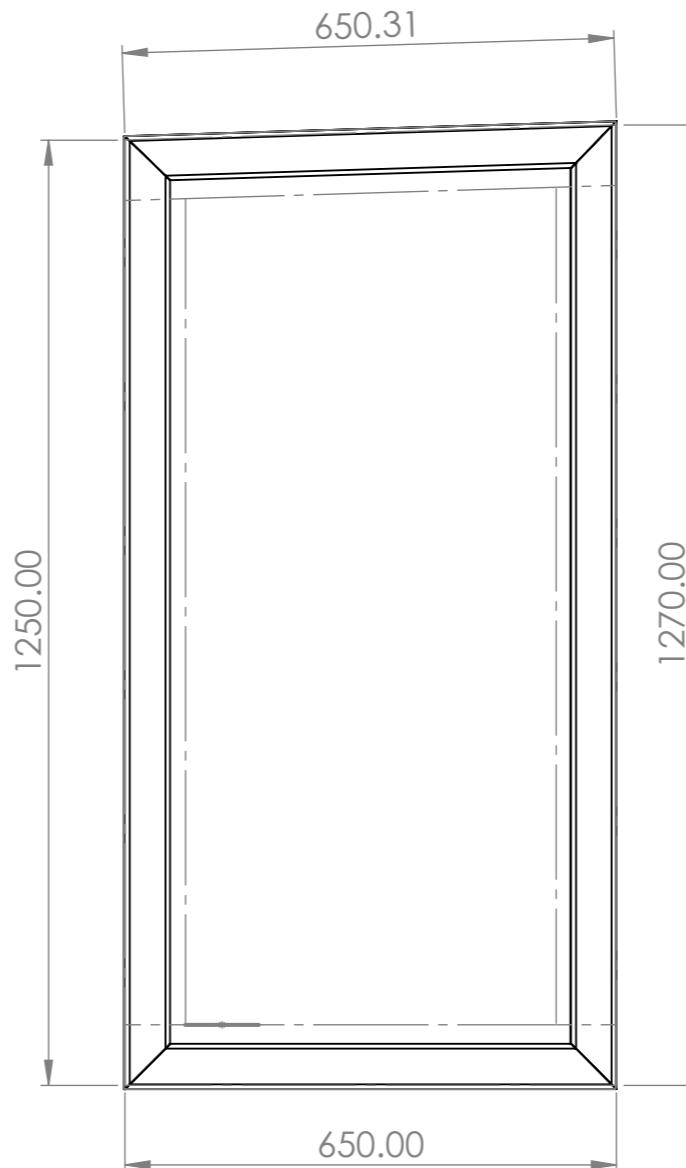
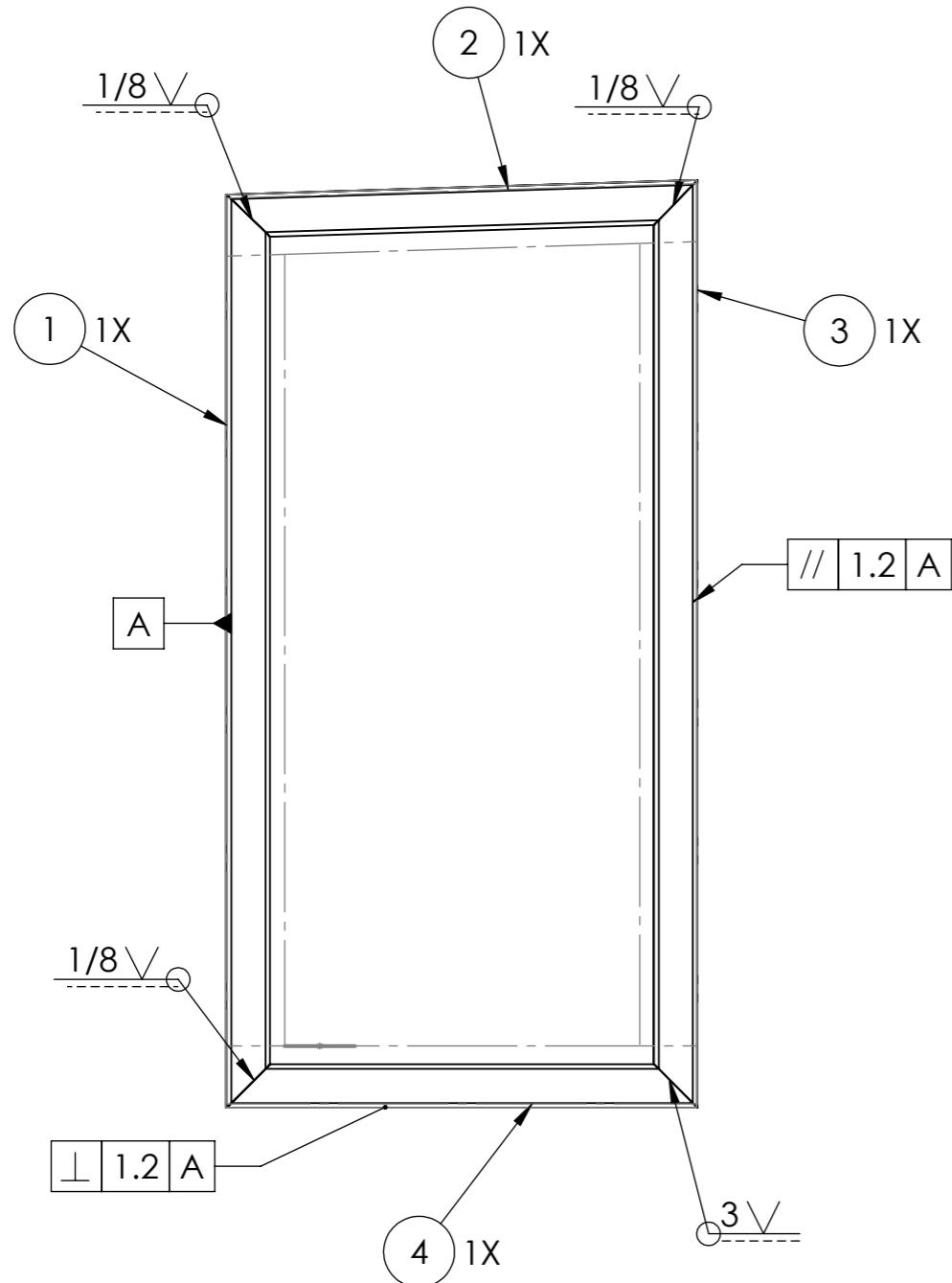
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168

| 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 |

NOTA:

- TODOS LOS CORTES CIRCULARES DE DIAMETRO 106mm SE REALIZAN POR CORTE LASER.

| 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 ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" | ESCALA: 1:20 |
| PLANO: | PLANCHA SUPERIOR Y PLANCHA CENTRAL- 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-11 |

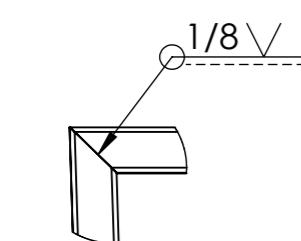
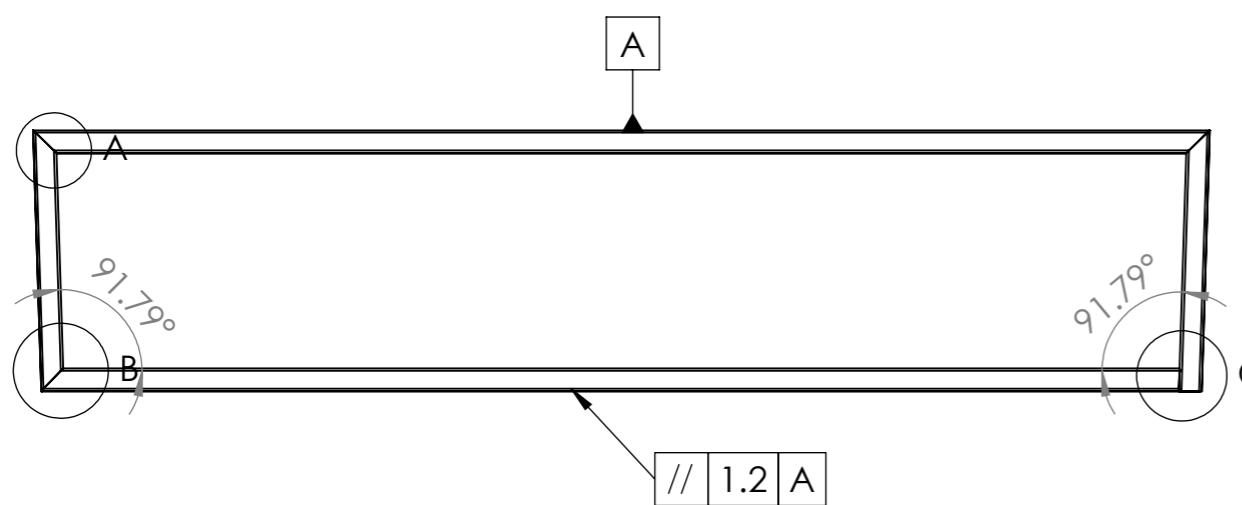
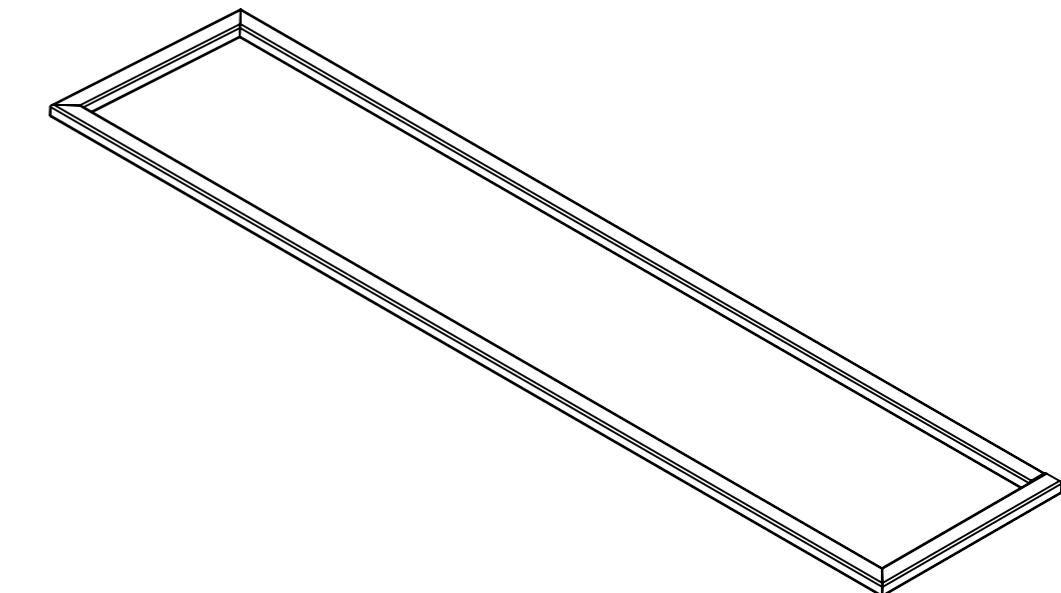
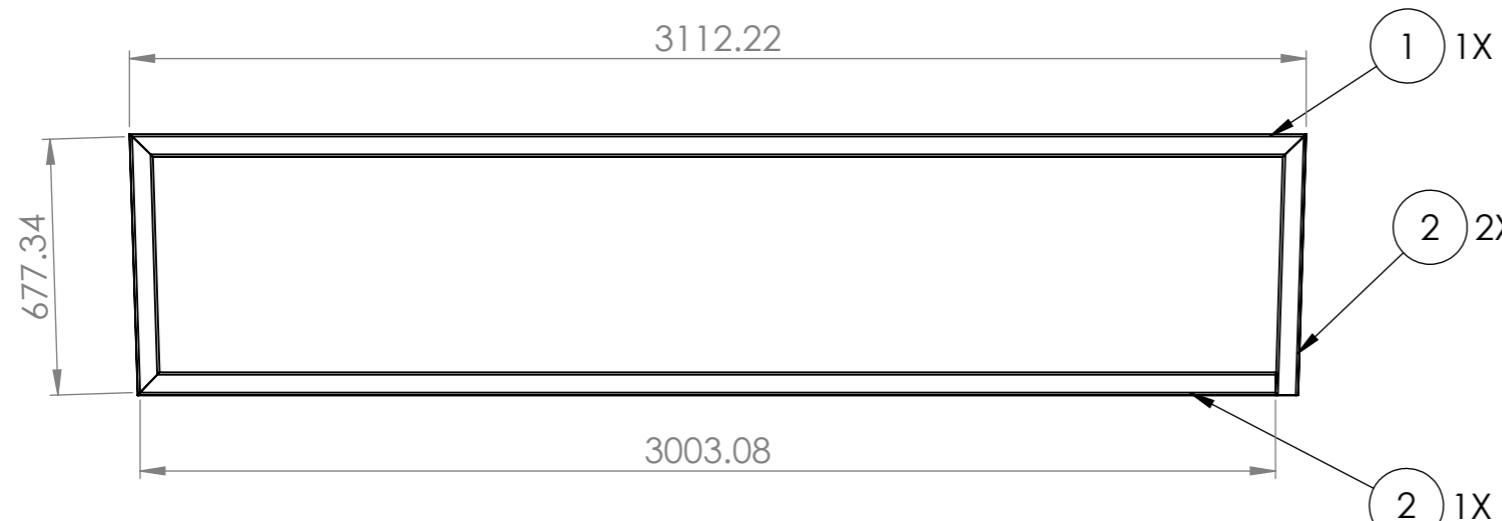


