



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HORNO BASCULANTE A GAS, PARA FUNDICIÓN DE
METALES BLANDOS.

EDISON JAVIER VEGA CARDENAL.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS.
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS.
INGENIERIA MECANICA.
TUNJA.
2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HORNO BASCULANTE A GAS, PARA FUNDICIÓN DE
METALES BLANDOS

EDISON JAVIER VEGA CARDENAL

TRABAJO DE GRADO ACADEMICO
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO MECANICO

Director: Mg.Sc. JUAN RODRIGO SALAMANCA SARMIENTO

INGENIERO METALURGICO

Codirector: Mg.Sc. FABIAN LEONARDO HIGUERA SANCHEZ

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS.
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS.
INGENIERIA MECANICA.

Nota de aceptación.

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Tunja, 20,05,2021.

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo en primer lugar a mis padres, han sido, son y serán un apoyo fundamental en mi vida, gracias por los valores y principios que me han inculcado y por el buen ejemplo que me dan, gracias a eso me he convertido en un gran ser humano.

A mis familiares que en este momento no están en vida, han sido una gran inspiración para salir adelante y para luchar día a día por nuestros sueños.

A mis hermanos, por sus consejos, por su alegría y por permitirme ser un gran ejemplo para ustedes, a veces se cometen errores, pero siempre estamos unidos, gracias por ese amor.

A mis abuelos que siempre creen en mí, por ese apoyo incondicional, son las personas más maravillosas del mundo.

A mi novia porque siempre está conmigo en los momentos difíciles, le agradezco por sus palabras de motivación, por el apoyo que me brinda, por aguantar mis días de estrés y por el amor que día a día estamos construyendo.

A los ingenieros de la facultad, porque son un gran ejemplo y nunca desistieron por más difícil que se pusiera el trabajo, que siempre fueron una guía en lo académico, y son un gran ejemplo a seguir en la vida, muchas gracias, los respeto mucho.

Y a todos mis amigos, compañeros y conocidos que me apoyaron durante el transcurso del proyecto, a todos ustedes está dedicado este proyecto de grado. Muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por permitirme realizar mi carrera universitaria y por tener esta experiencia tan importante en la vida, por la salud y la protección de mi familia.

Agradezco a ingenieros que me ayudaron con el desarrollo del proyecto, ingeniero Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento y al ingeniero Fabián Leonardo Higuera Sánchez, que con su ayuda y su amplia experiencia aportaron significativamente en el proyecto, gracias por compartir un poco de su conocimiento, fue una experiencia valiosa y que en mi carrera va a ser de gran ayuda, Muchas Gracias.

Finalmente agradezco a mi familia por brindarme su apoyo, son un pilar fundamental en mi vida, a mi novia le agradezco por la ayuda incondicional, las palabras, el amor y la paciencia.

Agradezco a mis amigos y compañeros que hicieron parte de todo el proceso en la carrera de ingeniería mecánica.

CONTENIDO

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HORNO BASCULANTE A GAS, PARA FUNDICIÓN DE METALES BLANDOS	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICACIÓN	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.4 ALCANCE.....	16
2. MARCO TEORICO	17
2.1 MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.2 MARCO CONCEPTUAL	17
2.3 MARCO HISTORICO.....	20
2.4 MARCO LEGAL	22
3. INGENIERIA DEL PROYECTO	23
3.1. IDENTIFICACIÓN DE ANTECEDENTES.....	23
3.2. DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA HORNOS DE FUNDICIÓN BASCULANTE.	26
3.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.	36
4. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO DE FUNDICIÓN.....	39
4.1 CAMARA DE FUNDICIÓN	39
4.2 SISTEMA DE BASCULACIÓN.....	46
4.3 ESTRUCTURA	54
4.4 SISTEMA DE CALENTAMIENTO	57
4.5 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	58
5 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y ASPECTOS DE OPERACIÓN	66
5.1 PRE OPERACIONAL DEL HORNO DE FUNDICIÓN BASCULANTE.....	66
5.2. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL HORNO BASCULANTE.	66
5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	67
5.4 ASPECTOS DE OPERACIÓN	69
6 CONCLUSIONES	71
6.1 RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros de diseño.....	26
Tabla 2 Cuadro comparativo de alternativas.....	36
Tabla 3 Ventajas y desventajas de las alternativas de diseño.....	37
Tabla 4 Calificación de alternativas.....	38
Tabla 5 Datos de los componentes del horno.....	43
Tabla 6 Resumen de pesos de materiales de la cámara de fundición.....	46
Tabla 7 Ubicación de la fuerza.....	49
Tabla 8 Ubicación de los apoyos.....	49
Tabla 9 Resultados.....	49
Tabla 10 Medidas del reductor.....	53
Tabla 11 Fuerzas y condiciones de la estructura.....	56
Tabla 12 Resumen de resultado.....	56
Tabla 13 Prueba de funcionamiento número uno.....	67
Tabla 14 Prueba de funcionamiento número dos.....	68
Tabla 15 Prueba de funcionamiento número tres.....	69
Tabla 16 Aspectos de operación.....	70

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1 Tipos de engranajes más Comunes.....	18
Figura 2 Tipos de chumaceras.....	19
Figura 3 Eje de Transmisión.	19
Figura 4 Tipos de Estructuras.	20
Figura 5 Horno de fundición basculante – Alternativa Uno.....	28
Figura 6 Pared aislante – Alternativa Uno.....	28
Figura 7 Vistas de cámara de fundición – Alternativa uno.....	29
Figura 8 Sistema basculante – Alternativa uno.	29
Figura 9 Soplete con fisto y quemador – Alternativa uno	30
Figura 10 Horno de fundición basculante – Alternativa dos.	31
Figura 11 Pared aislante – Alternativa dos.....	31
Figura 12 Vista de cámara de fundición – Alternativa dos.....	32
Figura 13 Sistema basculante – Alternativa dos.	32
Figura 14 Soplete con venturi – Alternativa uno.....	33
Figura 15 Horno de fundición basculante – Alternativa tres.	33
Figura 16 Pared aislante – Alternativa tres.	34
Figura 17 Cámara de fundición – Alternativa tres.	34
Figura 18 Sistema basculante – Alternativa tres.	35
Figura 19 Soplete con doble venturi – Alternativa tres.	35
Figura 20 Diseño interno de cámara de fundición.	39
Figura 21 Dimensionamiento de la cámara de combustion.....	39
Figura 22 Radios y perfil de temperatura	40
Figura 23 Esquema de resistencias.....	41
Figura 24 Conducción de calor a través de una pared.	41
Figura 25 Fuerzas que actúan en la cámara de fundición.	47
Figura 26 Diseño y análisis del eje.....	48
Figura 27 Diagrama de fuerzas de corte.	50
Figura 28 Fuerza de corte.....	50
Figura 29 Flexión.	51

Figura 30 Diámetro ideal.....	51
Figura 31 Instalación del sistema basculante.....	52
Figura 32 Reductor de velocidad.	52
Figura 33 Dimensiones del redactor.	53
Figura 34 Propiedades del acero comercial.	54
Figura 35 Estructura y diseño de la malla en Ansys.....	55
Figura 36 Condiciones de la estructura.....	55
Figura 37 Deformación total.....	56
Figura 38 Soplete con doble venturi – Alternativa tres.	57
Figura 39 Cilindro de gas reciclado.....	58
Figura 40 Corte del cilindro.....	59
Figura 41 Base de la cámara de fundición.....	59
Figura 42 Construcción de las paredes Internas.....	60
Figura 43 Nivel de las paredes Internas.....	60
Figura 44 Construcción de la tapa del horno.....	61
Figura 45 Construcción de la tapa del horno.....	61
Figura 46 Construction del soplete.....	62
Figura 47 Construcción de estructura.	62
Figura 48 Montaje de la cámara de fundición.	63
Figura 49 Ensamble del reductor como sistema de basculación.....	63
Figura 50 Ensamble del reductor como sistema de basculación.....	64
Figura 51 Instalación de la tapa.	64
Figura 52 Ajuste de crisol y pintura.....	65
Figura 53 Pintura y finalización del trabajo.....	65

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
ANEXO A Catálogo Morgan mms - dimensiones del Crisol.	75
ANEXO B Rodamiento con soporte.	76
ANEXO C Tubería estructural.	77
ANEXO D Estructura.	78
ANEXO E Medidas de la cámara de fundición.	79
ANEXO F Tapa de la cámara de fundición	80
ANEXO G Tapa de protección uno.	81
ANEXO H Tapa de protección dos.	82
ANEXO I Rodachines.	83
ANEXO J Diseño final del soplete.	84
ANEXO K Diseño final del horno de fundición.	85

RESUMEN.

Al diseñar y construir el horno basculante a gas, para fundición de metales blandos, se realiza una vigilancia bibliográfica como método de investigación de los trabajos y antecedentes que se han desarrollado en el tema, con el objetivo de ampliar el conocimiento, generar nuevas ideas y establecer parámetros que fueron útiles para el diseño de las alternativas que se proponen, con el fin de elegir el equipo con mejores características y mayores ventajas.

Luego de la elección de la mejor alternativa, se dimensionan los elementos que hacen parte del equipo según el diseño que se eligió, mediante el software Inventor se establecen las medidas y se diseña teniendo en cuenta el reductor del sistema de basculación. Después de establecer las medidas se eligen los materiales más adecuados para el horno de fundición, se realiza el análisis estructural con el método de elementos finitos en el software Ansys, para ver el comportamiento de la estructura según el peso que se establece.

Se da paso a la construcción del dispositivo teniendo en cuenta los parámetro, cálculos y materiales establecidos anteriormente, y en seguida se evalúa el funcionamiento del equipo y se determinan los aspectos de operación, es importante mirar el pre operacional y el manual de funcionamiento para realizar un proceso de fundición optimo y sin riesgo de algún accidente, se recomienda principalmente utilizar los elementos de protección personal.

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo se desarrolla como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico, mediante la opción de trabajo de grado, buscando aportar soluciones o alternativas de desarrollo en la región.

Debido a la falta de hornos de fundición en la región, el aprovechamiento de los empaques metálicos de un solo uso, es insuficiente, permitiendo que sea conducido hacia otras ciudades, disminuyendo las oportunidades de aprovechamiento y de generación de empleo en la región.

De acuerdo a lo anterior, se propone la construcción de un horno para fundición de metales con temperaturas menores a mil grados, con el objetivo de hacer integral el aprovechamiento de los residuos metálicos, para entregar productos intermedios o finales en la industria metalmecánica, además se presenta como un desarrollo en la infraestructura de los laboratorios de la Universidad Santo Tomas.

El trabajo a realizar en este proyecto cuenta con una serie de actividades como son, la búsqueda de antecedentes y material bibliográfico, el diseño y construcción del equipo, el análisis estructural por elementos finitos y por ultimo las pruebas de funcionamiento.

Antes de iniciar el desarrollo del proyecto se contemplan temas como, la legislación por contaminación, el de seguridad en el laboratorio por temperaturas elevadas, por último, la obtención de las materias primas, debido a que no existe una estructura diseñada para el acopio y almacenamiento de las mismas.

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HORNO BASCULANTE A GAS, PARA FUNDICIÓN DE METALES BLANDOS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo conocimiento sobre los metales no ferrosos, el aluminio se gana un puesto en ser uno de los materiales más utilizados y comunes por el ser humano, debido a sus excelentes características físicas y químicas que adquiere mediante ciertos procesos, se fabrican piezas metálicas de un solo uso, generando contaminación y explotación de los recursos naturales, en regiones donde el reciclaje no cuenta con equipos para hacer un correcto proceso.

Usualmente, los materiales metálicos reciclados deben ser transportados a otro sector para hacer un correcto proceso de reaprovechamiento, disminuyendo una posibilidad de creación de empresa en la región y la opción de generar empleo en el campo de fundición de metales.

Con base en la falta de equipos como hornos, encargados de fundir los metales blandos, la comunidad trabajadora de la región busca trabajo en otros campos como la agricultura y la ganadería dejando a un lado las generosas oportunidades que se pueden dar, gracias a la ubicación estratégica, el desarrollo civil e industrial que durante los últimos años ha sido exponencial en el sector.

Ante la ausencia de equipos de fundición las oportunidades de trabajo y desarrollo industrial de la región disminuyen considerablemente, dejando como consecuencia el desempleo que van de la mano con una mala calidad de vida para las personas, generando un problema social en todas las comunidades del mundo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La producción de empaques metálicos y residuos de mecanizado en la ciudad de Tunja, no cuenta con el aprovechamiento total, ni con los equipos necesarios para transformarlos en nuevos productos. Por lo anterior se hace necesario el desarrollo de procesos y equipos para la conversión de este tipo de materiales; una alternativa a esta idea es la construcción de un horno a gas para fundición de metales blandos, que servirá como base para el desarrollo de nuevos procesos productivos en la región, cuidando el medio ambiente en comparación con el uso de combustibles líquidos o sólidos.

