



UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FUNDICIÓN DE REJILLAS DE ALUMINIO
PARA PISO.**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor:

Jairo Jonathan Acaro Villamarin

Tutor:

Ing. Fabián Sarmiento

QUITO– ECUADOR

2024

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, ACARO VILLAMARIN JAIRO JONATHAN, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “**DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FUNDICIÓN DE REJILLAS DE ALUMINIO PARA PISO.**”, como requisito para optar al grado de Ingeniería Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 21 días del mes de Febrero de 2024, firmo conforme:

Firma: 

Número de Cédula: 1721673620

Dirección: Guamaní barrió la Florencia calle G casa 168

Correo Electrónico: jacaro@indoamerica.edu.ec Teléfono:

0967199004

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular **“DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FUNDICIÓN DE REJILLAS DE ALUMINIO PARA PISO”**

Presentado por JAIRO JONATHAN ACARO VILLAMARIN, para optar por el Título Ingeniera Industrial,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Quito, 21 de Febrero del 2024

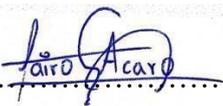
.....

Ing. Fabián Alberto Sarmiento Ortiz MSc.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniería Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 21 de Febrero del 2024



.....

Acaro Vilamarin Jairo Jonathan

1719438275

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FUNDICIÓN DEREJILLAS DE ALUMINIO PARA PISO** previo a la obtención del Título de Ingeniera Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentar sea la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Quito, 21 de Febrero del 2024

.....

Ing. Jacqueline Villacís Guerrero

LECTOR 1

.....

Ing. Pablo Ron Valenzuela

LECTOR 2

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi padre, madre y hermano por todo su apoyo incondicional para que pueda cumplir con esta meta propuesta, gracias por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por haberme bendecido con la oportunidad de hacer realidad uno de mis sueños, a mi madre por soportar muchos momentos de enojos y preocupaciones relacionados con mis estudios, a mi hermano que siempre está dispuesto a ayudarme, a mí padre por enseñarme a trabajar duro para obtener lo que se quiere, a mi tutor que me presto su tiempo y conocimientos para poder terminar este trabajo y a todos mis profesores. Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA.	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
APROBACIÓN DE LECTORES.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	4
Justificación.....	5
Objetivos	7
Objetivo general	7
Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO III	8
INGENIERÍA DEL PROYECTO	8
Diagnóstico de la situación actual de la empresa	8
Levantamiento del Procesos de fabricación de las rejillas de aluminio.....	11
Análisis de la efectividad en la entrega de rejillas planas para pisos	24
Desventajas de trabajar en moldes de arena.....	25
Análisis de la pérdida por productos defectuosos	26
Principales problemas que presentan los moldes de arena en la fundición.....	27
Modelo operativo para el diseño del molde	30
CAPÍTULO III	33
PROPUESTA DE RESULTADOS ESPERADOS	33
Descripción de la propuesta	33
Matriz de Priorización para selección de acero en el diseño del molde.....	33
Matriz de priorización de los seguimientos para el diseño del molde	36
Matriz de priorización de los moldes.....	37
Diseño del molde	38
Transferencia de calor.....	38
Contracción del metal	39

Selección del material para la construcción del molde	40
Masa requerida del aluminio	40
Cálculo del calor contenido en el molde permanente	43
Tiempo de desmoldeo	44
Espesor del molde	46
Cálculo de la presión metalostática	49
Diseño en función a la contracción del aluminio.....	50
Cálculo de la contracción en el proceso de solidificación	52
Colado del aluminio	54
Diseño del bebedero.....	54
Tiempo del colado	55
Cálculo del radio de la sección del bebedero	56
Diseño de la mazarota.....	57
Velocidad del vertido	59
3.3.5 Gasto volumétrico	60
Tiempo de llenado del molde	60
Software del diseño del molde.....	74
Software para emplear sistemas CAD/CAM.....	76
Proceso de diseño de las piezas	77
Extrusión de las piezas para el modelado tridimensional	79
Canal de llenado o alimentación del molde	81
Presupuesto para la construcción del molde.....	84
Resultados esperados	87
Cursograma analítico de la producción en molde de acero.....	90
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cursograma analítico del proceso de fundición de las rejillas en moldes de arena	15
Tabla 2. Demanda promedio	20
Tabla 3 Análisis de la producción semanal del último trimestre del año 2023	20
Tabla 4. Análisis del costo de arena.....	21
Tabla 5. Costos del proceso de calidad	23
Tabla 5 Cálculo del incumplimiento en la entrega del producto final	24
Tabla 6. Perdida semanal por productos defectuosos	27
Tabla 7. Resumen la situación actual del proceso de fundición	28
Tabla 9. Características de materiales	34
Tabla 10. Matriz de priorización de materiales	35
Tabla 11. Importancia relativa de la priorización de los materiales.....	36
Tabla 12. Requerimientos para el diseño del molde	36
Tabla 13. Matriz de priorización de moldes	37
Tabla 14. Concentración volumétrica	39
Tabla 15 Costo de materiales para la construcción del molde	84
Tabla 16. Costo de la maquinaria	85
Tabla 17 Costo total.....	86
Tabla 18. Cursograma analítico del proceso de fundición de las rejillas en molde de acero	92
Tabla 19 Análisis de la producción semanal con la utilización del molde permanente	87
Tabla 20. Costos del proceso de calidad	88
Tabla 21 Cálculo del incumplimiento en la entrega del producto final	89
Tabla 22. Perdida semanal por productos defectuosos	89
Tabla 23. Cronograma de Actividades.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Industria de la producción de matrices	1
Figura 2. Importación de moldes en miles de dólares	2
Figura 3 Producción de rejillas de aluminio de la empresa FUNDIMEC J.A	3
Figura 4 Mapa de procesos general	5
Figura 5: Ubicación geográfica de la empresa	9
Figura 6. Distribución del Taller	10
Figura 7. Diagrama de hilo del proceso de fundición de las rejillas	12
Figura 8. Proceso de fundición de la rejilla	14
Figura 9 Flujograma del proceso actual de fundición de las rejillas en moldes de arena	17
Figura 10. Mapa de procesos.....	19
Figura 11 Diagrama de Ishikawa del proceso de fundición	19
Figura 12. Modelo operativo	31
Figura 13. Dimisiones de la rejilla.....	40
Figura 14. Obtención de la masa de la pieza	42
Figura 15 Masa con alimentador en el software	42
Figura 16. Esfuerzo térmico en el proceso de enfriamiento y calentamiento del metal.....	50
Figura 17 Diagrama del bastidor	62
Figura 18. Fuerza ejercida en el soporte	62
Figura 19. Esquema de distribución de cargas	63
Figura 20. Diagrama S-N	68
Figura 21 Diagrama de fuerzas.....	69

Figura 22. Diagrama de la placa de sujeción.....	72
Figura 23 Mecanismo de apretura	73
Figura 24. Sistema didáctico del CAD / CAM.....	76
Figura 25 Dibujo de la cara frontal de la pieza.....	77
Figura 26. Cara lateral de la rejilla.....	78
Figura 27. Perfil de la base cónica en 2 D.....	78
Figura 28. Diseño del molde para la fabricación de la pieza cónica de la rejilla	80
Figura 29: Sistema de llenado del molde	81
Figura 30. Desmoldado de la pieza.....	83

UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN CARRERA DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FUNDICIÓN DE
REJILLAS DE ALUMINIO PARA
PISO.

AUTOR: Acaro Villamarin Jairo Jonathan.

TUTOR: Ing. Fabián Alberto Sarmiento Ortiz
MSc.

RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto se enfoca en mejorar el proceso de fabricación de rejillas planas para pisos en la empresa FUNDIMEC J.A. Actualmente, la empresa utiliza moldes de arena para la fundición de las rejillas, lo que ha ocasionado pérdidas económicas valuadas en 1.018 dólares anuales, con un porcentaje de productos defectuosos que oscila entre el 6 % y el 10 % de la producción semanal. De igual manera otra de las afectaciones de los moldes de arena es la clara disminución en la calidad de las rejillas debido a la presencia de porosidades, rugosidades y variabilidad en las dimensiones, provenientes de la arena, restándole con ello competitividad del producto en el mercado. El objetivo principal de la investigación se centra en diseñar un molde de acero para la fundición de rejillas de aluminio, con el fin de mejorar la producción de la empresa mediante la implementación de herramientas de ingeniería. En el proceso de indagación se utilizó una metodología mixta que combina análisis cualitativo y cuantitativo. Los resultados obtenidos de la investigación incluyen un análisis detallado del problema asociado con los moldes de arena, identificando los parámetros clave necesarios para la selección de materiales y el diseño del molde de acero, el cual fue desarrollado utilizando un software especializado en resultados esperados se establece que con la implantación de la matriz de acero se logrará disminuir aproximadamente un 94% de las imperfecciones de la pieza, marcando un cambio notable en la calidad del producto final. Las conclusiones destacan que la implementación de un molde de acero permitirá a la entidad mejorar la eficiencia y productividad en la fabricación de rejillas plana, optimizando recursos y superando las limitaciones asociadas con los moldes de arena.

Palabras clave. fundición, mejora del proceso, moldes de acero, productividad, rejillas planas

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTY OF
ENGINEERING, INDUSTRY AND PRODUCTION
INDUSTRIAL ENGINEERING CAREER**

TEMA: DESIGN OF A MOLD FOR THE CASTING OF ALUMINUM
FLOOR GRIDS.

AUTOR: Acaro Villamarin Jairo Jonathan.

TUTOR: Ing. Fabián Alberto Sarmiento Ortiz
MSc.

ABSTRACT

The development of this project focuses on improving the manufacturing process of flat floor gratings in the company FUNDIMEC J.A. Currently, the company uses sand molds to cast the grates, which has caused economic losses valued at \$1,018 annually, with a percentage of defective products ranging between 6% and 10% of weekly production. Likewise, another of the effects of sand molds is the clear decrease in the quality of the grids due to the presence of porosities, roughness and variability in dimensions, coming from the sand, thereby reducing the effectiveness of the product in the market. The main objective of the research focuses on designing a steel mold for casting aluminum gratings, in order to improve the company's production through the implementation of engineering tools. In the research process, a mixed methodology was used that combines qualitative and quantitative analysis. The results obtained from the research include a detailed analysis of the problem associated with sand molds, identifying the key parameters necessary for the selection of materials and the design of the steel mold, which was developed using specialized software where expected results are established. that with the implementation of the steel matrix it will be possible to reduce approximately 94% of the imperfections of the piece, marking a notable change in the quality of the final product. The conclusions highlight that the implementation of a steel mold will allow the entity to improve efficiency and productivity in the manufacture of flat gratings, optimizing resources and overcoming the limitations associated with sand molds.

Keywords. foundry, process improvement, steel molds, productivity, flat gratings

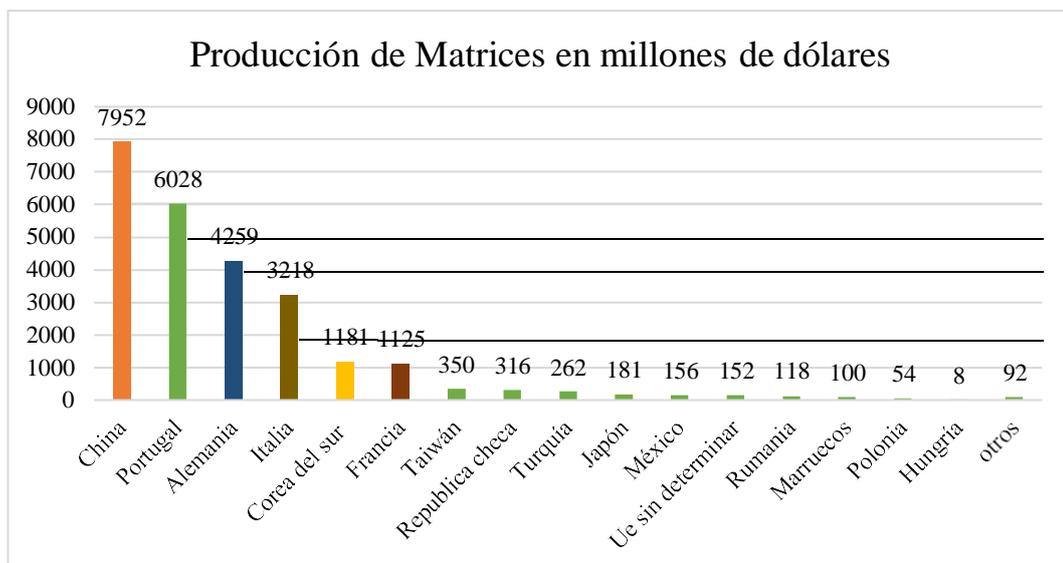
CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Industria producción de matrices.

La producción global de moldes entre 2016 y 2019 revela dinámicas diversas en diferentes países. China, a pesar de fluctuaciones notables, muestra una recuperación en 2019, destacando su capacidad de adaptación, por su parte, Portugal exhibe un crecimiento constante, señalando estabilidad y posiblemente un aumento en la demanda de moldes portugueses, mientras que, Alemania, a pesar de variaciones, mantiene su posición como un productor significativo (FEAMM, 2021)., estas tendencias reflejan la complejidad del mercado global de moldes, donde factores económicos y estratégicos desempeñan roles clave en la evolución de la industria, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1.
Industria de la producción de matrices



Nota: En el gráfico se presenta los resultados de la producción de moldes a nivel mundial. Fuente: tomado de (FEAMM, 2021).

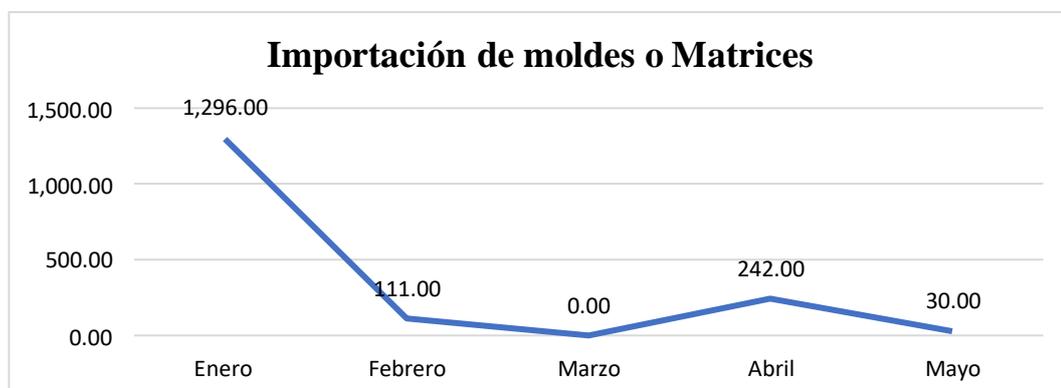
En el contexto de la producción de moldes en América Latina, México se destaca como uno de los principales líderes en la producción de matrices, generando ventas por un total de 156 millones de dólares en el año 2019, este dato resalta la posición significativa de México en la región, subrayando su contribución económica y su papel clave en la industria de moldes en América Latina. La cifra también sugiere la importancia de México como un actor relevante en la cadena de suministro global de moldes, lo que podría impulsar aún más el desarrollo y la competitividad del sector manufacturero en la región latinoamericana.

En Ecuador, la industria de fabricación de moldes o matrices para inyección no muestra datos relevantes debido a la ausencia de empresas de gran tamaño dedicadas a esta actividad, dado que la mayor parte de la producción de moldes en el país es importada, siendo México el principal exportador en América Latina.

Según el informe de Veritrade (2023), entre marzo y mayo de 2023, Ecuador importó un total de 23,000 unidades de moldes, a un precio unitario promedio de cada molde fue de \$11.83, generando un total de 272 millones de abril a mayo.

Figura 2.

Importación de moldes en miles de dólares



Nota. En la figura 2 se presenta la demanda interna de moldes y matrices. Fuente:

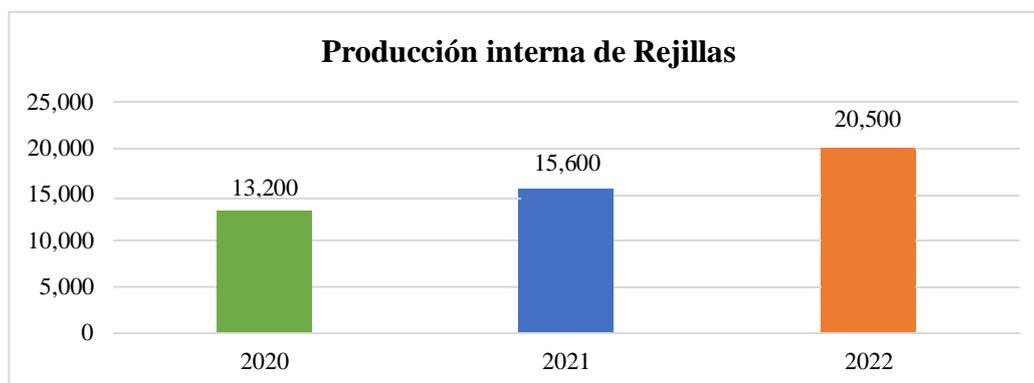
Tomado de. (Veritrade, 2023)

Esta dependencia significativa de las importaciones destaca la necesidad de desarrollar estrategias a nivel nacional para fomentar la producción local de moldes y matrices, considerando que la falta de empresas especializadas en la fabricación de moldes en Ecuador puede representar una oportunidad para el crecimiento de la industria nacional, y la colaboración público-privada podría desempeñar un papel crucial en la implementación de iniciativas para impulsar la capacidad de fabricación local.

En la empresa FUNDIMEC J.A., se especializa en la producción de rejillas de aluminio para pisos, lo cual, le ha permitido mantener una reputación sólida en el mercado, en los últimos tres años, la compañía ha experimentado un notable aumento en las ventas de sus rejillas, para el año 2020, la cifra se situaba en 13,200 unidades, mientras que para el año 2022, esta cifra ha ascendido a 20,500 unidades. Este incremento significativo en las ventas refleja no solo la calidad de los productos de FUNDIMEC J.A., sino también la creciente demanda y aceptación de sus rejillas de aluminio en el mercado.

Figura 3

Producción de rejillas de aluminio de la empresa FUNDIMEC J.A



Nota. En la figura 3 se detalla el nivel de producción de la empresa. Fuente:

Tomado de *FUNDIMEC J.A, 2023*

Sin embargo, para mantener su posición en el mercado y satisfacer la creciente demanda, genera la necesidad imperante de mejorar constantemente sus procesos de fabricación de las rejillas de antimonio, esto considerando que la calidad y la eficiencia son aspectos críticos para mantener la competitividad en esta industria (Turrubiates, 2022).

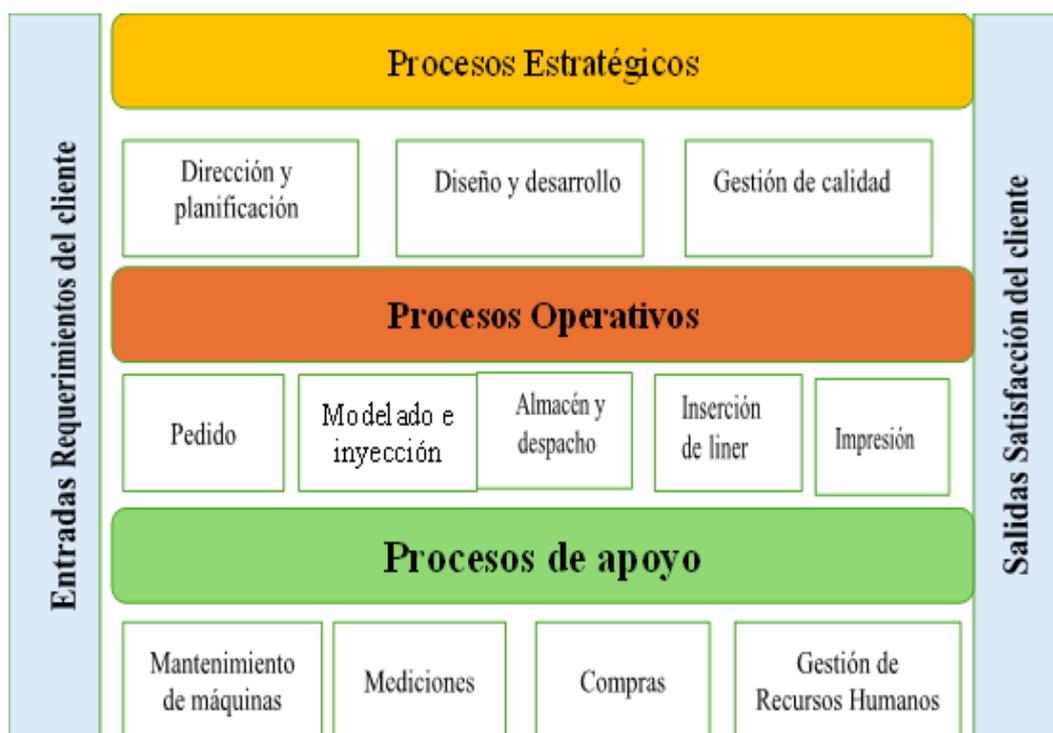
En la actualidad, la empresa FUNDIMEC J.A tiene como objetivo aumentar su capacidad de producción en el segmento de rejillas de aluminio; una vez efectuado un exhaustivo análisis de sus procesos de fabricación, especialmente en lo que respecta a moldes de arena, la compañía ha tomado la decisión estratégica de construir un molde de acero específicamente diseñado para la inyección de aluminio, esta iniciativa se espera que tenga un impacto significativo en la eficiencia y productividad de la empresa, especialmente en la producción a gran escala de rejillas de aluminio, de tal manera que pueda cubrir las expectativas de la creciente demanda.

Antecedentes

FUNDIMEC J.A., una empresa fundada en la década de los noventa en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador, inició sus operaciones como un taller metal-mecánico bajo el nombre de Industrias J.A. Hoy en día, la empresa se ha consolidado en el mercado gracias a la diversificación de sus productos, centrándose principalmente en la fabricación de rejillas de aluminio para pisos, sin embargo, los procesos de producción de la empresa para la elaboración de las rejillas se realizan de manera semiindustrial, utilizando moldes elaborados a base de arena verde, lo que ha limitado su capacidad de producción y ha ocasionado la pérdida de recursos y calidad del producto.

Actualmente, la entidad produce alrededor de 400 rejillas de piso de aluminio de todas las medidas de forma diaria; en el proceso de producción se implementa maquinaria poco especializada, procesos de producción empíricos, obstaculizando el nivel de producción y competitividad en el mercado.

Figura 4
Mapa de procesos general



Nota: En la figura 4 se detalla el mapa de procesos general la empresa. Fuente:
Tomado de *FUNDIMEC J.A, 2023*

Justificación

La presente investigación centrada en diseñar un molde para la fundición de rejillas de aluminio para pisos es de gran **importancia** para la industria, ya que ayudará a mejorar de la calidad de los productos, fortaleciendo con ello el incrementando de la producción y la competitividad de la empresa.

El diseño de la propuesta tendrá un **impacto significativo** en los niveles de producción de la empresa, ya que la implantación de un sistema automatizado en los procesos de fabricación de las rejillas de aluminio para piso, permitirá mejorar el proceso de producción y optimizar los recursos, generando productos de calidad a precios más competitivo que satisfagan las expectativas de los usuarios.

En cuanto a la **factibilidad** del desarrollo de la investigación se considera que cuenta con el total acceso a los recursos necesarios físicos, tecnológicos y financieros para la ejecución de cada etapa del proyecto, así como también para cada proceso requerido en la fabricación del producto.

Los principales **beneficiarios** de esta propuesta son los propietarios de la empresa, así como también sus empleados, esto considerando que la implementación de mejoras productivas a través de sistemas de automatización generará un aumento en la productividad y rentabilidad. Como resultado, tanto los dueños como los trabajadores experimentarán los beneficios de estas mejoras en términos de rentabilidad.

La **utilidad** de esta propuesta radica en la capacidad de transformar la producción de rejillas de aluminio en FUNDIMEC J.A. al introducir sistemas de automatización y diseño de moldes permitirá a la empresa incrementar significativamente su capacidad de producción, reducir pérdidas de recursos y mejorar la calidad de sus productos.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un molde para la fundición de rejillas de aluminio que permita el mejoramiento de la producción mediante la aplicación de herramientas de ingeniería

Objetivos Específicos

- Analizar el estado actual del proceso de fundición de las rejillas de aluminio en moldes de arena, mediante la recopilación de datos de producción, inspección visual de las rejillas y análisis de los productos defectuosos, identificando los principales problemas que ha generado los moldes de arena.
- Determinar los requerimientos de diseño del molde, realizando pruebas de contracción del aluminio, análisis de la geometría de las rejillas y evaluación de sistemas de llenado de moldes, para la construcción adecuada del molde de acero.
- Diseñar de un molde de acero mediante la utilización de un software especializado que permita conocer los parámetros del proceso de elaboración, asegurando la eficiencia antes de la implementación en la producción.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

La empresa objeto de estudio se especializa en la producción de rejillas planas para pisos mediante el proceso de fundición de aluminio, con una capacidad mensual de fabricación de 8.000 unidades, la empresa ha consolidado su enfoque en la creación de productos de alta calidad en este segmento específico del mercado.

A pesar de su destacada capacidad productiva, se ha identificado que la organización interna de la empresa no está debidamente estructurada para alcanzar de manera eficiente los objetivos de producción, la falta de una representación gráfica clara de los puntos de introducción de la materia prima, así como la ausencia de un orden definido para las inspecciones y demás operaciones relacionadas con el proceso de fundición de aluminio, son desafíos clave que enfrenta la empresa.

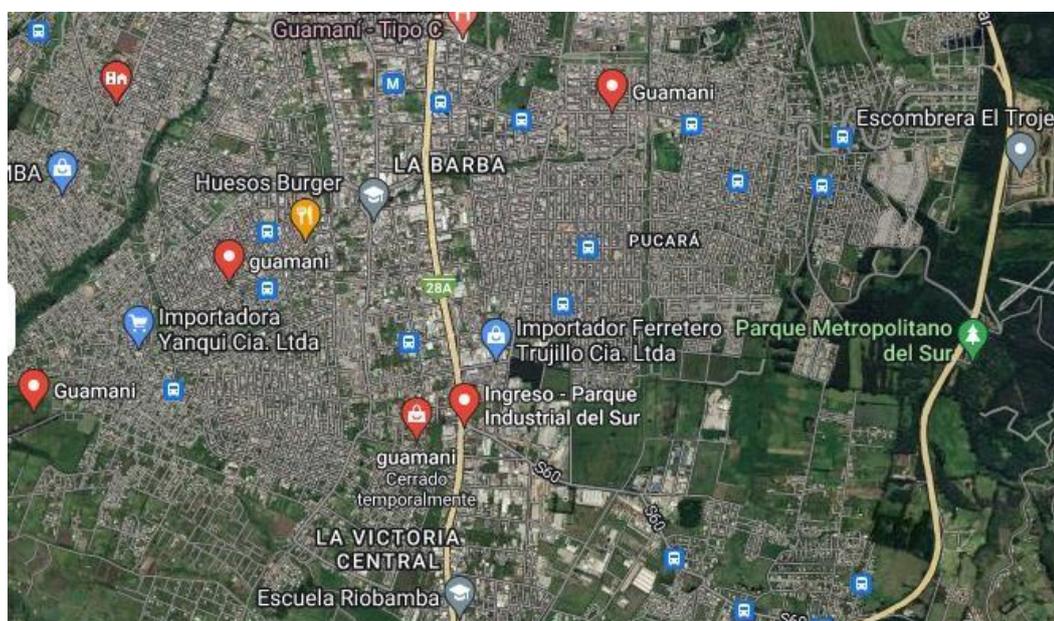
La carencia de información clave, como el tiempo necesario para la producción diaria y la adecuación de los ciclos de fabricación, contribuye a la falta de una visión integral del proceso de fabricación de las rejillas planas para pisos. En otras palabras, no se dispone de una representación visual clara de la secuencia de eventos del proceso, lo que dificulta la identificación y reducción de demoras, la comparación de métodos y el estudio de operaciones para eliminar tiempos improductivos.

Con el propósito de abordar estas deficiencias y mejorar la eficiencia en la producción, la presente investigación surge como respuesta a la necesidad de mejorar el proceso de fundición específicamente para las rejillas planas, este

enfoque tiene como objetivo no solo garantizar la calidad del producto final sino también optimizar los recursos económicos y el tiempo de producción.

En este contexto la empresa FUNDIMEC J.A., es una entidad perteneciente al sector industrial, con sede en la provincia de pichincha, Ecuador, Su lugar de operación se encuentra en el parque industrial del sector Guamaní al sur de Quito, el área total de la infraestructura es de 1200 metros distribuidos tanto el área administrativa como operativa.