NOTA:

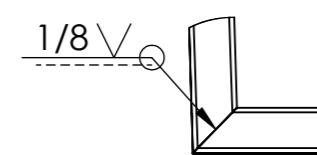
- TODAS LAS SOLDADURAS DE LOS PERFILES SE REALIZAN CON ELECTRODO E6011.
- REALIZAR ENSAYOS NTD, VT Y PT LUEGO DE CONCLUIR CON LA SOLDADURA.

| 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 |

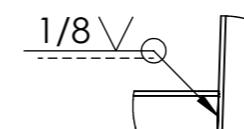
| | | | | |
|---|-------------------------|--|--------------------|------------------|
| 4 | 1 | TUBO CUADRADO 40x60x3.2-650mm | ACERO | ASTM A500 |
| 3 | 1 | TUBO CUADRADO 40x60x3.2-1270mm | ACERO | ASTM A500 |
| 2 | 1 | TUBO CUADRADO 40x60x3.2-651mm | ACERO | ASTM A500 |
| 1 | 1 | TUBO CUADRADO 40x60x3.2-1250mm | ACERO | ASTM A500 |
| ACABADO SUPERFICIAL | | TOLERANCIA GENERAL | | MATERIAL |
| SEGUN INDICA | | SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | | 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: | PLANO: | 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 ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" | ESCALA: 1:5 | |
| | | | FECHA: 15/06/25 | |
| RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | MARCO - BLOQUE SUPERIOR | | | FORMATO: A3 |
| ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | | | | HOJA: SE-C-12 |



DETALLE A
ESCALA 1 : 10



DETALLE B
ESCALA 1 : 10



DETALLE C
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.

| | | | | |
|---|---|--------------------------------|-------|-----------|
| 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 |

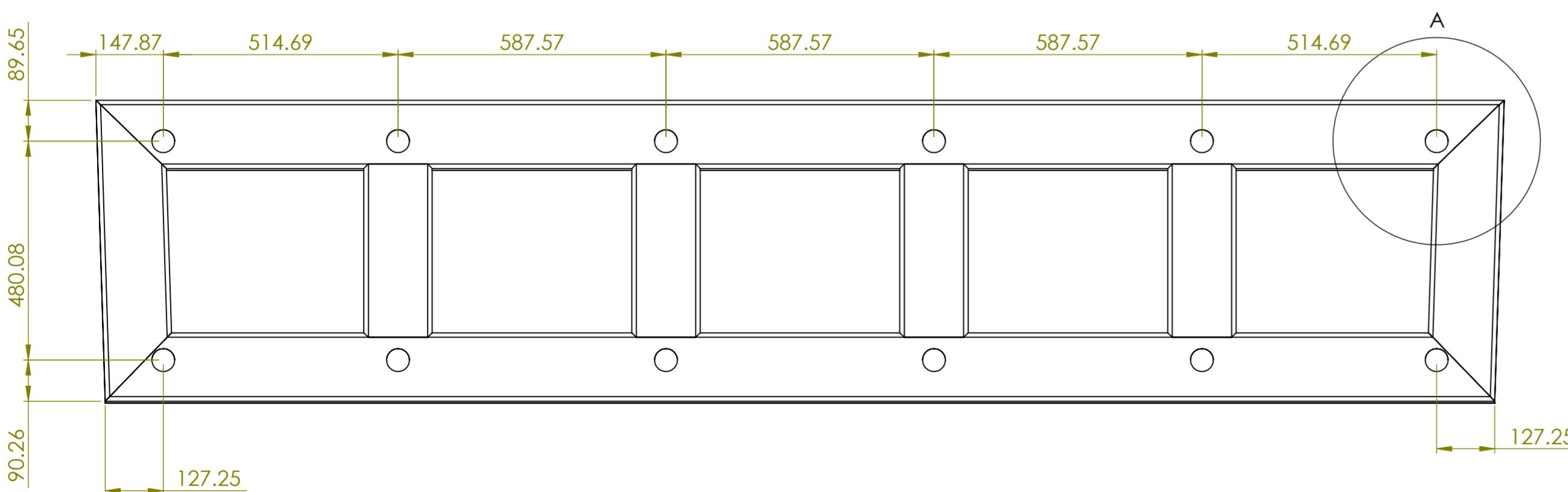
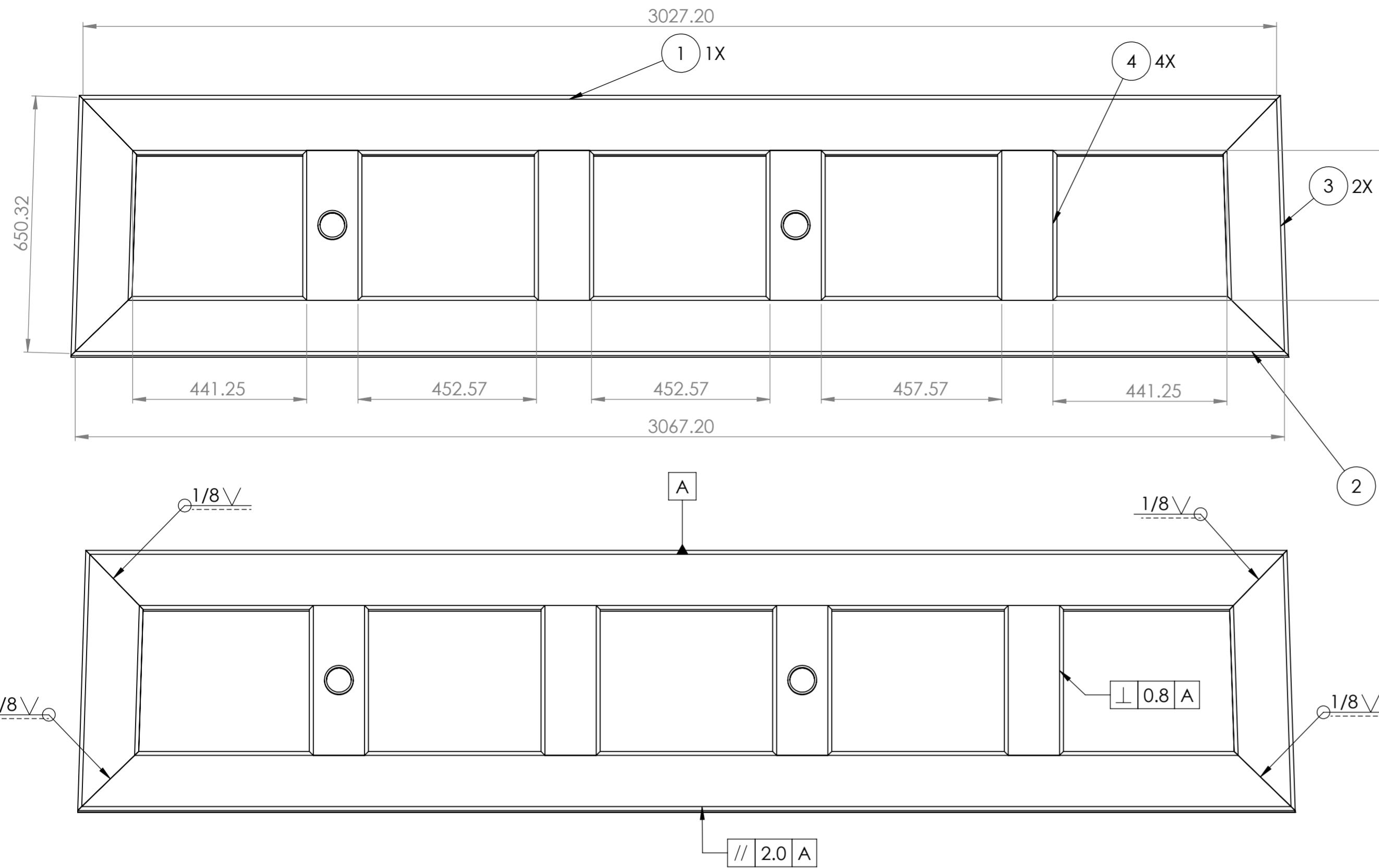
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL SEGUN INDICA |
|-------------------------------------|--|--------------------------|
|-------------------------------------|--|--------------------------|