Con la implementación de procesos de producción de metales reciclados en la región, los trabajadores de este campo podrán generar mayores utilidades, haciendo crecer las oportunidades de negocio, ampliando las ofertas laborales, al igual que diversificando el mercado productivo en la ciudad.

Gracias a la generación de empleo en la industria, la población trabajadora tendrá una mejora en la economía familiar, produciendo una mayor liquidez de dinero que impulsa el intercambio económico en su entorno. Lo anterior da como resultado un ascenso en el nivel de vida de la población.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

- Diseñar y fabricar un horno basculante a gas, con capacidad de hasta cinco kilogramos, para fundir metales blandos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar antecedentes y definir alternativas para hornos de fundición basculantes de metales blandos.
- Establecer el diseño mediante software y evaluar mediante software de elementos Finitos.
- Determinar los materiales y definir la construcción del dispositivo.
- Evaluar el funcionamiento del equipo y determinar los aspectos de operación.

1.4 ALCANCE

El presente proyecto entregará el diseño y construcción de un horno basculante de fundición a gas, con capacidad hasta cinco kilogramos, aplicando todos los conocimientos en el área de mecánica, análisis estructurales, transferencia de calor y materiales.

El proyecto se desarrollará en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, aprovechando los equipos y las herramientas existentes. El tiempo estimado para la construcción del proyecto es de dos meses, el equipo a entregar no incluye herramientas y utensilios de mano, ni incluye el crisol, con una inversión aproximada de tres millones de pesos y se dispone de un mes para la realización del informe.

Al poder incursionar en el campo de la fundición de metales no ferrosos, se busca fortalecer el interés de las personas de la región para poder generar nuevas ideas de negocio y creación de micro empresas, disminuyendo el desempleo y mejorando la calidad de vida, así como reducir la contaminación y explotación de recursos naturales.

2. MARCO TEORICO

Para el desarrollo del proyecto “Diseño y construcción de un horno basculante a gas, para metales blandos” se contempla el estudio o marco de referencia, histórico, conceptual y legal.

2.1 MARCO DE REFERENCIA

El presente proyecto es un desarrollo dentro del campo de la ingeniería e implementa prácticas y pruebas de diseño, construcción y funcionamiento, que corresponden a la Ingeniería Mecánica.

En el desarrollo y construcción de un horno de fundición a gas, es importante saber y tener presente cada uno de los procesos constructivos y definiciones, que requieren conocimientos previos sobre la fundición de metales blandos, como las aleaciones de aluminio y de cobre, además de las características físicas y químicas del material, el tipo de mercado al que se rige, su historia y avances tecnológicos que ha sufrido, así como, las leyes, normas y decretos a los que se debe acoplar para poder ser comercializado e implementado en la vida social de los seres humanos. En el siguiente capítulo se encuentra todo lo relacionado con lo escrito anteriormente, con el fin de generar conocimientos previos, respecto al desarrollo del proyecto mediante conceptos:

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Hornos de fundición. Es un equipo que trabaja a muy altas temperaturas para obtener metales a partir de minerales, también se encarga del procesamiento de metales considerados desechos, conocidos como chatarra. En la actualidad el diseño del horno tiene que ver con el material que se desea fundir, con la capacidad y el tamaño, varían desde pequeños hornos de crisol hasta hornos de tipo industrial con capacidad alta de almacenamiento. (BONE, Jorge y CRESPO, David, 2015)

Fundición. Es un proceso de manufactura de metales en el que se calienta el metal hasta una temperatura de fusión donde después de un tiempo cambia de estado sólido a líquido, para luego verterla en moldes y poder darle una geometría determinada. La fundición se divide en dos tipos: El proceso de fundición tiene una serie de etapas que son: elección del material para fundir, calentar el material metálico, llevar el material hasta su punto de fusión, la fase de recalentamiento, por último, está la etapa de verter el material.

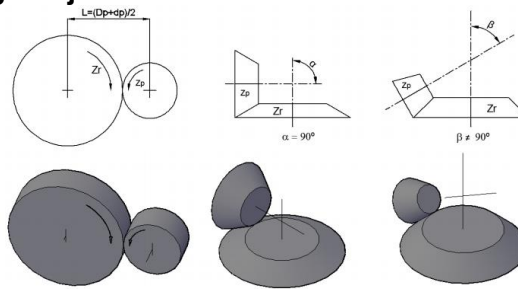
Temperatura de fusión. Es la temperatura que alcanza un material produciendo una transición de estado sólido a líquido a una presión atmosférica, cada material cuenta con una temperatura de fusión, por ejemplo, hay materiales que funden a 30 grados Celsius y hay otros materiales que funden por encima de los mil grados Celsius, esta temperatura tiene que ver mucho con la composición química del material.

Escoria. Se considera un subproducto de la fundición de los metales, su posición puede oscilar entre óxidos metálicos, sulfuros, suciedad y entre otras toxinas que puede tener el metal, el porcentaje de escoria aumenta cuando se decide trabajar con materiales reciclados. También se puede ver como un método para eliminar impurezas en el material que se trabaje, por ejemplo, para el aluminio se debe descontar entre un 12 o un 15 por ciento aproximadamente que sale de escoria.

Crisol. Es la pieza donde se depositan metales no ferrosos que se desean fundir o elementos a calentar, como el aluminio, el cobre, el estaño entre otros. El material del que está hecho es de Grafito o de carburo de silicio, depende del horno donde se vaya a utilizar y debe ser químicamente estable. Se cuenta con una gran variedad de diseños, tamaños y formas según la capacidad requerida y las dimensiones internas de la cámara de fundición del horno.

Engranajes. Es un conjunto mecánico de dos o más ruedas dentadas que encajan entre sí, son utilizados para transmitir grandes magnitudes de potencia y movimiento de un componente a otro por medio de ejes alineados con el fin de modificar la velocidad de giro, su requisito principal es el de ser diseñados con los mismos parámetros y dimensiones en el diente y teniendo en cuenta la relación, la rueda dentada con menor diámetro se le da el nombre de piñón o motriz y el que tiene un diámetro mayor, se le llama rueda o corona. (Ver figura 2). (OCW Universidad de Cantabria , 2021)

Figura 1. Tipos de engranajes más Comunes.



Fuente: Transmisión de movimiento.

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/228/course/section/139/tema_5%201.pdf.

Sistema de basculación. Es un sistema móvil que permite girar la cámara de fundición una cantidad de grados, para poder vaciar el material fundido directamente al molde. Estos sistemas basculantes se utilizan generalmente en cadenas de alta producción debido a las ventajas que ofrecen, ayudan también en la parte de la salud y seguridad de los trabajadores, su desventaja es la capacidad de almacenamiento.

Chumacera. Una chumacera es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol. Las chumaceras se encuentran en varios sistemas de transporte y son a menudo auto-lubricantes. La fabricación industrial, la fabricación de comida y de bebidas y las industrias manufactureras textiles a menudo utilizan chumaceras en sus sistemas de transporte. (Ver figura 4)

Figura 2. Tipos de chumaceras.



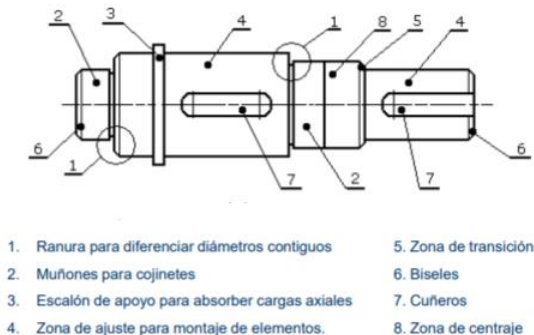
Fuente: RODACENTER SAS, 2020 Pereira-Colombia.

<https://www.quinterohurtado.com/post/qu%C3%A9-es-una-chumacera>.

Hay dos tipos básicos de rodamientos de chumacera de acuerdo a su uso. Las chumaceras hidrodinámicas se utilizan a bajas velocidades y, eventualmente, eliminan el contacto de metal a metal ya que la velocidad del dispositivo en el que el rodamiento está montado alcanza su límite. Las chumaceras hidrostáticas mientras tanto no tienen ningún contacto de metal a metal, son capaces de soportar cargas pesadas y a velocidades diferentes y tienen un bajo coeficiente de fricción. (Quintero Hurtado LTDA , 2021)

Ejes. Los ejes son elementos de máquinas montados en partes giratorias, generalmente de geometría circular, se utilizan ejes fijos y ejes giratorios encargados de transmitir movimiento, éstas piezas son expuestas a momentos torsores, esfuerzos cortantes y esfuerzos tangenciales. Los materiales que se utilizan para la construcción de algunos ejes deben tener características como: alta resistencia y rigidez, alta resistencia al desgaste, donde su contenido de carbono es indispensable en la mayoría de los casos si se habla de acero. (Ver figura 5) (LOPEZ, José , 2013)

Figura 3. Eje de Transmisión.



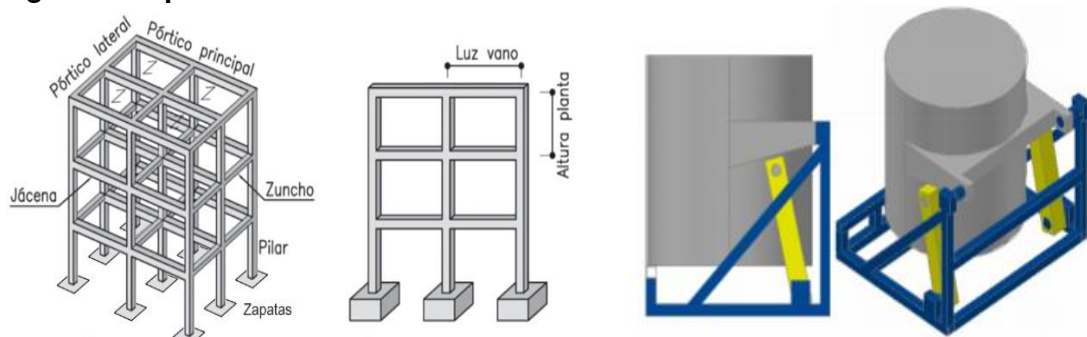
Fuente: Ing. José Carlos López Arenas.

<http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/7.pdf>

Estructura. Una estructura es un conjunto de elementos unidos entre si capaces de soportar fuerzas que actúan sobre ella, también conocidas como geometrías triangulares con el objeto de conservar su forma. Las fuerzas que actúan sobre una estructura se denominan cargas y pueden ser de dos tipos, fijas como el peso propio de un puente, o pueden ser de tipo variable como las fuerzas del viento que no siempre actúan sobre los objetos. (Ver figura 6)

Hay muchos tipos de estructuras, unas están hechas por la naturaleza como cuevas barracos y el esqueleto de los seres humanos, y hay otras de tipo artificial que son creadas por el hombre como carreteras, puentes, estructuras para equipos, aviones carros, entre otros. (Glez, Antonio , 2019)

Figura 4. Tipos de Estructuras.



Fuente: <https://arquitectural.net/blog/tipos-de-estructuras/>
<https://ichmussnochweitereissen.files.wordpress.com/2011/02/ponencia-disec3b1o-de-un-horno-de-fundicion-de-aluminio.pdf>

Soplete. Un soplete es una pieza de combustión, que genera calor gracias a la mezcla de gases como oxígeno o aire, y combustibles gaseosos como gas natural, gas propano, hidrogeno.

2.3 MARCO HISTORICO

Cerca del año cuatro mil antes de cristo, una persona que habitó lo que en la actualidad se conoce como irán, se encuentra un pedazo de roca brillante de color rojo, que se dejaba moldear con facilidad por medio de golpes, era un trozo de cobre que estaba en la superficie del planeta tierra, no tenía ningún valor por el desconocimiento de los materiales metálicos, ya que para esa fecha estaban en plena edad neolítica y tuvieron que pasar muchos años para que el hombre descubriera el manejo de metales, su extracción, propiedades, equipos de fundición, aleaciones y ese cambio de herramientas de piedra a herramientas de material metálico.

En ese tiempo las piedras brillantes con diversidad de colores encontradas en la superficie y en las excavaciones o cavernas fueron utilizadas para adornar viviendas. Al prender fuego buscaron extender el tiempo en el que se quema la madera, utilizando una capa de esos

minerales coloridos debajo de la fogata, estos minerales y piedras se fundían, dejando entre las cenizas un material sólido relativamente plástico, que se dejaba formar por medio de golpes, hoy conocido como proceso de forja, y con una resistencia mayor que la de una piedra. De esa manera el hombre descubrió que era necesario el fuego para poder crear materiales más resistentes y que se dejaban moldear para hacer cualquier tipo de instrumento y herramienta.