Figura 5:
Ubicación geográfica de la empresa



Nota. La figura 5 presenta la ubicación geográfica de la empresa. Tomado de Google Maps

Actualmente la entidad se destaca como proveedora de rejillas de aluminio de importantes empresas dedicadas a la comercialización de estos productos, como Importador Ferretero Trujillo, Dismec, Dimpofer, entre otros, debido a esta expansión, la empresa se ha enfrentado a desafíos significativos, es decir la falta de mejoramiento en los procesos de producción no le ha permitido satisfacer a la creciente demanda tanto en precios como en la calidad del producto.

Análisis de la distribución de la planta

De acuerdo a los datos recabados se puede visualizar que la distribución de la planta está organizada en dos áreas principales: el área administrativa y el área operativa. Área Administrativa cuenta con una superficie de 100 metros cuadrados en los cuales se distribuyen los departamentos de:

- Gerencia General.
- Contabilidad.
- Finanzas.
- Ventas y Comercialización.
- Recepción.

Figura 6.
Distribución del Taller



Nota. En la figura 6 se presenta la distribución del área operativa de la empresa

La disposición de esta área sugiere una agrupación lógica de los departamentos relacionados con la gestión interna, lo que es esencial para el funcionamiento eficiente de la empresa.

Área Operativa, cuenta con una superficie de 300 metros cuadrados, dentro de los cuales esta las secciones:

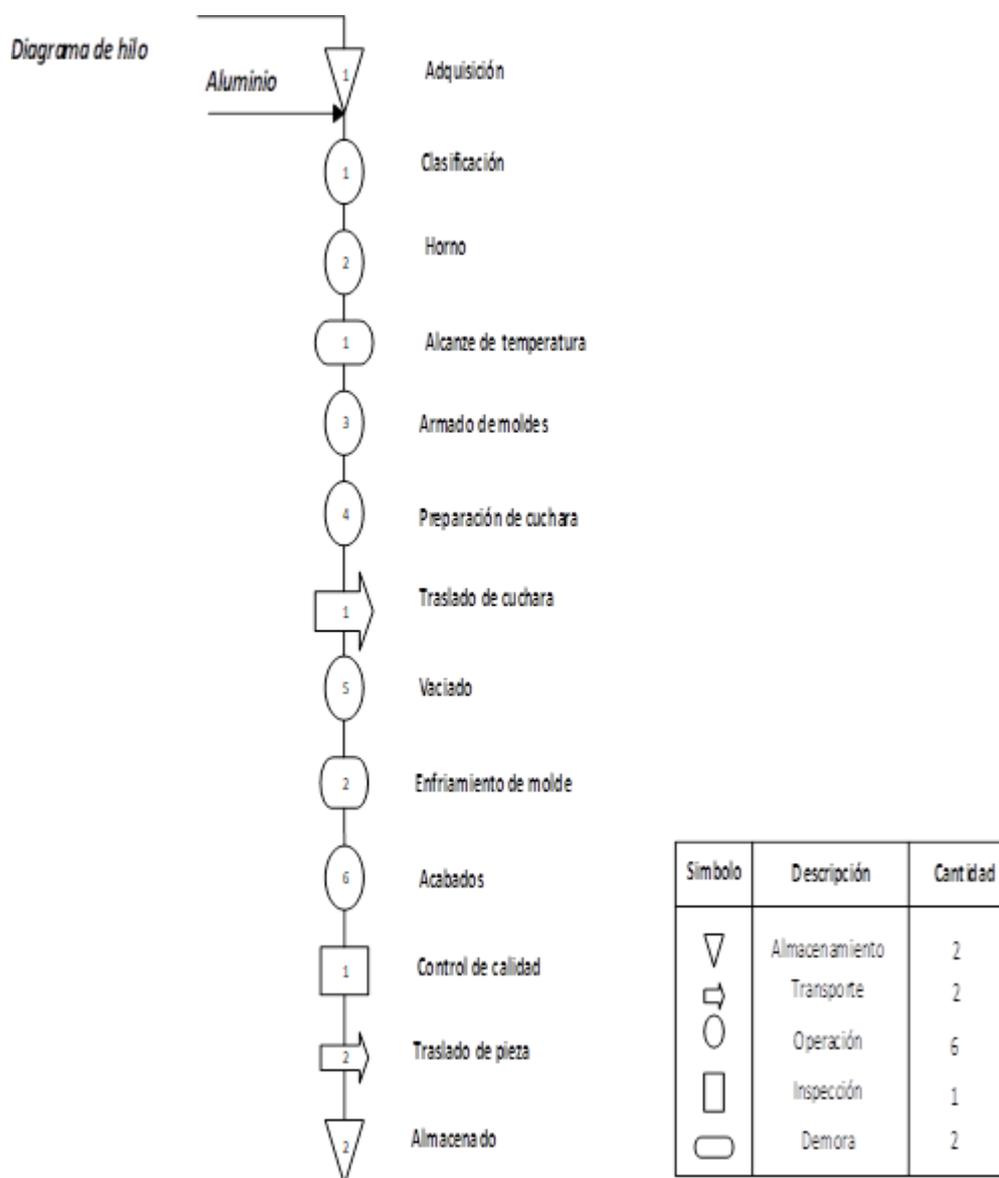
- Taller de fabricación de rejillas.
- Bodegas de almacenamiento de materiales.
- Áreas de almacenamiento y distribución de productos terminados.
- Área de guardianía.
- Garaje para recepción de materia prima y entrega de productos.

La proximidad del garaje para la recepción de materia prima y la entrega de productos a la zona de almacenamiento y distribución sugiere una eficiente logística de entrada y salida, así mismo, la ubicación estratégica del área de guardianía contribuye a la seguridad y control de acceso en la planta, esto es beneficioso para facilitar el flujo de trabajo entre el taller de fabricación y las áreas de almacenamiento y distribución, optimizando con ello la cadena de producción.

Levantamiento del Procesos de fabricación de las rejillas de aluminio

En el núcleo de las operaciones, donde se lleva a cabo la fabricación de rejillas planas para pisos mediante el proceso de fundición de aluminio en moldes de arena, se destaca la ejecución de distintos procesos y subprocesos, es importante señalar que estas operaciones, se realizan de manera manual y con la ayuda de herramientas neumáticas, evidenciando un enfoque artesanal y detallado.

Figura 7.
Diagrama de hilo del proceso de fundición de las rejillas



Nota. La figura 7 describe el proceso de fundición de las rejillas que actualmente utiliza la empresa. Fuente. empresa FUNDIMEC J.A

En este sentido, la subdivisión del área operativa en secciones específicas refleja una organización estructurada para la producción y distribución de las rejillas de aluminio, la presencia de un taller de fabricación, bodegas de almacenamiento y áreas específicas para productos terminados indica una clara ruta logística dentro de la planta.

Análisis del proceso de producción de la empresa

La producción de una rejilla plana implica una serie de pasos esenciales que abarcan desde el diseño inicial hasta la entrega del producto final, estos procesos comprenden de.

- Diseño de los moldes, creación del diseño del molde específico para la rejilla plana, estableciendo la base para el proceso de fundición.
- Preparación de materiales, selección y preparación de los materiales necesarios para los moldes y modelos de rejillas planas.
- Fabricación de moldes y modelos, construcción de los moldes y modelos de rejillas planas de acuerdo con las especificaciones de diseño.
- Colado del material, vertido del material a fundir, en este caso, aluminio, en los moldes preparados para las rejillas planas.
- Enfriamiento de moldes, proceso de enfriamiento controlado para solidificar el material y dar forma a las rejillas planas.
- Extracción de rejillas planas, retirada cuidadosa de las rejillas planas de los moldes.
- Limpieza de rejillas planas, proceso de limpieza específico para las rejillas planas, eliminando impurezas y residuos superficiales.
- Terminado de rejillas planas, etapas finales de refinamiento y ajuste de las rejillas planas.
- Reparación o recuperación de materiales en los moldes, Realización de reparaciones necesarias en los moldes para mantener la calidad

del proceso, enfocándose en la producción de rejillas planas para pisos.

La técnica de fundición en moldes de arena, inicia con la creación de un patrón del molde de la rejilla utilizando madera, este patrón se coloca entre dos moldes, uno superior y otro inferior, que se ajustan de manera precisa alrededor del patrón, la arena se compacta alrededor del patrón para formar el molde, una vez que el molde está listo y asegurado, se procede a verter metal fundido en su interior, que luego se deja enfriar y solidificar, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 8.

Proceso de fundición de la rejilla



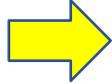
Nota. En la figura 8 se ilustra el proceso de fabricación de rejillas

Las actividades que se realizan del proceso de fabricación de rejillas se ilustran en la siguiente tabla

Tabla 1.

Cursograma analítico del proceso de fundición en moldes de arena

Cursograma analítico				
Logo de la empresa	Taller		Resumen de actividades	
Producción	Rejillas planas			
proceso	Fundición de metal	Actividad	Actual	Propuesto
Material	Aluminio	Operación		6
Tipo		Inspección		1
Anotación		Transporte		2
Elaborado por:		Demora		2
Revisado por:		Almacén		2
Anotación		Tiempo total (horas)	7 horas con 55 min	

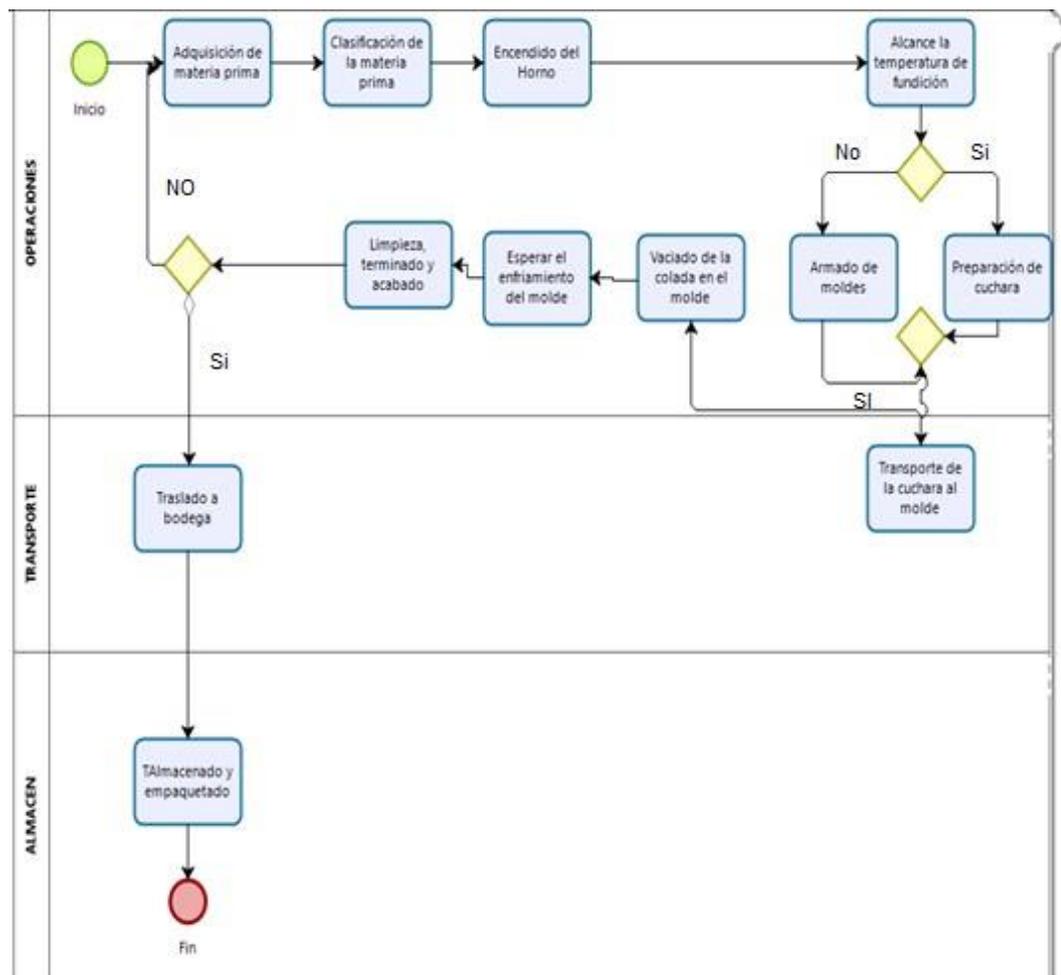
Descripción de actividades	Símbolos					Tiempo (mín)	Distancias
							
Adquisición de materia prima (Aluminio)					x	10	
Clasificación de la materia prima (perfil y piezas de auto)	X					20	
Encendido del Horno	X					5	
Esperar que alcance la temperatura de fundición del aluminio	X					110	
Armado de moldes para materia prima	X					95	
Preparación de cucharas para transporte			X			20	
Transporte de la cuchara al molde				X		35	10 metros
Vaciado de la fundición en el molde	X					30	
Espera a enfriar el molde de aluminio a temperatura ambiente		X				20	
Limpieza, terminado y acabado			X			40	
Control de calidad				X		45	
Traslado a bodega de las piezas fundidas					X	10	12 metros
Almacenado y empaquetado	X					35	
Total, actividades	6	1	2	2	2	475 min	

Nota. En la tabla 1 se presenta el cursograma analítico de la producción de rejillas

En la tabla 1, se detalla el tiempo necesario para la fabricación de las rejillas planas para pisos, comprendiendo los tiempos muertos y demoras observados en cada subproceso., cabe destacar que, en este proceso, cada ciclo de trabajo genera 400 piezas durante una jornada laboral de 8 horas, siendo la eficiencia del proceso influenciada por la destreza del operario, además, se registra el tiempo promedio para la creación de diferentes modelos dentro de la empresa.

Es relevante señalar que, aunque los modelos de las rejillas puedan variar, las operaciones y procesos fundamentales permanecen constantes, ajustándose el tiempo según la complejidad de cada diseño.

Figura 9
Flujograma del proceso actual de fundición de las rejillas en moldes de arena

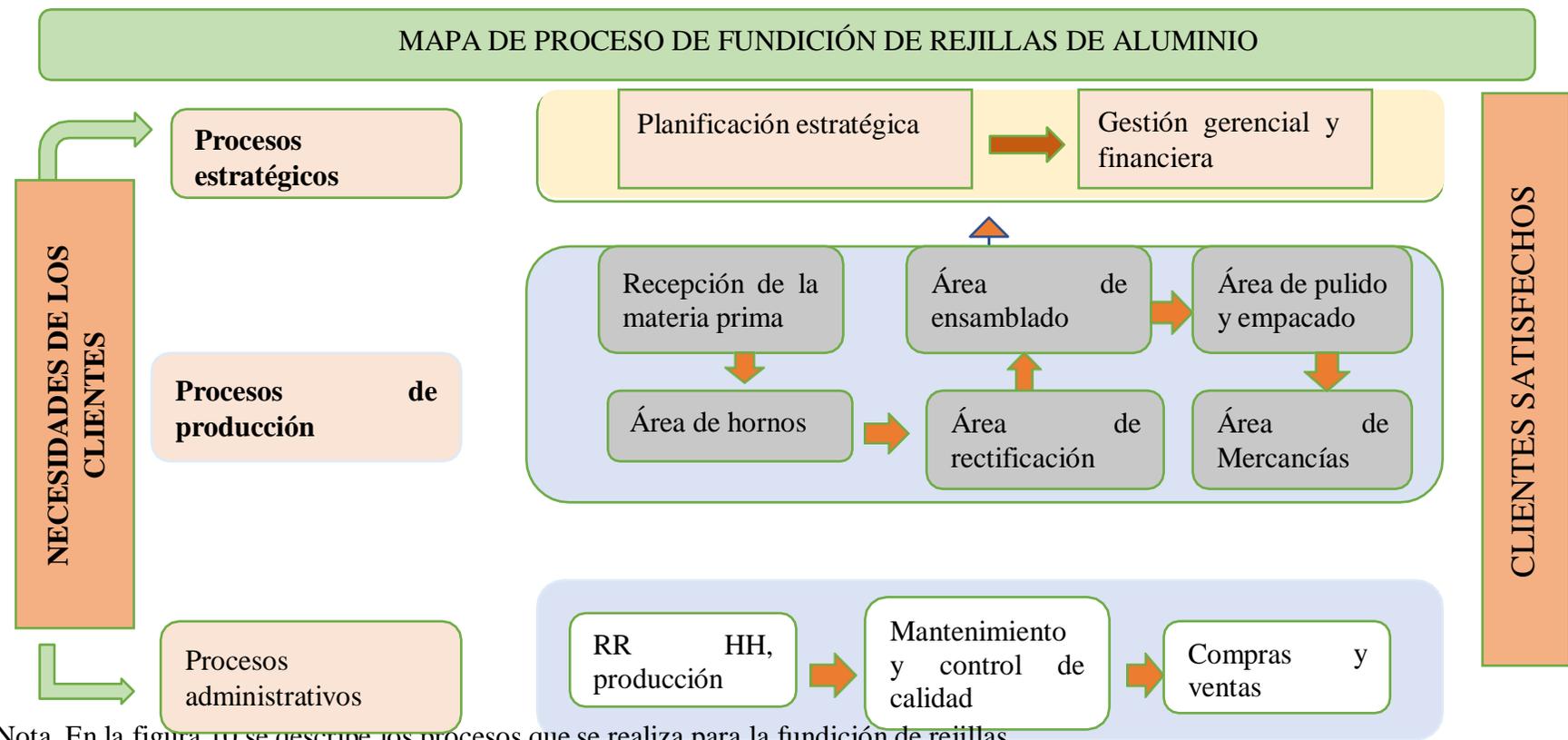


Nota: la figura 9 muestra el proceso actual de la empresa

Mapa de procesos para la fundición de rejillas planas para pisos

El siguiente mapa de procesos evidencia las distintas etapas en el área de fundición de aluminio en moldes de arena, destacando las conexiones entre los subprocesos y las actividades que se ejecutan dentro de la empresa, mismas que se presentan en la siguiente figura.

Figura 10.
Mapa de procesos



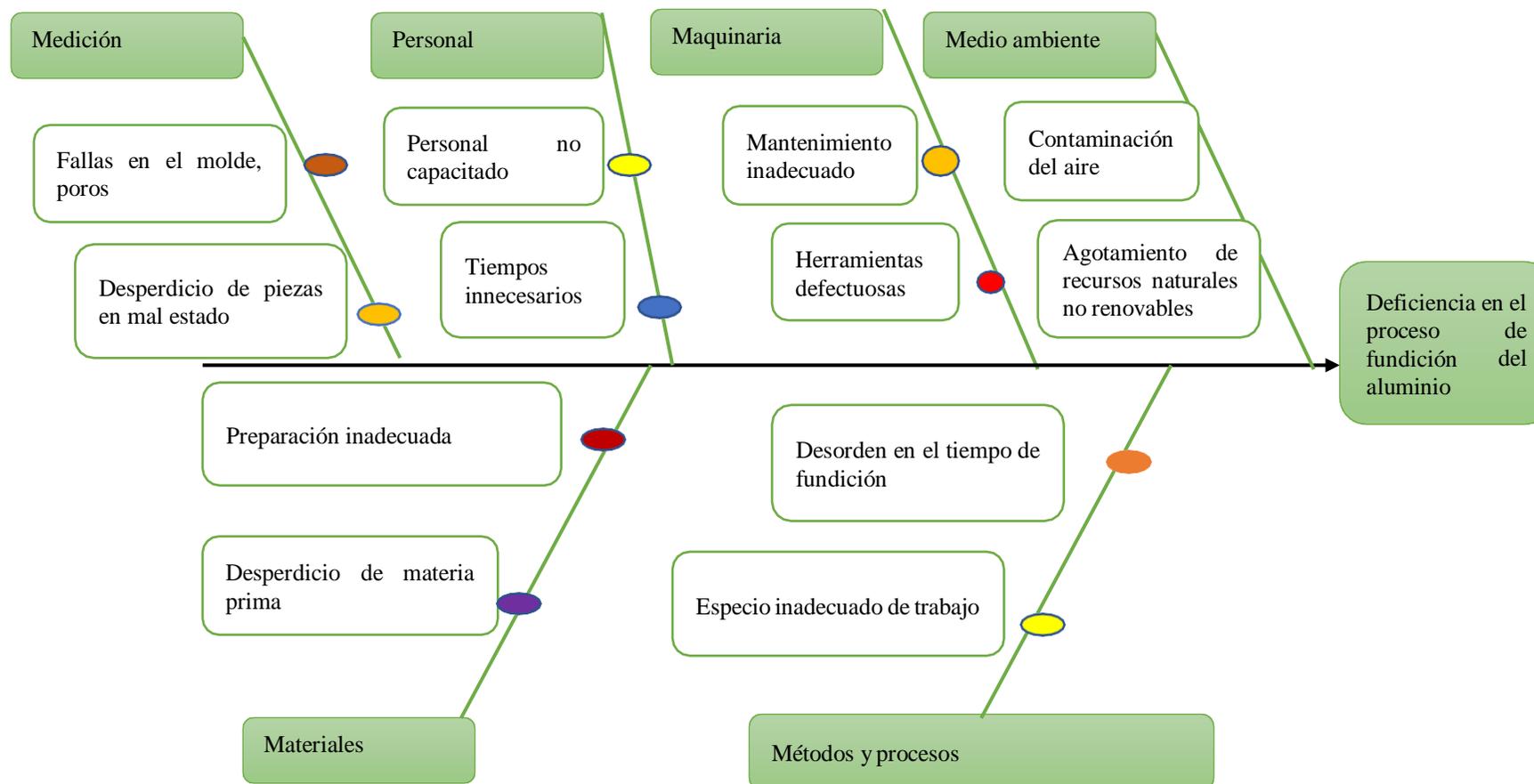
Nota. En la figura 10 se describe los procesos que se realiza para la fundición de rejillas

Diagnóstico de puntos críticos en el proceso de fundición de rejillas

Con base en los datos recopilados y las observaciones del proceso actual, se ha identificado varios problemas asociados a la producción, siendo el más crítico el proceso de terminado, en el cual se ha detectado defectos en las piezas, para analizar la incidencia de estos defectos, se ha evaluado el número de fallos por semana a través de un diagrama Ishikawa, el cual se presenta en la siguiente figura

Figura 11

Diagrama de Ishikawa del proceso de fundición



Nota. En la figura 11 se presenta los principales problemas que presenta el proceso de producción de rejillas para piso

Análisis de la producción diaria de rejillas planas para pisos

A continuación, se detalla el análisis del proceso de fabricación de las rejillas planas para pisos, comprendiendo los tiempos muertos y demoras observados en cada subproceso., cabe destacar que, en este proceso, cada ciclo de trabajo genera 400 piezas durante una jornada laboral de 8 horas, siendo la eficiencia del proceso influenciada por la destreza del operario, además, se registra el tiempo promedio para la creación de diferentes modelos dentro de la empresa.

En cuanto a la demanda histórica de la empresa reflejada en los datos proporcionados en la tabla 1 muestra la variación en la producción de rejillas para pisos a lo largo de cuatro trimestres consecutivos del año 2023, en el primer trimestre, la demanda fue de 7,500 unidades producidas y vendidas, seguido de un aumento en el segundo trimestre a 7,000 unidades producidas y vendidas, el tercer trimestre experimentó un crecimiento adicional, alcanzando una producción total de 7,000 unidades, y se mantuvo estable en el cuarto trimestre con otra cifra de 8,000 unidades vendidas.

La suma total de las ventas durante estos trimestres fue de 29.000 unidades, y el promedio de demanda se estableció en 7.250 unidades, estos datos proporcionan una visión detallada de la variabilidad estacional en la demanda de las rejillas para pisos, destacando patrones útiles para la planificación y ajuste de la producción en el futuro.

Tabla 2.
Demanda promedio

DEMANDA HISTÓRICA	I TRIMESTRE	II TRIMESTRE	III TRIMESTRE	IV TRIMESTRE	VENTAS TOTALES	DEMANDA PROMEDIO
					29.00	
VENTAS	7.000	7.000	7.000	8.000	0	7.250

Nota. En la tabla 2 se detalla el comportamiento de la demanda

La interpretación de estos datos históricos de las ventas permite a la empresa comprender la fluctuación en la demanda a lo largo del tiempo, contribuyendo con ello al diseño de una estrategia más efectiva para incrementar la producción y prepararse para satisfacer la creciente demanda del sector.

Análisis de la producción semanal de rejillas planas para pisos

A continuación, se detalla la producción semanal de rejillas planas para pisos, considerando tanto los productos buenos como aquellos con defectos generados dentro de un lote de producción trimestral, el análisis tiene como base un total de 2.000 unidades producidas a la semana, de las cuales se identificaron 200 piezas con imperfecciones.

Tabla 3
Análisis de la producción semanal del último trimestre del año 2023

Tiempo De Producción	Denominación	Productos Buenos	Productos con Defectos	Productos Totales	% de Productos Defectuosos
Semana 1	Rejillas planas	1.800	200	2.000	10%
semana 2	Rejillas planas	1.853	147	2.000	7%
semana 3	Rejillas planas	1.836	164	2.000	8%
semana 4	Rejillas planas	1.857	143	2.000	7%
semana 5	Rejillas planas	1.869	131	2.000	7%
semana 6	Rejillas planas	1.875	125	2.000	6%
semana 7	Rejillas planas	1.817	183	2.000	9%
semana 8	Rejillas planas	1.867	133	2.000	7%
semana 9	Rejillas planas	1.841	159	2.000	8%
semana 10	Rejillas planas	1.813	187	2.000	9%
semana 12	Rejillas planas	1.853	147	2.000	7%

Total	20.281	1.719	22.000
--------------	--------	-------	--------

Nota. En la tabla 3 se describe la producción semana de la empresa

La tabla 3 presenta un análisis detallado de la producción semanal de rejillas planas durante el último trimestre del año 2023, durante este período, se observa una variabilidad en la cantidad de productos defectuosos, lo que destaca un problema significativo en la calidad de la producción, las semanas 1, 7, 9 y 10 muestran porcentajes de productos defectuosos del 10%, 9%, y 8% respectivamente. Esta tendencia indica una inconsistencia en el proceso de fabricación que conlleva a la generación recurrente de productos defectuosos, la magnitud del problema se refleja en los totales trimestrales, donde de un total de 22,000 rejillas planas producidas, 1,810 resultaron defectuosas, este porcentaje de productos defectuosos (alrededor del 8.23%) es una preocupación significativa, ya que puede impactar negativamente la reputación de la empresa y generar costos adicionales asociados con reprocesos y devoluciones.

Costo de la materia prima (arena)

El análisis de costos asociados a la producción de rejillas en moldes de arena revela aspectos relevantes para la gestión eficiente de recursos, en un enfoque trimestral, la cantidad de arena necesaria asciende a 12 quintales, con un costo unitario de \$12,5, generando un costo trimestral de \$150 y un costo anual de \$600, al considerar la producción trimestral de 20.190 piezas y la producción anual de 80.760, el costo por unidad de arena se sitúa en \$0.00742942, ver tabla 4.

Tabla 4.

Análisis del costo de arena

	ARENA	COSTO
Cantidad en quintales		12
Costo por unidad		\$12,5
Costo trimestral		\$150

Costo anual	\$600
Producción de piezas trimestrales	20.190
Producción de piezas anuales	80.760
Costo por unidad	0,00742942
Perdida de materia prima por unidades defectuosas	\$13,45

Nota. En la tabla 3 se detalla en análisis del consto de la producción en arena

Un aspecto crítico se resalta al examinar la pérdida de materia prima debido a unidades defectuosas, estimada en \$13.45ctv., este valor representa no solo una pérdida económica directa asociada al material desperdiciado, sino también implica una disminución en la eficiencia del proceso y la necesidad de reponer la materia prima perdida.

De igual forma, el análisis de los procesos requeridos para cumplir con los estándares de calidad revela claramente la ineficiencia y los costos adicionales asociados con la fabricación de rejillas de piso en moldes de arena en comparación con la fabricación en moldes permanentes.