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 m ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR | ESCALA: 1:5 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-13 |
| RESPONSABLES: | Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | |
| ASESOR: | Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | |

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 |



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

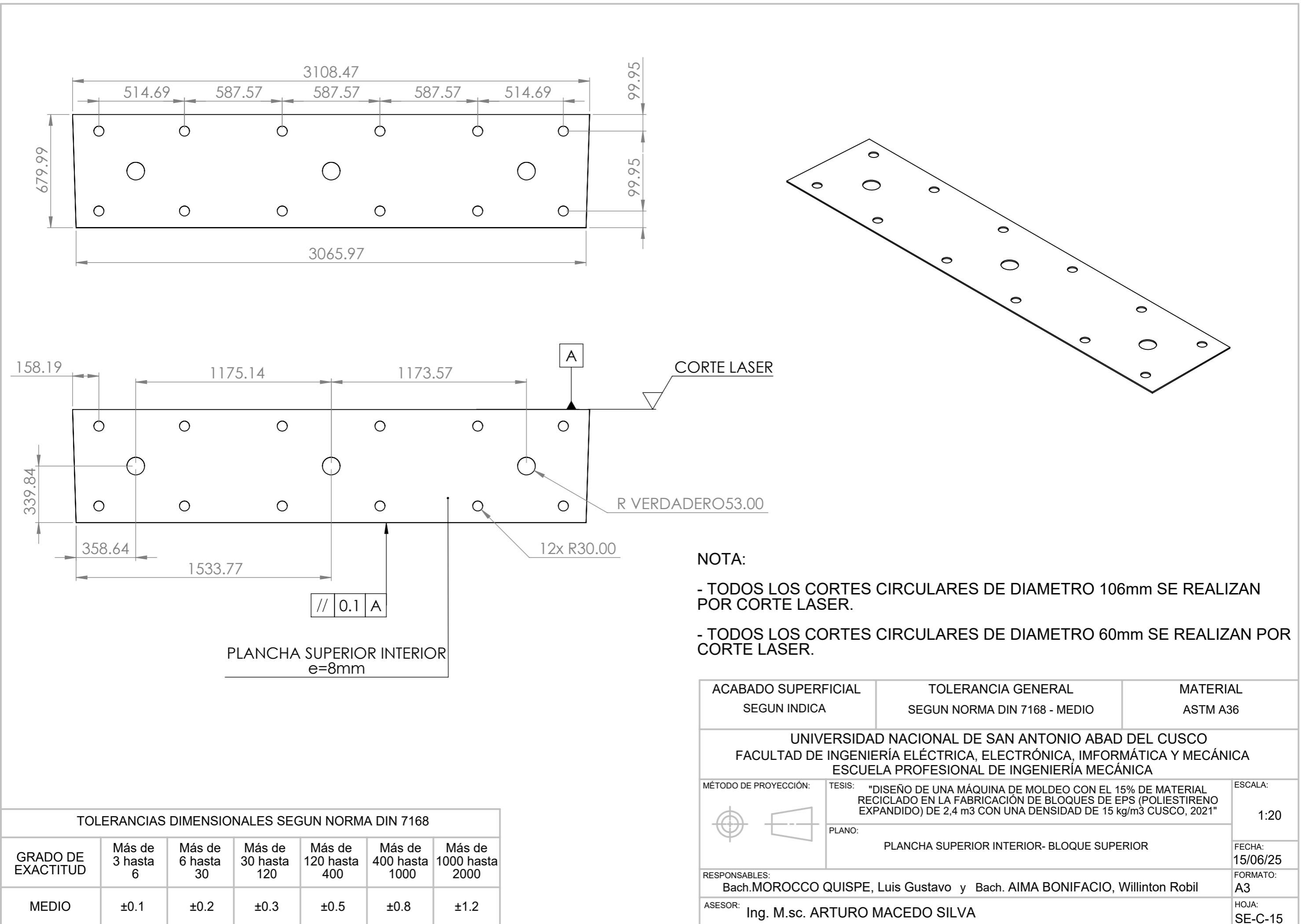
| POS. | CAN. | DESCRIPCION | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|------|------|--------------------------------|----------|---------------|
| 4 | 4 | TUBO CUADRADO 100x100x5-381mm | ACERO | ASTM A500 |
| 3 | 2 | TUBO CUADRADO 100x100x5-651mm | ACERO | ASTM A500 |
| 2 | 1 | TUBO CUADRADO 100x100x5-3068mm | ACERO | ASTM A500 |
| 1 | 1 | TUBO CUADRADO 100x100x5-3028mm | ACERO | ASTM A500 |

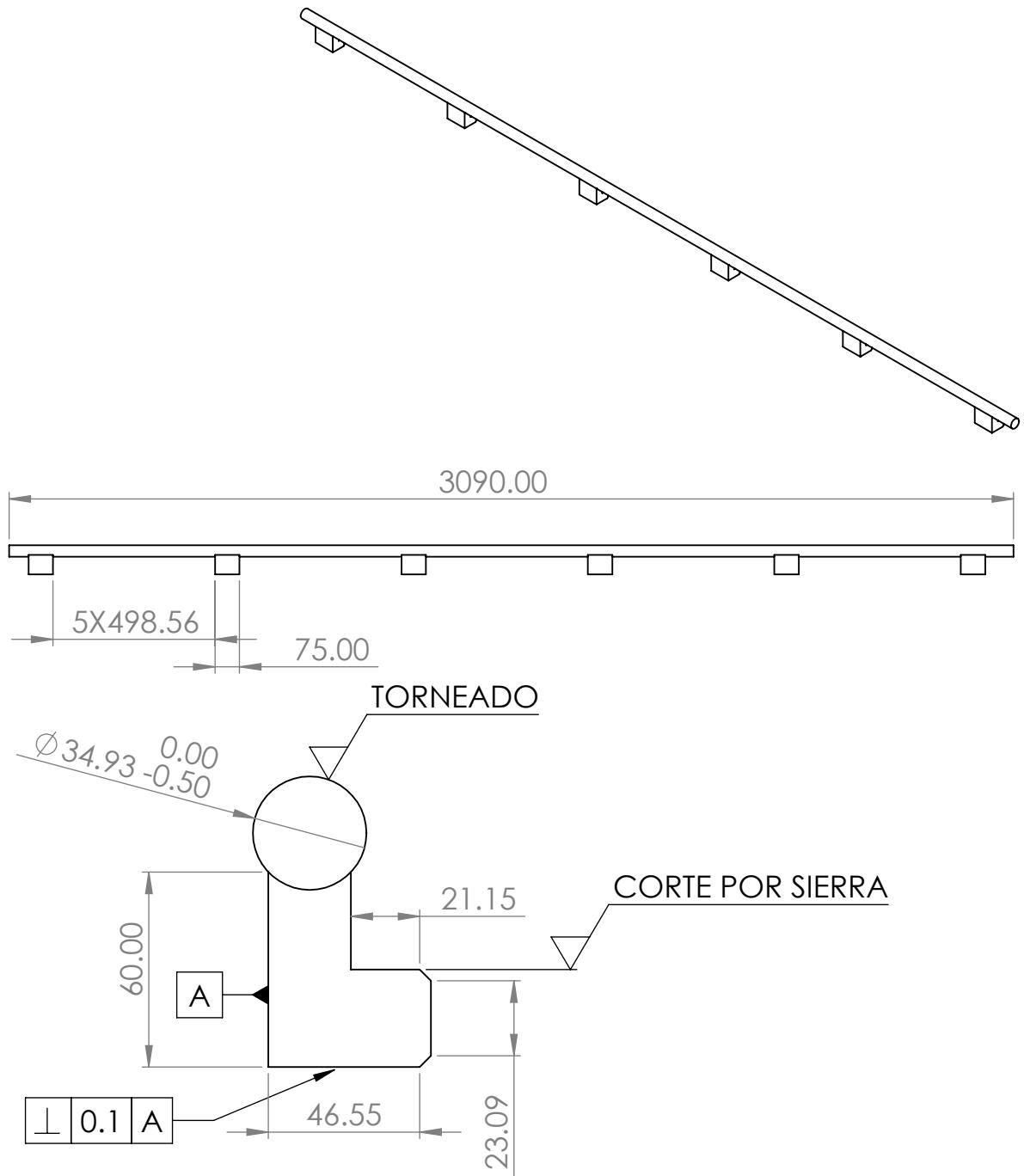
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

| | | |
|--|-----------------------------------|----------|
| MÉTODO DE PROYECCIÓN: | PLANO: | ESCALA: |
| | DUCTO POSTERIOR - BLOQUE SUPERIOR | 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: |
| | | SE-C-14 |

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 |





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"

ESCALA:

1:1

PLANO:

EJE SLIDER

FECHA:
15/06/25

RESPONSABLES:

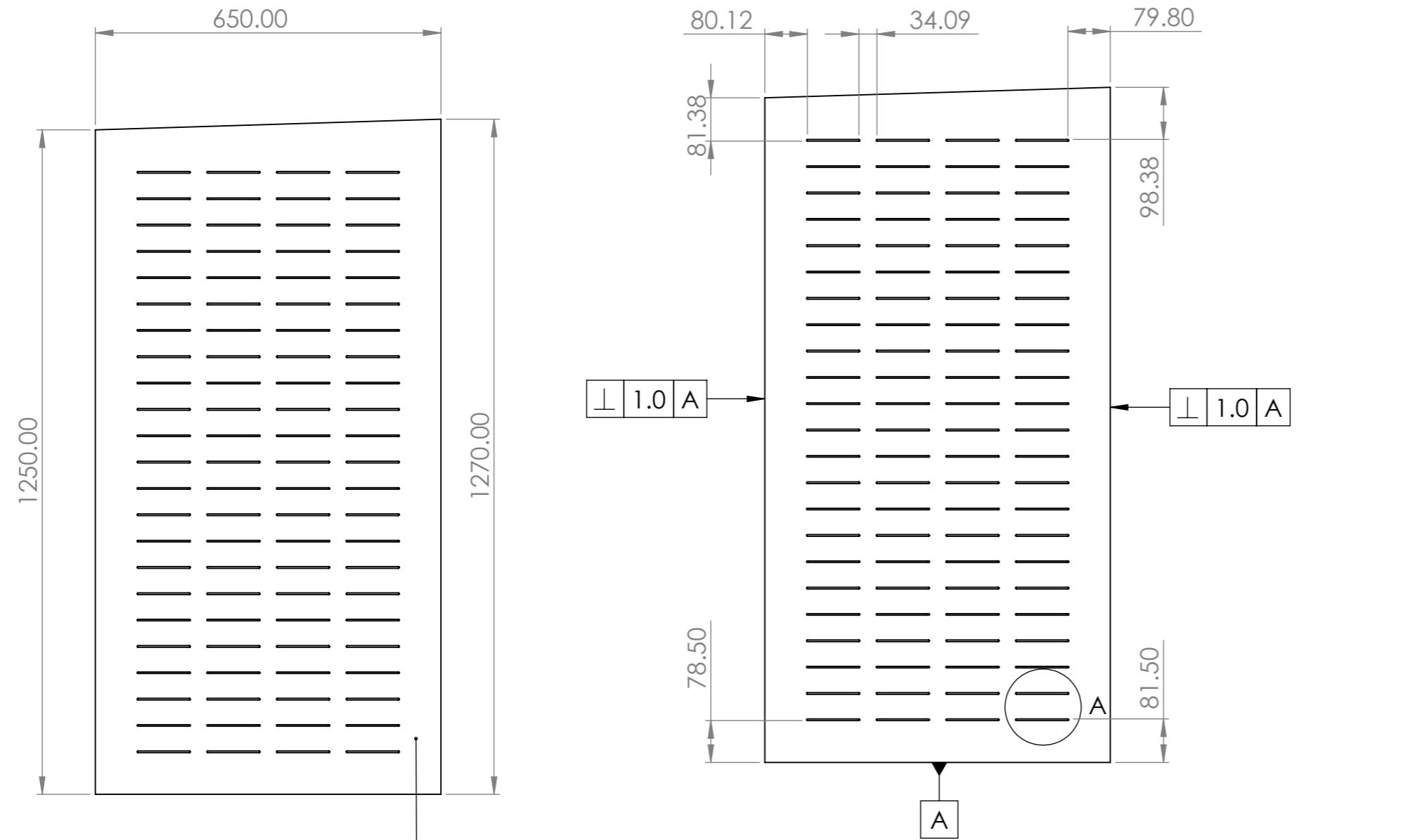
Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

FORMATO:
A4

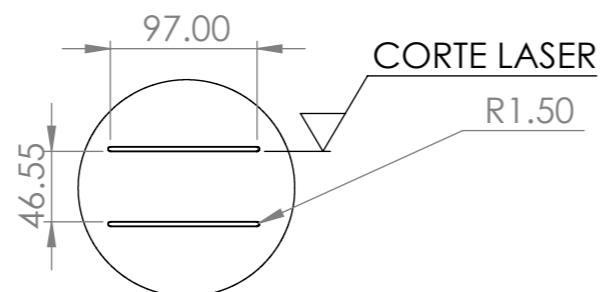
ASESOR:

Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

HOJA:
SE-C-16



PLANCHA LATERAL DERECHA
e=5mm



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

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 |

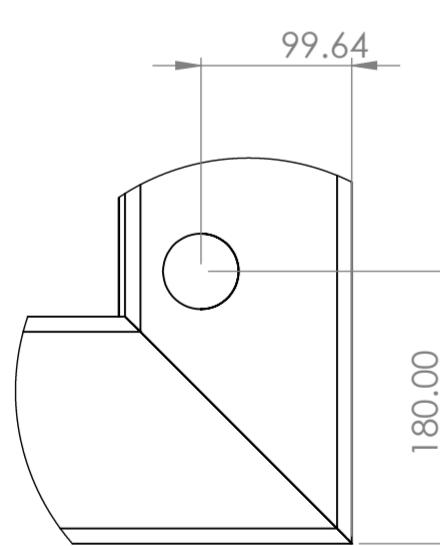
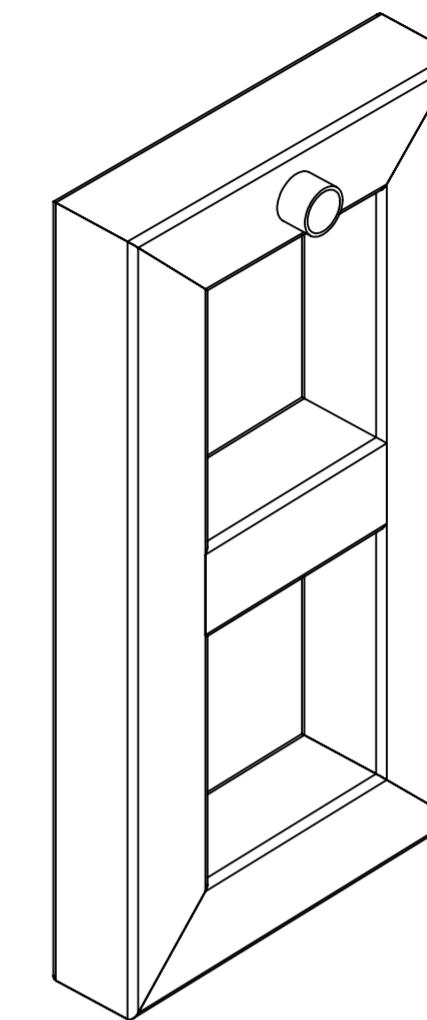
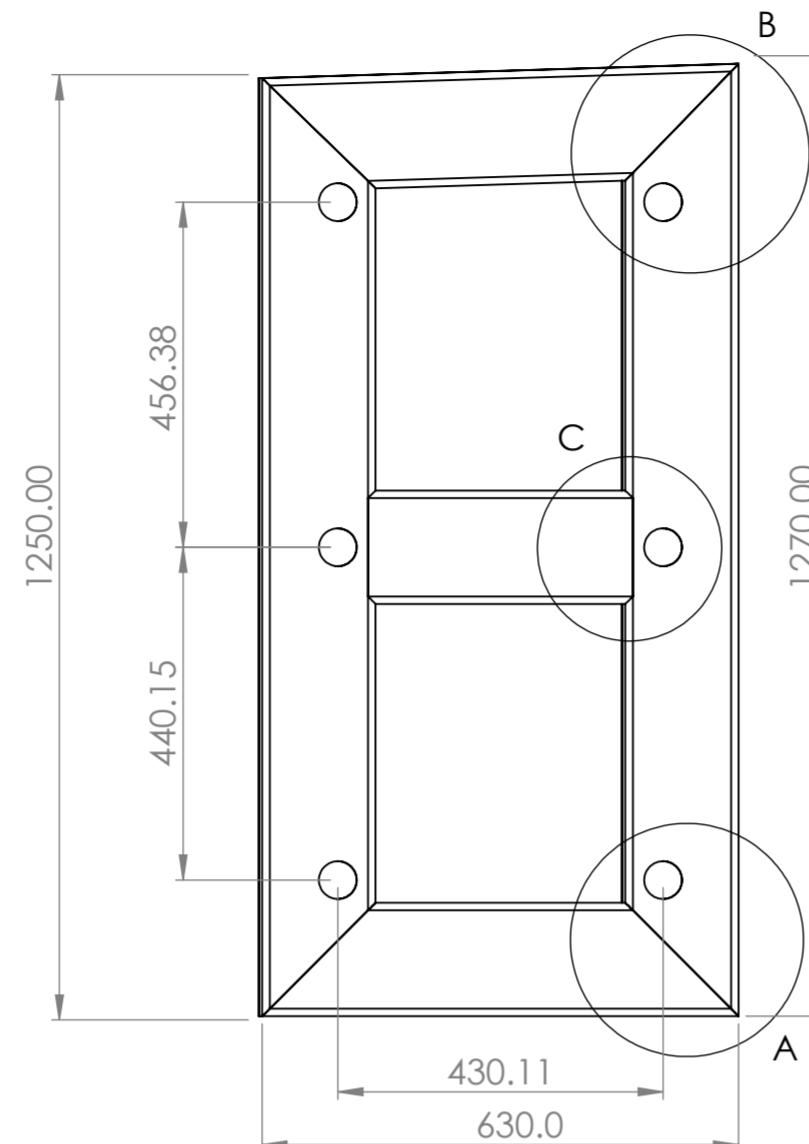
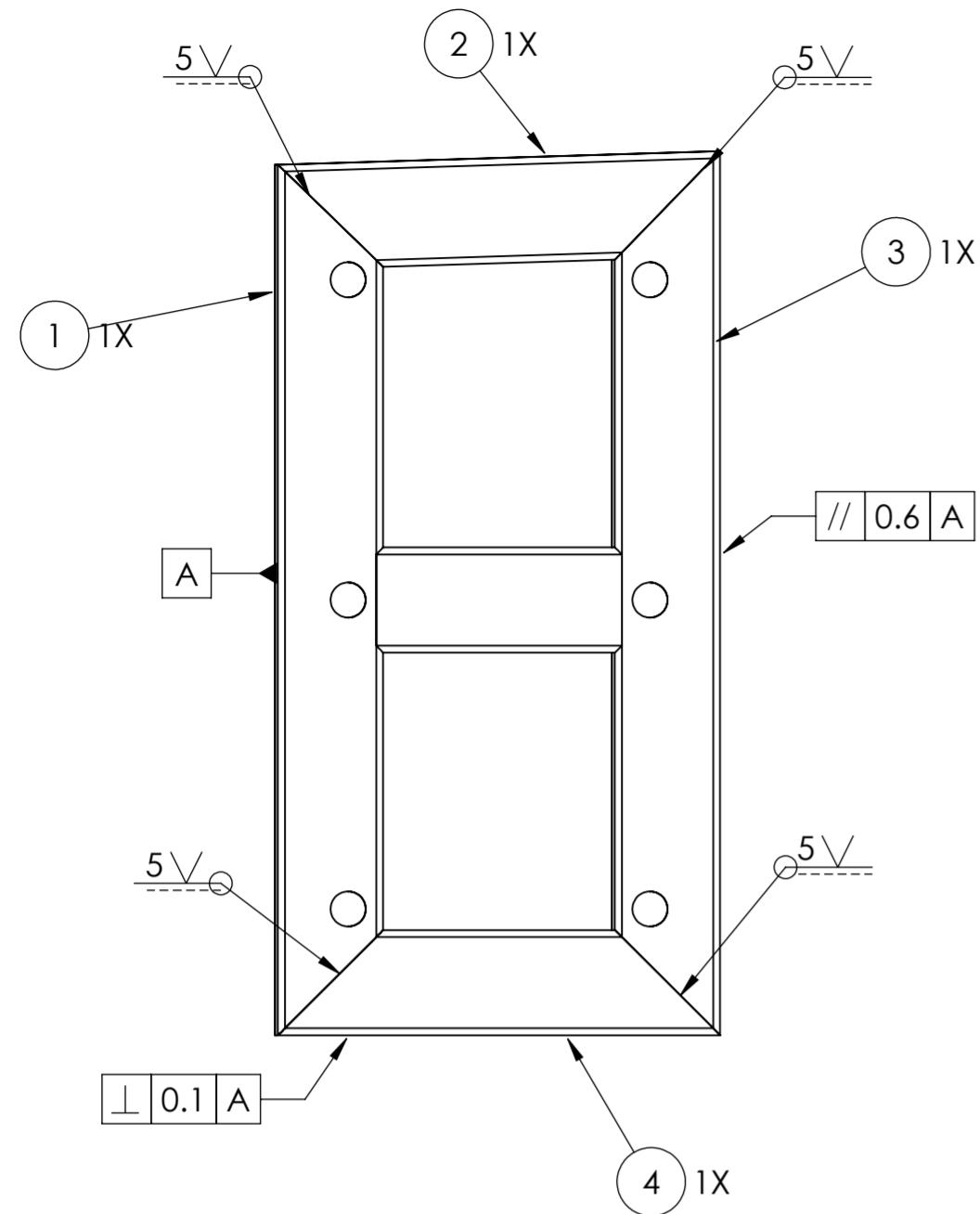
NOTA:

- TODOS LOS CORTES RANURADOS SE REALIZAN POR CORTE LASER.

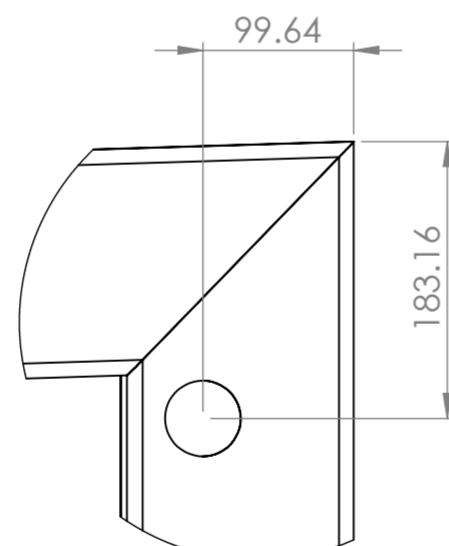
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL ASTM A36 |
|---|---|--------------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE 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: | ESCALA: 1:10 |
| RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | PLANCHA SUPERIOR- BLOQUE LATERAL DERECHA | FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 |

ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

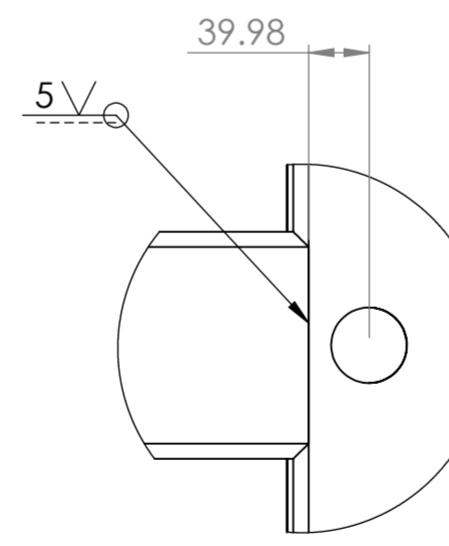
HOJA:
SE-C-17



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.

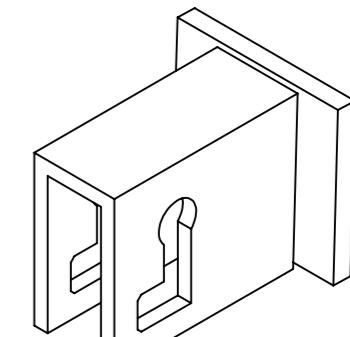
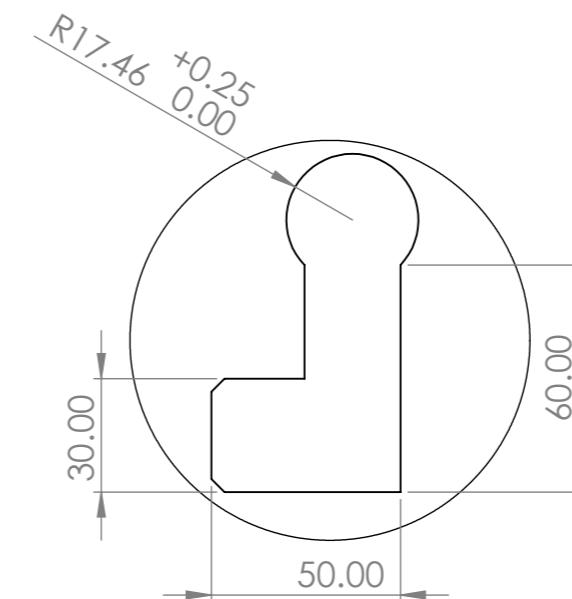
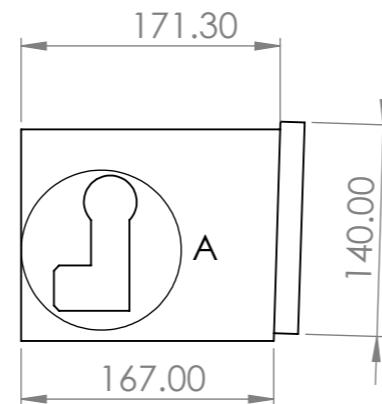
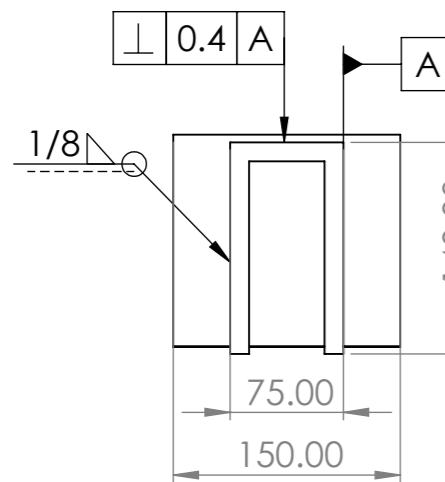
| 4 | 4 | TUBO CUADRADO 100x100x5-630mm | ACERO | ASTM A500 |
|-----------|------|--------------------------------|-------|---------------|
| 3 | 2 | TUBO CUADRADO 100x100x5-1270mm | ACERO | ASTM A500 |
| 2 | 1 | TUBO CUADRADO 100x100x5-631mm | ACERO | ASTM A500 |
| 1 | 1 | TUBO CUADRADO 100x100x5-1250mm | ACERO | ASTM A500 |
| POS. | CAN. | DESCRIPCION | | MATERIAL |
| POS. CAN. | | DESCRIPCION | | 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: | PLANO: | 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" | 1:10 |
| RESPONSABLES: | DUCTO POSTERIOR - BLOQUE LATERAL DERECHA | | FECHA: 15/06/25 |
| ASESOR: | Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | | FORMATO: A2 |
| | Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | | HOJA: SE-C-18 |

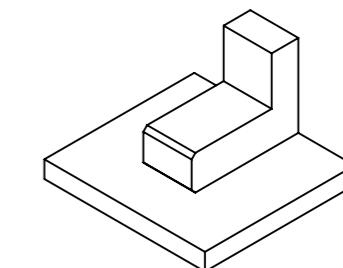
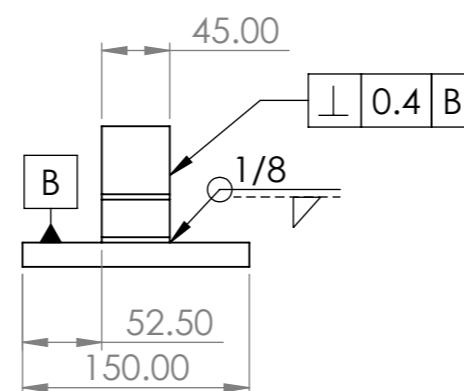
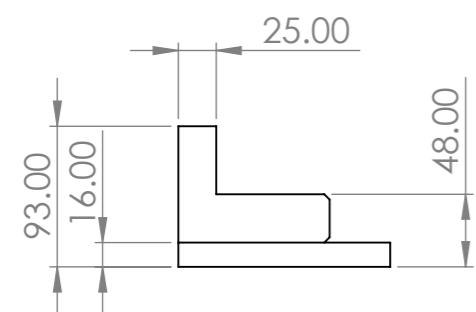
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168