Deduciendo e innovando, las personas comprendieron que para el desarrollo de materiales metálicos era necesario utilizar fuego y altas temperaturas sobre una cavidad o recipiente donde reposaría el material fundido, luego de eso fue necesario la concentración de calor en un punto, utilizando barro y rocas crearon paredes aislantes para llegar a las temperaturas deseadas. De ahí nació el primer horno de fundición metalúrgico, donde su único combustible fue la madera que con mucha dificultad llegaba a las temperaturas necesarias.

Para activar el fuego era necesario soplar las llamas que se generaron en el momento, ese principio fue utilizado en varios equipos con el fin de alcanzar altas temperaturas y debido a eso se crearon muchos dispositivos para realizar una ventilación forzada.

Durante varios años la metalurgia manejo hornos simples y los mismos principios de funcionamiento para la obtención de materiales metálicos. Solo después de varios años cuando nace la edad de cobre debido a la necesidad de desarrollar elementos para la supervivencia y para la guerra, con el fin de hacer más fácil la vida del ser humano, pues el horno primitivo de rocas y barro se transformó en un horno de crisol, con un diseño más eficiente y con capacidad más alta de producción.

Luego de los avances de la época en equipos de fundición, los materiales metálicos obtenidos no eran muy resistentes y con facilidad se doblaban, debido a eso se vio la necesidad de investigar la fusión de metales con el fin de hacerlos más resistentes y lograr un mejor desempeño de las herramientas, utensilios y armas. Conocido en la actualidad como aleaciones.

Para darle forma a los elementos metálicos se utilizaron moldes de piedra y de arena, estas técnicas las utilizaron comunidades de Egipto y luego se expandieron en gran parte del mediterráneo, donde se pueden evidenciar grandes obras hechas en cobre y bronce. Después, los griegos, los etruscos y finalmente los romanos perfeccionarían el proceso, reemplazando por yeso la cera de los moldes en que se daba forma a los objetos. Un gran progreso fue el complejo procedimiento de fundición "a la cera perdida", inventado en Samos, en el siglo VII a. de C., al que se deben las grandes obras maestras de la escultura antigua y, más tarde, del Renacimiento. (TRONCOSO Juan, 2008)

Las necesidades creadas por los graves conflictos armados, han excitado a la humanidad a desarrollar nuevos materiales, equipos y procesos de fabricación. La aparición de nuevas aleaciones de cobre y aluminio y el desarrollo del conocimiento de los elementos químicos, Hornos de fundición y nuevos procedimientos para fabricar modelos, moldes y mejores técnicas de fusión fueron determinantes para lograr el grado de industrialización que se logró en el presente siglo.

Se presenta una definición de los conceptos relevantes que tiene que ver con el horno de fundición basculante, son de gran ayuda para generar un conocimiento más amplio en la materia y generar un mejor entendimiento e impacto en el lector.

2.4 MARCO LEGAL

- “Artículo 6°. Responsabilidad del generador. El generador será responsable de los residuos que él genere. La responsabilidad se extiende a sus afluentes, emisiones, productos y subproductos por todos los efectos ocasionados a la salud y el medio ambiente.” (GRANDAS Sandra; PÉREZ Lina,, 2010)
- RESOLUCIÓN NÚMERO 1362 DE 2007 (agosto 2)19 por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005. (FERNANDEZ javier, 2008)
- El Plan de Gestión Integral de residuos peligrosos, además de ser una obligación legal, constituye una herramienta de planificación aplicable a todo aquel que genere este tipo de residuos, permitiéndole dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 10º del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005. (GRANDAS Sandra; PÉREZ Lina,, 2010)
- Para la elaboración de Planes de Contingencia, el generador debe seguir los lineamientos del Decreto 321 de 1999, por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas Marinas, Fluviales y Lacustres. (GRANDAS Sandra; PÉREZ Lina,, 2010)

La Superintendencia de Industria y Comercio siguiendo los lineamientos del Ministerio de Desarrollo Económico expidió la Resolución No. 03742 del 2 de febrero de 2001, incluida en la Circular Única No. 10 de 2001, en la que se fijaron las condiciones y criterios que deben cumplirse para la expedición de reglamentos técnicos. Entre esta figura el estudio de riesgos, así como los estudios de costos de implementación, aplicación y certificación de las actividades que se reglamente. (GRANDAS Sandra; PÉREZ Lina,, 2010).

3. INGENIERIA DEL PROYECTO

La ingeniería del proyecto inicia con una investigación, a su vez ubica los diferentes tipos y clases de hornos basculantes para fundición de metales, que han sido desarrollados en los últimos años con base en las necesidades, características, dimensiones y algunos caprichos del diseñador. Se plantea una selección de alternativas, que busca mediante una serie de análisis cualitativos, elegir el equipo que mejor se acomode a los requerimientos de la comunidad directamente afectada, y que sirva como desarrollo en la infraestructura de los laboratorios de la universidad Santo Tomas.

Con la elección del equipo, el siguiente paso es el cálculo de sus partes diseñadas en la selección de alternativas, bajo especificaciones y parámetros de ingeniería como, transferencia de calor, análisis estructural por elementos finitos, diseño mecánico, materiales, costos y pruebas de funcionamiento. Los ensayos muestran el rendimiento óptimo del equipo, basado en variables como el tiempo, la temperatura y la capacidad. Como primer paso se presenta la identificación de antecedentes de la siguiente manera:

3.1. IDENTIFICACIÓN DE ANTECEDENTES

Se realiza una búsqueda e identificación de los trabajos que se han realizado en los años anteriores, con el fin de conocer sobre el tema y la metodología de desarrollo para el diseño y construcción de hornos para fundición de metales, los siguientes antecedentes encontrados son:

3.1.1. Diseño e implementación de un horno basculante para fundir aluminio. En la empresa “FUNDICIONES SANGUCHO” el tiempo estimado para la fundición de metales no era óptimo, debido a eso generaron retrasos en los procesos de producción, dando paso a la reducción de presupuesto y pérdidas que día a día incrementaron, con base en ese problema y según análisis de variables, se diseñó y se construye un horno basculante para reducir el tiempo en el proceso de fundición de metales como el aluminio.

De acuerdo a los estudios, se determinaron los flujos térmicos y las pérdidas de calor que afectan la cantidad de energía y el consumo necesario para realizar la fundición, con el fin de mejorar la productividad en la empresa; el nuevo diseño del horno es alimentado por combustible diésel y cuenta con una capacidad para fundir 250 Kg de materia prima. Con la implementación del horno basculante se mejoró el tiempo de calentamiento de este, se eliminó el caldeo por cucharones y se adicionó el sistema manual de vertido directo, el cual agiliza mucho más el proceso de desmontaje de las piezas terminadas, obteniendo el doble de producción en el mismo tiempo de trabajo (CORONEL, Mario ; SANGUCHO Simba, , 2019)

3.1.2. Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural. Su objetivo principal es llevar a cabo el diseño y la construcción de un horno de

crisol para la fundición de metales blandos no ferrosos, el combustible que utiliza es el gas natural impulsado por un flujo de aire. El diseño del equipo se llevó a cabo utilizando los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica, específicamente en temas como transferencia de calor materiales y diseño. (TRUJILLO, Sebastián, 2005)

3.1.3. Implementar un horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición de la universidad francisco de paula Santander. En la universidad francisco de paula Santander, se tiene la necesidad de implementar un horno de fundición basculante para crear el laboratorio de fundición de metales, en la materia de procesos de manufactura 1.

Con base en los conocimientos de ingeniería, se identifican los diferentes tipos de hornos para fundir metales, se diseña y se calcula los elementos que hacen parte del equipo y por último se lleva a cabo la construcción del mismo, cuenta con una capacidad de 19 kilogramos de material fundido y el combustible que utiliza para adición de calor es el ACPM (diésel). (VARGAS Fornaris & MORA Juan, 2014)

3.1.4. Diseño y construcción de un horno basculante manual para la fundición de materiales no ferrosos de capacidad de hasta 150 Kg. Para el laboratorio de ciencias de materiales de la escuela politécnica de ejército. Se realiza una investigación utilizando métodos inductivos y deductivos con el fin de conocer los procesos y materiales que se necesitan para el diseño, la construcción y desarrollo de un horno de fundición basculante, proporcionando un eficaz y óptimo rendimiento.

Utilizando métodos de ingeniería, se establecen medidas y materiales adecuados para la construcción del horno, buscando que la parte práctica de las materias de ingeniería no pierdan su sentido, por otra parte, el sistema de adición de calor se da por medio del hidrocarburo liquido denominado diésel, el cual funciona perfectamente y cumple con el objetivo. Se concluye que el equipo funciona perfectamente y puede ser utilizado y explotado al máximo por los estudiantes de la universidad de las fuerzas armadas, teniendo en cuenta las medidas de seguridad establecidas. (BONE, Jorge y CRESPO, David, 2015)

3.1.5. Diseño de un horno de fundición para la empresa SER – TEC. En el presente proyecto se realiza el diseño de un Horno de Fundición con una capacidad de 50 Kg de Cobre, este horno es del tipo Basculante adecuándose al volumen y movilidad que necesita la empresa SER-TEC. El trabajo busca que la parte teórica no pierda importancia y sentido, haciendo un desarrollo experimental, se ayudan de conocimientos de ingeniería como transferencia de calor, materiales (ladrillo refractario, concreto aislante, manta cerámica, acero inoxidable, entre otros), diseño y procesos de combustión, buscando un equipo con pérdidas de energía en formas de calor, que sean bajas, y un óptimo rendimiento para fundir materiales no ferrosos.

Se utiliza gas natural como combustible para la adición de calor, buscando economía y un óptimo rendimiento, ya que el horno dura aproximadamente 35 minutos para llegar a los 900° C. Se concluye que es viable el diseño de un horno de combustión industrial para fundir aluminio y Cobre reciclado, utilizando los materiales adecuados y con las medidas y condiciones establecidas en los cálculos. (ALIAGA luis, 2018)

3.1.6. Diseño y construcción de un horno de combustión industrial para fundir aluminio. Esta investigación se realizó con la utilización del método inductivo el cual permitió exhibir la manera en que se desarrollaron los hechos particulares, en este caso las variables están conectadas a un todo, que son las leyes que rigen los procesos físico - químicos que están presentes en esta investigación. Fue necesaria la utilización del método deductivo para determinar las leyes que intervienen en el desarrollo de la investigación y poder llegar finalmente a obtener un equipo que por su estructura y diseño permite realizar un proceso de fundición de aluminio.

Por último, fue necesaria la utilización del método experimental que proporcionó datos en tiempo real, modificar variables y corregir errores. Por lo tanto, la investigación no está basada en un solo método y busca que la parte teórica no pierda su sentido y posteriormente comprobar experimentalmente el proceso de fundición de aluminio, el tiempo de calentamiento, la cantidad de gas consumido, además de manifestar claramente procesos de combustión y transferencia de calor. (MESTANZA, Diego; LARA Viviana,, 2012)

3.1.7 Diseño y construcción de un horno crisol para fundición de aluminio con una capacidad de 15 kg/h a una temperatura de 800°C utilizando GLP. En el desarrollo de esta tesis de grado, se propone la investigación actual del país (Ecuador), con respecto hacia la fundición de aluminio, en su mayoría reciclado, seguido de una consulta del tipo de horno más adecuado para el proceso, teniendo en cuenta temas como: el combustible, las emisiones contaminantes, medidas y tamaños, transferencia de calor y diseño, generando mejoras basadas en trabajos anteriores.

Por último, se plantea el diseño y construcción del equipo y se realiza un levantamiento de planos, cálculos y prácticas de operación, desarrollando el proceso constructivo más acorde para el equipo y con el fin de resolver todos los inconvenientes detectados en la empresa con lo son, los altos costos de producción de material fundido y disminución de capital.) (SUNTAXI, Edison y TORRES, Carlos, , 2014)

3.1.8 Optimización de hornos de fundición en industrias de aluminio. La investigación corresponde a la optimización del área de fundición en una fábrica de productos de aluminio. Para identificar los proyectos de ahorro energético en el área de fundición de la empresa, fue preciso establecer donde y como es utilizada la energía, utilizando la factura de combustóleos durante un año de operación y tomando mediciones con los siguientes equipos:1. Analizador de energía eléctrica marca Chauvin Arnoux.2. Medidor de gases de combustión marca Bacharach.3. Medidor de temperatura por infrarrojo marca Chauvin Arnoux. Como resultado de las mediciones practicadas y del análisis e interpretación conjunto de la información proporcionada por la empresa para el período en estudio, se presentan los perfiles del consumo de energía, así como siete proyectos de ahorro energético. (CALDERÓN, Mario, 2018)

3.1.9 Diseño y construcción de un horno crisol estacionario para reciclaje de chatarra de cobre en Cajamarca. En Perú la capacidad de reciclaje de los componentes electrónicos y eléctricos hechos en cobre es muy baja, generando la necesidad de investigar en procesos que ayuden a un mejor aprovechamiento de los materiales de un solo uso como el cobre, se propone el diseño y construcción de un horno de crisol estacionario con el fin de generar empresa, desarrollar un análisis económico, un balance general y un estado de ganancias, según el material fundido.