En los procesos de calidad para moldes de arena, cada pieza requiere tres etapas de acabado, como son el devastado de la pieza, lijado y brillo con felpa, con un tiempo total del proceso de 3 minutos y un costo por proceso de 0,141 dólares, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.
Costos del proceso de calidad

Procesos de calidad	Tiempo del proceso en minutos	Costo unitario en moldes de arena	Proceso de calidad	Costo unitario en molde permanente	Producción trimestral	Costos trimestrales en moldes de arena	costos anuales en moldes de arena
Devastado de la pieza	1	0,047	Brillo de la pieza con felpa 1 minuto	0,047	22.000	3.094	12.375
Lijado de la pieza	1	0,047					
Brillo con felpa	1	0,047					
Total	3	0,141		0,047	22000	3.094	12.375

Nota. En la tabla 5 se analiza el costo del proceso de calidad

Considerando una producción trimestral de 22.000 piezas, los costos asociados con estos procesos en moldes de arena ascienden a 3.094 dólares trimestrales y 12.375 dólares anuales valores que afectan directamente a la rentabilidad de la empresa, además de los desafíos financieros que conlleva la producción de rejillas en moldes de arena, esta metodología impacta de manera significativa en la calidad física de las piezas. Se observa una notable presencia de rugosidad, porosidad y dimensionamiento desigual en las piezas, fenómenos que son directamente atribuibles al desgaste y deterioro gradual del molde utilizado en este proceso, estos problemas de calidad física no solo generan costos adicionales en los procesos de acabado, sino que también afectan la satisfacción del cliente y la competitividad en el mercado.

Análisis de la efectividad en la entrega de rejillas planas para pisos

Con la finalidad de mantener altos estándares de calidad y satisfacción del cliente, se ha llevado a cabo un análisis del nivel de cumplimiento en la entrega de los productos, este análisis se enfoca en cumplir con la calidad y la cantidad adecuada de los productos que demandan los clientes.

Para evaluar el cumplimiento en las entregas del producto solicitado por el cliente, se realizó el levantamiento de la información relacionada con las ordenes de producción de los clientes y los registros de despacho existentes en el área operativa dentro de los últimos 5 meses del año 2023, los hallazgos revelan un resumen de las últimas entregas a clientes, detallado en la siguiente tabla.

Tabla 6

Cálculo del incumplimiento en la entrega del producto final

Fecha	Órdenes de producción	Cantidad solicitada	Cantidad despachada	Incumplimiento de pedidos
05/05/2023	ODP N° 1	10.000	8.000	2.000
06/06/2023	ODP N° 2	9.000	7.999	1.001
07/07/2023	ODP N° 3	4.000	2.987	1.013
08/08/2023	ODP N° 4	5.000	4.131	8.69
09/09/2023	ODP N° 5	8.500	7.921	579
11/10/2023	ODP N° 6	9.000	7.983	1.017
11/11/2023	ODP N° 7	10.000	7.256	2.744
12/12/2023	ODP N° 8	6.000	4.998	1.002

Nota. En la tabla 5 se describe el nivel de incumplimiento de la producción final

La tabla 5 refleja un análisis crítico del incumplimiento en la entrega del producto final por parte de la empresa en los últimos cinco meses, estos datos revelan una falta de sincronización entre las órdenes de producción y la cantidad real despachada, el incumplimiento ha sido constante, generando consecuencias perjudiciales para la reputación y confianza del cliente. Se destaca que, en algunos casos, la diferencia entre la cantidad solicitada y la entregada ha sido significativa,

llegando a alcanzar los 2.000 productos, este incumplimiento podría estar vinculado a la falta de un molde de producción permanente, lo que afecta la capacidad de la empresa para satisfacer plenamente las demandas del mercado en los plazos establecidos.

Desventajas de trabajar en moldes de arena

La empresa enfrenta diversas desventajas asociadas a la utilización de moldes de arena en el proceso de fabricación de rejillas planas para pisos, entre las principales desventajas se destacan

Calidad del Producto

- **Rugosidad y Porosidad.** La utilización de moldes de arena conlleva a la generación de productos con superficies rugosas y porosidad, lo que impacta directamente en la calidad física de las piezas, exigiendo procesos adicionales de acabado.

Costos Adicionales

- **Procesos de Calidad.** La necesidad de procesos de calidad adicionales, como el devastado, lijado y brillo con felpa, incrementa los costos operativos y prolonga el tiempo de producción.
- **Desperdicio de Material.** La presencia de productos defectuosos implica un desperdicio de materia prima significativo, contribuyendo a costos adicionales que podrían evitarse con un método de producción más eficiente.

Eficiencia Operativa

- **Tiempo de producción.** Los procesos manuales asociados a los moldes de arena generan ciclos de producción más extensos, afectando la eficiencia operativa y limitando la capacidad de cumplir con las demandas del mercado en tiempos óptimos.

Inconsistencia en la Producción

- **Variabilidad en el Producto.** La naturaleza manual del proceso con moldes de arena puede resultar en variabilidad en las características del producto final, lo que afecta la consistencia y uniformidad de las rejillas fabricadas.

Incumplimiento en Entregas

- **Problemas de Sincronización.** La falta de un molde permanente puede contribuir al incumplimiento en las entregas de productos, generando pérdida de confianza por parte de los clientes y afectando la reputación de la empresa.

Adopción de Moldes de Acero

La adopción de moldes de acero se presenta como una solución para superar estas desventajas, los moldes de acero ofrecen ventajas clave, como mayor durabilidad, precisión dimensional y una superficie más suave, reduciendo la necesidad de procesos adicionales, además, al minimizar el desperdicio de material y acelerar los tiempos de producción.

Los moldes de acero mejoran la eficiencia operativa y garantizan una consistencia superior en la calidad del producto final. la inversión en moldes de acero se traduce en una producción más eficiente, menor costo total y una mayor satisfacción del cliente, estableciendo una base sólida para el éxito continuo de la empresa.

Análisis de la pérdida por productos defectuosos

La producción semanal de rejillas planas para pisos, fabricadas con moldes de arena, ha mostrado consistentemente una tasa de productos defectuosos, según los registros, la cantidad de productos defectuosos oscila entre 131 y 200 unidades por semana, representando aproximadamente un 7% a un 10% del total de la producción semanal de 2.000 unidades, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.
Perdida semanal por productos defectuosos

Semana	Productos Defectuosos	% de Defectuosos	Pérdida Semanal Estimada (\$)
1	200	10%	\$ 29,60
2	147	7%	\$ 21,76
3	164	8%	\$ 24,28
4	143	7%	\$ 21,17
5	131	7%	\$ 19,39
6	125	6%	\$ 18,50
7	183	9%	\$ 27,09
8	133	7%	\$ 19,69
9	159	8%	\$ 23,54
10	187	9%	\$ 27,68
11	147	7%	\$ 21,76

Nota. En la tabla 6 se describe la perdida de productos defectuosos

Estos datos proporcionan una visión más organizada de la cantidad de productos defectuosos, el porcentaje asociado y la pérdida semanal estimada en dólares para cada una de las últimas semanas.

Principales problemas que presentan los moldes de arena en la fundición

Entre los defectos más significativos detectados en el proceso de fundición de rejillas de piso utilizando moldes de arena, se destacan.

- **Porosidad.** La presencia de poros en las piezas es un problema crítico, ocasionado por la inclusión de arena durante el proceso de fundición. Estos poros comprometen la integridad estructural y estética de las rejillas, generando productos finales con imperfecciones visibles y estructurales.
- **Rugosidades.** Se observa la aparición de superficies rugosas en las piezas, afectando la suavidad y calidad del acabado final. Estas rugosidades no solo influyen en la estética del producto, sino que también

pueden afectar su funcionalidad, especialmente en aplicaciones donde la textura de la superficie es crucial.

- **Variabilidad en Dimensiones.** El desgaste progresivo del molde de arena contribuye a una variabilidad en las dimensiones de las piezas fundidas. Esto se traduce en productos finales con dimensiones inconsistentes, comprometiendo la calidad y el ajuste de las rejillas en su aplicación final.

Estos problemas derivados del uso de moldes de arena impactan directamente en la calidad general de las rejillas de piso, tanto en términos estéticos como funcionales, específicamente, la inclusión de poros afecta la integridad de la pieza, las rugosidades influyen en la textura superficial y la variabilidad en dimensiones compromete la uniformidad del producto final.

Finalmente, el problema principal del molde de arena se refleja en la alta cantidad de productos defectuosos, lo que resulta en pérdidas económicas significativas para la empresa, la rugosidad, porosidad y variabilidad en las dimensiones mencionadas previamente contribuyen directamente a esta alta tasa de productos defectuosos.

Tabla 8.

Resumen la situación actual del proceso de fundición

Productos Defectuosos trimestrales	Pérdida Trimestral Estimada (\$)	Productos Defectuosos anuales	Pérdida anual Estimada (\$)
1.719	254	6.876	1.018

Nota. En la tabla 1 se describe el resumen de la situación actual

La tabla 7 proporciona información sobre los productos defectuosos trimestrales y anuales y las pérdidas estimadas asociadas al proceso productivo en base a los moldes de arena. por lo tanto, el alto número de productos defectuosos no solo afecta a la calidad del producto, sino que también reduce las utilidades económicas asociadas, afectando directamente a la eficiencia general del proceso de fundición.

Estos problemas inherentes al uso de moldes de arena tienen un impacto directo en la calidad general de las rejillas de piso, la inclusión de poros afecta la integridad estructural de las piezas, las rugosidades influyen en la textura superficial y la variabilidad en dimensiones compromete la uniformidad del producto final, deteriorando no solo la calidad del producto, sino que también resulta en pérdidas económicas significativas para la empresa, por tanto, para superar estos desafíos, se hace imperativo considerar el cambio hacia la implementación de moldes de acero, proporcionando una solución integral que mejore la calidad del producto, reduzca las pérdidas económicas y fortalezca la eficiencia operativa.

Área De Estudio

El diseño de un molde permanente para la fundición de rejillas de aluminio en la empresa implica la realización de un análisis de todos los aspectos relacionados con el proceso de fundición y la fabricación de moldes. El cual inicia con la selección de materiales para garantizar la durabilidad, resistencia al calor y conductividad térmica del molde. Además, de la implementación de técnicas de fabricación eficientes y rentables, para producir moldes de alta calidad que mejoren la eficiencia operativa y reduzcan los costos de producción.

Una vez diseñado el molde, se evaluará los procesos de operación, desde la preparación del metal hasta la extracción de las piezas fundidas, a fin de identificar posibles falencias que se deba mejorar durante todo el proceso. Además, se considerará establecer procedimientos de control de calidad y sistemas de inspección para garantizar que las rejillas de aluminio fundido cumplan con los estándares requeridos por la empresa y los clientes.

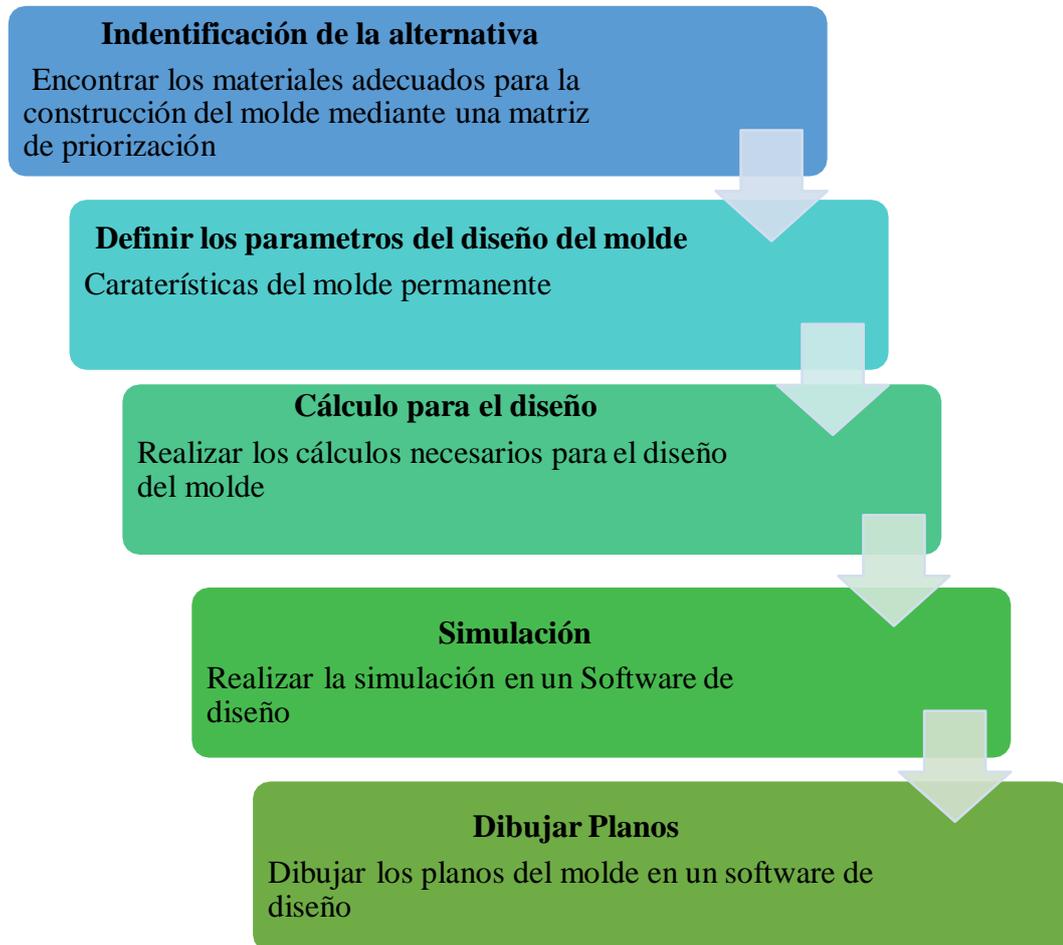
Por último, el diseño del molde permanente también requiere un análisis detallado de los costos asociados con su fabricación, mantenimiento y operación con el fin de identificar áreas de oportunidad para reducir costos y mejorar la eficiencia operativa que garantice a la empresa una rentabilidad a largo plazo.

Modelo operativo para el diseño del molde

El modelo operativo del diseño del molde permanente implica una transición significativa en el proceso de fabricación de rejillas planas para pisos, en lugar de depender de moldes de arena que requieren constantes renovaciones y generan productos con defectos, la implementación de moldes permanentes promete eficiencia y consistencia en la producción.

Este nuevo enfoque implica la creación de un molde duradero y reutilizable que reduce los costos asociados con la renovación frecuente de moldes de arena, además, al eliminar la necesidad de pulir las piezas y reducir el tiempo de producción, se espera mejorar la calidad final del producto y cumplir con los plazos de entrega de manera más efectiva, por lo tanto, la adopción de moldes permanentes no solo apunta a optimizar la eficiencia operativa, sino también a mitigar problemas de calidad y cumplimiento de pedidos que han afectado negativamente la empresa en el pasado.

Figura 12.
Modelo operativo



Nota: En la figura 12 se presenta el modelo operativo a seguir para el diseño del molde

En el proceso de diseño de un molde permanente para la fabricación de rejillas de aluminio planas para piso, se seguirá un enfoque estructurado que involucra diversas etapas clave. En primer lugar, se llevará a cabo la **identificación de alternativas** mediante la aplicación de la matriz de priorización, que utiliza para establecer los requerimientos tanto de los materiales como del molde

Posteriormente, se procederá a **definir los parámetros de diseño**, integrando los datos recopilados en la Casa de la Calidad y realizando visitas a la

empresa, para obtener información sobre el espacio físico y las características de los materiales necesarios para el fundido de la pieza

Luego, se realizarán **cálculos detallados** para cada componente del molde permanente, utilizando resolución matemática con los parámetros de diseño como base, este paso contribuirá a asegurar la eficiencia y funcionalidad óptima del molde. Posteriormente, se llevará a cabo una **simulación** mediante software de diseño mecánico, utilizando los resultados obtenidos en los cálculos previos. Esta simulación permitirá evaluar la resistencia y durabilidad del diseño bajo diversas condiciones propias del fundido del metal.

Finalmente, como parte del proceso de diseño, se **generarán planos detallados** de construcción para cada elemento del molde permanente, estos planos se desarrollarán utilizando software de diseño, proporcionando un conjunto completo de documentos técnicos que guiarán la fabricación del molde permanente. Este enfoque integral busca no solo optimizar la eficiencia del diseño sino también garantizar la calidad y durabilidad del molde para mejorar el proceso de fabricación de las rejillas de aluminio.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE RESULTADOS ESPERADOS

Descripción de la propuesta

La propuesta plantea el diseño de un molde de acero inoxidable para la producción eficiente de rejillas de aluminio para pisos mediante el proceso de fundición a presión en matrices, cuyo método implica la introducción de metal líquido en un molde especialmente diseñado para configurar las rejillas de aluminio deseadas, después del enfriamiento y solidificación del metal en la matriz, se expulsa el producto final, este ciclo se ejecuta de manera eficaz, permitiendo la fabricación en grandes cantidades.

La matriz de presión, es elaborada en acero inoxidable para resistir las temperaturas de fundición del aluminio (con un punto de fusión bajo de 700 °C), la cual se cierra antes de introducir el aluminio líquido, donde el material de aluminio necesario para el proceso se puede obtener de manera accesible en bodegas de reciclaje, con un costo generalmente situado entre 50 y 60 dólares por quintal,

Este enfoque en la fundición a presión se destaca por su rapidez y eficiencia en que se realiza el proceso de producción de las rejillas de aluminio, mismo que se ha consolidado como uno de los métodos más ágiles para la fabricación a gran escala de productos metálicos.

Matriz de Priorización para selección de acero en el diseño del molde

Para la selección del material más adecuado para la fabricación del molde se considerará los siguientes criterios

Criterios de Selección

- **Resistencia Mecánica.** Evalúa la capacidad del acero para resistir esfuerzos mecánicos durante la fundición y uso del molde.

- **Durabilidad.** Considera la vida útil del acero, influyendo en la cantidad de ciclos de fundición que puede soportar.
- **Conductividad Térmica.** Indica la eficiencia del acero en la conducción del calor, afectando el tiempo de solidificación del metal fundido.
- **Costo del Material.** Refleja el costo asociado con la adquisición del acero.

Importancia Relativa (Peso). La suma total de pesos será igual a 1.0. Los materiales incluyen.

Tabla 9.
Características de materiales

Material	Característica	Propósitos
Acero ASTM A-36	Bajo contenido de carbono, laminado en caliente, y disponible en diversas formas	Utilizado en la construcción de elementos estructurales del equipo, como el bastidor, placas base, placas de soporte y apoyo
Acero AISI H-10 (W-320)	Acero especial para herramientas de trabajo en caliente, ofreciendo resistencia y durabilidad.	Empleado en la construcción de la matriz del molde permanente.
Acero AISI 4340 (Bonificado 705):	Combina alta resistencia mecánica con buena tenacidad; suministrado bonificado.	Principalmente utilizado en las guías principales y elementos cilíndricos sometidos a esfuerzos de flexión
Acero AISI/SAE 1018	Adecuado para la elaboración de levas, bujes, pivotes y otras piezas.	Acero de cementación no aleado utilizado para piezas pequeñas expuestas al desgaste.
Acero ASTM L2 (Acero Plata):	Alta dureza, capacidad de corte y apto para trabajos en frío.	Empleado en la fabricación de herramientas y piezas de

precisión, como
expulsores.

Nota: En la tabla 9 se presentan las características más importantes de los materiales

Estos materiales serán evaluados mediante una matriz de priorización que considerará criterios como resistencia mecánica, durabilidad, conductividad térmica y costo del material. Para realizar la matriz de ponderación, asignaremos puntuaciones a los materiales en función de criterios relevantes y luego aplicaremos pesos a esos criterios según su importancia.

Escala de Calificación.

Para la evaluación de los materiales se establecerá una escala del 1 al 5, donde (1 es bajo y 5 es alto, para calificar cada acero en relación con cada criterio.

Tabla 10.

Matriz de priorización de materiales

Criterios / Materiales	Resistencia Mecánica	Durabilidad	Conductividad Térmica	Costo	Total, Ponderado
Acero ASTM A-36	5	5	3	3	16
AISI H-10 (W- 320)	5	5	5	5	20
AISI 4340 (Bonificado 705)	3	4	3	3	13
AISI/SAE 1018	4	3	4	4	15
ASTM L2 (Acero Plata)	4	4	2	4	14
Total					78

Nota. En la tabla 10 se detalla los resultados de la priorización de materiales

De acuerdo con el análisis el Acero ASTM A-36 y AISI H-10 (W-320) obtiene la puntuación más alta siendo una de las opciones sólidas, con una importancia relativa de 26% por lo que se selecciona para la fabricación del molde, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11.
Importancia relativa de la priorización de los materiales

Criterios / Materiales	Importancia relativa
Acero ASTM A-36	21%
AISI H-10 (W-320)	26%
AISI 4340 (Bonificado 705)	17%
AISI/SAE 1018	19%
ASTM L2 (Acero Plata)	18%
TOTAL	100%

Matriz de priorización de los seguimientos para el diseño del molde

Para realizar la matriz de priorización para el diseño del molde, se identificó y ponderó diversos criterios que son relevantes para el proyecto. Entre los más relevantes se encuentra.

Escala de puntuación

La escala de puntuación es del 1 al 10, siendo 10 la mejor puntuación.

Tabla 12.
Requerimientos para el diseño del molde

Criterios	Importancia	Afecta la Durabilidad	Facilita el Mantenimiento	el Costo	Total, Ponderado	Importancia relativa
Resistencia Mecánica	8	9	7	6	30	0,18
Facilidad en el Desmontaje	9	8	9	7	33	0,20
Optimización de Materiales	9	9	9	8	35	0,21
Reducción de Tiempos de Ciclo	9	9	9	9	36	0,22
Rentabilidad	9	8	7	6	30	0,18
Total					164	1,0

Nota. Los criterios incluyen resistencia mecánica, facilidad en el desmontaje, optimización de materiales, reducción de tiempos de ciclo y rentabilidad, los números en las celdas indican cómo cada criterio afecta a los otros aspectos (mayores números indican mayor impacto).

Matriz de priorización de los moldes

En base a los resultados presentados en la matriz, con el diseño y fabricación del molde permanente se pretende priorizar la optimización de materiales y la reducción de tiempos de ciclo en el diseño del molde, sin embargo, es importante tener en cuenta que la elección final debe alinearse con los objetivos específicos del proyecto y las restricciones presupuestarias.

La matriz de priorización para la selección del tipo de molde permite realizar una evaluación de las diferentes opciones en base a criterios esenciales, considerando características importantes como el costo, durabilidad, tiempo de producción y complejidad del diseño, para el cálculo de la ponderación total y la importancia relativa se asignó una escala de valores que va desde 1 a 10 siendo uno el valor más bajo y 10 el valor más alto en la categorización. Cuyos resultados se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 13.
Matriz de priorización de moldes

Tipos de molde	Costo	Durabilidad	Tiempo de producción	Complejidad del diseño	Puntuación total	Importancia relativa
Moldes temporales	9	4	5	4	22	0,18
Moldes desechables y removibles	9	3	5	5	22	0,18
Moldes en arena	3	5	3	3	14	0,12
Moldes en capa seca	4	4	3	4	15	0,13
Moldes en arcilla	3	3	3	3	12	0,10
Moldes metálicos o permanentes	9	9	9	7	34	0,29
Total					119	1,00

En los resultados se destaca que los "Moldes metálicos o permanentes" obtienen la puntuación total más alta, con una ponderación significativa del 0,29, lo cual indica que, según los criterios establecidos y sus respectivas importancias, los moldes metálicos o permanentes son la elección más favorable para el diseño.

La elección del molde permanente se fundamenta en su destacada durabilidad, con una puntuación de 9, así como en su eficiencia en el tiempo de producción y una menor complejidad de diseño, ya que los moldes metálicos ofrecen una solución equilibrada y eficiente para suplir las necesidades de fabricación de rejillas de aluminio planas para piso, que presenta la empresa

Diseño del molde

En esta sección, abordaremos la designación de materiales en el contexto del diseño y construcción del molde permanente para la fabricación de rejillas planas de aluminio para piso, este análisis se centra en la selección de materiales para los diversos elementos que componen la pieza, considerando las cargas específicas que cada componente mecánico deberá soportar durante el proceso de fabricación.

Transferencia de calor

La transferencia de calor, según la teoría, es la energía que se desplaza debido a una disparidad de temperaturas, manifestándose entre el aluminio fundido y la cavidad del molde, en la fundición de metales, es esencial considerar la transferencia de calor a lo largo de todo el ciclo, desde el vertido inicial hasta la solidificación y el enfriamiento a la temperatura ambiente.

Este proceso implica un flujo de calor en distintos puntos del sistema, siendo un fenómeno complejo que está condicionado por diversos factores relacionados

con el metal fundido, así como por parámetros inherentes al molde y al proceso mismo, como el tiempo de solidificación y la velocidad de vaciado, para el caso de la fundición de piezas delgadas, es crucial que las velocidades de flujo del metal sean lo suficientemente elevadas para prevenir un enfriamiento prematuro que pudiera conducir a una solidificación anticipada.

Contracción del metal

Debido a las propiedades de dilatación térmica inherentes a los metales, se experimenta una contracción durante el proceso de solidificación y enfriamiento hasta la temperatura ambiente. La contracción máxima suele producirse cuando la fundición se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente, en nuestro contexto, es relevante destacar este fenómeno, ya que afecta la dimensionalidad de las piezas fundidas, particularmente en el proceso de diseño de nuestro molde permanente para rejillas planas de aluminio. La Tabla 14 que se presenta a continuación, exhibe la contracción volumétrica de diversos metales.

Tabla 14.
Concentración volumétrica

Metal	Contracción solidificación	por Contracción del solido	térmica
Aluminio	7.0		5.6
Aleación de aluminio común	7.0		5.0
Hierro color gris	1.8		3.0
Hierro colado gris alto C	0		3.0
Acero fundido al bajo C	3.0		7.2
Cobre	4.5		7.5
Bronce (Cu-sn)	5.5		6.0

Nota: En la tabla 14 se presenta la concentración volumétrica

Selección del material para la construcción del molde

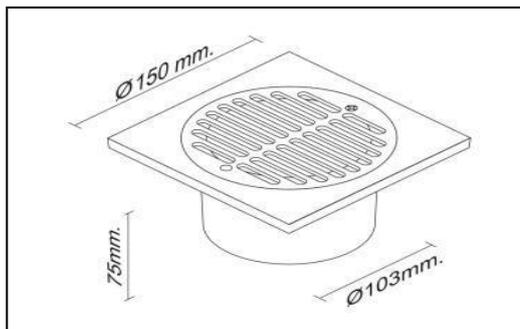
La elección del material para la construcción del molde para la fabricación de las rejillas se basa en criterios específicos que incluyen la capacidad de trabajar a altas temperaturas, especialmente en el rango de 250 °C a 300 °C., así mismo, se consideró también la conductividad , la resistencia mecánica , la durabilidad y el costo, en este contexto, se ha optado por el acero W 320, también conocido comercialmente como AISI H10, mismo que obtuvo la mejor puntuación en la matriz de priorización.

Masa requerida del aluminio

La determinación de la masa necesaria de aluminio para la colada se llevará a cabo, teniendo en cuenta las dimensiones específicas del molde, estas medidas se detallan en la figura 13, y se utilizarán para calcular la cantidad exacta de aluminio necesaria para completar el llenado del molde.

Figura 13.

Dimisiones de la rejilla



Nota: En la figura 13 se describe las dimisiones estándar de la pieza

La cantidad de aluminio requerida para la colada se determinará mediante la ecuación de masa.

$$m = \rho * v \quad (1)$$

Donde:

m= la masa del aluminio (kg)

rho (ρ) = densidad del aluminio (2,71 g/cm³ o 7210 kg/m³)

v= volumen del molde (0.0007069 m³)

Desarrollo:

$$m = \rho * v$$

$$2,71 \frac{g}{cm^3} * 0,0007069m^3$$

$$2,71 \frac{g}{cm^3} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{100^3cm^3}{1^3m^3} 0,0007069m^3$$

$$1,915699kg$$

m= 1.92 kg (resultado teórico)

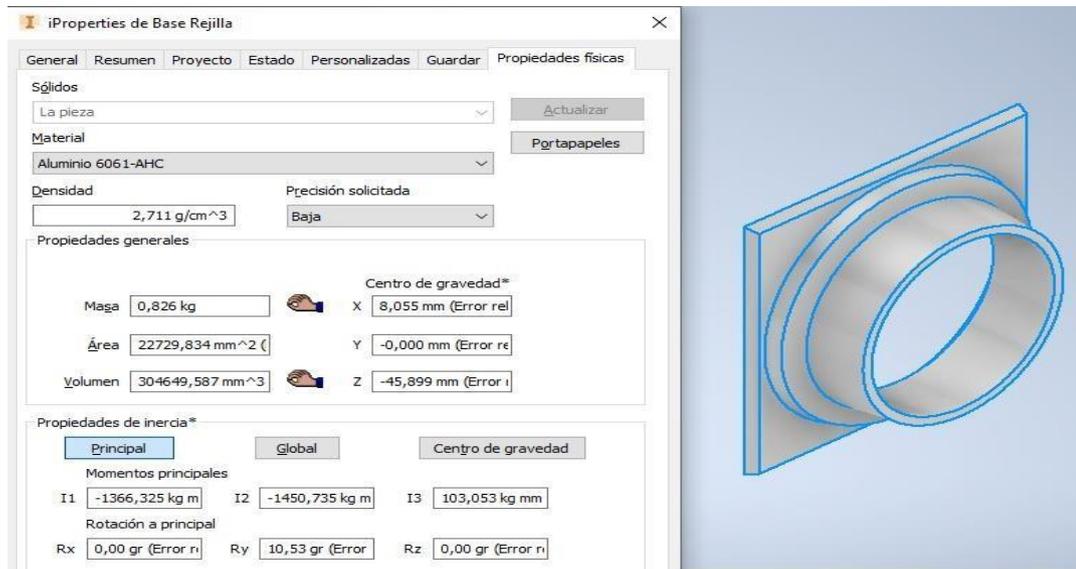
Este cálculo preciso permitirá asegurar la cantidad adecuada de aluminio para lograr un llenado completo y satisfactorio del molde.