| 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 |



TOPE SUPERIOR

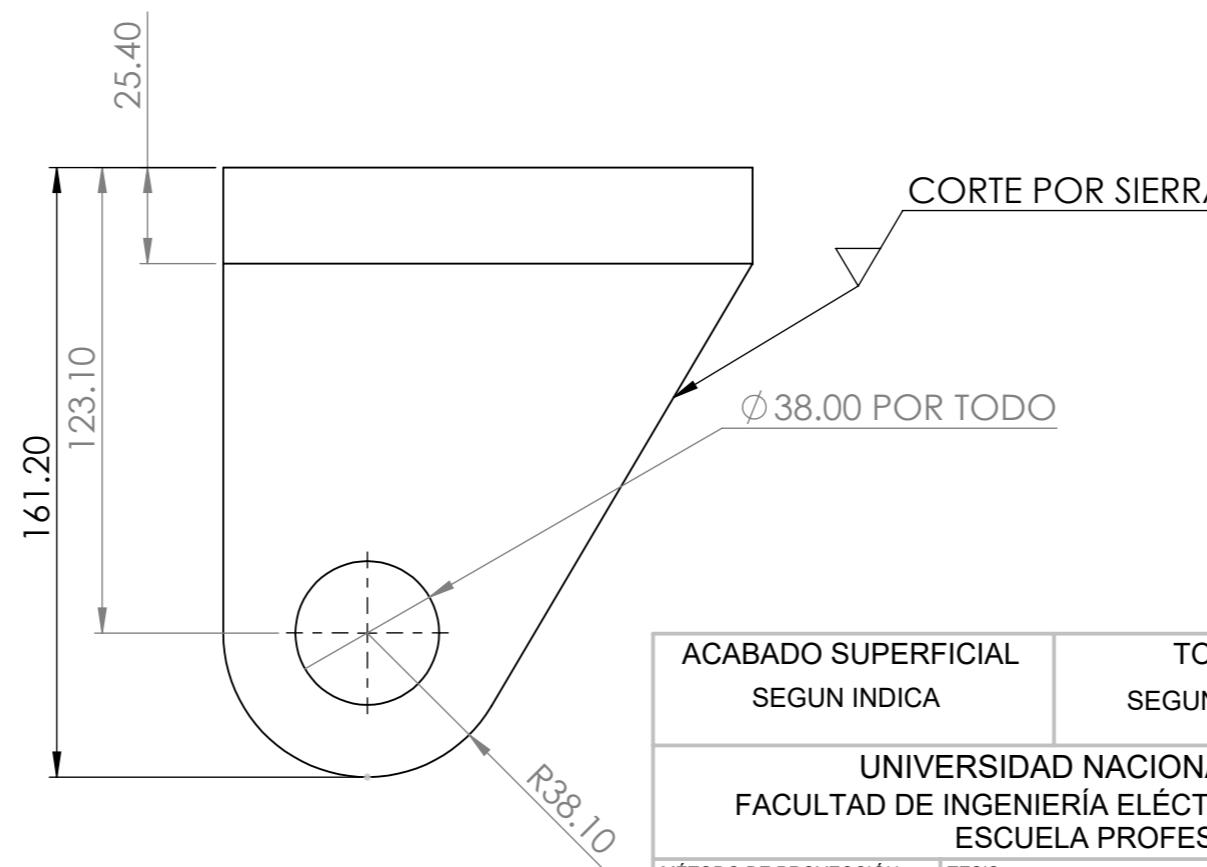
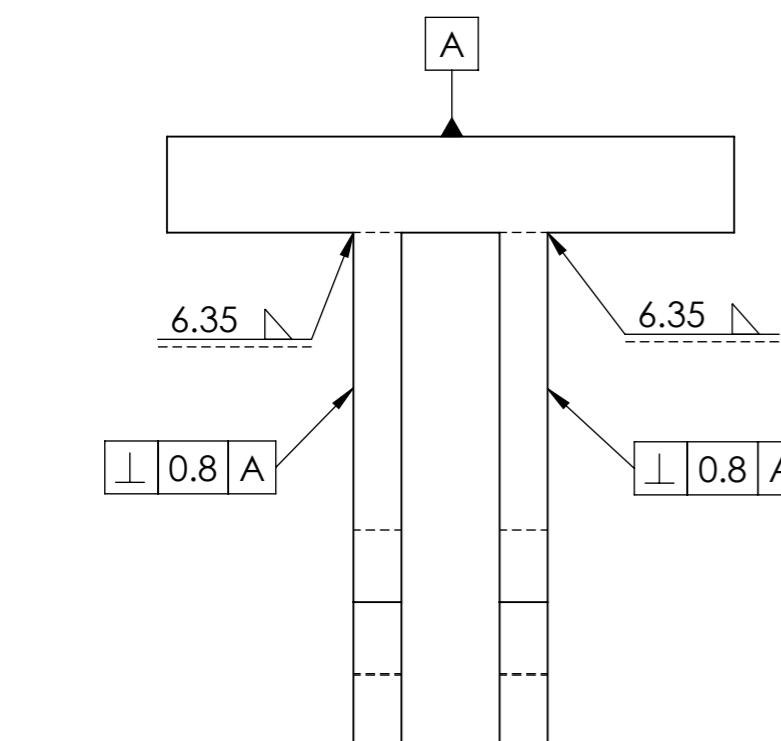
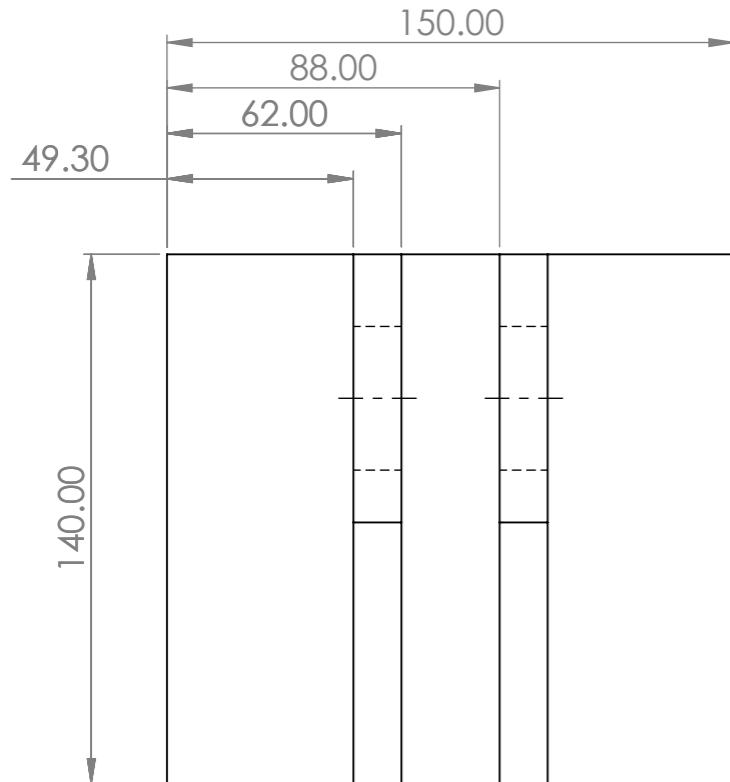
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



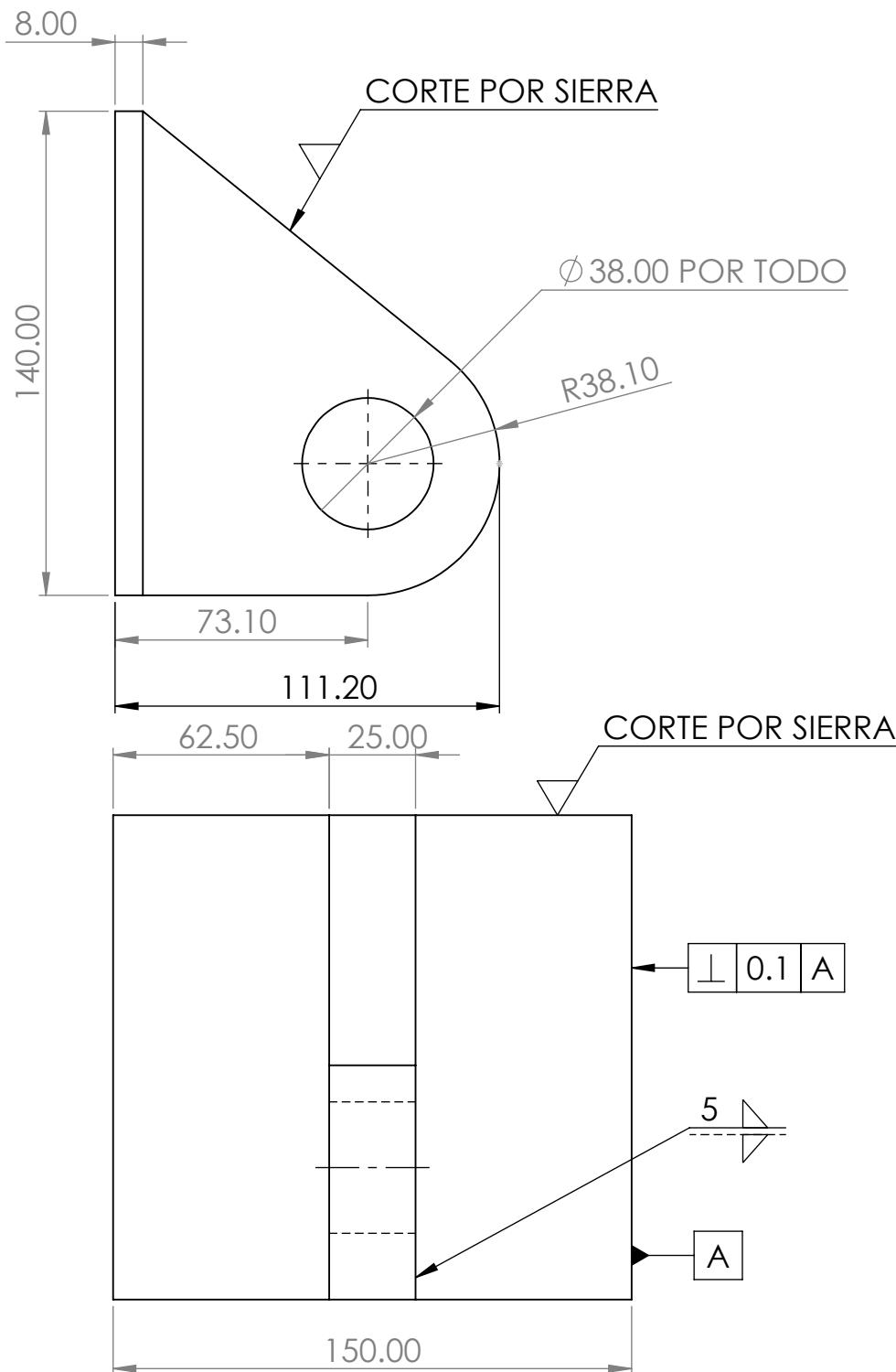
TOPE INFERIOR (PUERTA)