El balance general y el estado de ganancias y pérdidas fueron elaborados con el precio de cobre en 562.6 centavos de dólar el Kilogramo o 19.04 soles el kilogramo datos tomados el día 07 de octubre de 2019. (CABRERA, Danial y MORALES, Jose , 2019)

3.2. DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA HORNOS DE FUNDICIÓN BASCULANTE

En la selección de alternativas se diseñan tres equipos, cada uno cuenta con cuatro sistemas principales, son descritos básicamente y los cuales son: el sistema de estructura, la cámara de fundición, el sistema de adición de calor y el sistema de basculación.

Los sistemas que conforman el equipo, se basan en variables y parámetros de ingeniería establecidos, en la tabla 5 se establecen los parámetros que inicialmente se tienen en cuenta para el diseño del equipo:

Tabla 1. Parámetros de diseño.

PARAMETROS DE DISEÑO			
N°	VARIABLE	PARAMETRO	OBSERVACION.
1	Diámetro exterior de la cámara de fundición	Ø: 370 mm.	Se establece este parámetro mirando la opción de reutilizar un cilindro que almacena gas licuado del petróleo (GLP)
2	Capacidad de fundición.	Max: 6 Kg Ideal: 5 Kg Mínima: 2.5 Kg	Es la capacidad de material fundido que se desea almacenar en el crisol del horno.
3	Temperatura de diseño.	700 °C	Para el diseño del horno se toma como material de referencia el aluminio, debido a eso se estable la temperatura requerida.
4	Tiempo de proceso.	90 minutos.	El tiempo requerido para el proceso se compone de tres etapas que son: precalentamiento, aumento de temperatura y sobrecalentamiento.
5	Combustible.	Gas.	Se implementa un soplete como la mejor opción para la adición de calor, es alimentado por gas y aire comprimido.

Fuente. Autor del proyecto.

3.2.1 Medidas del crisol. Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, es necesario realizar un análisis volumétrico del material de referencia para poder establecer las medidas del crisol, según la capacidad de almacenamiento y la densidad del material de referencia.

Densidad del aluminio: 2.7 g/ cm³

$$\rho_{Al}: 2.7 \frac{g}{cm^3} * \frac{1 Kg}{1000 g} * \frac{1 cm^3}{1 * 10^{-6} m^3}$$

$$\rho_{Al}: 2700 \frac{Kg}{m^3}$$

Capacidad: 5Kg

Teniendo los datos establecidos, el siguiente paso es hallar el volumen que necesita el crisol para poder almacenar cinco kilogramos de material fundido, se tiene que:

$$Volumen: \frac{masa}{densidad}$$

$$Volumen: \frac{5 Kg}{2700 Kg/m^3}$$

$$Volumen: 0.001851 m^3 = 1.851 Lts$$

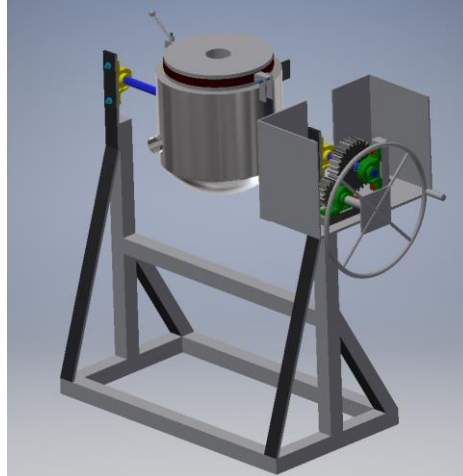
Con el resultado, se busca un crisol que pueda almacenar como mínimo 1.851 litros de material fundido, con ayuda del catálogo de la empresa Morganmms, se obtienen las dimensiones del crisol. Para mejor claridad vea la tabla del ANEXO A. Se elige como referencia un crisol A16, las dimensiones son: altura:230 mm, diámetro superior:185 mm, diámetro inferior: 125mm, volumen de almacenamiento:2,6 litros y capacidad: 6,2 kilogramos.

Con las medidas de referencia del crisol, se inicia el diseño interno y externo de la cámara de fundición, para luego dar paso al diseño de los demás sistemas que hacen parte del horno de fundición basculante, las tres alternativas de diseños se ven a continuación.

3.2.2. Alternativa De Diseño Uno. En la primera alternativa se presenta un prototipo hecho en su mayoría por piezas metálicas, que busca la reducción de peso y ligereza en la estructura, el sistema de basculación permite un fácil manejo en la cámara de fundición cuando se desea verter el material fundido, la adición de calor se hace mediante un soplete, tiene como objetivo la economía, y por último el interior de la cámara de combustión está hecho de materiales aislantes. (Ver figura 15)

Para más detalle los sistemas son divididos y construidos teniendo en cuenta los parámetros establecidos anteriormente:

Figura 5. Horno de fundición basculante – Alternativa Uno.

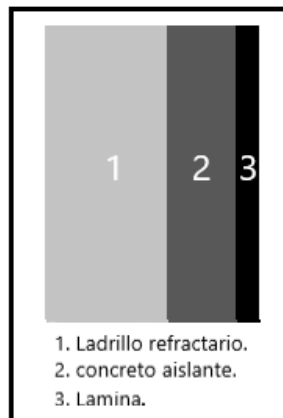


Fuente. Autor del proyecto.

Cámara de fundición. Es el sistema donde se realiza la fundición del material y que trabaja con temperaturas altas, es necesario realizar un recubrimiento con materiales aislantes de baja conductividad térmica, con el objetivo de que las partes exteriores de la cámara de fundición no alcancen temperaturas elevadas. (Ver figura 17)

De acuerdo con las medidas del crisol establecidas en el análisis volumétrico y teniendo en cuenta la distancia por donde va dirigida la llama, al interior de la cámara de fundición se diseña una cavidad de forma cilíndrica, dejando la pared con recubrimiento de materiales aislantes que en esta alternativa son: ladrillo refractario, concreto aislante y lámina metálica.

Figura 6. Pared aislante – Alternativa Uno.



Fuente. Autor del proyecto.

En la parte externa de la cámara, se encuentra un hueco con diámetro de dos pulgadas, es por donde se inserta el soplete que aporta la adición de calor en su interior, permitiendo alcanzar altas temperaturas.

Figura 7. Vistas de cámara de fundición – Alternativa uno.

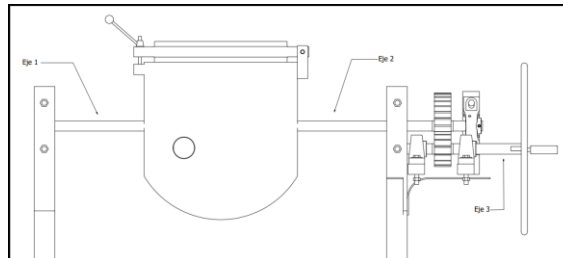


Fuente. Autor del proyecto.

En la parte superior de la cámara de fundición se diseña un conducto, el cual se encarga de la salida del material fundido cuando esta bascula, también se encuentra la tapa de forma cilíndrica y hecha de concreto refractario, para su ajuste se utiliza un sistema de cierre regulable con tornillo, permitiendo un buen ajuste. (Ver figura 18)

Sistema de basculación. El sistema basculante permite girar cuarenta y cinco grados la cámara de fundición, dando paso a la salida del material fundido hacia el molde y evitando extraer el crisol y exponer el personal de trabajo a riesgos. (Ver figura 16)

Figura 8. Sistema basculante – Alternativa uno.



Fuente. Autor del proyecto.

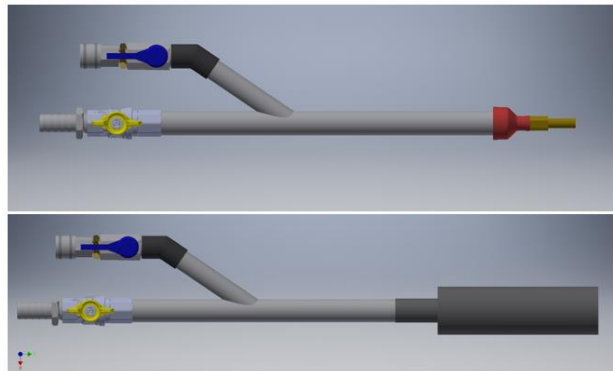
El sistema cuenta con un juego de cinco chumaceras, cumpliendo de esta manera el ajuste de los ejes que van soldados a la cámara de fundición y acoplados a los dos piñones. Para el ajuste de las cinco chumaceras se utilizaron pernos de 3/8 de pulgada por 70 mm de longitud. Los ejes del sistema están diseñados con el diámetro de una pulgada, los engranajes son cilíndricos con dientes rectos, con una relación de velocidades $i=1/2$, el piñón grande tiene 30 dientes y un diámetro exterior de 160 mm, el piñón pequeño tiene 15 dientes y un diámetro exterior de 85 mm, luego está el timón, este se acciona mediante

fuerza humana, es de material metálico y su diámetro es de 400 mm con tubería de media pulgada.

Sistema estructural. La estructura de geometría triangular está hecha de acero estructural, secciones cuadradas y una lámina con un ligero doble en la parte superior, cuenta con once piezas soldadas, su altura es de 1020 mm, en la parte inferior de la estructura se encuentra un rectángulo que ayuda con la estabilidad del equipo, sus medidas son de 900 mm por 500 mm. Para hallar el peso de la estructura, la cantidad de la tubería cuadrada utilizada es de 5200 mm y de lámina son 2400 mm, el peso total de la tubería cuadrada, que es de 9.20 Kg y el peso total de la lámina es de 9.09 Kg; el peso total de la estructura es de 18,09 Kg. (Ver figura 15)

Sistema de calentamiento. El sistema de calentamiento consiste en un soplete alimentado por combustible gaseoso y aire comprimido, el soplete cuenta con un fisto el cual permite incrementar la velocidad del combustible y permite dirigir la llama al interior de la cámara de fundición.

Figura 9. Soplete con fisto y quemador – Alternativa uno

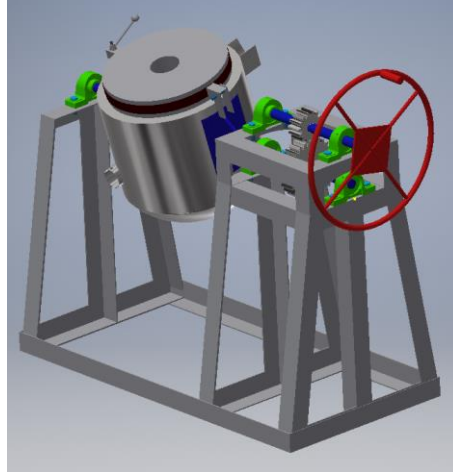


Fuente. Autor del proyecto.

La válvula amarilla permite la salida de gas y la válvula azul permite la salida del aire, estas dos válvulas permiten regular la cantidad de gas y aire necesario para realizar la combustión. Por último, luego de la válvula de gas se encuentra un racor en espiga que permite adaptar la manguera del combustible, para la válvula del aire se utiliza un racor en latón y con eso poder roscar un acople rápido que se utiliza cuando el aire viene de un compresor, el diámetro de la boquilla es de 50 mm con una longitud de 200 mm. (Ver figura 19)

3.2.3. Alternativa De Diseño Dos. En la segunda alternativa de diseño, se desarrolla un equipo más pesado, con más piezas metálicas en su estructura, buscando seguridad y estabilidad del equipo, algunas piezas cambian de posición, su altura disminuye y el interior de la cámara de fundición cambia. (Ver figura 20)

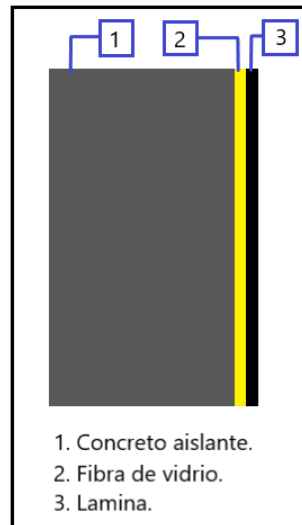
Figura 10. Horno de fundición basculante – Alternativa dos.