Para confirmar el valor de la masa inicial se utilizar un software de diseño mecánico, el mismo que modelara la pieza tal como se obtendrá en el molde después de la fundición, así como también permitirá asignar el material que se utilizara en la misma, según los resultados obtenidos en el software, el cálculo de la masa necesaria para la fundición de la rejilla es de 0.83 kg de aluminio.

La figura 14 ilustra el proceso de obtención de este valor mediante el software de diseño mecánico. Este enfoque más detallado y específico garantiza una estimación más precisa de la masa necesaria para la fabricación de la rejilla de aluminio en el molde permanente.

$$m=0,83 Kg$$

Figura 14.
Obtención de la masa de la pieza

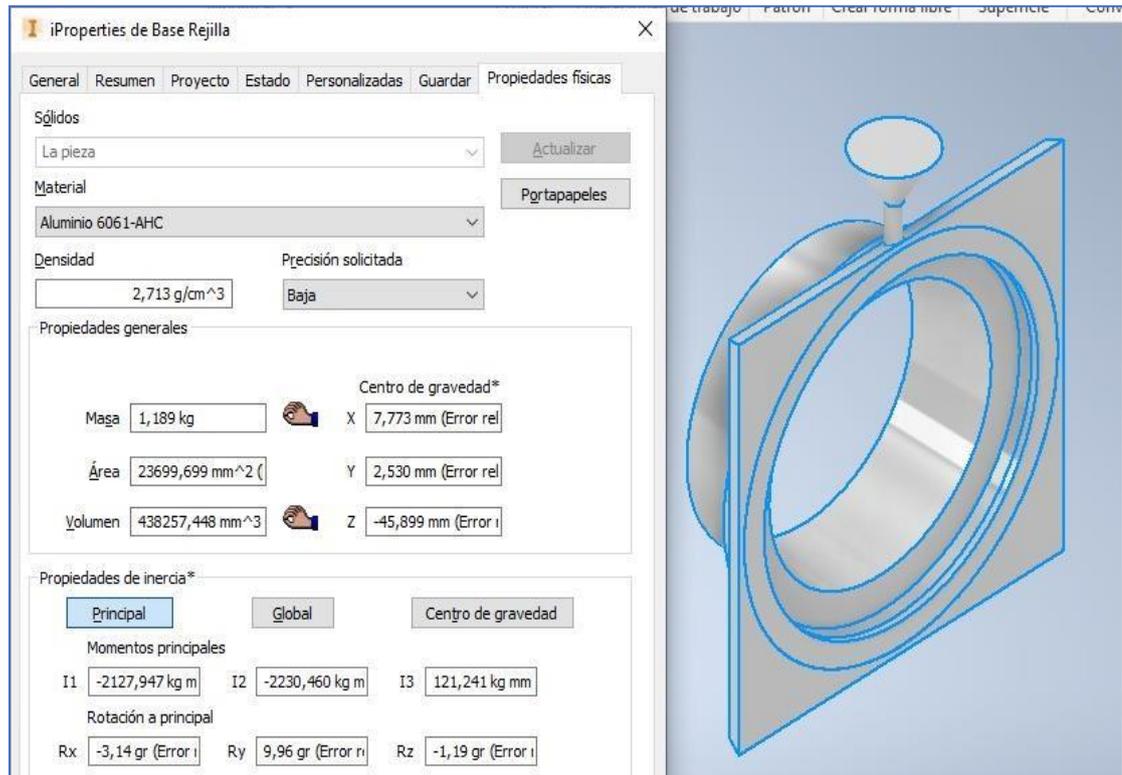


Nota: La figura 14 describe la obtención de la masa en el Software

En la figura 14, se ilustra el cálculo de la masa de la rejilla de piso, teniendo en cuenta la masa del alimentador o mazarota, en este contexto, se obtiene una masa total para la pieza fundida de 1.2 kg.

Figura 15

Masa con alimentador en el software



Nota: La figura 15 detalla la masa con alimentador

Para determinar las dimensiones de la pieza, se introdujeron los valores de masa asignados junto con su volumen en el programa Inventor. Este software analiza las características de la figura y, con base en los datos proporcionados, realiza el cálculo necesario para determinar la superficie óptima que debe tener la pieza., este análisis es fundamental para garantizar la adecuada cantidad de aluminio necesario para la fundición de la rejilla, considerando todos los elementos involucrados en el proceso.

El proceso de cálculo para el diseño del bebedero y la mazarota se detalla en los siguientes apartados, que serán abordados más adelante en el proyecto.

Cálculo del calor contenido en el molde permanente

La cavidad del molde desempeña un papel crucial al liberar el calor contenido en el aluminio fundido hacia el entorno, para cuantificar este proceso,

se realiza un cálculo del calor que será disipado, la ecuación que rige la determinación de este calor en el metal fundido se expresa a continuación

$$Q = m * L + mc_{p*(T_v-T_m)} \quad (2)$$

Donde:

Q= representa el calor eliminado por el molde (Ws)

L= es el calor latente de fusión del aluminio, (95 cal/g o 397822 Ws/kg)

C_p = calor especifico del aluminio (0.26 cal/g.°C o 1089 Ws/kg)

T_v = temperatura del metal fundido (700 °C)

T_m= temperatura de desmoldeo (250 °C)

Desarrollando:

$$Q = m * L + mc_{p*(T_v-T_m)}$$

$$Q = 1,2kg * 95 \frac{cal}{g} + 1,2kg * 0,26 \frac{cal}{g \text{ } ^\circ C} * (700^\circ C - 250^\circ C)$$

$$Q = 114 \frac{kg * cal}{g} + 3348,679 \frac{kg * cal}{g \text{ } ^\circ C} * (700^\circ C - 250^\circ C)$$

$$Q = 114 \frac{kg * cal}{g} * \frac{1000g}{1kg} + 0,60756 \frac{kg * cal}{g \text{ } ^\circ C} * \frac{1000g}{1kg} * (450^\circ C)$$

$$Q = 114000cal + 273405,795cal$$

$$Q = 387405,795 cal$$

$$Q = 1620905,85 Julios$$

Tiempo de desmoldeo

El tiempo de desmoldeo es crucial en el proceso de fundición, ya que implica la disipación de la energía almacenada en el aluminio en un periodo específico, esta disipación de calor es esencial para permitir que la pieza solidificada alcance una temperatura adecuada para su extracción del molde.

La ecuación que rige este fenómeno es fundamental para calcular la cantidad de energía liberada durante el desmoldeo y, por ende, determinar los tiempos y las condiciones óptimas para garantizar la correcta formación y manipulación de las rejillas planas de aluminio en el diseño de molde permanente, la gestión eficiente del tiempo de desmoldeo contribuirá directamente a la calidad y la integridad de las piezas fabricadas.

Formula:

$$t_m = \left(\frac{V}{A_d}\right)^2 * \left[\frac{\rho * c_p * (T_v - T_m) + L}{2 * K(T_m - T_o)} \right] \sqrt{\pi * \alpha} \quad (3)$$

Donde

T_m= tiempo de desmoldeo (s)

V= volumen del molde (7,069x10⁻⁴m³)

A_d= área que contiene la masa de aluminio fundido (0,0177m²)

ρ= densidad del aluminio (2,710 $\frac{g}{cm^3}$)

L= calor de solidificación del aluminio (397822 $\frac{Ws}{Kg}$)

c_p=calor específico del aluminio (1088,78 $\frac{Ws}{Kg}$)

K= conductividad térmica de la coquilla (Bohler W320 30 $\frac{W}{mK}$)

α= difusividad térmica de la coquilla (k/ρ.cp) (1,017x10⁻⁵ $\frac{m^2}{s}$)

T_v= temperatura de vaciado del metal (700 °C)

T_m=temperatura de desmoldeo (250 °C)

T_o= temperatura de precalentamiento del molde de la coquilla (200 °C)

$$t_m = \left(\frac{V}{A_d} \right)^2 * \left[\frac{\rho * c_p * (T_v - T_m) + L}{2 * K(T_m - T_o)} * \sqrt{\pi * a} \right]^2$$

t_m

$$= \left(\frac{7,096 \times 10^{-4} m^3}{0,0177 m^2} \right)^2$$

$$* \frac{2,710 \frac{g}{cm^3} * (1088,78 \frac{Ws}{kg} * (700^\circ C - 250^\circ C) + 397822 \frac{Ws}{kg}) * \sqrt{\pi * \frac{1,017 \times 10^{-5} m^2}{s}}}{2 * 30 \frac{W}{m \cdot K} (250^\circ C - 700^\circ C)}$$

$$t_m = 3.44 \text{ s}$$

Espesor del molde

Para calcular el espesor del molde seguimos las siguientes consideraciones

- Transferencia de calor estable
- La convección es normal
- Se desprecia la radiación debido a que no es un cuerpo negro
- Propiedades constantes: densidad, calor específico, difusividad térmica
- Pérdida de calor se considera a partir del llenado de la cavidad con el metal fundido

El coeficiente de convección natural es de 25 W/m².K, considerando que la temperatura ambiente del área operativa de la empresa es de 20 °C.

Calor disipado durante el tiempo de desmoldeo

$$q = \frac{Q}{t_m}$$

(4)

Donde:

q= calor disipado en el tiempo de desmoldeo (W)

Q= calor disipado por el molde (1620905, 85W.s)

t_m = Tiempo de desmoldeo (3.44 s)

$$q = \frac{1620905,85W.s}{3.44 s}$$

$$q = 471193.56 W$$

En la determinación del espesor para el diseño de molde permanente, se aplicará el concepto de resistencia térmica, este enfoque permite calcular el espesor considerando la resistencia de la pared frente a la conducción de calor, en la cual se evalúa la resistencia térmica de la pared en el proceso de fundición de las rejillas planas para piso. Este análisis resulta fundamental para garantizar una transferencia de calor estable y eficiente durante la fabricación de las piezas.

Resistencia térmica

La definición de la resistencia térmica se expresa mediante la fórmula

Donde: (5)

A = es la superficie de convección (m²).

h= es la constante de transferencia de calor por convección.

La ecuación para calcular la transferencia de calor, representada por el calor q en la pieza fundida, se expresa como:

Formula:

$$q = \frac{T_v - t_{\infty}}{\sum R_t} \quad (6)$$

Donde:

T_v = es la temperatura de vertido del aluminio (710 °C).

T_∞ = es la temperatura ambiente (20 °C).

$\sum R_t$ = es la resistencia térmica total.

Las resistencias térmicas se modelan como resistencias eléctricas en serie,
por lo que:

$$\sum R_t = R_{kAl} + R_{kc} + R_c \quad (7)$$

Donde:

R_{kAl} = es la resistencia térmica de conducción del aluminio.

R_{kc} = es la resistencia térmica de conducción de la coquilla.

R_c = es la resistencia térmica por convección.

La fórmula es

$$\sum R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{L_{Al}}{k} + \frac{L_c}{k} + \frac{1}{h} \right)$$

Donde:

L_{Al} = es el espesor de la pared de aluminio (40 mm).

k_{Al} = es la conductividad térmica del aluminio (237 W/m·K).

L_c = es el grosor de la pared del molde (m).

k_c = es la conductividad térmica de acero AISI H10 (30 W/m·K).

A = es el área de contacto para la transferencia de calor (m²).

Resolviendo estas ecuaciones, se determina que el grosor óptimo del molde debe ser.

$$L c = 0.021 m = (21 mm)$$

Por lo tanto, el espesor del molde diseñado para la fabricación de las rejillas planas para piso se encuentra dentro del rango recomendado, siendo de 3 a 4 veces mayor al espesor medio de la pieza fundida, esta medida asegura una adecuada resistencia térmica y contribuye a una eficiente transferencia de calor durante el proceso de fundición, garantizando así la calidad y las propiedades deseadas en las piezas finales.

Cálculo de la presión metalostática

En el cálculo de la presión metalostática para el diseño de molde permanente destinado a la fabricación de rejillas planas para piso, se basa en el principio de Pascal, este principio establece que la presión ejercida sobre un fluido poco compresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.

(8)

$$\rho = \frac{m * g * h}{V}$$

$$\rho = \frac{1,2Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0,004m}{7,069x10^{-4}m^3}$$

Utilizando la ecuación mencionada, la presión metalostática (P) se calcula considerando la masa de aluminio (M), la aceleración debida a la gravedad (g), el

espesor de la rejilla (h), el volumen del molde (V) y la densidad del aluminio, la presión resultante es de aproximadamente.

$$\rho = 1060.97 \text{ N/m}^2.$$

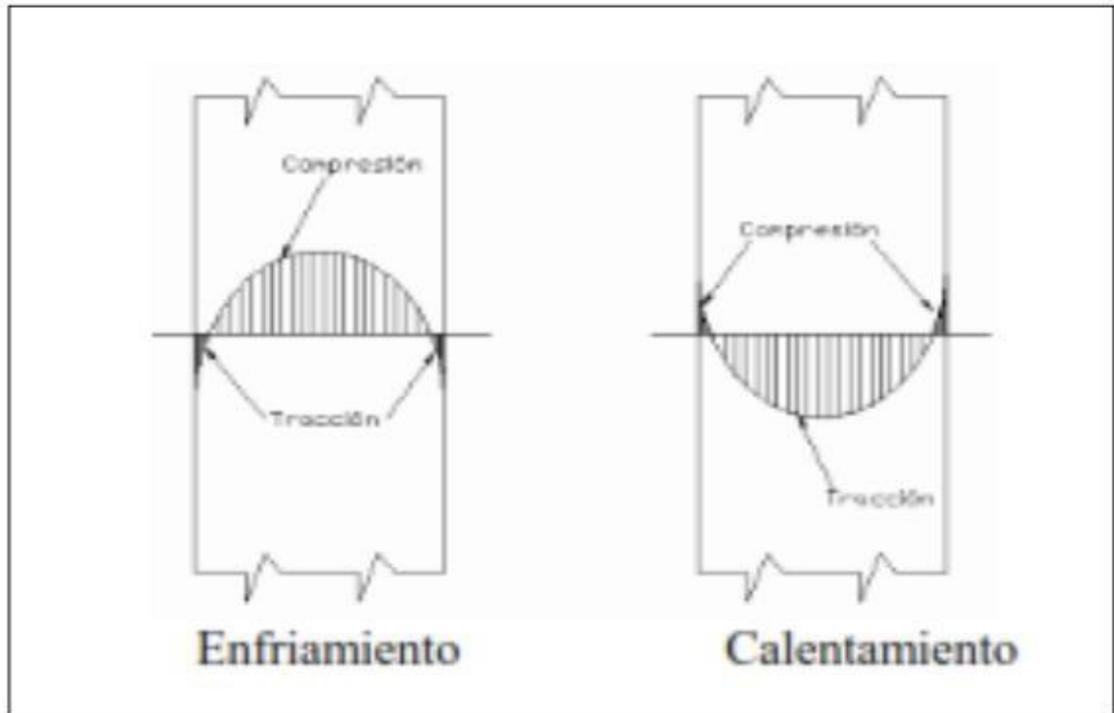
Concluyendo, la presión metalostática, que representa la fuerza ejercida por la colada de aluminio contra las paredes de la coquilla, se evalúa en función del diseño del molde utilizando acero AISI H10. A temperaturas de hasta 300 °C, dicho acero puede resistir presiones de hasta $1.4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, según el anexo 1 adjunto, en este contexto, se determina que la presión metalostática generada es mínima y no comprometerá el funcionamiento adecuado del molde.

Diseño en función a la contracción del aluminio

En el diseño considerando la contracción del aluminio, se identifica que la mayor medida potencial de contracción se produce al enfriarse la fundición a temperatura ambiente, durante el vertido del metal fundido en la cavidad del molde se experimenta una contracción limitada por la propia del molde, que actúa como una restricción para el metal fundido. Este fenómeno genera un esfuerzo contrario al de dilatación térmica del material fundido, como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 16.

Esfuerzo térmico en el proceso de enfriamiento y calentamiento del metal



Nota: La figura 16 detalla el proceso de enfriamiento

La magnitud del esfuerzo de compresión inducido por la contracción se determina mediante la siguiente expresión.

$$\sigma = \alpha * E * (T_v - T_m) \quad (9)$$

Donde:

σ = es el esfuerzo de compresión generado por la contracción (N/m²).

α = es el coeficiente de dilatación térmica del aluminio ($23.9 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$)

E = es el módulo de elasticidad del aluminio ($71 \times 10^9 \text{ N/m}^2$).

T_v = es la temperatura de vertido del aluminio (710°C).

T_m = es la temperatura de desmoldeo (300°C).

$$\sigma = 23.9 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} * 71 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * (710^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C})$$

Al sustituir los valores dados en la ecuación, se calcula que el esfuerzo de compresión (σ) es de $6.96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Este esfuerzo de compresión es fundamental

en el diseño de la coquilla para asegurar la integridad del molde durante todo el proceso de fundición, ya que garantiza que la matriz que pueda soportar la fuerza aplicada durante la fundición y mantenga su estructura intacta.

En este contexto, el esfuerzo de compresión generado por la contracción del aluminio se mantiene en niveles seguros y está por debajo de la capacidad máxima de resistencia del acero AISI H10, material seleccionado para la construcción del molde permanente. Por lo tanto, se concluye que el molde no experimentará fallas debidas a esfuerzos de compresión, asegurando así la integridad del diseño durante el proceso de fundición.

Cálculo de la contracción en el proceso de solidificación

Para calcular la contracción durante la solidificación, se toman en cuenta las dimensiones del molde, que presenta un diámetro de 150 mm y un espesor de 30 mm, de acuerdo con la información proporcionada anteriormente en la tabla 13 de contracción volumétrica, que indica una contracción volumétrica del 7% para el aluminio durante la solidificación, por lo que se determina que el volumen de aluminio utilizado es de 304.65 cm³, sin embargo, considerando la contracción por solidificación, el volumen final obtenido se reduce a **283.32 cm³**, con este cálculo se puede ajustar las dimensiones finales esperadas del producto fundido en la cavidad del molde

Cálculo de las dimensiones del molde

Para calcular las dimensiones ajustadas del molde, se utilizará la información proporcionada sobre la contracción volumétrica del aluminio durante la solidificación. Dado que el volumen final obtenido se reduce a 283.32 cm³ después de la contracción, con este referente se ajustará las dimensiones del molde en consecuencia.

- **Volumen inicial del molde**

El volumen inicial del molde es el volumen de un cilindro con un diámetro de 150 mm y un espesor de 30 mm.

Volumen inicial del molde = Volumen del cilindro exterior - Volumen del cilindro interior

$$\begin{aligned} & \pi x(R_1^2 - R_2^2)xh & (10) \\ & \pi x((75 + 30)^2 - 75^2)x30 \\ & \pi x(105^2 - 75^2)x30 \\ & \pi x(11025 - 5625)x30 \\ & \pi x5400x30 \\ & 162000\pi mm^2 \end{aligned}$$

Volumen final del molde después de la contracción

El volumen final del molde después de la contracción será el volumen inicial del molde menos la contracción volumétrica.

Volumen final del molde = Volumen inicial del molde - Contracción volumétrica

$$\begin{aligned} & 162000\pi - (162000\pi \times 0.07) & (11) \\ & 162000\pi - 11340\pi \\ & 150660\pi mm^2 \end{aligned}$$

Calculando el nuevo radio del molde

Sabiendo que el volumen de un cilindro es $V = \pi x R^2 x h$, se procede a despejar R para calcular el radio ajustado del molde

$$\begin{aligned} 150660\pi &= \pi \times R^2 \times 30 \\ 5022 &= R^2 \times 30 \end{aligned}$$

$$R^2 = \frac{5022}{30}$$

$$R^2 = 167.4$$

$$R = \sqrt{167.4}$$

$$R \approx 12.94 \text{ mm}$$

Dimensiones finales del molde

Dado que el espesor del molde se mantiene constante en 30 mm, las nuevas dimensiones del molde serían.

Diámetro exterior del molde

$$2 \times R_1 = 2 \times (75 + 30) = 210 \text{ mm}$$

(14)

Diámetro interior del molde

$$2 \times R_2 = 2 \times 75 = 150 \text{ mm}$$

Por lo tanto, las dimensiones ajustadas del molde constan de un diámetro exterior de 210 mm y un diámetro interior de 150 mm, con un espesor de 30 mm, considerando la contracción del metal durante la solidificación.

Colado del aluminio

En el proceso de colado, se deben tener en cuenta varios aspectos cruciales:

- Diseño adecuado de la sección del alimentador.
- Establecimiento del tiempo óptimo de colado.
- Diseño eficiente del canal de alimentación.

Diseño del bebedero

El bebedero, que actúa como la cavidad de entrada para el metal fundido, juega un papel esencial en el proceso de colado, especialmente cuando se trata de aluminio para la fabricación de las piezas que forma parte de la rejilla plana para piso, la determinación de las dimensiones del bebedero se llevará a cabo utilizando

el método de Ozann-Dittet, una fórmula que establece la sección total del bebedero según la ecuación.

Este diseño está adaptado específicamente para garantizar un colado eficiente y preciso que cumpla con los requisitos necesarios para la obtención de la rejilla de aluminio de calidad.

Fórmula de cálculo

(15)

$$A_b = \frac{m}{\rho * t * u \sqrt{2 * g * H_{ca}}}$$

Donde:

m= masa de aluminio (1,92kg) hhh

ρ = densidad del aluminio (2.71 g/cm³)

t= tiempo de colado del aluminio (s)

v= constante de resistencia (0,88)

g= gravedad (9.8 m/s²)

Hca= grosor del molde (21mm)

$$A_b = \frac{1,92kg}{(2.71 \frac{g}{cm^3} * t * 0,88 \sqrt{2 * 9.8 \frac{m}{s^2} * 21mm}}$$

Tiempo del colado

El tiempo de colado es un elemento crucial en el proceso de fundición de aluminio para la creación de las rejillas planas de piso, este se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$t = s * \sqrt[3]{m * L_{al}}$$

Donde:

m= masa del metal fundido del aluminio (1,92kg)

S = coeficiente incluido el grosor de la pieza fundida (12,94)

LAl= grosor de la pieza fundida (0.040m)

$$t = (12,94) * \sqrt[3]{1,92kg * 0,040m}$$

$$t = 12,94 * 0,4018m$$

$$t = 5.515s$$

En este contexto, el tiempo de colado calculado es de 5,515 segundos, lo que contribuirá a un colado eficiente y preciso para obtener ceniceros de aluminio con las dimensiones y características deseadas.

Cálculo del radio de la sección del bebedero

Al aplicar las dos ecuaciones anteriores para el cálculo del área de la sección del alimentador en la fabricación de las rejillas planas para piso de aluminio, se obtiene un área (Ab) de $1.74 * 10^{-3} \text{ m}^2$.

Dado que la forma de la sección del alimentador es cilíndrica, se utiliza la ecuación para determinar el radio requerido (r_a). El resultado es crucial para diseñar la sección del alimentador de manera eficiente y garantizar un colado óptimo durante el proceso de fundición., tal como se detalla en la siguiente ecuación.

$$A_b = 1.74 * 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (17)$$

$$A_b = \pi * r^2$$

$$r_a = 0.025m (25mm)$$

Se establece un radio mínimo de 25 mm para la sección del alimentador. Es importante destacar que la forma del alimentador no será completamente circular,

ya que la entrada se modelará de manera cilíndrica, teniendo en cuenta que el radio mayor es menor al valor calculado previamente. Este enfoque garantiza una adecuada distribución del metal fundido durante el proceso de colado, optimizando así la formación de la rejilla de aluminio para piso.

El diseño del bebedero adopta una forma cónica, y la dimensión del sifón se determina mediante la siguiente ecuación

$$r_c = \frac{r_a}{2} \quad (18)$$

Donde.

R_c = radio del canal y sifón

r_a = radio de la sección del alimentador

$$r_c = \frac{0,025m}{2}$$

$$r_c = 0,0125m(12.5mm)$$

Diseño de la mazarota

El diseño de la mazarota, conocida en fundición y metalurgia como depósitos estratégicos de metal fundido en áreas críticas del molde, se determina considerando la proporción de volúmenes sugerida por Goyos (2019)

$$\frac{V_M}{V_C} = 0,6 \quad (19)$$

Donde:

V_M = volumen de la mazarota ($3.05 \times 10^{-4} \text{ m}^3$),

V_C =volumen de la coquilla (m^3).

Calculando, se obtiene un valor para el volumen de la mazarota

$$V_c = \frac{V_M}{0,6}$$

$$V_c = \frac{3,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{0,6}$$

$$V_c = 5.083 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Este enfoque contribuye a evitar defectos de fundición, como rechupes, especialmente en áreas críticas de piezas con paredes gruesas, asegurando un proceso de colado óptimo para la fabricación de las rejillas plana de aluminio para piso.

Así mismo al considerar el valor de 4m^3 como volumen de la coquilla, asegurara que la misma tenga suficiente capacidad para contener el metal fundido durante el proceso de fundición. Dado que un volumen de coquilla más grande puede proporcionar un margen de seguridad adicional para evitar desbordamientos o derrames de metal fundido.

La geometría de la mazarota se representa como un cono truncado, y su volumen V_M se calcula utilizando la fórmula del volumen de un cono truncado:

$$V_M = \frac{h_M * \pi}{3} (r_a^2 + r_c^2 + r_a r_c) \quad (20)$$

Donde:

h_M = altura de la mazarota (m)

r_a = radio de la sección del alimentador (0.25m)

V_M = Volumen de la mazarota ($5.083 \times 10^{-4} \text{ m}^3$)

r_c = radio del canal o sifón (0.0125m)

Primero, reorganizamos la ecuación para despejar h_M

$$h_m = \frac{3V_M}{\pi\left(\frac{r^2}{a} + \frac{r^2}{c} + \frac{r-r}{a c}\right)}$$

$$h_m = \frac{3 * 5.083 * 10^{-4}}{\pi(0,025)^2 + (0,0125)^2 + (0,25) + (0,0125)}$$

$$\frac{1.5249 * 10^{-3}}{\pi(0,6578125)}$$

$$\frac{1.5249 * 10^{-3}}{0.206958}$$

$$h_m = 0.0073689\text{m, o } 7.3689\text{mm}$$

Velocidad del vertido

La velocidad de vertido es crucial para asegurar un flujo adecuado de aluminio fundido en el molde, si la velocidad es demasiado baja, existe el riesgo de que el metal se enfríe y solidifique antes de llenar completamente la cavidad, por otro lado, una velocidad excesiva puede generar turbulencias no deseadas, utilizando el teorema de Bernoulli, se procede a calcular la velocidad de vertido, sin considerar las pérdidas por fricción y asumiendo que la presión es atmosférica, obteniendo la siguiente ecuación.

(21)

$$v_v = \sqrt{2gh_M}$$

Donde:

V_v = velocidad del vertido (m/s)

G= aceleración gravedad (9.8m/s²)

h_M = altura de la mazarota (7.3689mm)

Primero, se convierte la altura de la mazarota de milímetros a metros:

$$7.3689\text{mm} \times 10^{-3}$$

Ahora, se procede calcular la velocidad del vertido

$$v_{v=\sqrt{2*9,8*7.3689^{-3}}}$$

$$v_{v=\sqrt{0,14380822}}$$

$$V_v = 0,379\text{m/s}$$

Gasto volumétrico

El gasto volumétrico es un parámetro esencial en el diseño del proceso de fundición, y se rige por la ley de la continuidad, que establece que la tasa de flujo volumétrico se mantiene constante a lo largo del líquido, esta relación se expresa mediante la siguiente ecuación.