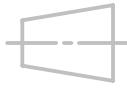
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN NORMA DIN 7168 | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO | ±0.1 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.8 | ±1.2 |

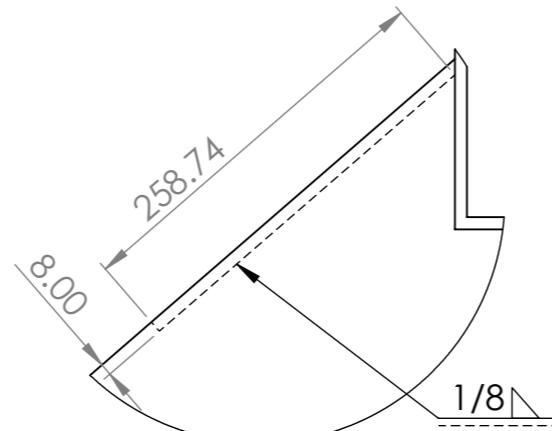
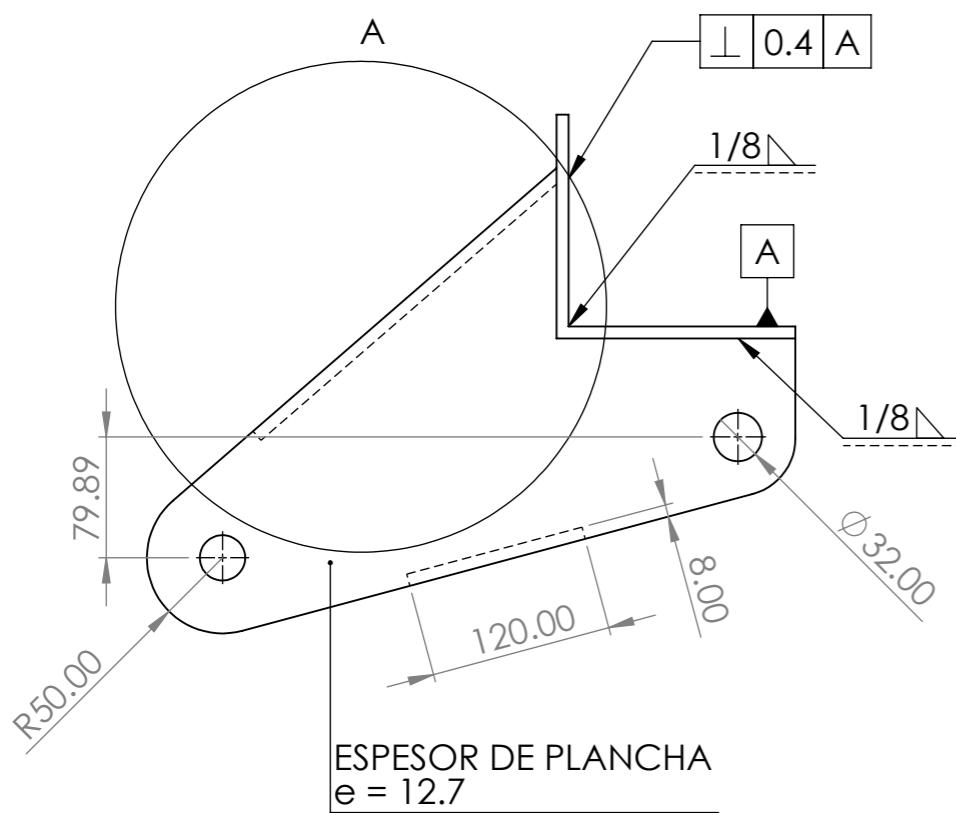
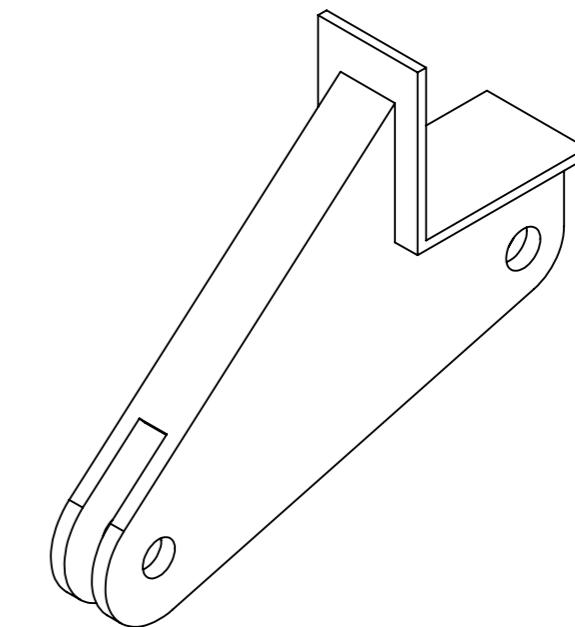
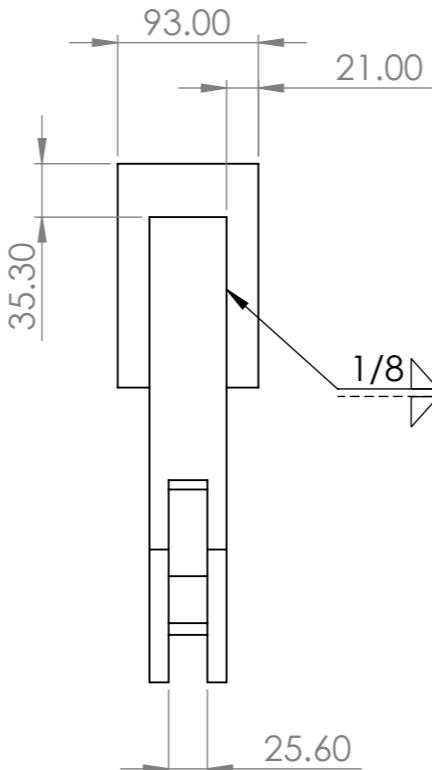
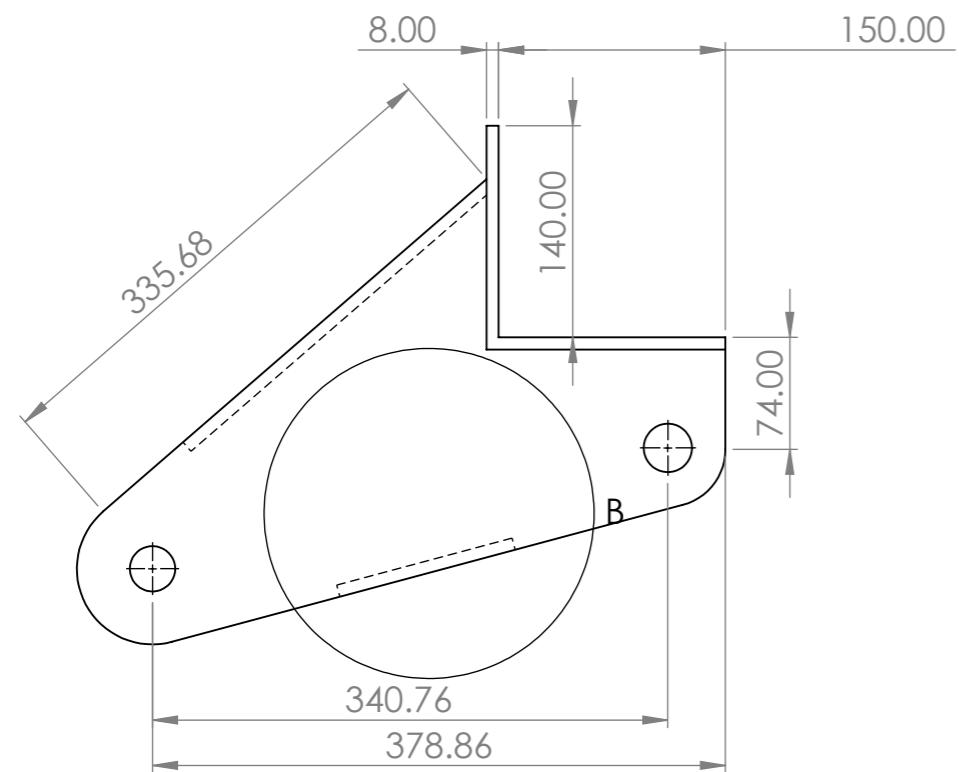
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL SEGUN INDICA |
|---|---|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| MÉTODO 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 m ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR | ESCALA: 1:5 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 |
| RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | | HOJA: SE-C-19 |
| ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | | |



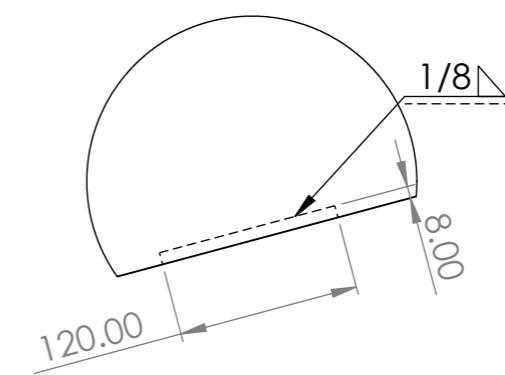
| ACABADO SUPERFICIAL SEGUN INDICA | TOLERANCIA GENERAL SEGUN NORMA DIN 7168 - MEDIO | MATERIAL SEGUN INDICA |
|---|--|--------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA 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 m ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ 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 m ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ 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