Fuente. Autor del proyecto.

Cámara de fundición. La cámara de fundición utiliza materiales con baja conductividad térmica que permiten retener el calor generado, para esta alternativa se propone un recubrimiento en las paredes del cilindro con materiales aislantes como: concreto aislante, fibra de vidrio y en la parte externa esta la lámina metálica. (Ver figura 22)

Figura 11. Pared aislante – Alternativa dos.



Fuente. Autor del proyecto.

En la parte superior se encuentra la tapa, hecha con concreto refractario y a su alrededor cuenta con un cinturón metálico que permite adaptar el sistema de cierre y ajuste regulable por medio de un tornillo. En los costados del cilindro se encuentra el hueco por donde ingresa el soplete y el orificio en la parte superior, por donde sale el material fundido cuando la cámara gira. (Ver figura 23)

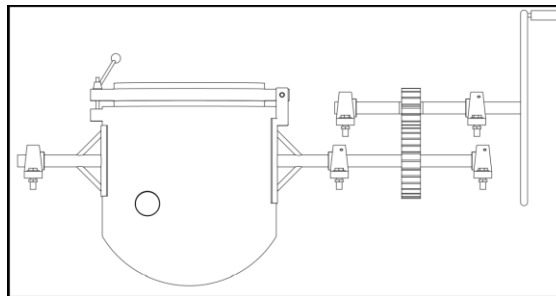
Figura 12. Vista de cámara de fundición – Alternativa dos.



Fuente. Autor del proyecto.

Sistema basculante. Para el sistema de basculación, se utilizan cinco chumaceras aseguradas horizontalmente, los ejes tienen dos refuerzos en la parte superior e inferior cuando tocan la parte exterior de la cámara de fundición.

Figura 13. Sistema basculante – Alternativa dos.



Fuente. Autor del proyecto.

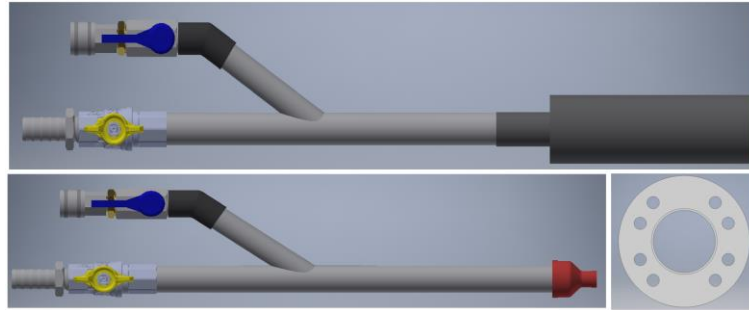
los engranajes están ubicados uno encima del otro, para esta opción se utilizan piñones cilíndricos con dentado recto, con una relación $i = 1/2$ permitiendo realizar un giro del cilindro más controlado. Por último, se encuentra el timón, su material es tubería de media pulgada metálica y según diseño su diámetro es de 300 mm.

Sistema estructural. El diseño de la estructura se plantea en acero, con un perfil de sección transversal en forma de ángulo recto, todas las piezas que la conforman están unidas mediante soldadura, su altura es aproximadamente 730 mm y su peso aproximado es de 30 Kg, se busca una mejor estabilidad, rigidez y una mejor ubicación de los componentes que hacen parte del equipo.

Sistema de calentamiento. En el sistema que se encarga de la adición de calor, la idea del soplete se mantiene, en esta opción se busca una llama más grande y con más poder y flujo, para eso, el fisto que está en la alternativa uno se elimina, pero se deja la reducción para aumentar la velocidad del fluido. (Ver figura 24) Se busca una llama más fuerte, debido a eso la dirección de la llama se distorsiona un poco al interior de la cámara de fundición y

el consumo de aire comprimido se incrementa, por eso se diseña un venturi para el aporte de oxígeno que viene del ambiente.

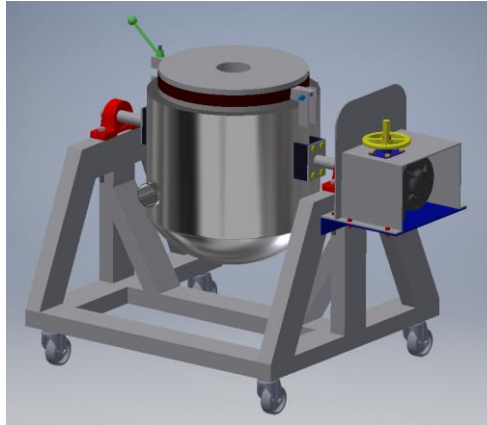
Figura 14. Soplete con venturi – Alternativa uno.



Fuente. Autor del proyecto.

3.2.4 Alternativa De Diseño Tres. Para la tercera alternativa, se busca un equipo más compacto, con facilidad de manejo y transporte del mismo, la distancia de los ejes se reduce notablemente y el sistema que se encarga de la basculación cambia, con el fin reducir la magnitud de la fuerza que se utiliza cuando este se acciona, su altura disminuye y el interior de la cámara de fundición cambia. (Ver figura 25)

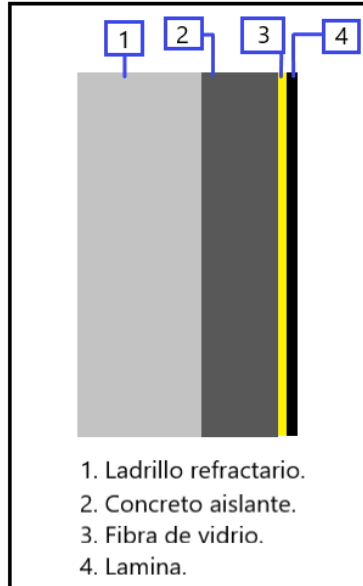
Figura 15. Horno de fundición basculante – Alternativa tres.



Fuente. Autor del proyecto.

Cámara de fundición. En la cámara de fundición se busca aislar su interior con materiales que tienen una conductividad térmica muy baja y que al mismo tiempo puedan almacenar la mayor cantidad de calor posible, en esta alternativa se tiene en cuenta el rendimiento de los materiales y el costo necesario para lograr el aislamiento térmico. Para esta alternativa se propone un recubrimiento con materiales como: ladrillo refractario, concreto aislante, fibra de vidrio y como carcasa esta la lámina del cilindro. (Ver figura 27)

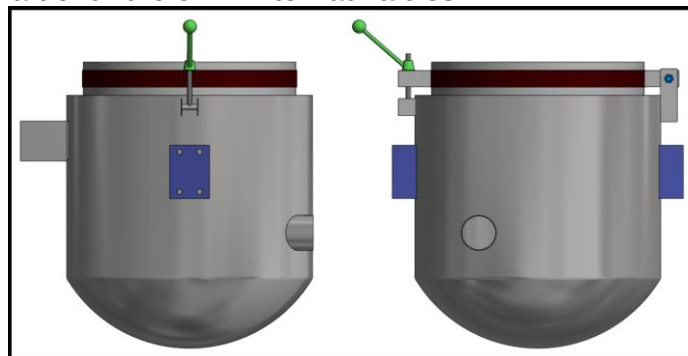
Figura 16. Pared aislante – Alternativa tres.



Fuente. Autor del proyecto.

Al exterior de la cámara de fundición se pueden ver dos refuerzos que están soldados y que al mismo tiempo permiten ser empalmados a los ejes del sistema basculante, se puede ver el hueco por donde entra el soplete del sistema de calentamiento y el hueco por donde sale el material fundido. Para la tapa se utiliza un sistema de cierre regulable por tornillo, está asegurado a un cinturón metálico que tiene al rededor la tapa fundida en concreto aislante, en el centro de la tapa cuenta con un agujero que permite la salida de los gases que se producen por la quema de combustible. (Ver figura 28)

Figura 17. Cámara de fundición – Alternativa tres.

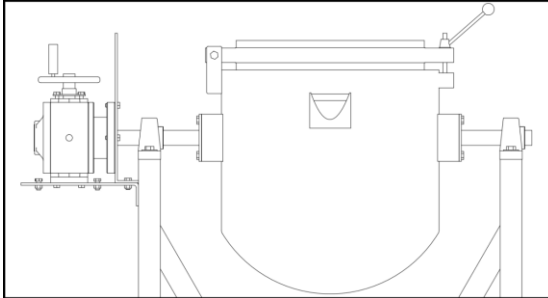


Fuente. Autor del proyecto.

Sistema basculante. Para el sistema de basculación se utilizan dos chumaceras aseguradas horizontalmente, en la figura 26 se ve la posición de los dos ejes que se encargan de transmitir el movimiento, en la parte externa de la cámara de fundición se utilizan dos refuerzos que mejoran su estabilidad y se logra una mejor distribución del peso,

el ajuste de la cámara de fundición se hace con pernos, para mejorar el desmonte del equipo cuando sea necesario.

Figura 18. Sistema basculante – Alternativa tres.



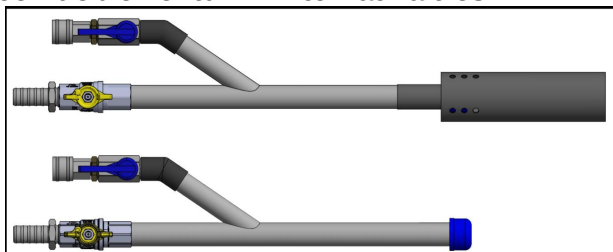
Fuente. Autor del proyecto.

Se utiliza un engranaje de tornillo sin fin corona, permitiendo disminuir la magnitud de la fuerza necesaria para que la cámara de fundición gire los 45 grados, necesarios para extraer el material fundido; el reductor es ajustado a una lámina que esta soldada a la estructura y cuenta con una carcasa de protección que al mismo tiempo permite asegurar la palanca que se acciona para transmitir el movimiento.

Sistema estructural. La estructura está hecha en acero y se utiliza un perfil rectangular, tiene 15 piezas y todas están unidas por soldadura, su altura es aproximadamente 400 mm, con un peso estimado de 14,80 Kg, en esta opción se busca disminuir el número de componentes y el costo del equipo sin disminuir su calidad, también una mejor ubicación de los componentes que hacen parte del equipo y que se ajustan a la estructura metálica. En la parte inferior de la estructura se le añaden cuatro ruedas, con el fin de poder movilizar el equipo y facilitar su transporte.

Sistema de calentamiento. En el sistema de calentamiento se mantiene la idea de un soplete que funciona a base de combustible gaseoso y que es alimentado por aire comprimido, se busca una llama direccionada y fuerte que permita rodear el crisol y poder aprovechar la adición de calor al máximo.

Figura 19. Soplete con doble venturi – Alternativa tres.



Fuente. Autor del proyecto.

En la punta del soplete se acopla un tapón con un orificio en el centro, cuenta con dos venturi al inicio de la boquilla, permitiendo el ingreso de aire con el fin de aumentar el poder de la llama y producir una quema de combustible más eficiente. (Ver figura 29)

3.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

En la selección de una de las alternativas se realiza un cuadro comparativo, para luego calificar las diferencias de cada una de las opciones de diseño propuestas, el mayor puntaje será la alternativa elegida según criterio del diseñador y análisis cualitativos del equipo.

Tabla 2. Cuadro comparativo de alternativas.

ALTERNATIVAS. COMPARACIONES.	ALTERNATIVA UNO	ALTERNATIVA DOS	ALTERNATIVA TRES.
Camara de fundición.			
Materiales de paredes internas.	Ladrillo refractario, cocreto aislante y lamina.	Concreto aislante, Fibra de vidrio y lamina.	Ladrillo refractario, concreto aislante, fibra de vidrio, lamina.
Costo de paredes aislantes.	Bajo.	Alto.	Intermedio.
Sistema de cierre.	Cierre regulable con tornillo.	Cierre regulable con tornillo.	Cierre regulable con tornillo.
Sistema basculante			
Engranajes.	Cilindricos, con dentado recto.	Cilindricos, con dentado recto.	Reductor de tipo sinfin corona.
Espacio de ocupación.	Se requiere un espacio amplio debido al tamaño de los piñones y la relación.	Se requiere un espacio amplio debido al tamaño de los piñones y la relación.	Se requiere poco espacio debido al sistema sinfin corona.
Refuerzos en la camara de fundición y cantidad de chumaceras.	No tiene refuerzo en los ejes, utiliza cinco chumaceras, tres ajustadas verticalmente y dos horizontal	Tiene refuerzo en los ejes que van unidos a la camara de fundición y utiliza cinco chumaceras ajustadas horizontalmente.	Cuenta con un refuerzo en los ejes, la camara de fundición tiene dos perfiles en c soldados a la camara
Longitud de los ejes.	Aproximadamente de 500 mm cada eje.	Aproximadamente de 600 mm cada eje.	Aproximadamente de 150 mm cada eje.
Sistema de estructural.			
Peso.	Su peso es bajo, resistencia estructural regular.	Su peso es alto, buena resistencia estructural.	Su peso es bajo, buena resistencia estructural.
Material.	Lamina de doce milímetros y perfil cuadrado.	Angulo de 4,7 mm de espesor y de 28,2 mm de aleta.	Perfil rectangular, de 80 mm por 40 mm, con un espesor de 2 milímetros.
Altura.	1200 mm	730 mm	400 mm
Sistema de calentamiento.			
Venturi.	El soplete no tiene venturi.	Con venturi en la boquilla.	Con venturi en la boquilla.
Terminar del soplete.	Fisto de 6,4 milímetros.	Reducción de 25,4 mm a 6,35mm	Tapon con agujero en la mitad de 4 mm
Calidad de llama.	Llama fina y definida, bajo consumo.	Llama fuerte turbulenta, alto consumo.	Llama fuerte y definida, con bajo consumo.