(22)

$$Q = V_v A_c$$

Donde:

Q = gasto volumétrico, (m³/s)

V_v= velocidad de vertido (0,379 m/s)

A_c= área del canal o sifón (0.0033537m²)

$$Q = 0,379 * 0.0033537\text{m}^3$$

$$Q = 1.27075 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$$

Tiempo de llenado del molde

El tiempo de llenado del molde, esencial para el proceso de fundición, puede estimarse mediante la siguiente ecuación.

$$T_{LL} = \frac{v}{Q} \quad (23)$$

Donde:

V= volumen de la pieza ($5.083 \times 10^{-4} \text{m}^3$)

Q= flujo volumétrico ($1,27075 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$)

$$T_{LL} = \frac{5.083 \times 10^{-4} \text{m}^3}{1,27075 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}}$$

$$T_{LL} = \frac{5.083}{1,27075} \text{s}$$

$$\mathbf{T_{LL} = 4\text{s}}$$

Diseño del soporte del molde

El soporte del molde tiene como función sujetar la matriz, el cual permite el cierre y la apertura de las partes del molde, para el soporte se considera un factor de seguridad de 2, es decir ($n=2$)

Bastidor

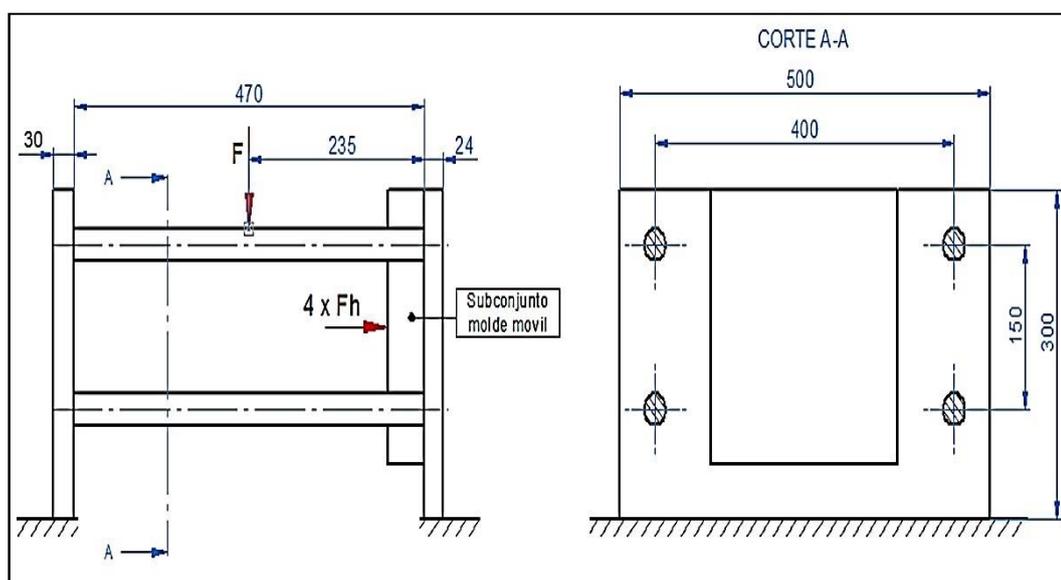
El bastidor cumple la función de soportar el subconjunto fijo y móvil del molde, desplazando la mitad de la matriz, la cual estará sujeta a la placa central permitiendo que la placa cierre para el colado del material y después de la solidificación permite la apertura del molde para el retiro de la pieza fundida. Para la selección del material para la fabricación del bastidor se consideró las condiciones y esfuerzos a las que se someterá el bastidor, por lo que se utilizará acero ASTM A36 ($S_y = 36 \text{ kpsi}$ o $248 \times 10^6 \text{ N/m}^2$), el cual es de bajo costo y fácil adquisición

A continuación, se muestra las dimensiones del soporte que sujetará la mitad de la matriz, considerando la mitad del molde, la fuerza ejercida por el operario que ejecutará el cierre y apertura de la matriz, el bastidor está sometido a esfuerzos a

flexión provocado por la mitad de la coquilla y esfuerzos a compresión por el paso de las fuerzas al elemento.

Los datos geométricos para el cálculo siguiente se observan a continuación, el espesor de la placa es de 30 mm, la mitad de la matriz estará ubicada en el extremo del soporte.

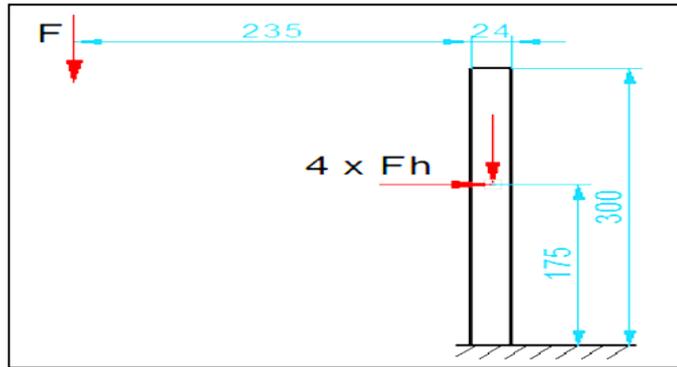
Figura 17
Diagrama del bastidor



Nota. Diagrama de fuerzas de uno de los soportes del bastidor donde F, fuerza provocada por la matriz, Fh fuerza provocada por el operario para abrir y cerrar el molde. Fuente. Tomado de (Juan Jacho & Patricio Padilla)

Para el cálculo del soporte se toma en cuenta el peso y la fuerza que soportará como la mitad del peso de la matriz y la fuerza ejercida por el operario, por ende, se considera como soporte A, y va a producir flexión en ese soporte. Tal como se muestra en la siguiente figura.

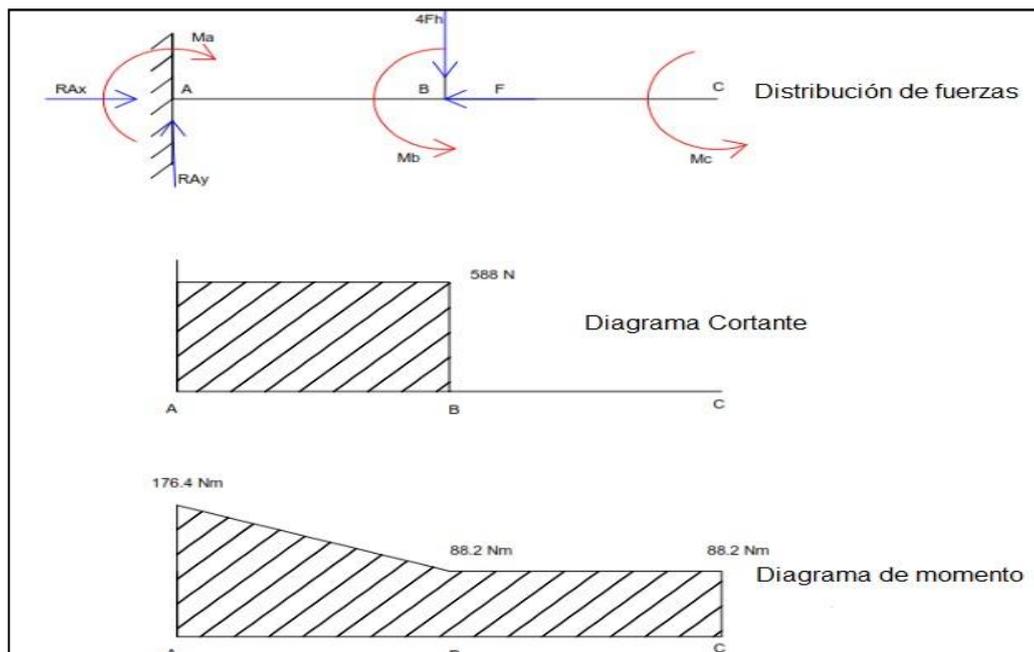
Figura 18.
Fuerza ejercida en el soporte



Nota. La figura 18 muestra las fuerzas ejercidas en el soporte
 Fuente. Tomado de (Juan Jacho & Patricio Padilla)

A continuación, se muestran los diagramas cortantes, como de los
 momentos generados por las fuerzas

Figura 19.
 Esquema de distribución de cargas



Nota la figura 19 muestra el esquema de distribución de cargas, cortante,
 momento, para el soporte A del bastidor. Tomado de (Juan Jacho & Patricio
 Padilla).

Las reacciones en el eje X se obtiene por medio de la sumatoria de todas las fuerzas $F = 617 \text{ N}$, obtenida del peso de mitad (63 kg) de la matriz por la gravedad.

$$R_{Ax} = 617 \text{ N}$$

La reacción en el eje Y es obtenida por la fuerza que ejerce F_h que es la fuerza del hombre necesaria para mover la mitad de la coquilla $F_h = 147 \text{ N}$.

$$R_{Ay} = 588 \text{ N}$$

R_{Ay} reacción en el punto A eje y Se calcula el esfuerzo a flexión y compresión que soportará la viga.

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I} \quad (24)$$

Donde:

σ_f = esfuerzo de flexión

M= momento (176, 4 Nm)

C= distancia a las fibras externas (0,012m)

I= momento de inercia

El momento de la inercia se calcula mediante

$$I = \frac{b * h^3}{3}$$

Donde.

b= base de la sección (0,3m)

h= altura de la sección que soporta la flexión (0,012m)

$$I = 1.38 * 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (25)$$

$$\sigma_f = 1,53 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{max} = 1,53 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

El cálculo de la compresión se obtiene mediante la fórmula

$$\sigma_c = \frac{3 * F}{2 * A} \quad (26)$$

Donde

σ_c = Fuerza de compresión

F= Fuerza generada por el peso (167 N)

A= Área para la compresión ($7,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)

$$\sigma_c = 1,29 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{min} = 1,29 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Para verificar la existencia de fallas se emplea el método de Goodman dado por fatiga bajo esfuerzo fluctuante, las ecuaciones detalladas a continuación se tomaron del texto de Mott. La fórmula es

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (27)$$

Donde:

σ_a =esfuerzo alterno

σ_m = esfuerzo medio

S_e = esfuerzo a la fatiga

S_{ut} = esfuerzo a la última tensión ($400 \times 10^6 \text{ Pa}$)

n = factor de seguridad

(28)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

Donde:

σ_{max} = esfuerzo máximo (1.53 x 10⁶ N/m²)

σ_{min} = esfuerzo mínimo (1.29 x 10⁵ N/m²)

$$\sigma_m = 830 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{1.53 \times 10^6 \text{ N/m}^2 + 1.29 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{2}$$

$$\sigma_m = 700 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

Para el cálculo de la resistencia de la fatiga se efectúa por

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_l * S_e'$$

Donde:

K_a = factor de acabado superficial

K_b = factor de tamaño

K_c = factor de carga

K_d = factor de temperatura

K_e = factor de diversos efectos

K_l = factor de confiabilidad

S_e = resistencia a la fatiga de la probeta

Desarrollo:

(28)

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

a = factor rectificado (1.58 MPa)

b = exponente (-0.085)

$$K_a = 1.58 \text{ MPa} * (-0.085) = 0,94$$

Para el calculo del factor de tamaño se utiliza el diámetro equivalente (de) considerando que es sección rectangular.

$$Kb = 1.51de^{-0,157} \quad (29)$$

$$de = 0.808(hb)^{0.5}$$

Donde:

de : diámetro equivalente (m)

h : altura (0.3 m)

b : base (0.028 m)

$$de = 0,074m$$

$$Kb = 2,27$$

El factor de carga corresponde 1 dado que se trabajará a flexión

$$Kd = 1$$

Fator diverso considerando elementos sin muescas = $Ke=1$, mientras que el factor de confiabilidad se determina por $Kl=0,52$.

El límite de resistencia a la fatiga en una probeta esta dado por

$$Se' = 0.5Sut$$

$$Se' = 200MPa \quad (30)$$

Por tanto

$$Se' = 227,46 MPa$$

Los valores anteriores se remplazan en la ecuación de la fatiga, de la cual se deberá despejar n

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kl * Se'$$

Quedando

$$n = \frac{1}{\sigma_a / S_e + \sigma_m / S_u}$$

$$n = 7,42$$

Resistencia de la fatiga por la vida infinita

$$S_f = aN^b$$

Donde:

S_f = resistencia a la fatiga

a y b = constantes

N = número de ciclos de esfuerzo (106) (31)

$$a = \frac{(0,9S_{ut})^2}{S_e}$$

$$a = 570$$

$$b = \frac{1}{3} \lg \frac{0,9S_{ut}}{S_e}$$

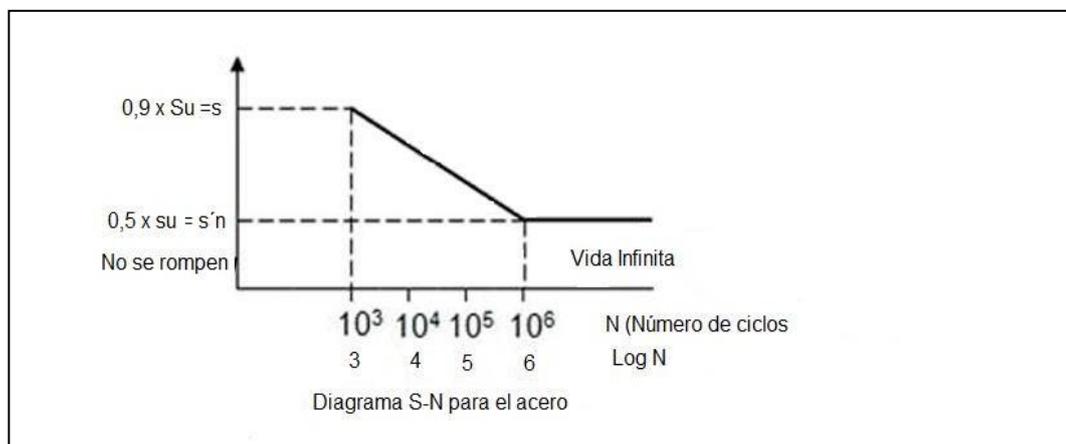
$$b = 0,006$$

$$S_f = 233MPa$$

En este sentido se observa que $S_f \leq S_{ut}$, no falla por flexión $S_f = 0.58S_{ut}$

Figura 20.

Diagrama S-N



Nota. Diagrama S-N para el acero. Tomado de (Juan Jacho & Patricio Padilla)

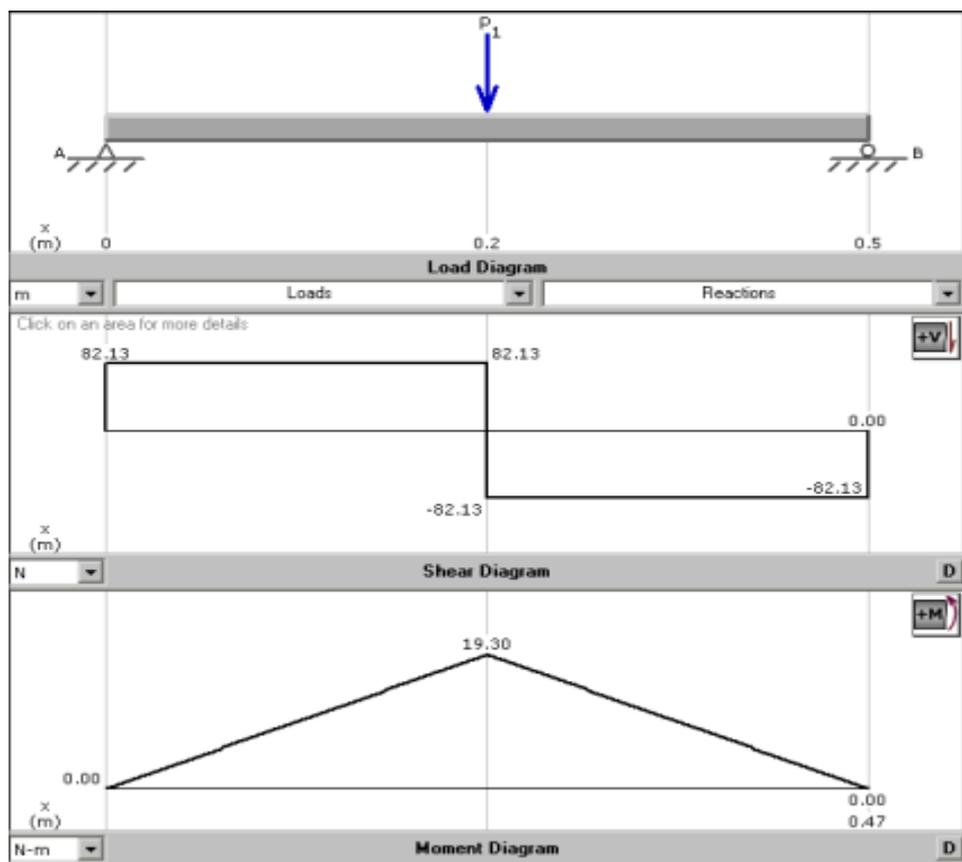
Diseño de las guías de la matriz

Las guías de las matrices, empleadas para desplazar y centrar las mitades del molde, estarán fabricadas con acero bonificado AISI 4340, que tiene una resistencia a la tensión de 900 N/mm^2 .

Cada guía soportará un peso de 164.25 N , ya que se emplean 4 guías para distribuir la carga total de 657 N . Esta carga generará esfuerzos de flexión en las guías. Se utilizará software para graficar los diagramas de esfuerzo cortante y momento en el eje, como se muestra en la siguiente figura

Figura 21

Diagrama de fuerzas



Nota. La figura 21 detalla el diagrama de fuerza ejercida por parte de la matriz

Los valores establecidos por el software son. (32)

$$F_{ay} = 82,13 \text{ N}$$

$$F_{by} = 82,13 \text{ N}$$

Donde el momento máximo es $M_{max} = 19,30 \text{ Nm}$

Las reacciones en el eje x se determinan de la siguiente manera

$$R_{ax} = \frac{f_r * l_2}{l_1 + l_2}; R_{bx} = \frac{f_x * l_1}{l_1 + l_2} \quad (33)$$

R_{ax} = reacción en el punto A en el eje x.

f_r : fuerza de fricción provocada por el deslizamiento del bastidor

l_1 : longitud donde se encuentra la fuerza.

La fuerza de fracción está definida por

$$f_r = u * N$$

Donde:

N : normal del bastidor (164.25 N)

u : coeficiente de rozamiento (0.16)

$$f_r = 26.28 \text{ N}$$

El punto crítico se considerará en la mitad de la matriz

$$R_{ax} = R_{bx} = 13.14 \text{ N}$$

La flexión y atracción son esfuerzos sometidos

$$\sigma_f = \frac{M * C}{I} \quad (34)$$

$$\sigma_T = \frac{f_r}{A}$$

Donde:

σ_f = esfuerzo de flexión

σ_T =esfuerzo de tracción

M = momento máximo (19.30 N.m)

I = momento de inercia

C = distancia a las fibras de eje macizo (d/2)

Fr = fuerza de fricción (26.28 N)

A = área de eje macizo

El momento de la inercia esta dado por.

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (35)$$

Donde:

D = diámetro eje macizo (25 mm o 0.025 m)

$$I = 1.92 \times 10^{-4} - 8 \text{ m}^4$$

Los esfuerzos máximos y mínimos se relacionan con las fibras sometidas a flexión y atracción respectivamente.

$$\sigma_{\max/\min} = \sigma_f \pm \sigma_\tau \quad (36)$$

$$\frac{\sigma_{\max}}{\min} = \frac{M * C}{I} \pm \frac{fr}{A}$$

Mediante la aplicación de la teoría de von Mises se obtiene

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 = \frac{M * C}{I} + \frac{fr}{A}; \sigma_2 = 0 \quad (37)$$

Para el diseño del bastidor se tomará el esfuerzo máximo

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 \sigma_2 \quad (38)$$

La teoría de von Mises Hencky se establece con la siguiente fórmula.

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 \sigma_2$$

Donde:

n = factor de seguridad (n = 2) 62

$S_y = \text{esfuerzo de fluencia acero AISI 4340} = 900 \text{ N/mm}^2 = 9 \times 10^8 \text{ N/m}^2$)

$$D = 0.0135 \text{ m} = 13.5 \text{ m}$$

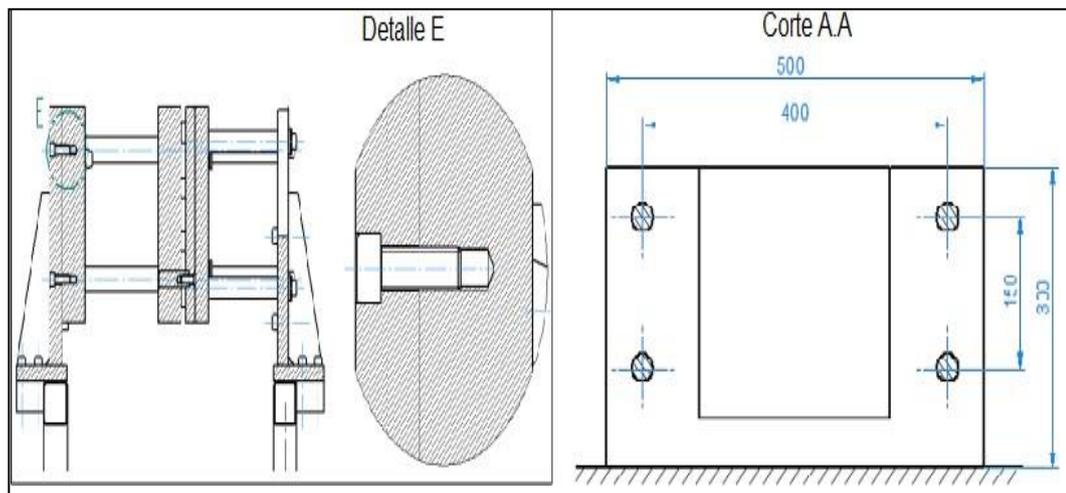
Por lo tanto, según los cálculos de las fórmulas anteriores el diámetro es de 13,5, sometido a esfuerzo torsión y flexión, no obstante, se utilizará el eje de diámetro de 25mm, lo que asegura que el elemento no falle.

Diseño de los pernos para la unión de la placa con la matriz

La placa base de la matriz estará construida en acero SAE A36 y constará de 4 pernos grado SAE 8. La placa soportará un peso de 657 N, que será distribuido equitativamente entre los 4 pernos, con cada perno soportando 164.25 N. en la siguiente figura se muestra la placa con los pernos, juntamente con su ubicación.

Figura 22.

Diagrama de la placa de sujeción



Nota. La figura detalla la placa con los pernos de sujeción y sus dimensiones

Los datos consultados para los pernos grado SAE 8 indican una resistencia mínima a la tensión de 150 kpsi o $1.03 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, y una resistencia mínima a la fluencia de 130 kpsi o $8.96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

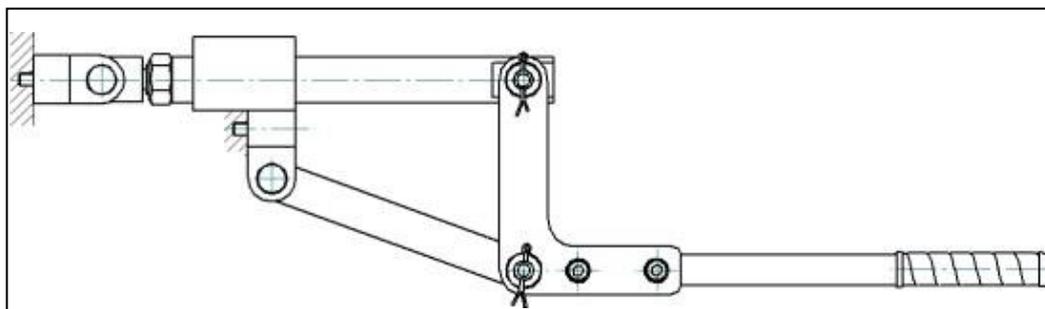
En base al cálculo previo del esfuerzo a la fluencia generado por el peso de la mitad de la coquilla, que es de $1.53 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, y el esfuerzo máximo generado por esta carga, que es de $1.66 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, por lo tanto, se concluye que los valores calculados para el diseño del soporte del bastidor son menores que la resistencia mínima a la fluencia de los pernos, que es de $8.96 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Es decir, los pernos no fallarán bajo estas condiciones.

Mecanismo de apertura y cierre

El mecanismo de apertura y cierre de la matriz se realiza mediante un dispositivo de sujeción rápida, diseñado en Acero A36. Este dispositivo facilita la acción de abrir y cerrar la coquilla de manera eficiente. En la siguiente figura se muestra el diseño de este mecanismo.

Figura 23

Mecanismo de apretura



Nota. en la figura se muestra el mecanismo de apertura y cierre de coquilla, dispositivo de sujeción rápida. Fuente tomado de (Juan Jacho & Patricio Padilla)

La fuerza que puede generar este mecanismo se calcula mediante la siguiente ecuación, la cual se obtuvo de un fabricante del dispositivo.

$$F_{sp} = \frac{F_1}{2} \left[\frac{1}{\tan(\alpha + \beta)} - \tan \delta \right] \quad (39)$$

Donde:

FSP=fuerza obtenida por el mecanismo (N)

F_1 = fuerza en el punto articulado (N)

α = ángulo de inclinación de la palanca (60°)

β = ángulo de fricción en las articulaciones (grados)

δ = ángulo de fricción en la biela (5.73°)

$$F_1 = \frac{Fh(A + B)}{A} \quad (40)$$

Donde:

F_h = fuerza manual (588 N)

A = distancia entre ejes (150 mm)

B = separación con respecto al punto de separación de los ejes (800 mm)

$$\beta = \arcsin\left(\frac{2D}{L_1 + L_2} * \mu\right) \quad (40)$$

Donde:

D = diámetro del perno del eje

L_1, L_2 = longitud de brazo de palanca (150 mm)

μ = coeficiente de fricción 0.1

$$\beta = 0,95^\circ$$

$$F_1 = 698,25 \text{ N}$$

$$F_{sp} = 317 \text{ N}$$

En resumen, el mecanismo diseñado proporciona la fuerza requerida para abrir y cerrar la coquilla de manera eficiente, con una fuerza de aproximadamente 317 N.

Software del diseño del molde

El diseño del molde CAD, que se refiere al diseño asistido por computadoras, representa una herramienta fundamental en la ingeniería moderna, permitiendo a profesionales como ingenieros, arquitectos y diseñadores visualizar

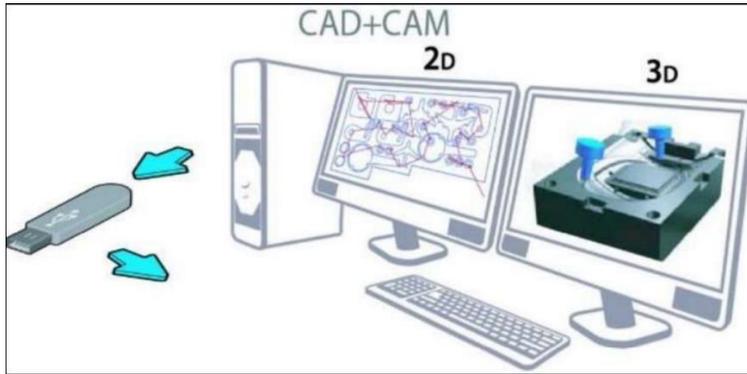
y optimizar modelos antes de su fabricación, de acuerdo con Nieto (2016), estas herramientas computacionales son esenciales para ensamblar virtualmente elementos específicos, presentar propuestas, producir productos y comprender su funcionamiento dentro de un sistema determinado.

A lo largo de los años, el CAD ha experimentado un crecimiento significativo desde su inicio en 1963 con Sketchpad, un sistema sofisticado pero costoso y de uso especializado. Actualmente, las ventajas del CAD, según Alcívar y Cayambe (2016) incluyen la reducción de costos relacionados con el diseño y modelado, la adaptabilidad a nuevas necesidades del mercado, la determinación de la viabilidad de los componentes antes de la producción, la mejora de los detalles finales de los elementos diseñados, la maximización del uso de equipos de manufactura y la mejora de diversas áreas de la matriz productiva.

El proceso CAD/CAM, donde CAM significa "Manufactura asistida por computadora", implica complementar el diseño generado por CAD con una ruta o vía para llevar a cabo la fabricación del elemento diseñado, según Pineda y Sambache (2021), el CAM toma el diseño CAD y genera instrucciones para la maquinaria especializada, transmitiendo estas indicaciones directamente al equipo de manufactura. Este enfoque mejora la calidad del producto, reduce el tiempo de diseño y los costos de producción.

A continuación, se presenta un esquema que ilustra el proceso de diseño de un componente, desde un plano 2D hasta una representación virtual en 3D, y cómo el CAM genera el lenguaje de programación para la fabricación del componente a través de un equipo de manufactura.