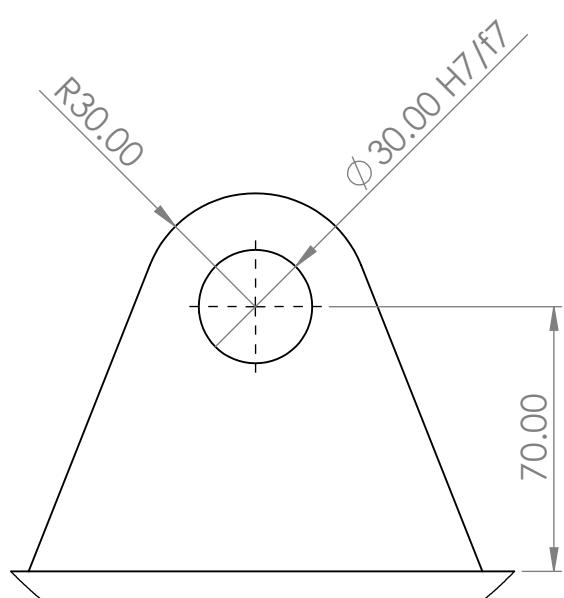
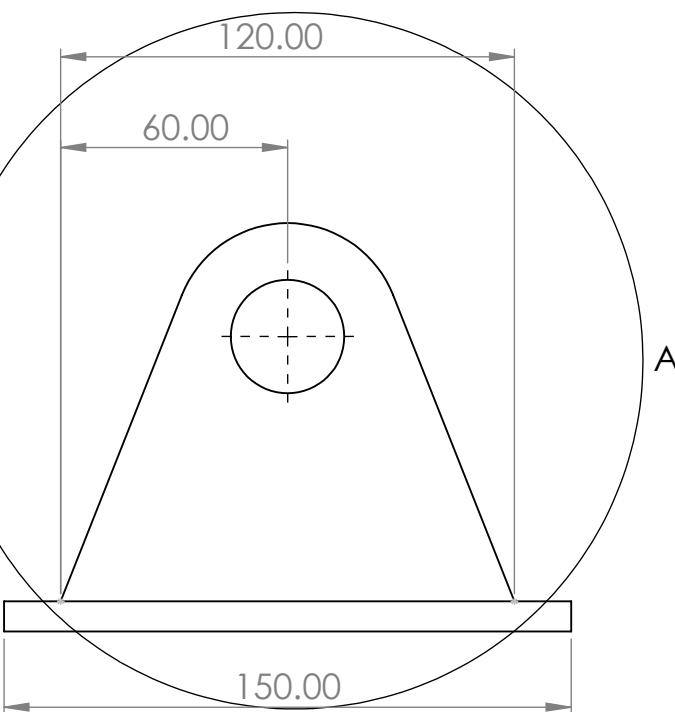
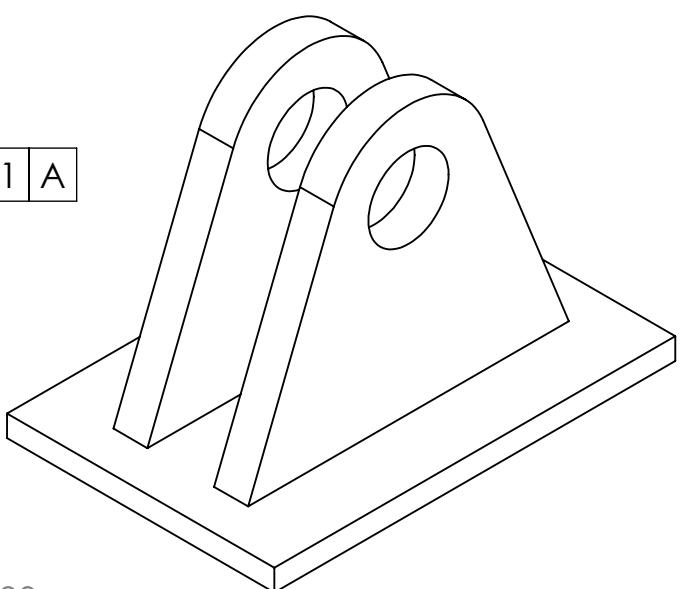
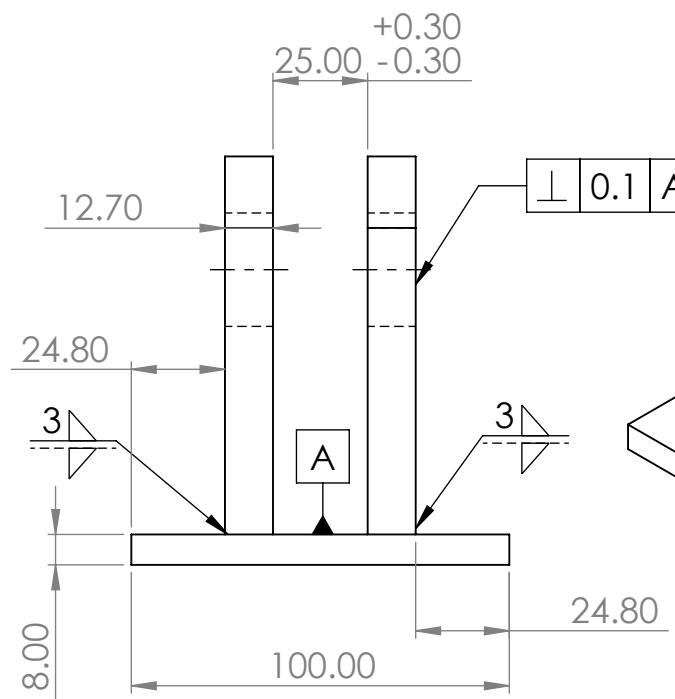
DETALLE B
ESCALA 1 : 5

NOTA
- PLANCHA DE ACERO ASTM A36

| 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 m ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" PLANO: MARCO - BLOQUE SUPERIOR | ESCALA: 1:5 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-22 | | | | | |
| 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 | |

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 : 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"

ESCALA:

1:2

PLANO:

BASE DE CILINDRO (MECANISMO DE CIERRE - PUERTA)

FECHA:

15/06/25

RESPONSABLES:

Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil

FORMATO:

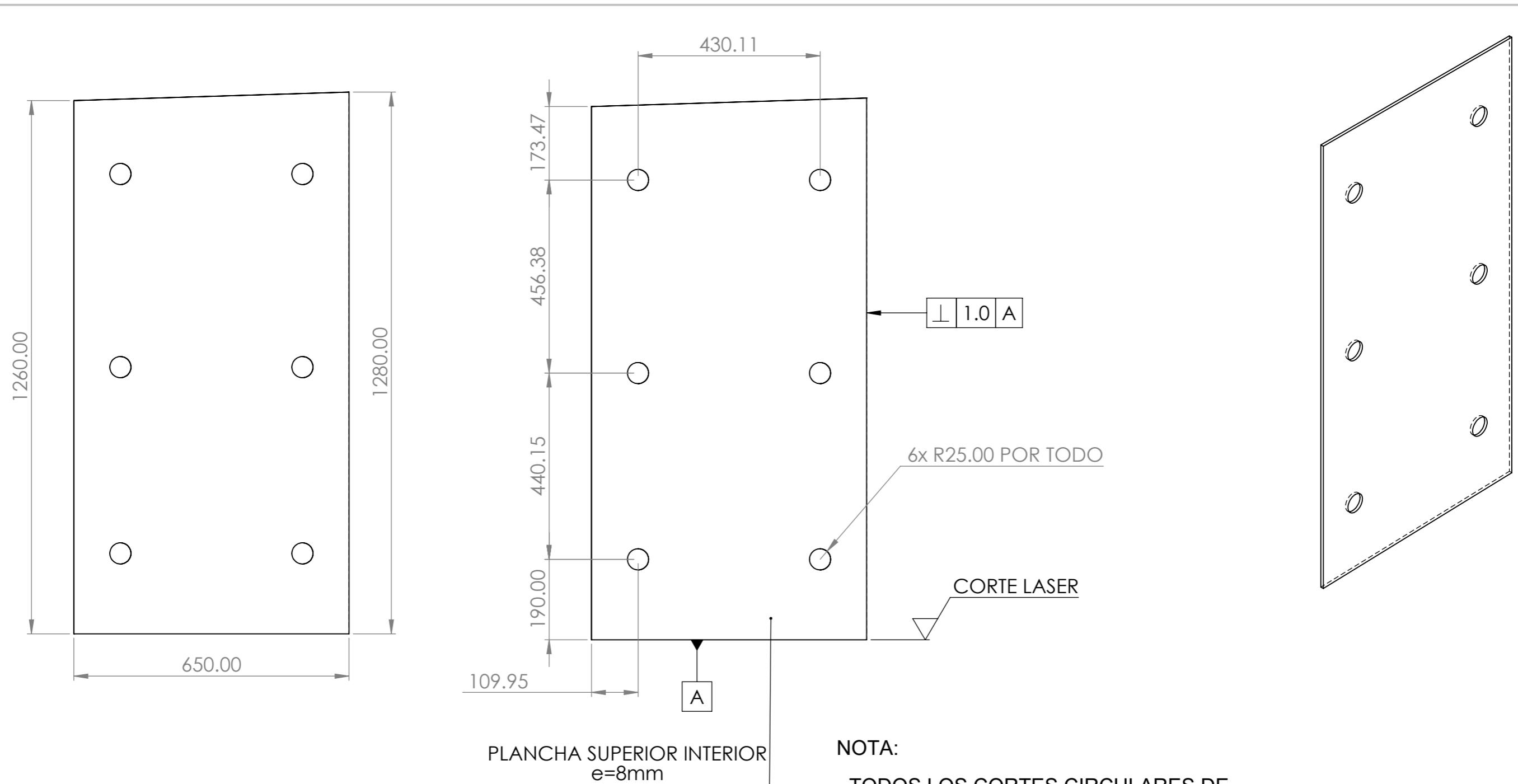
A4

ASESOR:

Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA

HOJA:

SE-C-23



| 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 m ³ CON UNA DENSIDAD DE 15 kg/m ³ CUSCO, 2021" PLANO: PLANCHA SUPERIOR INTERIOR- BLOQUE LATERAL DERECHA | ESCALA: 1:10 FECHA: 15/06/25 FORMATO: A3 HOJA: SE-C-24 |
| RESPONSABLES: Bach. MOROCCO QUISPE, Luis Gustavo y Bach. AIMA BONIFACIO, Willinton Robil | | |
| ASESOR: Ing. M.sc. ARTURO MACEDO SILVA | | |