Fuente: Autor del proyecto.

Con el cuadro comparativo de la tabla 2, se evidencian la diferencia de las alternativas y se da paso a la tabla 3 donde se pueden ver las ventajas y desventajas de cada equipo.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las alternativas de diseño.

ALTERNATIVA.	VENTAJAS	DESVENTAJAS.
1	° Bajo peso de la estructura. ° El costo de la paredes aislantes es bajo. ° Bajo consumo de combustible gaseoso. ° Facil Transporte y ensamble del equipo.	° Su altura puede generar problemas cuando se desee extraer el material fundido. ° No cuenta con refuerzo de los ejes. ° La longitud de los ejes es alta y se pueden generar padeos debido a las fuerzas que actuan sobre las piezas. ° Tres chumaceras estan instaladas verticalmente y no es aconsejable.
2	° Estructura resistente. ° Los ejes del equipo son cortos. ° La boquilla tiene venturi. ° La llama es fuerte. ° La altura de la estructura es baja. ° la estructura tiene todas las piezas soldadas. ° las chumaceras estan instaladas horizontalmente.	° La longitud de los ejes es alta y se pueden generar padeos debido a las fuerzas que actuan sobre las piezas. ° El costo de la estructura es alto. ° Alto consumo de combustible. ° La llama es fuerte pero turbulenta. ° Los engranajes necesitan mucho espacio
3	° El costo de producción del equipo es minimo respecto a las alternativas anteriores. ° Estructura resistente. ° la longitud de los ejes es minima. ° Altura de la estructura es baja. ° para el sistema de basculación se utilizan dos chumaceras horizontales. ° El sistema sin fin corona utiliza poco espacio. ° Facil de transportar.	° El consumo de combustible es alto pero la llama es fina y fuerte. ° la altura de la palanca del sistema de basculación en baja. ° El costo de la cosntrucción de la camara de fundición es intermedio.

Fuente: Autor del proyecto.

Luego de evidenciar las ventajas y desventajas de la tabla anterior, se desarrolla una tabla donde se califican las comparaciones de la tabla 6, donde el menor puntaje es uno y el mayor puntaje es diez, la alternativa con el mayor puntaje es la elegida.

La calificación se realiza mediante un análisis de cualidades que aportan los diferentes sistemas que componen el equipo, con el diseño y la experiencia obtenida de los antecedentes y trabajos que se desarrollaron anteriormente se eligen los sistemas que aporten mayores ventajas para poder realizar un excelente proceso de fundición. El cuadro de calificación se puede ver en la tabla 4.

Tabla 4. Calificación de alternativas.

EVALUACIÓN.	ALTERNATIVAS			OBSERVACIÓN
	1	2	3	
Rendimiento de las paredes compuestas.	3	4,5	4,3	Se evalúa según materiales propuestos en la alternativa.
Costo de las paredes del interior de la cámara de fundición.	4,3	3,5	4	Entre más alta la nota el costo es más asequible.
Rendimiento del sistema de basculación.	3,1	4,1	4,6	Se evalúa posición y espacio de las partes del sistema.
Costo del sistema de basculación.	3,5	4	4,4	Entre más alta la nota el costo es más asequible.
Diseño y resistencia de la estructura.	3	4,1	4,7	También se evalúa la mejor ubicación de los demás elementos, su altura y espacio requerido.
Costo de la estructura.	4	3	4,3	
Consumo del soplete.	4,5	3	4	Entre más alta la nota menor es el consumo.
Rendimiento del soplete.	3	4	4,5	Se evalúa la calidad y la definición de la llama
CALIFICACIÓN:	3,55	3,775	4,35	

Fuente: Autor del proyecto.

De acuerdo con la tabla 4, el diseño del equipo que ofrece más ventajas, mejores características y una mayor calificación es la alternativa número tres, luego de la elección se da paso al dimensionamiento y cálculos de los materiales necesarios para la construcción del equipo.

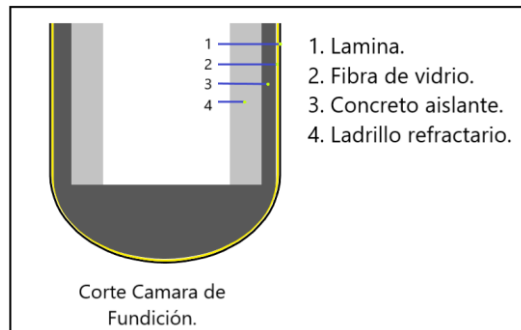
4. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO DE FUNDICIÓN

El cálculo y dimensionamiento del horno es una de las partes importante del proyecto, aporta los requisitos constructivos y parámetros de funcionamiento necesarios para el equipo, implicando medidas y dimensiones, propiedades de los materiales, necesidades energéticas, simulaciones y pruebas de funcionamiento.

4.1 CAMARA DE FUNDICIÓN

La cámara de fundición es el sistema más crítico porque trabaja a muy altas temperaturas, se realiza un recubrimiento en las paredes internas con materiales especiales para aislar la parte interna de la cámara, donde reposa el crisol y el soplete según el diseño. En la figura 20 se pueden ver las capas de la pared compuesta de materiales aislantes.

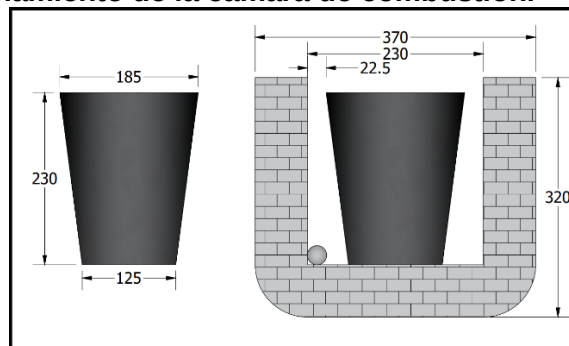
Figura 20. Diseño interno de cámara de fundición.



Fuente. Autor del proyecto.

Con las dimensiones del crisol establecidas en el análisis volumétrico, se plantean las medidas internas y externas en milímetros de la cámara de fundición, también se propone un grosor de los materiales aislantes que conforman la pared compuesta. (Ver figura 21)

Figura 21. Dimensionamiento de la cámara de combustión.

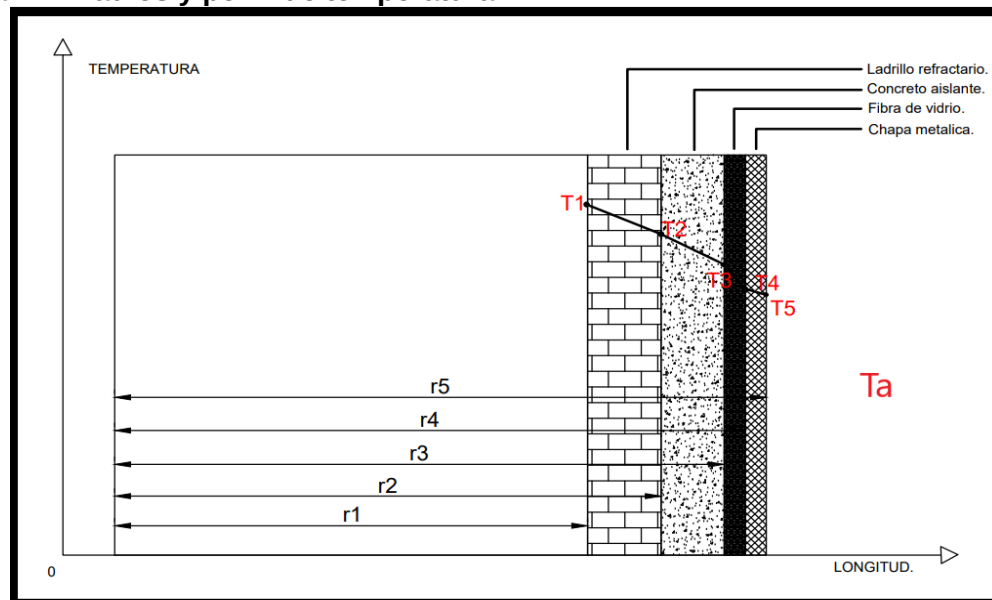


Fuente: Autor del proyecto.

El diseño interno de la cámara de fundición es de forma cilíndrica, permitiendo una mayor distribución de calor alrededor del crisol cuando es rodeado por la llama del quemador, ubicado en la parte inferior del crisol para aprovechar al máximo las distribuciones de la llama hacia la parte superior del crisol. (BONE, Jorge y CRESPO, David, 2015).

Con las dimensiones de la cámara de fundición y el grosor de la pared compuesta, el siguiente paso es realizar un perfil de temperaturas para ver el comportamiento y la calidad de aislamiento térmico que ofrece la pared, las temperaturas de la figura 22, evidencian que la temperatura uno es mayor y que por medio de conducción se genera un perfil de temperatura descendente hasta llegar al exterior de la cámara de fundición, donde hay una temperatura ambiente.

Figura 22. Radios y perfil de temperatura.

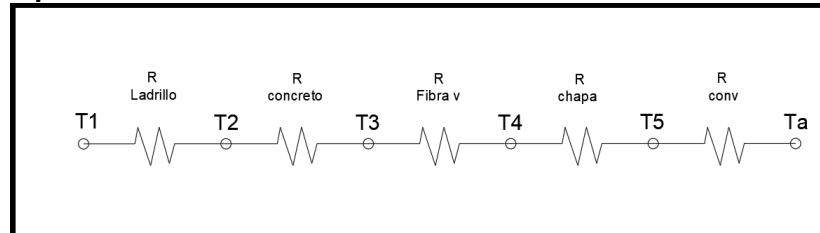


r1	Radio interno del horno.
r2	Radio intercara ladrillo refractario-concreto aislante
r3	Radio intercara concreto aislante-fibra de vidrio.
r4	Radio intercara fibra de vidrio-chapa metálica.
r5	Radio exterior del horno.
T1	Temperatura de la cámara de combustión.
T2	Temperatura entre ladrillo y concreto.
T3	Temperatura entre concreto y fibra de vidrio.
T4	Temperatura entre fibra de vidrio y chapa metálica.
T5	Temperatura exterior de la cámara.
Ta	Temperatura del medio ambiente.

Fuente: Autor del proyecto.

Mediante el método de resistencias, se realiza un análisis de transferencia de calor a la pared del horno, con el fin de evidenciar las pérdidas de calor por conducción de los materiales según su conductividad térmica, en la figura 23 se puede ver el esquema planteado.

Figura 23. Esquema de resistencias.



Fuente: Autor del proyecto.

Donde:

R_{ladrillo} : Resistencia del ladrillo refractario.

R_{concreto} : Resistencia del concreto aislante.

R_{fibrav} : Resistencia de la fibra de vidrio.

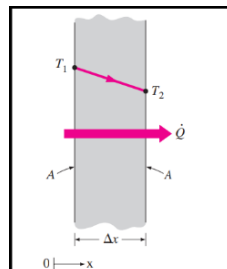
R_{chapa} : Resistencia de la chapa metálica.

R_{conv} : Resistencia en el aire debido al proceso de transferencia de calor por convección.

Conducción. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. (ÇENGEL, 2004)

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material de que este hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

Figura 24. Conducción de calor a través de una pared.



T_1	Temperatura mayor.
T_2	Temperatura mínima.
Q	Razo de transferencia de calor.
A	Area.
Δx	Espesor de la pared.
K	Conductividad termica.

Fuente: Yunes Cengel, Pág. 17.