Figura 24.
Sistema didáctico del CAD / CAM



Nota: En la figura 17 se expresa el sistema didáctico del CAD/CAM, extraído de (Valverde, 2019, pág. 12)

Software para emplear sistemas CAD/CAM

El diseño asistido por computadora es el que permite elaborar, alternar, analizar, así como también el documentar las representaciones graficas en 2 o 3 dimensiones de los elementos de interés, este tipo de programas permite optimizar tiempos, ya que por medio del diseño computacional es posible la creación de un sinnúmero de elementos requiriendo una menor cantidad de esfuerzo, todo a fin de atender las diferentes necesidades del diseñador (SIEMENS, 2021).

Los Software para sistemas CAD/CAM más conocidos y empleados en la actualidad:

- SolidWorks
- SolidCAM
- Ansys
- Inventor CAM

Si bien se han mencionado varias opciones de software para sistemas CAD/CAM, en el desarrollo del actual trabajo se ha visto más llamativa la

utilización del programa Inventor CAM, el cual permitió a detalle realizar el diseño del molde asistido por computadora.

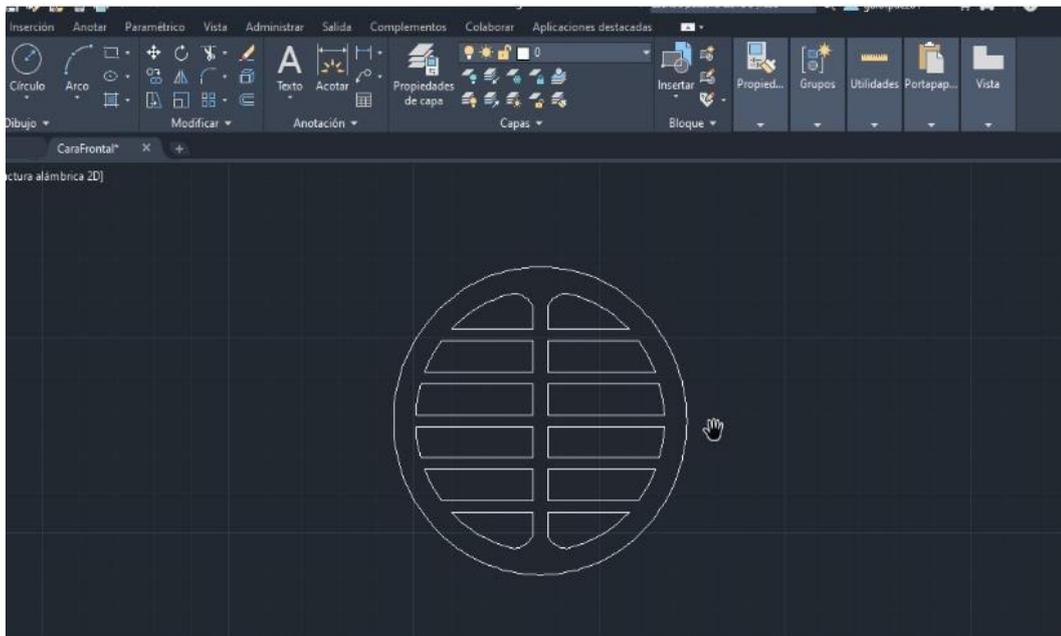
Proceso de diseño de las piezas

Estructurado alámbrico de las piezas en 2D.

El proceso de diseño de las piezas comenzó con la realización del modelado en el programa de diseño AutoCAD, incorporando las dimensiones y especificaciones del material que se utilizará en la fabricación.

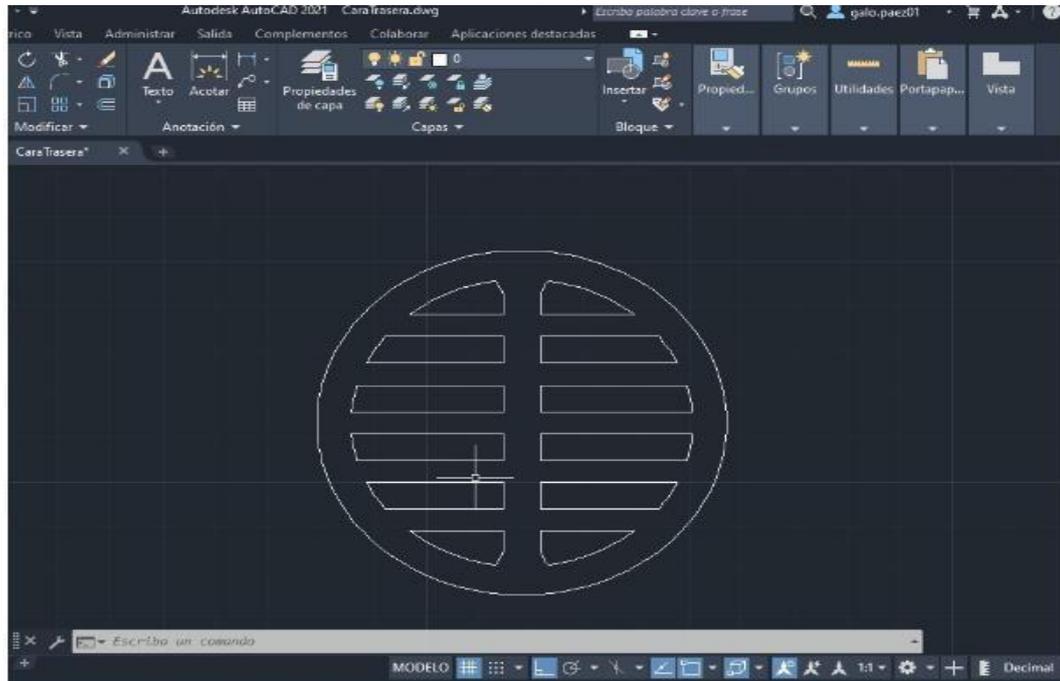
Figura 25

Dibujo de la cara frontal de la pieza



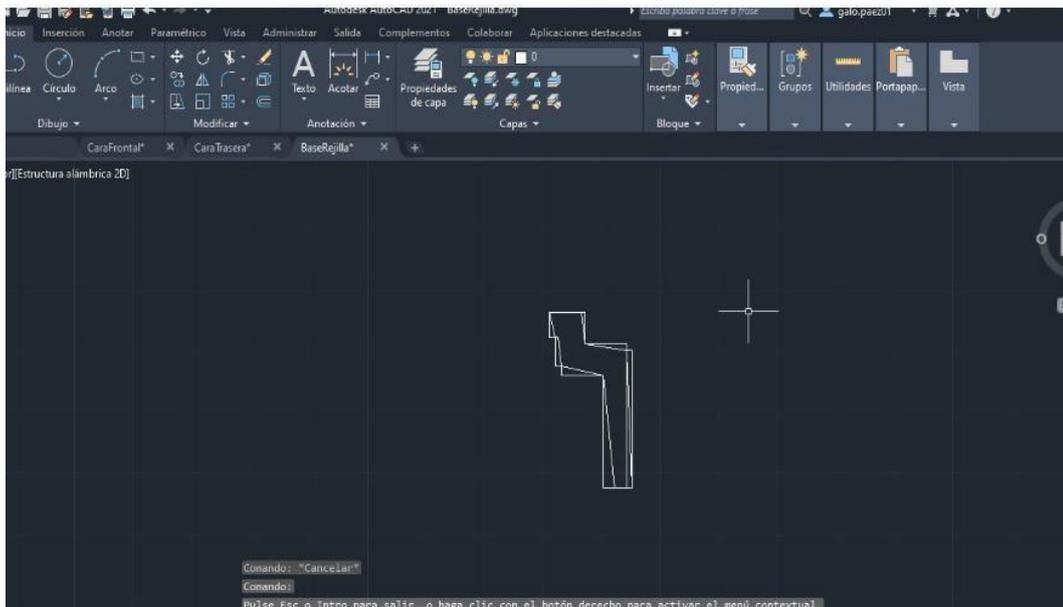
Nota: En la figura 18 se describe el diseño en 2d de la cara frontal de las rejillas

Figura 26.
Cara lateral de la rejilla



Nota: En la figura 19 se describe el diseño en 2d de la cara lateral de las rejillas

Figura 27.
Perfil de la base cónica en 2 D



Nota: En la figura 20 se presenta la estructura alámbrica de la pieza cónica de la rejilla

El uso del dibujo en 2D de las piezas desempeñó un papel fundamental en el proceso de diseño. Este enfoque inicial proporcionó una estructura visual detallada de cada pieza, permitiendo establecer las dimensiones y especificaciones clave, esta representación en dos dimensiones sirvió como guía para el siguiente paso, que consistió en la transición hacia el modelado tridimensional de las piezas. este proceso facilitó una comprensión más completa de la geometría de las piezas y permitió una visualización más realista antes de avanzar hacia la fase de manufactura.

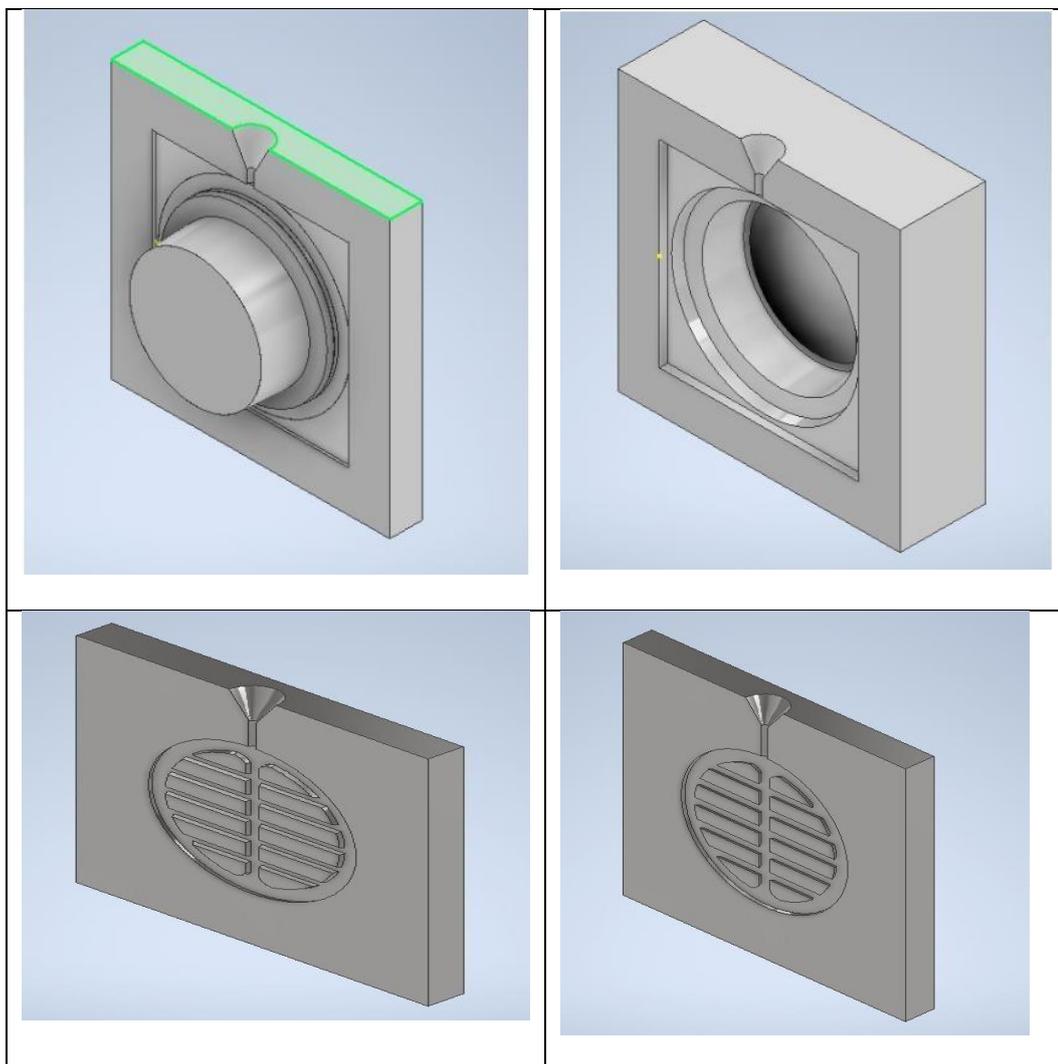
Extrusión de las piezas para el modelado tridimensional

La transición de las piezas al modelado tridimensional se llevó a cabo mediante el uso del software Inventor. En esta etapa, las representaciones bidimensionales previamente creadas fueron utilizadas como referencia para la construcción de modelos tridimensionales más detallados y precisos., el software Inventor permitió una visualización en 3D de las piezas, lo que facilitó una comprensión más completa de su forma y estructura.

Durante este proceso, se asignaron propiedades específicas a cada componente, como dimensiones exactas, material utilizado y otras características relevantes para la fabricación, la capacidad del software para generar modelos tridimensionales contribuyó significativamente a la optimización del diseño, permitiendo una evaluación más precisa de la apariencia y funcionalidad de las piezas antes de pasar a la fase de manufactura.

Figura 28.

Diseño del molde para la fabricación de la pieza cónica de la rejilla



Nota. En la figura 21 se presenta el diseño del molde en el software

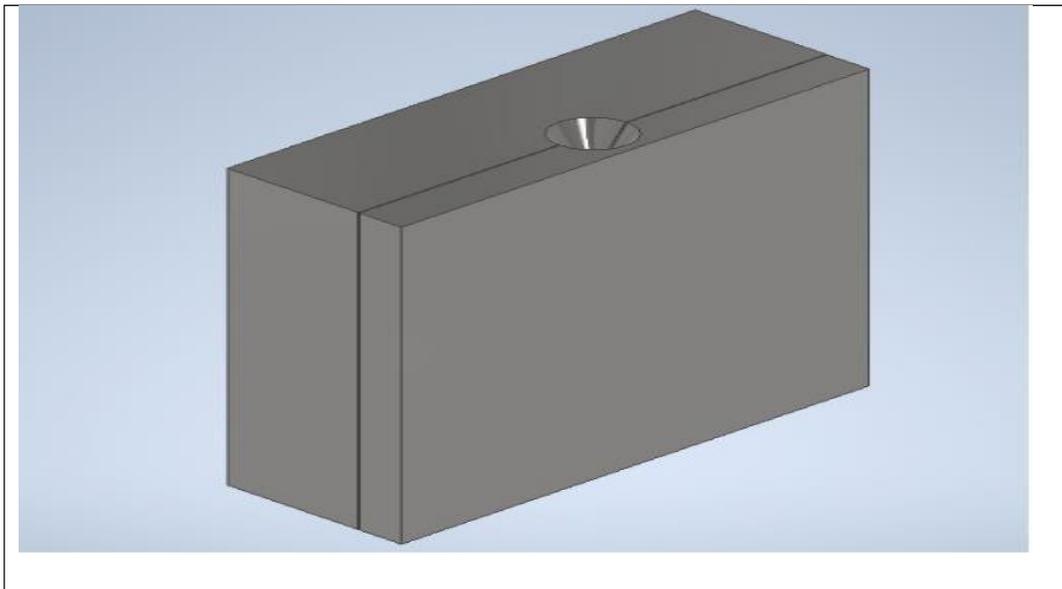
Con base en las representaciones bidimensionales de cada pieza, se procedió a la elaboración del molde tridimensional de manera detallada y precisa. En este proceso, se crearon modelos tridimensionales que muestran con precisión las cavidades destinadas a ser llenadas con aluminio fundido para formar la pieza cónica de la rejilla, las s figuras resultantes proporcionan una visualización clara de cómo se materializará la estructura final de la rejilla, permitiendo una evaluación minuciosa de los detalles del molde. Este enfoque facilita la comprensión completa

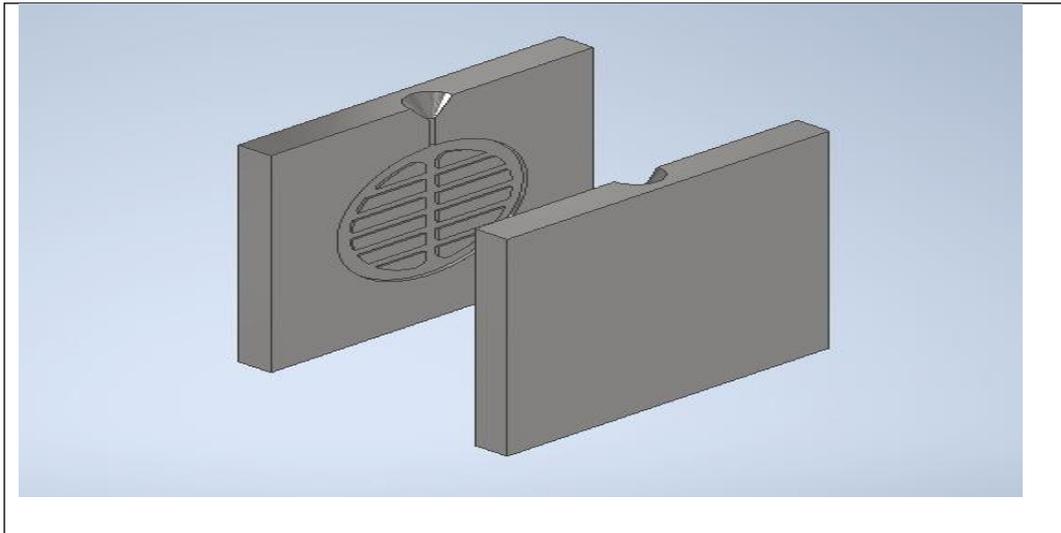
de la forma y la disposición de las piezas cónicas, asegurando una representación precisa para la posterior etapa de fabricación.

Canal de llenado o alimentación del molde

El canal de llenado o alimentación del molde se configura mediante la unión de las dos piezas, ya sea la positiva o negativa. Esta unión posibilita el ingreso directo del aluminio fundido a las cavidades vacías y cóncavas del molde. Estas cavidades, al solidificarse el metal, dan lugar a la formación de la pieza cónica deseada, este sistema de llenado asegura un flujo eficiente del aluminio líquido hacia las áreas específicas del molde, permitiendo la reproducción precisa de la pieza cónica durante el proceso de solidificación.

Figura 29:
Sistema de llenado del molde

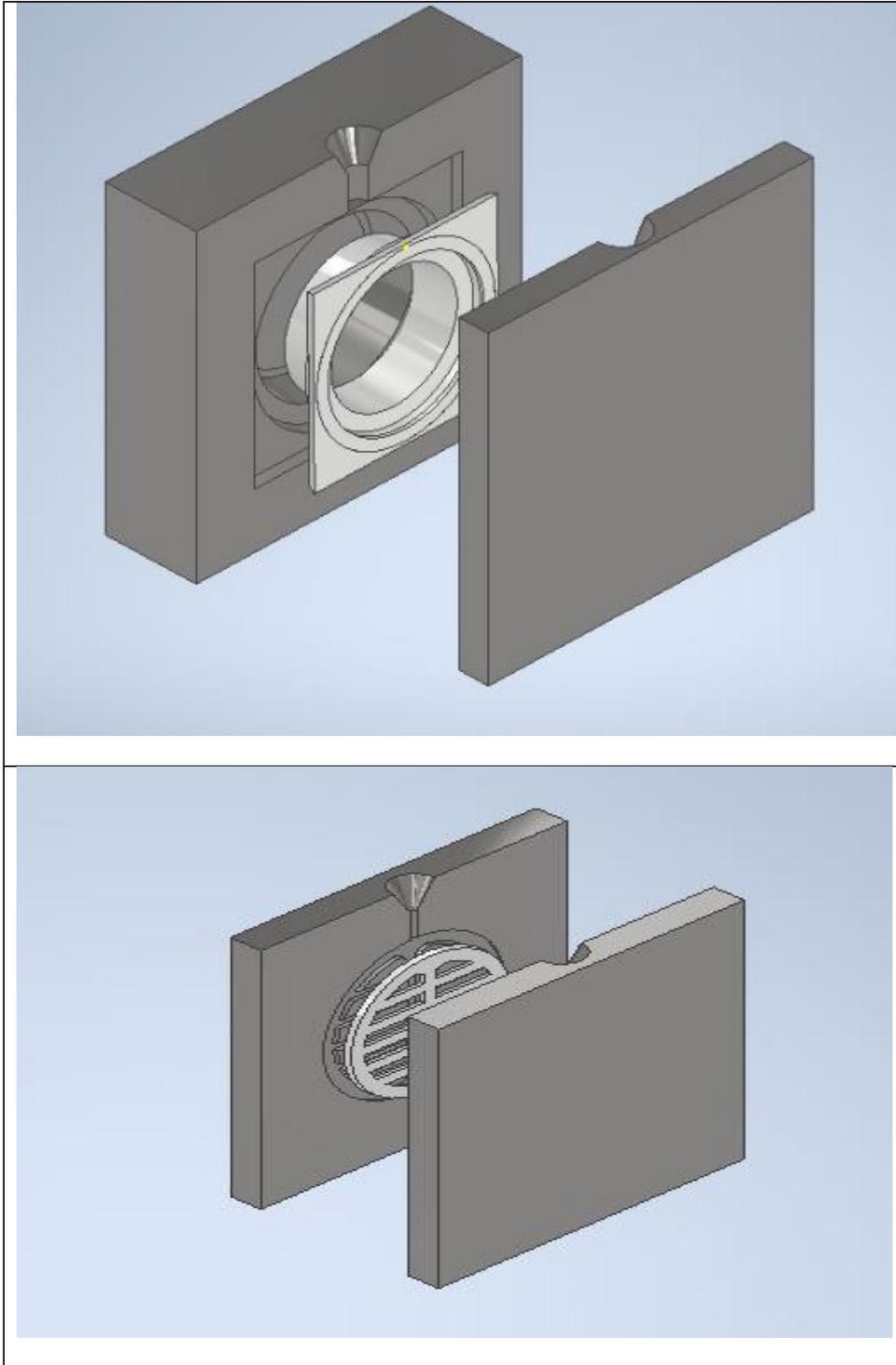




Nota: En la figura 22 se puede visulaicar el canal de alientacion del molde

Una vez que el aluminio fundido se ha solidificado a temperatura ambiente, se procede a desmoldar la pieza aplicando presión. La pieza se retira de la parte positiva del molde y se enfría antes de pasar a la etapa de torneado. Esta fase de torneado tiene como objetivo corregir posibles deformaciones causadas por excesos de material, garantizando así que la pieza adquiriera las dimensiones y características finales deseadas.

Figura 30.
Desmoldado de la pieza



Nota: En la figura 23 se puede visulaicar el terminado de la pieza

Presupuesto para la construcción del molde

En la Tabla 15 se detallan los costos asociados con la maquinización de cada una de las partes esenciales para la construcción del molde. Se ha asignado un valor aproximado a cada componente, el cual será cubierto por la empresa. Además, se incluyen los costos relacionados con la utilización de maquinaria específica para llevar a cabo estos procesos.

Tabla 15

Costo de materiales para la construcción del molde

Parte	Material	Descripción	Cantidad	V.	V.
mecanizada				unitario	total
Placa base fija	AISI H10	Acero W 320	2	110	220,00
Placaba base móvil	AISI H10	Acero W 320	2	110	220,00
Total					440,00

Nota. La tabla 15 describe los costos de los materiales

Costo maquinaria y herramientas

En la Tabla 15, se presentan los costos estimados correspondientes a la maquinaria y las herramientas utilizadas en el proceso de construcción del molde, estos valores reflejan tanto el desglose de los gastos asociados con la maquinaria específica como las herramientas suministradas por el área operativa de la empresa.

Tabla 16.
Costo de la maquinaria

Descripción	Horas operativas	Costo por hora	Costo total
Torno	6	8,00	16,00
Esmeril	2	3	6,00
Rectificadora	5	10	50,00
Sierra eléctrica	6	5	30,00
Pulidora	3	5	15,00
Fresadora CNC	5	10	50,00
Herramienta general	en 10	2	20,00
Total			187,00

Nota. En la tabla 16 se presenta el costo de la maquinaria

Costo de la mano de obra

En cuanto al costo de mano de obra, no se considerará en el desarrollo de este proyecto, ya que todas las operaciones fueron ejecutadas en su totalidad por el autor de esta tesis, con la orientación del Ingeniero tutor y el respaldo del área operativa de la empresa.

Costo total de la fabricación del molde

Una vez establecidos estos costos, procedemos al cálculo del costo total del proyecto, sumando las cantidades estimadas para obtener un valor global del costo de la construcción y mecanizado del molde. Valores que se detallan a continuación.

Tabla 17
Costo total

Descripción	Valor total
Costo de materiales	440,00
Costo maquinaria y herramienta	187,00
Costo total	627,00

Nota. En la tabla 17 se presenta el consto global de la construcción del molde

Resultados esperados

El proyecto se enfocó en resolver los desafíos de producción de rejillas planas para pisos, implementando moldes permanentes de acero en lugar de los moldes tradicionales de arena, durante el mismo período de análisis, se observó una mejora sustancial en la producción semanal de las rejillas planas, con una reducción significativa en la cantidad de unidades defectuosas.

La implementación de moldes de acero logró aproximadamente un 94% de disminución en las imperfecciones, marcando un cambio notable en la calidad del producto final, esta mejora se refleja de manera detallada en la siguiente tabla:

Tabla 18

Análisis de la producción semanal con la utilización del molde permanente

Tiempo De Producción	Denominación	Productos Buenos	Productos con Defectos	Productos Totales	% de Productos Defectuosos
Semana 1	Rejillas planas	1.990	10	2.000	0,5%
Semana 2	Rejillas planas	1.992	8	2.000	0,4%
Semana 3	Rejillas planas	1.970	30	2.000	1,5%
Semana 4	Rejillas planas	1.985	15	2.000	0,8%
Semana 5	Rejillas planas	1.993	7	2.000	0,4%
Semana 6	Rejillas planas	1.995	5	2.000	0,3%
Semana 7	Rejillas planas	1.988	12	2.000	0,6%
Semana 8	Rejillas planas	1.988	12	2.000	0,6%
Semana 9	Rejillas planas	1.990	10	2.000	0,5%
Semana 10	Rejillas planas	1.994	6	2.000	0,3%
Semana 12	Rejillas planas	1.995	5	2.000	0,3%
Total		21.880	72	22.000	6,0%

Nota. En la tabla 19 se describe la producción semana de la empresa

La transición a moldes permanentes de acero no solo mejoró la calidad del producto, sino que también generó un impacto positivo en los costos asociados a la producción de rejillas planas para pisos, la eliminación del gasto en la adquisición de arena, que anteriormente representaba un costo trimestral de \$150,00 y anual de \$600,00, ha generado un ahorro financiero significativo para la empresa.

Este cambio estratégico no solo se tradujo en una mejora en la eficiencia operativa, sino que también redujo el costo unitario final del producto, fortaleciendo la posición económica de la empresa; la implementación de moldes permanentes de acero no solo ha impactado positivamente en la calidad del producto final, sino que también ha permitido una gestión más eficiente de los recursos financieros, generando un beneficio tanto a corto como a largo plazo para la empresa.

La implementación de moldes permanentes de acero ha demostrado ser clave en la optimización de costos asociados a los procesos de calidad en la fabricación de las rejillas. Con el nuevo enfoque, el proceso de calidad se simplifica notablemente, reduciendo la necesidad de múltiples etapas de acabado. En particular, el proceso actual solo requiere el paso de dar brillo a la pieza con felpa, con un tiempo total de 1 minuto y un costo por proceso de 0,141 dólares, como se detalla en la tabla 20

Tabla 19.

Costos del proceso de calidad

Procesos de calidad	Costo por proceso	Producción trimestral	Costos por procesos trimestrales en moldes permanente	Costo por procesos anuales en moldes permanentes
Brillo de la pieza con felpa	0,047	22.000	1031	4125
Total	0,047	22000	1031	4125

Nota. En la tabla 19 se analiza el costo del proceso de calidad

De la misma manera, la fabricación de rejillas utilizando moldes permanentes ha generado mejoras significativas en la efectividad de entrega de productos, logrando satisfacer tanto los estándares de calidad como las demandas

de cantidad solicitadas por los clientes, los resultados de los últimos dos meses de producción reflejan un cambio positivo, donde se observa:

Tabla 20

Cálculo del incumplimiento en la entrega del producto final

Fecha	Ordenes Producción	De	Cantidad Solicitada	Cantidad Despachada	Incumplimiento De Pedidos
5/11/2023	ODP N° 1		2.500	2.454	46
6/11/2023	ODP N° 2		10.000	9.936	64
7/11/2023	ODP N° 3		6.000	5.990	10
8/12/2023	ODP N° 4		8.000	8.000	0
9/12/2023	ODP N° 5		9.500	9.500	0
11/12/2023	ODP N° 6		10.000	10.000	0

Nota. En la tabla 21 se describe el nivel de incumplimiento de la producción final

De igual manera, la implementación de moldes permanentes ha generado una disminución considerable en las pérdidas económicas derivadas de productos defectuosos. En las últimas ocho semanas de producción, la pérdida por productos defectuosos se redujo notablemente del 6% al 1% del total de la producción, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 21.