[https://www.academia.edu/12140362/Transferencia de Calor y Masa 4ta ed Yunus Cengel](https://www.academia.edu/12140362/Transferencia_de_Calor_y_Masa_4ta_ed_Yunus_Cengel).

La razón de la conducción de calor a través de esta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, es decir:

$$\text{Razón de conducción del calor} = \frac{\text{Área} * \text{Diferencia de temperatura}}{\text{Espesor}}$$

O bien, para paredes planas:

$$\dot{Q}_{Cond} = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

La transferencia de calor estacionaria a través de capas cilíndricas o esféricas múltiples se puede manejar como en el caso de las paredes planas de capas múltiples, simplemente se suma una resistencia adicional en serie por cada capa adicional. La razón de transferencia de calor estacionaria a través de un cilindro compuesto, con una longitud determinada y con convección en ambos lados, se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Total}}$$

Resistencia de conducción para capas cilíndricas:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot K_n}$$

La resistencia térmica total es la sumatoria de todas las resistencias de dependiendo el análisis, en este caso el análisis será de conducción.

4.1.1 Pérdidas de calor en las paredes del cilindro por conducción. Para las pérdidas en las paredes de la cámara de fundición es importante tener en cuenta que la resistencia térmica del material está en serie y que por lo tanto se suman. Para hallar la pérdida de calor por conducción se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{conducción\ en\ paredes} = \frac{(T_1 - T_5)}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot L} * \left[\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{K_{ladrillo}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{concreto}} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{K_{fibra}} + \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{K_{chapa}} \right]}$$

Tabla 5. Datos de los componentes del horno.

T1	Temperatura en la cámara de combustión	750°C (1043.15 °K)
T5	Temperatura en la chapa metálica	160°C (423.15 °K)
L	Altura del horno	0,326m
$K_{ladrillo}$	Conductividad Térmica del ladrillo	1,34(W/m°K).
$K_{concreto}$	Conductividad Térmica del concreto aislante	0,075(W/m°K)
K_{fibra}	Conductividad Térmica de la fibra de vidrio	0,036(W/m°K)
K_{chapa}	Conductividad Térmica de la chapa metálica	50.2(W/m°K)
r1	Radio interior de la cámara de fundición	0,115 m
r2	Radio (r1) + el espesor del ladrillo refractario	0,037 m
r3	Radio (r2) + el espesor del concreto aislante	0,025 m
r4	Radio (r3) + el espesor de la fibra de vidrio	0,006 m
r5	Radio (r4) + el espesor de la chapa metálica	0,002 m

Fuente: Autor del proyecto.

Reemplazando en la ecuación:

$$Q_{conducción en paredes} = \frac{(1043.15 - 423.15)}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (0.326)} * \left[\frac{\ln\left(\frac{0.152}{0.115}\right)}{1.34} + \frac{\ln\left(\frac{0.177}{0.152}\right)}{0.075} + \frac{\ln\left(\frac{0.183}{0.177}\right)}{0.036} + \frac{\ln\left(\frac{0.185}{0.183}\right)}{50.2} \right]}$$

$$Q_{conducción en paredes} = 394.82 \text{ W}$$

4.1.2 Pérdidas de calor en la base del horno por conducción.

$$\dot{Q}_{conducción en base} = \frac{(T1 - T5)}{\left[\frac{e_{concreto}}{K_{concreto} * A} + \frac{e_{fibra}}{K_{fibra de vidrio} * A} + \frac{e_{chapa}}{K_{chapa} * A} \right]}$$

Donde:

T1 = Temperatura en la cámara de combustión 750°C (1043.15 K)

T5 = Temperatura en la chapa metálica 160°C (423.15 K)

$K_{concreto}$ = Conductividad Térmica del concreto aislante = 0.075(W/m°K)

$K_{fibra de vidrio}$ = Conductividad Térmica de la fibra de vidrio = 0.036(W/m°K)

K_{chapa} = Conductividad Térmica de la chapa metálica = 50.2(W/m°K)

A = Área de la base = 0.107 m²

$e_{concreto}$ = Espesor del concreto aislante = 0.080 m

e_{fibra} = Espesor de la fibra de vidrio = 0.006 m

e_{chapa} = Espesor de la chapa metálica = 0.002 m

Reemplazando en la ecuación:

$$\dot{Q}_{conducción\ en\ base} = \frac{(1043.15 - 433.15)}{\left[\frac{0.080}{0.075 * 0.107} + \frac{0.006}{0.036 * 0.107} + \frac{0.002}{50.2 * 0.107} \right]}$$

$$\dot{Q}_{conducción\ en\ base} = 52.92\ W$$

4.1.3 Diseño de la tapa del horno. Teniendo en cuenta que el horno de fundición es basculante el diseño de la tapa se desarrolla en dos secciones, la sección superior cuenta con un diámetro de 330 mm y un espesor de 50 mm, en la parte superior se encuentra un cilindro con un diámetro de 220 mm y con un espesor de 2 centímetros. El diseño de la tapa se hace de esta manera con el fin de lograr un mejor ajuste y disminuir las pérdidas de calor. VER ANEXO C.

4.1.4 Pérdidas de calor en la tapa del horno Por conducción.

$$\dot{Q}_{conducción} = \frac{(T1 - T5)}{\left[\frac{e_{concreto}}{K_{concreto} * A_{sup}} + \frac{e_{concreto}}{K_{concreto} * A_{inf}} + \frac{e_{chapa}}{K_{chapa} * A} \right]}$$

Donde:

T1 = Temperatura en la cámara de combustión 750°C (1043.15 K)

T5 = Temperatura en la chapa metálica 160°C (433.15 K)

$K_{concreto}$ = Conductividad Térmica del concreto aislante = 0,075(W/m°K)

K_{chapa} = Conductividad Térmica de la chapa metálica = 50.2(W/m°K)

A_{sup} = Área superior de la tapa = 0.086 m²

A_{inf} = Área inferior de la tapa = 0.038 m²

$e_{concreto}$ = Espesor superior del concreto aislante = 0.050 m

e_{chapa} = Espesor de la chapa metálica = 0.002 m

$e_{concreto}$ = Espesor inferior del concreto aislante = 0.020 m

Reemplazando en la ecuación:

$$\dot{Q}_{conducción\ tapa} = \frac{(1043.15 - 433.15)}{\left[\frac{0.050}{0.075 * 0.086} + \frac{0.020}{0.075 * 0.038} + \frac{0.002}{50.2 * 0.086} \right]}$$

$$\dot{Q}_{conducción} = 41.31\ W$$

4.1.5 Pérdidas totales de calor por conducción.

$$\dot{Q}_{Total\ base} = \dot{Q}_{conducción\ en\ paredes} + \dot{Q}_{conducción\ en\ base} + \dot{Q}_{conducción\ tapa}$$

$$\dot{Q}_{Total\ base} = 394.82\ W + 52.92\ W + 41.31\ W$$

$$\dot{Q}_{Total\ base} = 489.05\ W$$

Conociendo las pérdidas de calor por conducción en las paredes compuestas de la cámara de fundición se puede concluir que se logran perdidas de calor bajas y un buen rendimiento, no se tienen en cuenta las pérdidas de calor por radiación y por convección, son mínimas y no afectan el rendimiento del equipo. El siguiente paso es establecer los espesores de los materiales que hacen parte de la pared compuesta.

4.1.6 Determinación del espesor de las paredes del horno basculante. Para la determinación de los espesores de las paredes de la cámara de fundición se debe tener en cuenta los criterios de diseño establecidos anteriormente.

Donde:

r_i = radio interno = 0.115m

$e_{ladrillo}$ = espesor de ladrillo refractario = 0.037 m

$e_{concreto}$ = espesor del concreto aislante = 0.025m

$e_{fibra\ de\ vidrio}$ = espesor de la fibra de vidrio = 0.006m

$e_{chapa\ metalica}$ = espesor de la chapa metálica = 0.002m

$$r_5 = r_i + e_{ladrillo} + e_{concreto} + e_{fibra\ de\ vidrio} + e_{chapa\ metalica}$$

$$r_5 = 0.115 + 0.037 + 0.025 + 0.006 + 0.002$$

$$Radio\ total\ del\ horno = r_5 = 0.185\ m$$

$$Diamtro\ exterior\ total\ del\ horno = D_{ext} = 0.370\ m$$

4.1.7 Altura de la cámara de fundición. Se establece la altura de la cámara de fundición teniendo en cuenta los criterios y cálculos establecidos anterior mente, para eso se tiene que:

Longitud de la base del horno = L_{base} = 0.072 m

Longitud del cilindro del horno = $L_{cilindro}$ = 0.250 m

Longitud de la tapa del horno = L_{tapa} = 0.088 m

La ecuación que determina la altura del horno es:

$$Altura\ del\ horno = L_{base} + L_{cilindro} + L_{tapa}$$

Reemplazando:

$$\text{Altura del horno} = 0.009 + 0.250 + 0.076$$

$$\text{Altura del horno} = 0.416 \text{ m}$$

4.2 SISTEMA DE BASCULACIÓN

El sistema basculante se encarga de dar un movimiento de inclinación a la cámara, con la finalidad de extraer el material fundido sin necesidad de extraer el crisol. En el diseño del sistema las partes que lo componen son todas de material metálico, donde se encuentran chumaceras, ejes, pernos, un reductor con sistema sinfín corona, y una palanca. Es importante recalcar que el diseño del sistema de basculación va acorde al diseño de la estructura.

A continuación, se explica cada una de las partes que conforman el sistema de basculación, primero se inicia con una tabla de pesos de los materiales que conforman la cámara de fundición para conocer su peso total y poder conocer la fuerza que ejerce.

Tabla 6. Resumen de pesos de materiales de la cámara de fundición.

MATERIAL.	PESO (Kg)
Acero.	6,45
ladrillo refractario.	23,58
Concreto aislante.	32
Fibra de vidrio.	1
Quemador.	2
Total	65,03

Fuente: Autor.

En el valor total de la carga se estima un 15% más del peso de los materiales, con el fin de aumentar el coeficiente de seguridad del sistema basculante.

$$WT = Wt + (Wt * 15\%)$$

$$WT = 65.03 + (65.03 * 15\%)$$

$$WT = 74.78 \text{ kg}$$

El peso de la cámara es de 74.78 Kg, para trabajar con valores completos se hace una aproximación a 75kg. Luego de tener el peso se halla la fuerza que ejerce la cámara de fundición según la gravedad.

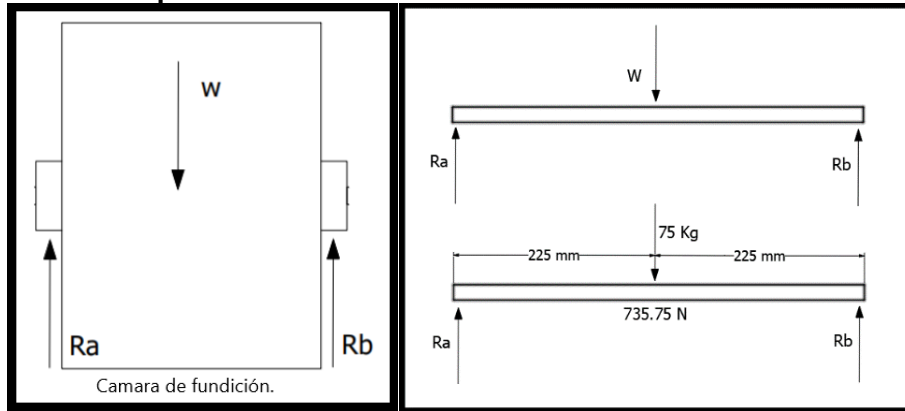
$$Fw = W * g$$

$$Fw = 75\text{Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Fw = 735.75 \text{ N}$$

Después de obtener la fuerza se realiza un diagrama de cuerpo libre, para dar a conocer las fuerzas que actúan en la cámara de fundición.

Figura 25. Fuerzas que actúan en la cámara de fundición.



Fuente: Autor del proyecto.