Pérdida semanal por productos defectuosos

Semanas	Productos Defectuosos	% de Defectuosos	Pérdida Semanal Estimada (\$)
1	10	1%	\$7,38
2	8	0%	\$3,69
3	30	2%	\$18,46
4	15	1%	\$6,35
5	7	0%	\$4,58
6	5	0%	\$3,69
7	12	1%	\$12,26
8	12	1%	\$4,87

Nota. En la tabla 22 se describe la pérdida de productos defectuosos

Por otra parte, la transición a la fabricación de rejillas en moldes permanentes no solo ha contribuido a la reducción de problemas financieros, sino que ha marcado una mejora significativa en la calidad física de las piezas, se ha evidenciado una notable disminución de defectos como rugosidades y porosidad. Además, se corrigieron de manera significativa las imperfecciones relacionadas con la desigualdad en las dimensiones de las piezas.

Este avance se traduce en una optimización de recursos y una mejora palpable en la calidad física de las rejillas, la reducción de defectos no solo ha minimizado costos adicionales en los procesos de acabado, sino que también ha contribuido a aumentar la satisfacción del cliente y fortalecer la competitividad en el mercado, la calidad mejorada no solo impacta en la percepción del producto final, sino que también refuerza la posición de la empresa como líder en ofrecer productos de alta calidad y confiabilidad.

Cursograma analítico de la producción en molde de acero

El Cursograma Analítico del proceso de fundición de las rejillas en molde de acero, representado en la Tabla 22, proporciona una visión detallada y estructurada de las actividades involucradas en la producción. Inicia con la adquisición de materia prima, en este caso, aluminio, seguido por la clasificación del material.

El proceso continúa con la preparación y encendido del horno, esperando a que alcance la temperatura adecuada para la fundición del aluminio., la preparación del molde de acero y la disposición de las cucharas para el transporte son actividades esenciales, el transporte de la cuchara al molde y el vaciado de la fundición en el mismo son pasos cruciales en el proceso.

Después, se espera a que el molde de aluminio se enfríe a temperatura ambiente antes de proceder con la limpieza, terminado y acabado, las actividades posteriores incluyen el control de calidad, traslado a la bodega de las piezas fundidas, almacenado, empaquetado y, finalmente, el traslado a la bodega, el cursograma analítico destaca tiempos estimados para cada actividad, proporcionando una comprensión completa del flujo de trabajo actual y ofreciendo una base para las mejoras propuestas en el proceso.

La comparación entre el cursograma analítico del proceso de fundición de rejillas utilizando moldes de arena y moldes de acero revela diferencias significativas en cuanto al tiempo total requerido para la fabricación de las piezas.

En el caso de los moldes de acero, el tiempo total incurrido se reduce considerablemente a 390 minutos en comparación con los 475 minutos necesarios para los moldes de arena

Esta reducción del tiempo de producción en los moldes de aceros no solo permite una mayor eficiencia en el proceso, sino que también contribuye a mejorar la calidad de las piezas fundidas. Además, la optimización en el tiempo de fabricación con moldes de acero conlleva una significativa ventaja en términos de costos, ya que implica una utilización más eficiente de los recursos, lo que puede resultar en una mayor rentabilidad y competitividad para la empresa.

Tabla 22.

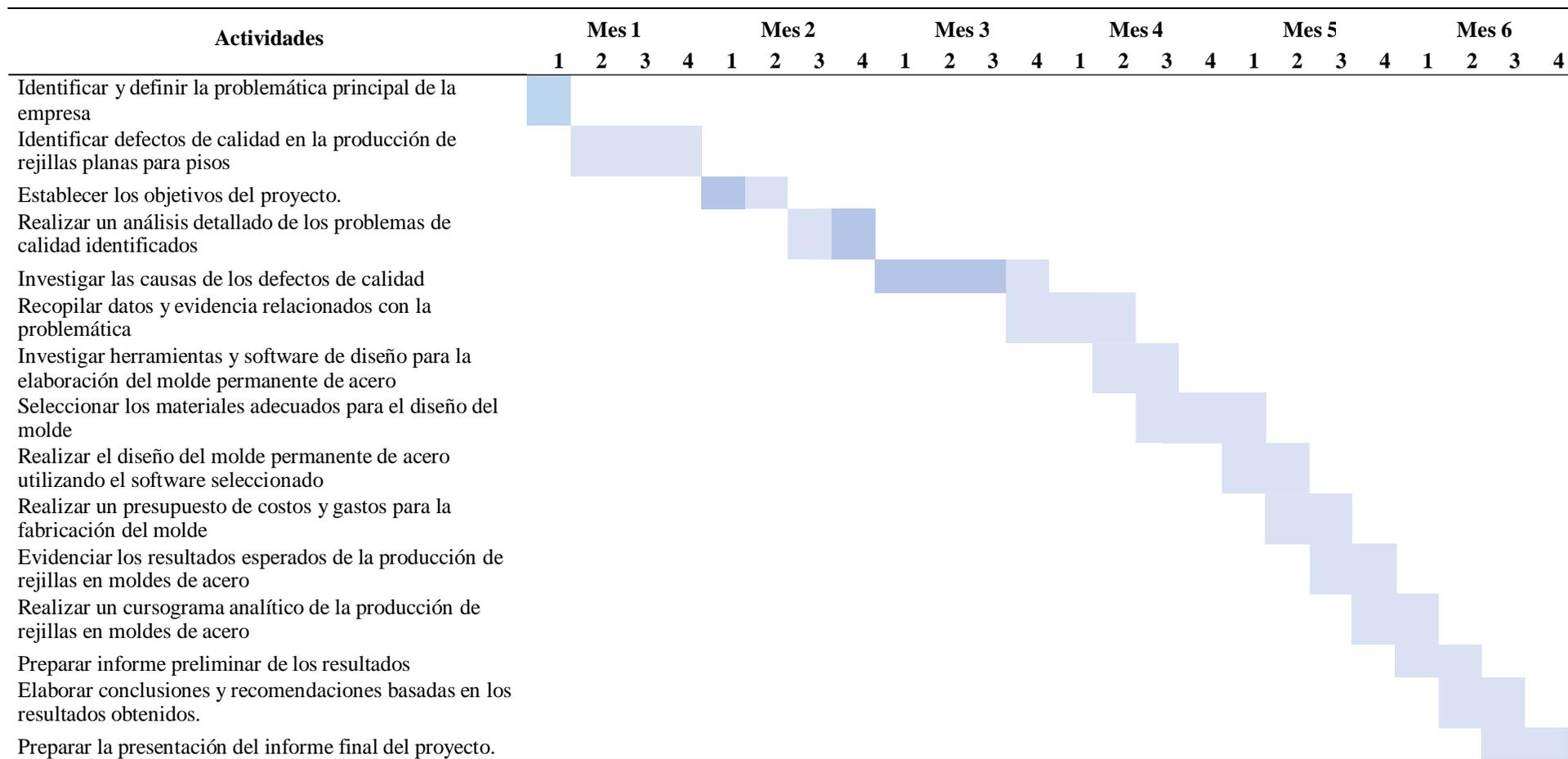
Cursograma analítico del proceso de fundición de las rejillas en molde de acero

Cursograma analítico							
Logo de la empresa	Taller			Resumen de actividades			
Producción	Rejillas planas						
proceso	Fundición de metal	Actividad		Actual	Propuesto		
Material	Aluminio	Operación		6			
Tipo		Inspección		1			
Anotación		Transporte		2			
Elaborado por		Demora		2			
Revisado por		Almacén		2			
Anotación		Tiempo total (horas)		7 horas con 55 min			
Descripción de actividades	Símbolos					Tiempo (mín)	distancias
							
Adquisición de materia prima (Aluminio)					x	10	
Clasificación de la materia prima (perfil y piezas de auto)	x					20	
Encendido del Horno	x					5	

Esperar que alcance la temperatura de fundición del aluminio	x					110	
Preparado del molde de acero	x					5	
Preparación de cucharas para transporte			x			20	
Transporte de la cuchara al molde				x		35	10 metros
Vaciado de la fundición en el molde	x					30	
Espera a enfriar el molde de aluminio a temperatura ambiente		x				20	
Limpieza, terminado y acabado			x			40	
Control de calidad				x		45	
Traslado a bodega de las piezas fundidas					x	10	12 metros
Almacenado y empaquetado	x					35	
Total, actividades	6	1	2	2	2	390 min	

Nota. La tabla 18 describe el cursograma analítico en la producción de moldes de acero

Tabla 23.
Cronograma de Actividades



Nota. En la tabla 23 se presenta el cronograma de tiempo de la realización de las actividades

CONCLUSIONES

- Tras analizar el estado actual del proceso de fundición de las rejillas de aluminio en moldes de arena que actualmente mantiene la empresa, se identificaron los principales problemas asociados a la producción de rejillas, siendo los más relevantes el desgaste de los patrones, la inadecuada utilización de la arena, lo que ha resultado en una falta de precisión dimensional y la generación de una gran cantidad de productos defectuosos, ocasionando con ello medidas económicas como competitividad de la empresa en el mercado.
- Al determinar los requerimientos de diseño del molde, se realizaron pruebas de contracción del aluminio, análisis detallados de la geometría de las rejillas y evaluaciones de sistemas de llenado de moldes. Estos cálculos proporcionan una comprensión profunda de los diferentes problemas que **deberá enfrentar la empresa y los criterios esenciales para la construcción adecuada del molde** de acero, asegurando así su eficiencia y funcionalidad.
- El diseño del molde de acero, llevado a cabo con el uso de software especializado, ha permitido integrar soluciones que abordan de manera específica los problemas identificados dentro de área operativa de la empresa. La matriz de acero propuesta cumple con los parámetros que requiere el proceso de elaboración de las rejillas de aluminio, garantizando la eficiencia y calidad de las piezas, así como su competitividad en el mercado.

RECOMENDACIONES

- Considerando las deficiencias significativas en la precisión dimensional y la eficiencia del proceso actual de fundición con moldes de arena, se recomienda implementar mejoras en la precisión de los patrones y moldes, la introducción de tecnologías avanzadas, como el escaneo 3D y la impresión de moldes con materiales resistentes al desgaste, puede contribuir significativamente a mitigar los problemas de desgaste y mejorar la calidad dimensional de las rejillas.
- Dada la identificación de desafíos clave, como el desgaste de patrones y moldes, la falta de precisión dimensional, la contracción del aluminio y la ineficiencia en el sistema de llenado, se recomienda diseñar un molde de acero que aborde específicamente estos problemas, la implementación de técnicas avanzadas de diseño asistido por computadora (CAD) puede facilitar la creación de moldes que optimicen la contracción del aluminio y mejoren la eficiencia del proceso de fundición.
- Con base en la conclusión del diseño del molde mediante software especializado, se recomienda la adopción del molde de acero diseñado para la inyección de aluminio, este cambio tecnológico busca no solo superar las limitaciones asociadas con los moldes de arena, como el desgaste y la falta de precisión dimensional, sino también mejorar la eficiencia y productividad de la empresa. La inversión en moldes de acero puede resultar en un proceso más confiable y rentable a largo plazo.
- La implementación del diseño propuesto del molde no solo se orienta a solucionar los problemas actuales, sino que también representa una evolución hacia un proceso más eficiente y competitivo, se recomienda realizar un

seguimiento continuo de los resultados obtenidos con los nuevos moldes de acero, evaluando la mejora en la calidad de las rejillas y la eficiencia operativa, además, se sugiere mantenerse informado sobre las últimas innovaciones en tecnologías de fundición para mantener la competitividad en el mercado

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcívar, F., & Cayambe, J. (31 de 10 de 2016). Simulación y modelación de una matriz a inyección plástica, para la producción de asas de sujeción tipo puente sr 1534 aplicando la tecnología cnc y software de diseño cad-cam. *Ingeniero Industrial*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 20 de 11 de 2022, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5860/1/85T00410.pdf#page=40&zoom=100,197,684>
- Barrios, E. R. (2023). Mejoramiento de la eficiencia de combustión para horno subterráneo de fundición de aluminio para Talleres J.A. Ramírez. *Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- FEAMM. (2021). Evolución de la producción, el comercio y el consumo de moldes y matrices .Periodo analizado: 2010-2020. *FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE ASOCIACIONES EMPRESARIALES DE MOLDISTAS Y MATRICEROS*, 1-8. Obtenido de <http://www.feamm.com/wp-content/uploads/2021/11/EVOLUCION-DE-LA-PRODUCCION-COMERCIO-Y-CONSUMO-DE-MOLDES-Y-MATRICES-2020.pdf>
- Garces, M. (2020). Magister en Producción y diseño industrial. *Diseño, construcción y simulación de llenado de un molde de arena verde para la fundición de piezas de aluminio blanco*. Quito, Ecuador: EPN. Obtenido de <file:///C:/Users/LENOVO%20CORE%20I5/Downloads/CD-7424.pdf>
- Groover, M. (2015). *Fundamentos de manufactura moderna 3edi Groove*. S/c: MC Graw Hill. 3edi .

- Márquez, C. (2022). *El sector de la construcción incorpora prácticas sostenibles en beneficio del cuidado ambiental*. Obtenido de Yputopia: <https://youtopiaecuador.com/cuidado-del-ambiente/sector-construccion-practicas-sostenibles-ecuador/>
- Moran, A. J. (2020). Ingeniero Industrial. *Estudio De Factibilidad Para La Puesta En Marcha De Una Línea De Producción De Rejillas De Aluminio Reciclado En La Empresa*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51284/1/4.%20MORAN%20RONQUILLO%20ALEX%20JAVIER.pdf>
- Nieto, M. (23 de 12 de 2016). Manejo del software revit y su incidencia en el modelado de información para la construcción de edificaciones en la ciudad de ambato, provincia de tungurahua. *Ingeniero Civil*. Ambato, Tungurahua, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 20 de 11 de 2022, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24786/1/Tesis%201096%20-%20Nieto%20Salas%20Marcelo%20David.pdf>
- Pineda, R., & Sambache, A. (27 de 10 de 2021). Diseño y construcción de una matriz para fabricación de mascarillas mediante termoformado usando software cad/cam y tecnología cnc. *Ingeniero Mecánico*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 20 de 11 de 2022, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21959/1/CD%2011454.pdf>
- Rodríguez, P. (2022). Desarrollo de la técnica aditiva de proyección de aglutinante para la fabricación rápida de moldes para fundición de metales no ferreos.

Tesis doctoral, Universidad de León. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10612/15689>

SIEMENS. (06 de 2021). *Diseño asistido por ordenador (CAD)*. Recuperado el 20 de 11 de 2022, de Software de CAD: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>

Torres, J. (2021). *El aluminio en la construcción*. Obtenido de CODEVAL: <https://codeval.es/el-aluminio-como-material-de-construccion/>

Turrubiates, M. (2022). *Modelo para la evaluación de CapEx futuro en tecnologías de tratamiento térmico para componentes automotrices de aluminio mediante el uso del concepto de Costo Total de Propiedad*. Monterrey, Mexico: Tecnológico Monterrey. Obtenido de <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/648383>

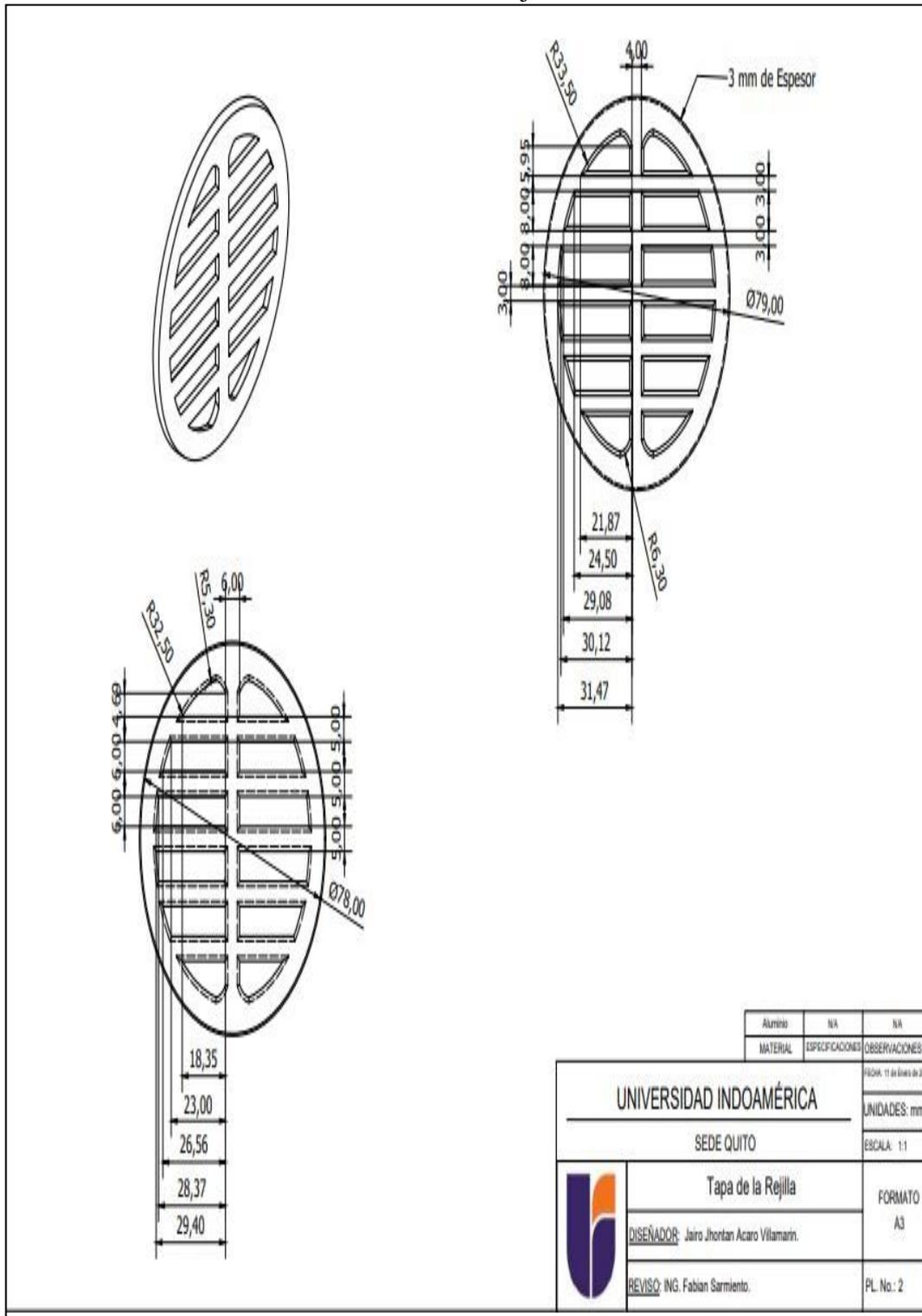
Valencia, F., & Maldonado, E. (2022). Ing. en Mecatrónica. *Molde permanente para fundición de bolas de 5 pulgadas para molinos horizontales*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12636>

Valverde, J. (29 de 06 de 2019). Desarrollo de metodologías enfocadas a aplicaciones de ingeniería inversa para reproducir objetos mediante escaneado 3d, sistemas cad/cam y prototipado rápido. *Magíster en Diseño y Simulación*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 20 de 11 de 2022, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20357/1/CD%209829.pdf>

Veritrade. (14 de Marzo de 2023). *business2.veritradecorp.com/es/mis-productos*.

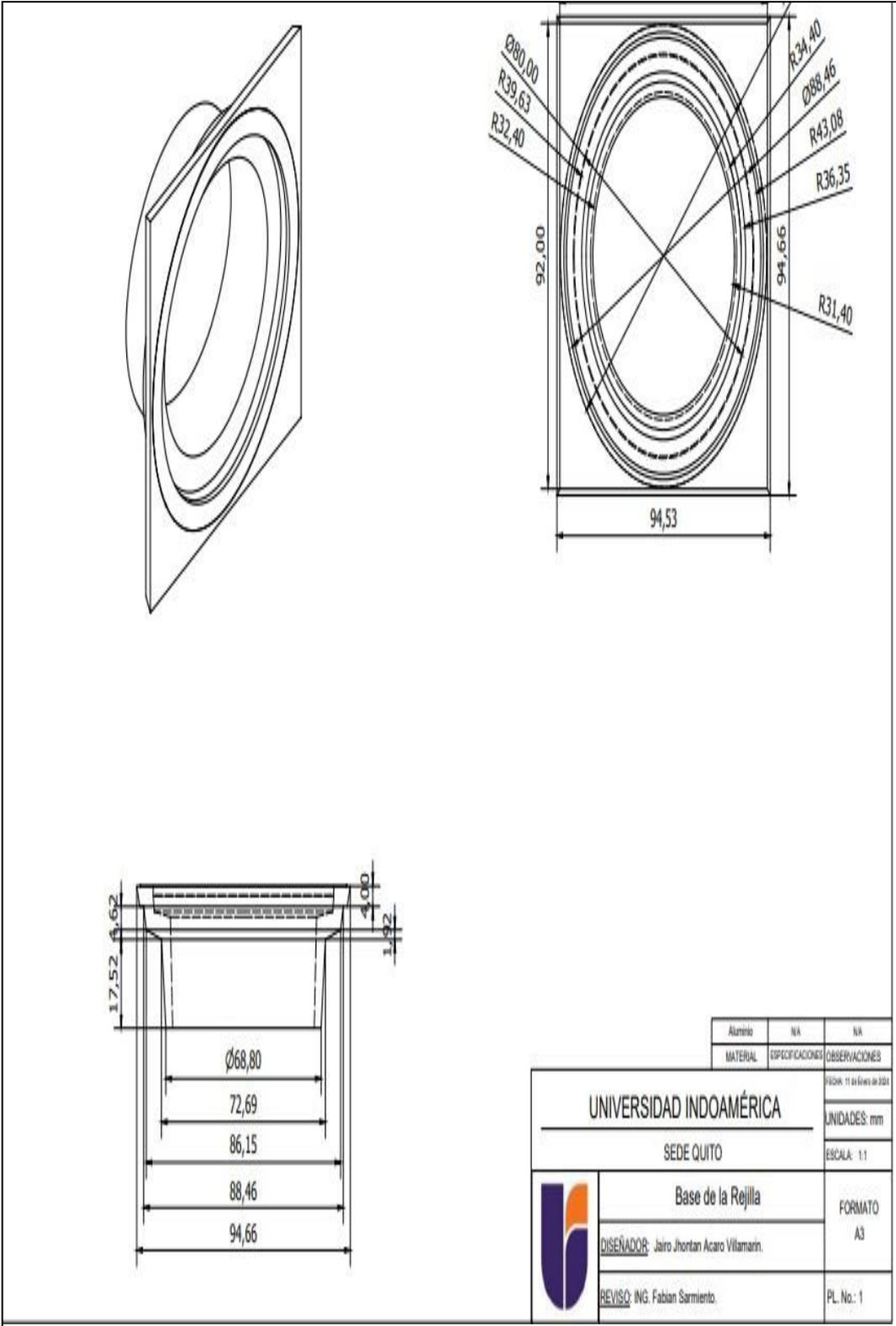
Obtenido de <https://business2.veritradecorp.com/es/mis-productos>

ANEXOS
Anexo 1
 Planos de la rejilla



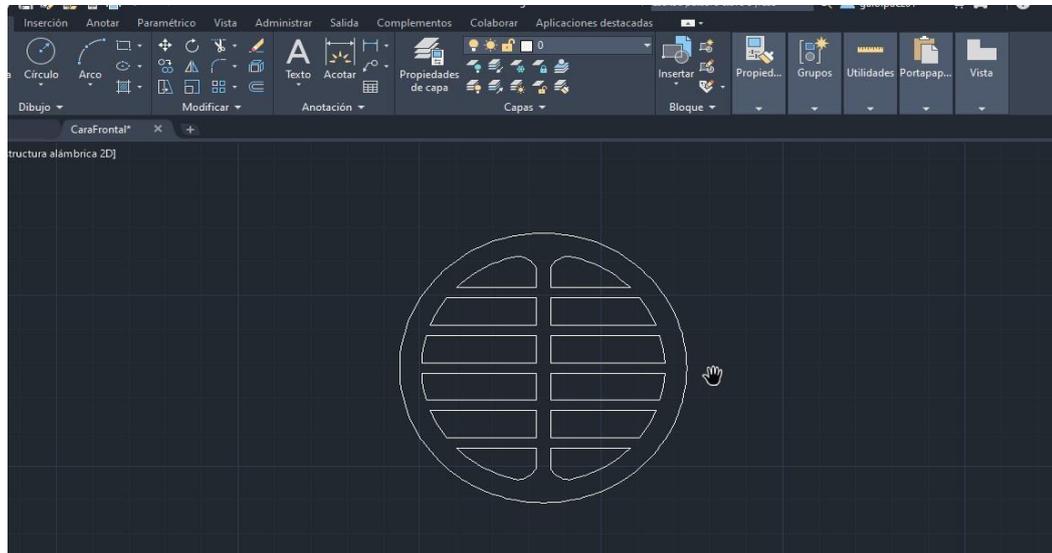
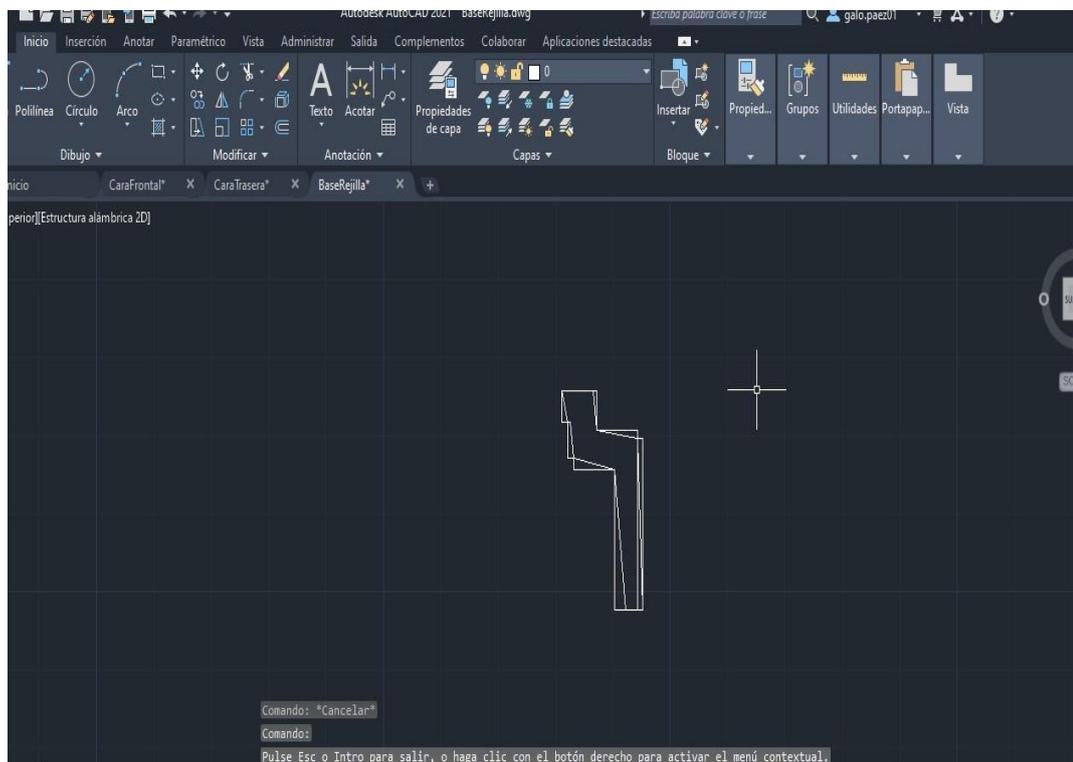
Aluminio	NA	NA
MATERIAL	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES

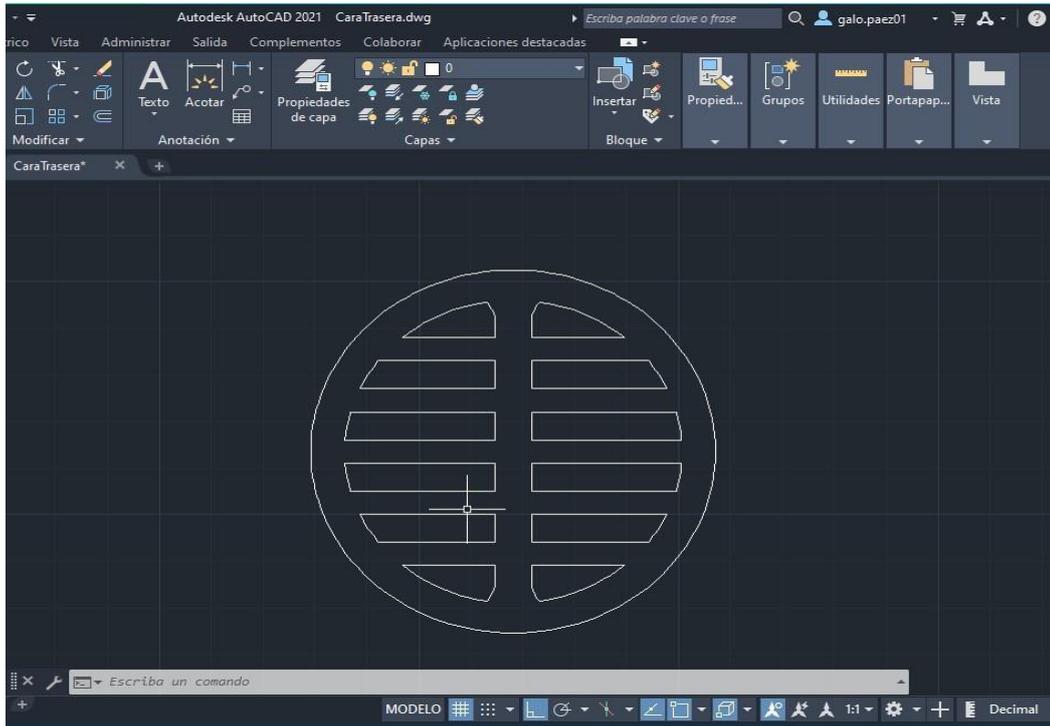
UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA		REG. 11 de línea de 200
SEDE QUITO		UNIDADES: mm
		ESCALA: 1:1
	Tapa de la Rejilla	FORMATO A3
	DISEÑADOR: Jairo Jhordan Acaro Vilamarin.	
REVISOR: ING. Fabian Sarmiento.		PL. No.: 2



Aluminio	NA	NA
MATERIAL	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA		FIGURA 11 de febrero de 2021
SEDE QUITO		UNIDADES: mm
 Base de la Rejilla DISEÑADOR: Jairo Jhontan Acaro Villamarin. REVISOR: ING. Fabian Sarmiento.		ESCALA: 1:1
		FORMATO A3
		PL. No.: 1

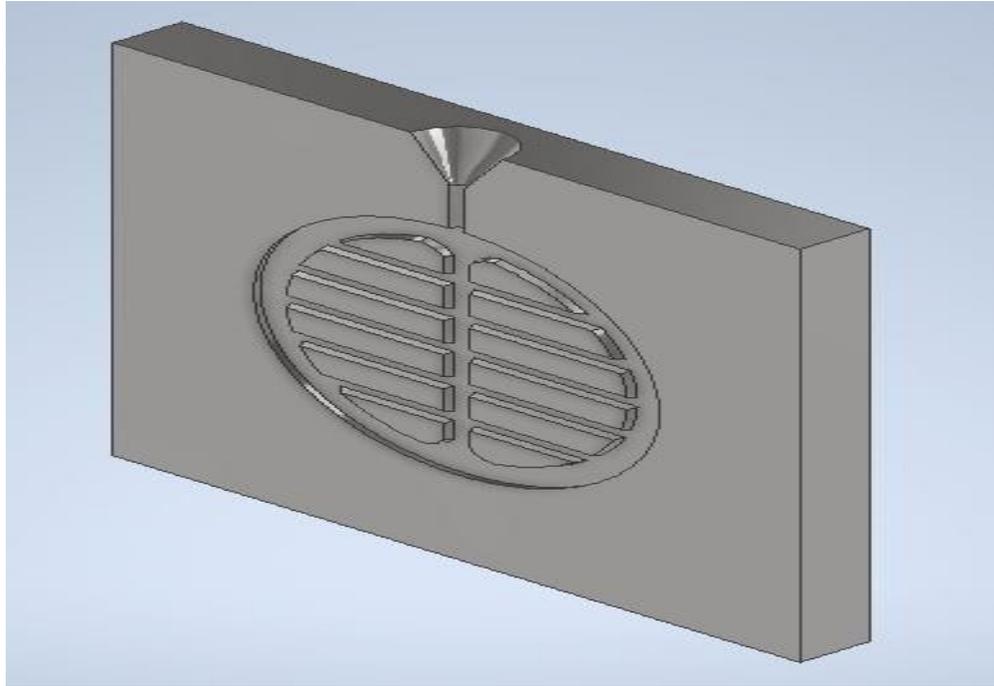
Anexo 2 Diseño del molde en AUTOCAD 2D



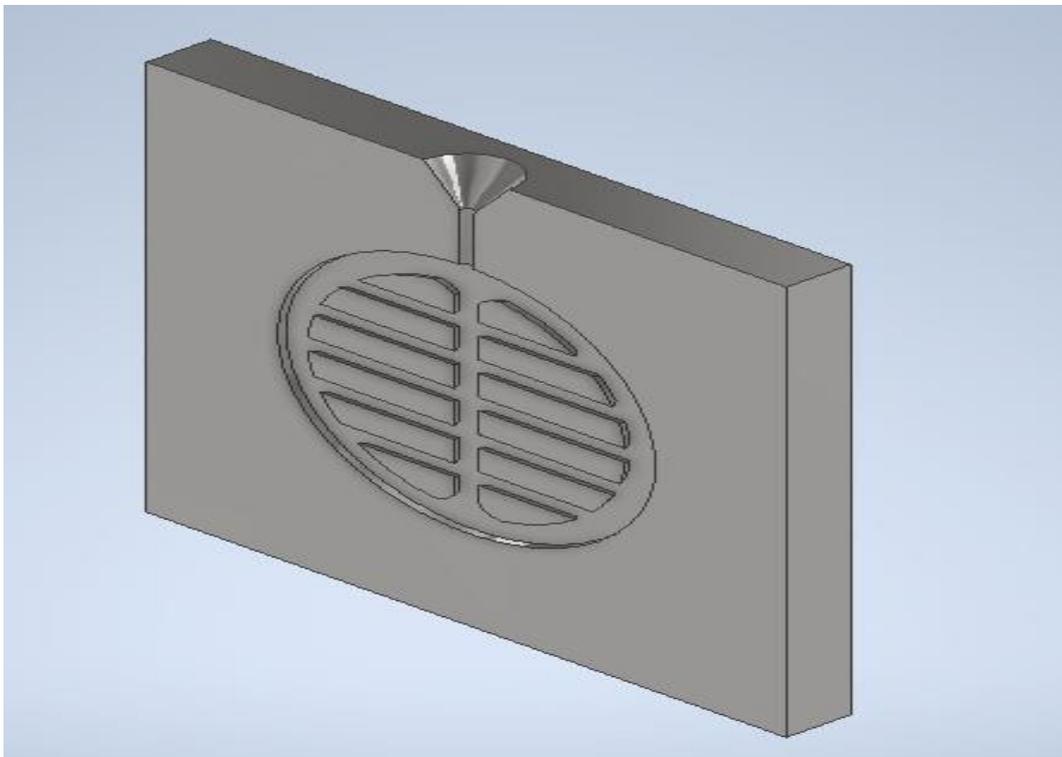


Anexo 3 Diseño del molde en 3D

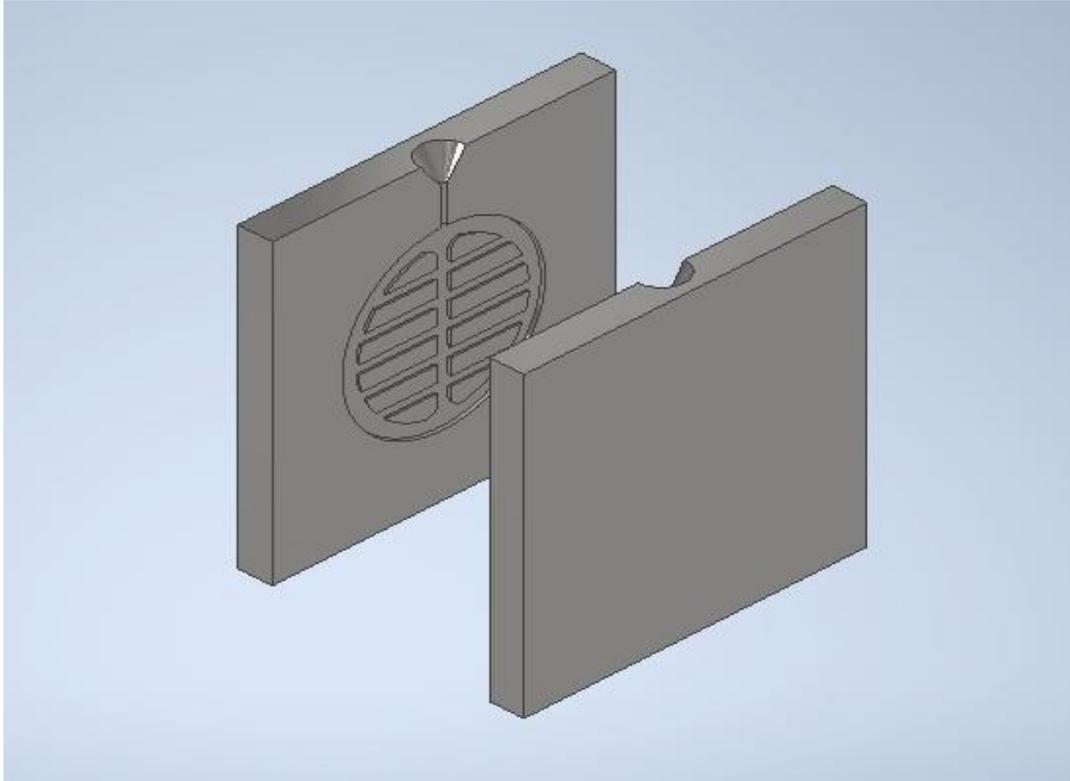
Molde tapa de la rejilla parte frontal



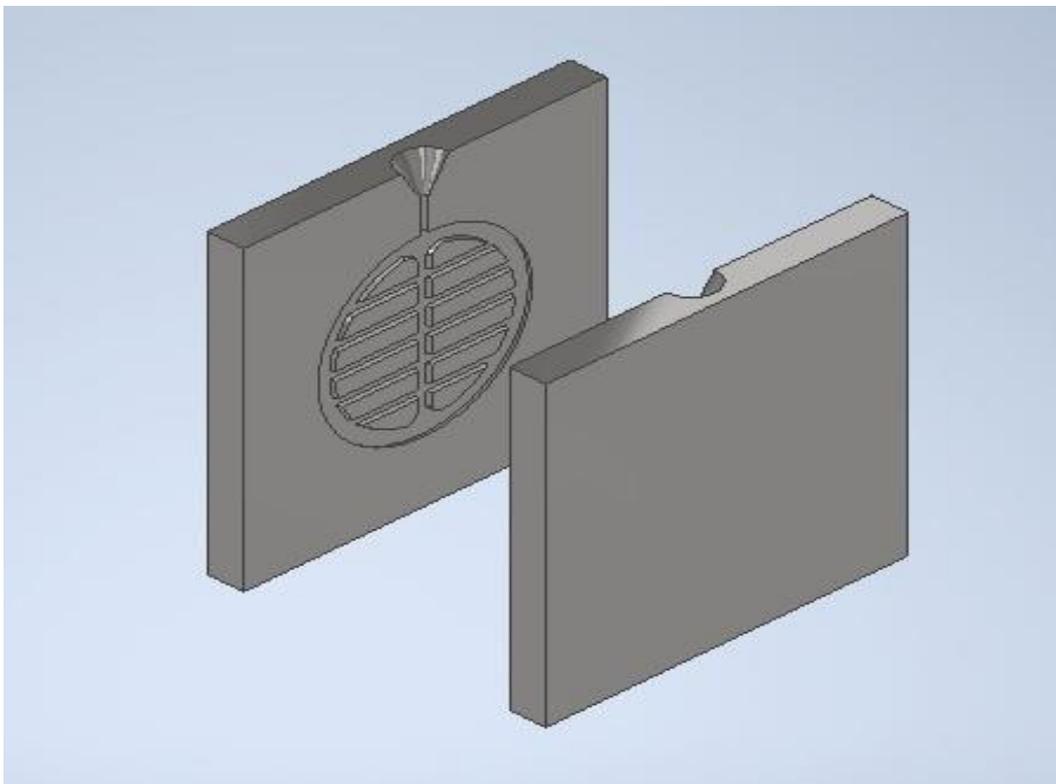
Molde tapa de la rejilla parte trasera



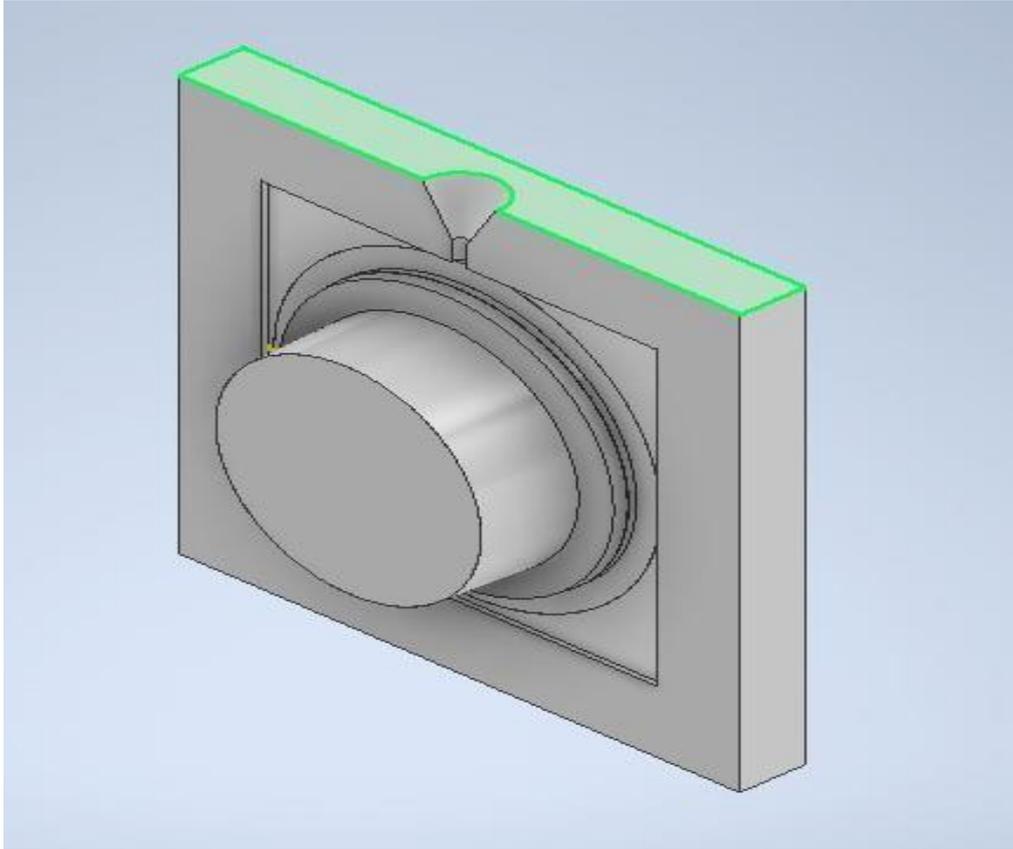
Frente tapa 1



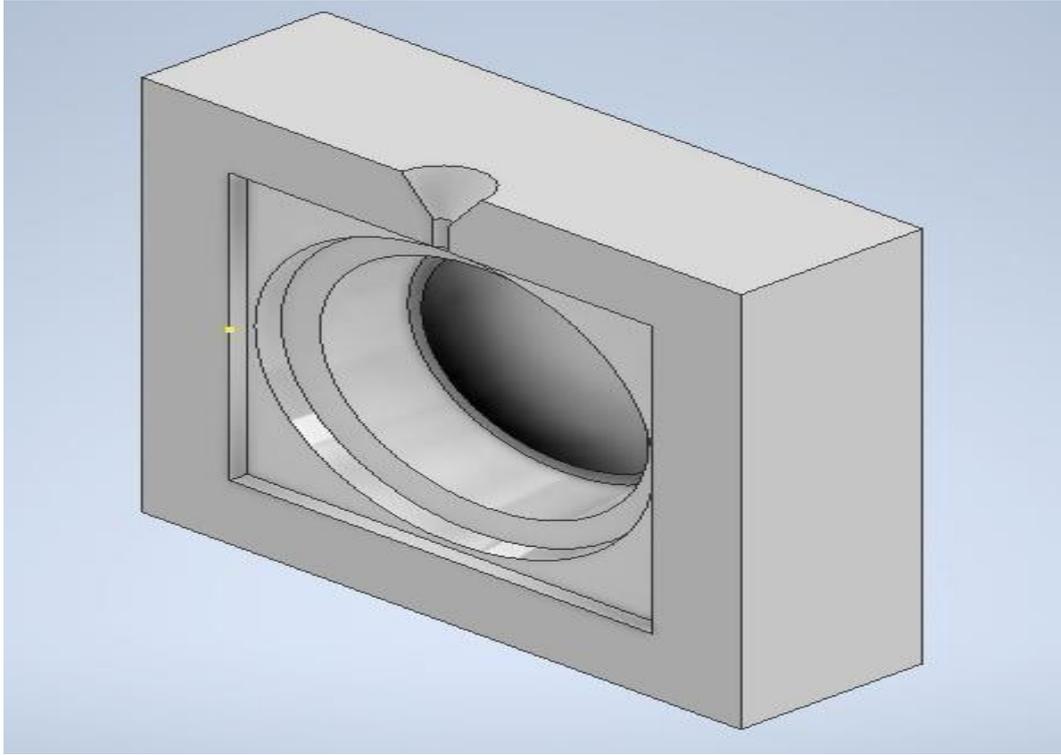
Frente tapa 2.



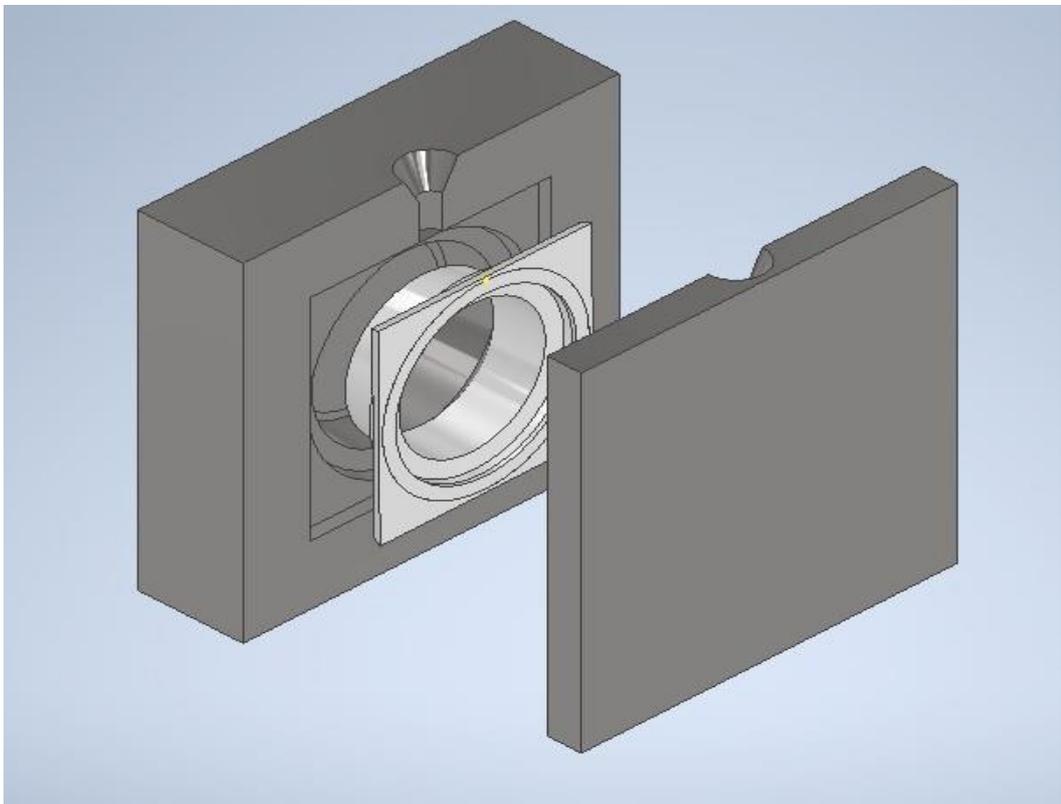
Molde 1 pieza cónica



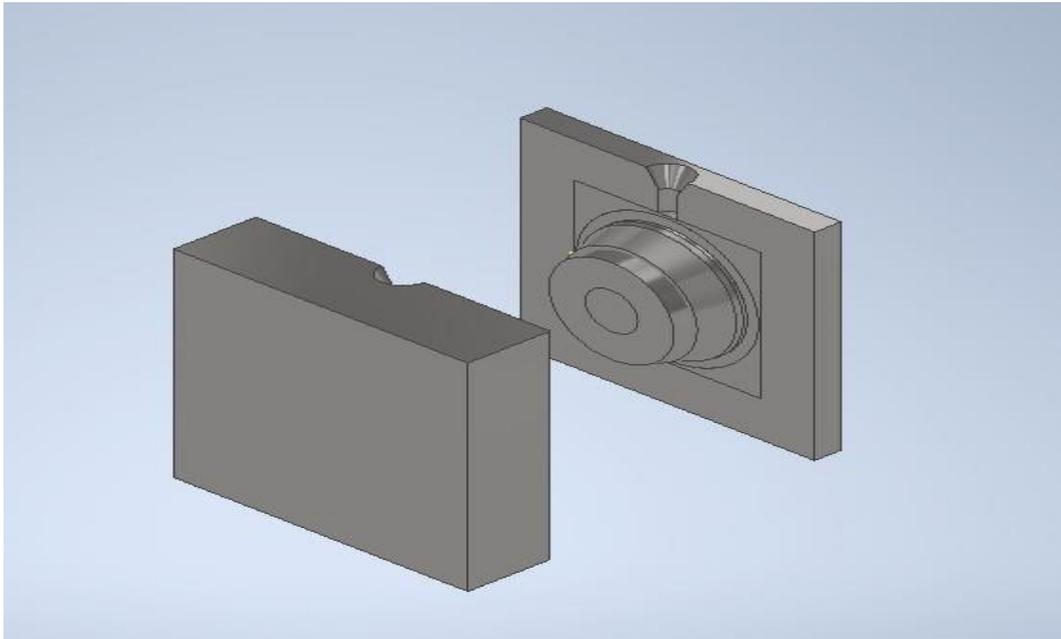
Molde 2 pieza cónica



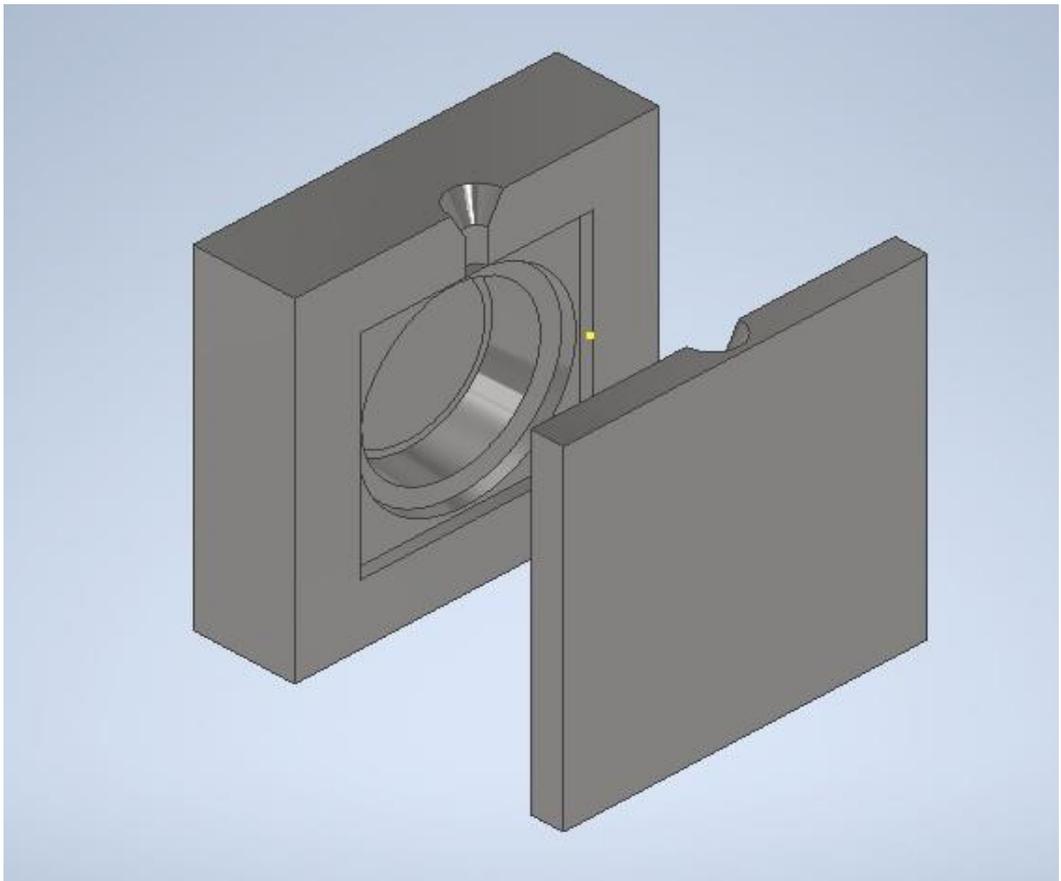
Molde y base pieza cónica



Frente 1 molde pieza cónica

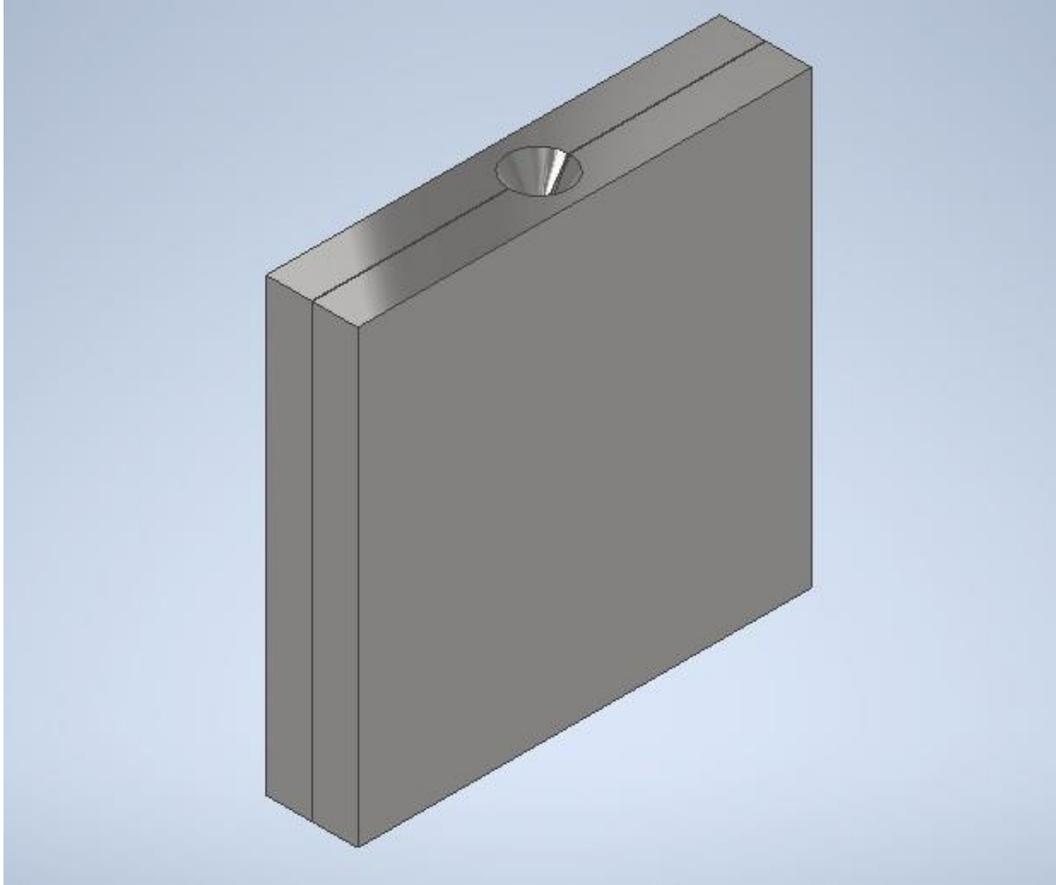


Frente 1 molde pieza cónica



Ensamble de las piezas

Ensamble del molde de la tapa de la rejilla



Ensamble del molde pieza cónica