En el análisis del diagrama de cuerpo libre de la cámara de fundición se desarrolla la sumatoria de fuerzas en y que actúan sobre ella, de tal manera que:

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ R_a + R_b - W &= 0 \\ R_a + R_b - 735.75 \text{ N} &= 0 \\ R_a + R_b &= 735.75 \text{ N}\end{aligned}$$

Se requiere hallar la magnitud de las dos reacciones que actúan sobre la cámara de fundición, para eso se realiza una sumatoria de momentos en el punto a, de esta manera:

$$\begin{aligned}\Sigma M_a &= 0 \\ -F_w * (0.225\text{m}) + R_b * (0.450\text{m}) &= 0\end{aligned}$$

Despejando:

$$\begin{aligned}R_b &= \frac{F_w * (0.225\text{m})}{(0.450\text{m})} \\ R_b &= \frac{735.75 \text{ N} * (0.225\text{m})}{(0.450\text{m})} \\ R_b &= 367.875 \text{ N} \\ R_a &= 367.875 \text{ N}\end{aligned}$$

Al conocer las fuerzas que actúan sobre la cámara de fundición se puede dar paso al análisis del eje para poder conocer su diámetro requerido. Es importante recalcar que se

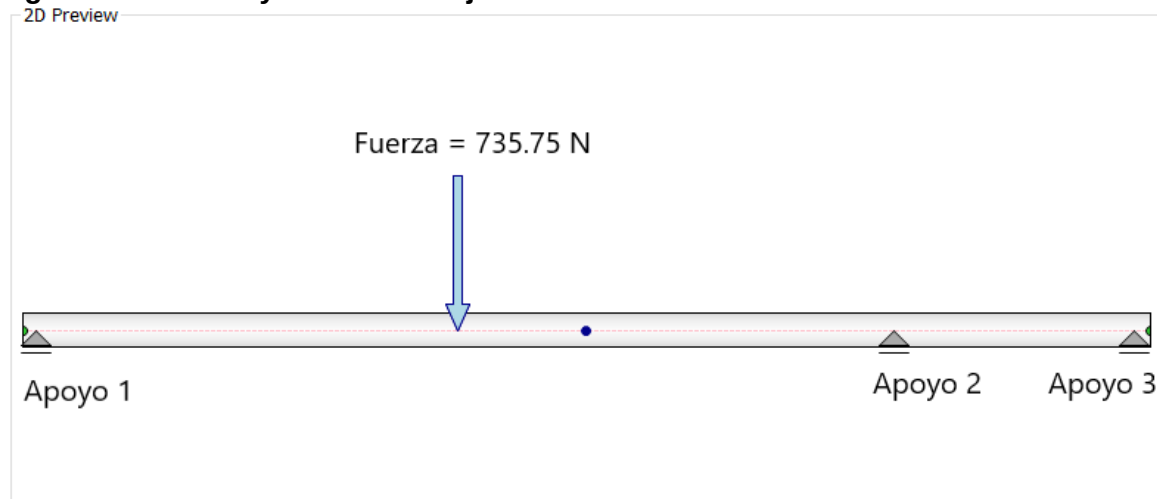
soldán dos refuerzos a lamina en la parte externa de la cámara, con el fin de mejorar su distribución de peso, distribuir el centro de masa y reforzar la unión de los ejes a la cámara de fundición. (Ver figura 18)

4.2.1 Diámetro del eje. Se realiza un análisis estático del eje que hace parte del sistema basculante para poder establecer su diámetro. Con ayuda del software inventor se modela un prototipo del eje y se establece la fuerza que ejerce la cámara de fundición según la gravedad, en este análisis se tienen en cuenta los apoyos, como los rodamientos.

Es importante recalcar que se utiliza un reductor que en su interior cuenta con un engranaje de tipo sinfín corona, la fuerza necesaria para generar la rotación de la cámara de fundición no es de gran magnitud y no afecta el sistema y para este caso no se tiene en cuenta, igualmente el sistema de basculación solo se necesita cuando se desea extraer el material fundido del interior de la cámara.

El primer paso para el análisis de fuerzas en el eje es establecer el diseño, para este caso se supone un eje con diámetro de 25,4 mm, atraviesa el equipo por completo ya que de esta manera se facilita el análisis y con base en la longitud se puede establecer un factor de seguridad más alto. (ver figura 26)

Figura 26. Diseño y análisis del eje.



Fuente: Autor del proyecto.

En seguida de establecer el diseño es importante reconocer los apoyos y la fuerza que ejerce la cámara de fundición. El material que se utiliza es un acero 1045, que cuenta con un módulo de elasticidad $E = 206000$ MPa, un módulo de rigidez $G = 80000$ MPa, una densidad $\rho = 7860$ kg/m³ y un coeficiente de poisson $\mu = 0.3$. Los datos del acero se eligen en la librería del software, se busca que sea lo más parecido posible con materiales comerciales de la zona.

Con todos los datos establecidos se realiza un análisis de resultados con el fin de establecer un diámetro adecuado para el eje. Los resultados son:

Tabla 7. Ubicación de la fuerza.

Indice	Localización	Fuerza radial	
		Y	X
1	326,25 mm	735,750 N	735,750 N

Fuente: Autodesk Inventor 2018.

Tabla 8. Ubicación de los apoyos.

Apoyo	Tipo	Localización	Fuerza de reacción	
			Y	X
1		10 mm	266,423 N	0 N
2		652,5 mm	851,893 N	0 N
3		832,5 mm	-382,566 N	0 N

Fuente: Autodesk Inventor 2018.

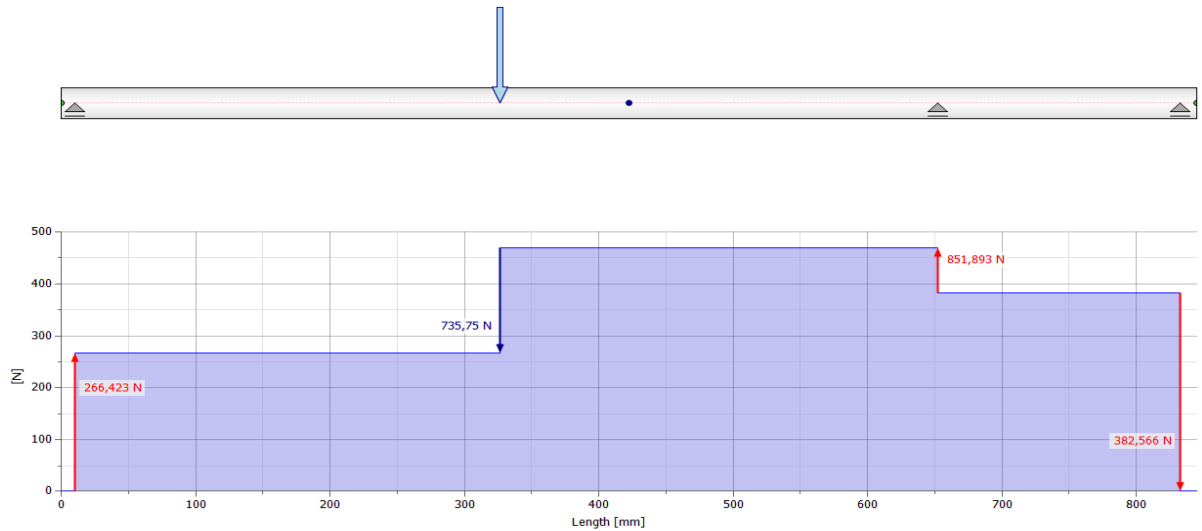
Tabla 9. Resultados.

Longitud del eje	L	845,000 mm
Masa		3,365 kg
Esfuerzo de flexión máximo	σ_B	52,372 MPa
Esfuerzo cortante máximo	τ_S	0,926 MPa
Estrés máximo reducido	σ_{red}	52,402 MPa
Deflexión máxima	f_{max}	549,395 microm
Angulo de giro	ϕ	0,00 deg

Fuente: Autodesk Inventor 2018.

De acuerdo con los resultados que presenta el eje, en seguida se presentan las gráficas del comportamiento del eje según las condiciones establecidas, la última grafica recomienda un diámetro ideal del eje.

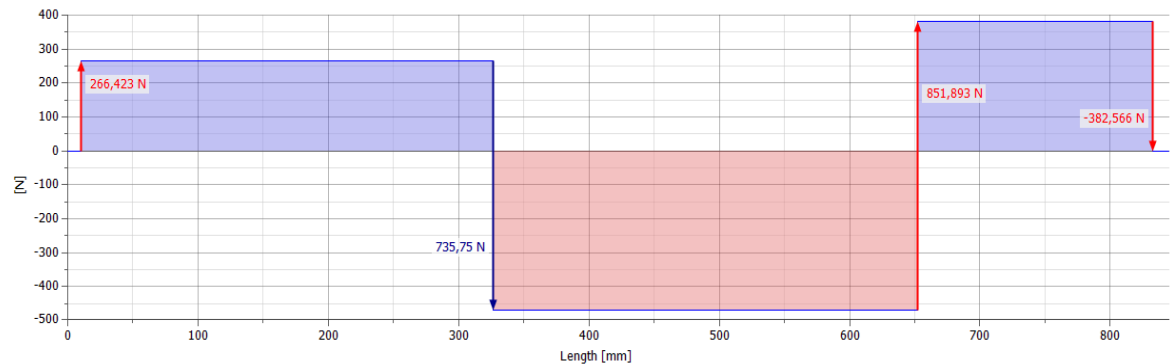
Figura 27. Diagrama de fuerzas de corte.



Fuente: Autodesk Inventor 2018.

En la figura 27 y en la figura 28, se puede ver el diagrama de esfuerzo cortante que genera la fuerza de la cámara de fundición y su distribución según los apoyos que hacen parte del sistema.

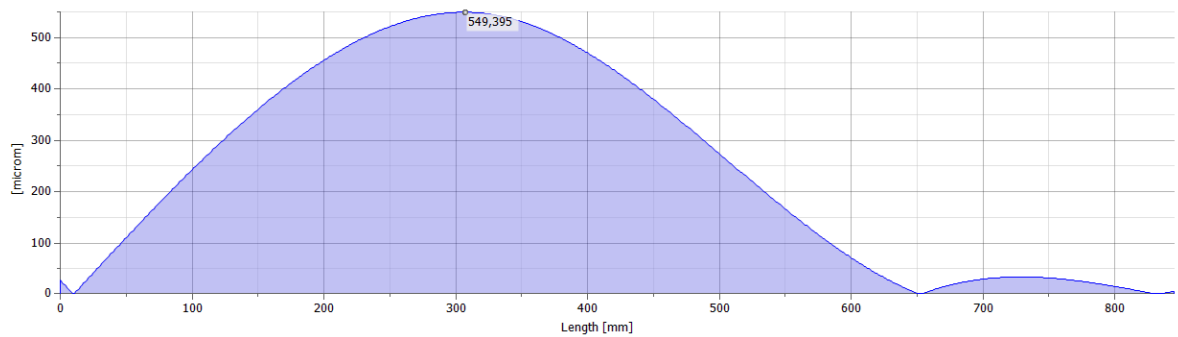
Figura 28. Fuerza de corte.



Fuente: Autodesk Inventor 2018.

En la gráfica 29, se puede ver la cantidad de micrómetros que se flexiona el eje, generado por la fuerza ejercida de la cámara de fundición, esta grafica es importante porque da una idea de cómo se puede flexionar el eje y cuanto según sus características, es de gran utilidad para especificar el diámetro del eje.

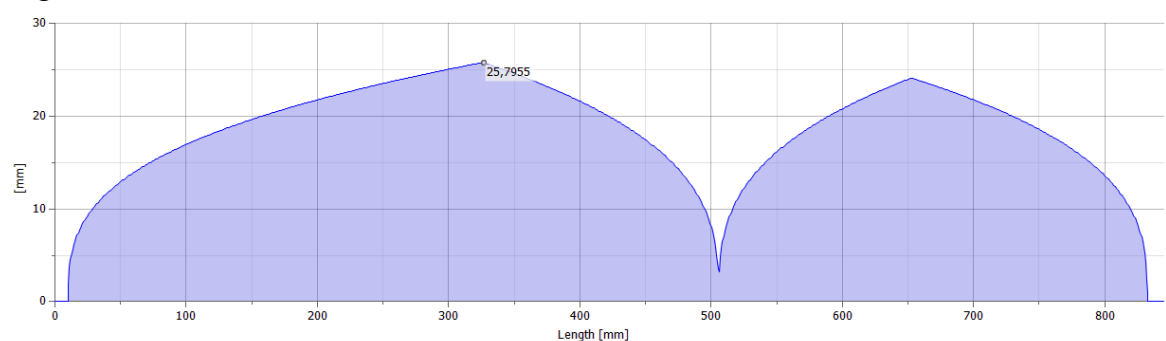
Figura 29 Flexión.



Fuente: Autodesk Inventor 2018.

La ultima grafica identifica un diámetro ideal de 25.79 mm para el diseño del eje que puede ser implementado en la construcción del equipo. Teniendo en cuenta que se diseña con un factor de seguridad aproximado del 1.75 y que el diámetro que aconseja está en el punto más alto de la gráfica, se puede dejar un eje con un diámetro igual o menor pero muy cercado a la medida que indica el programa. (Ver figura 30)

Figura 30. Diámetro ideal.

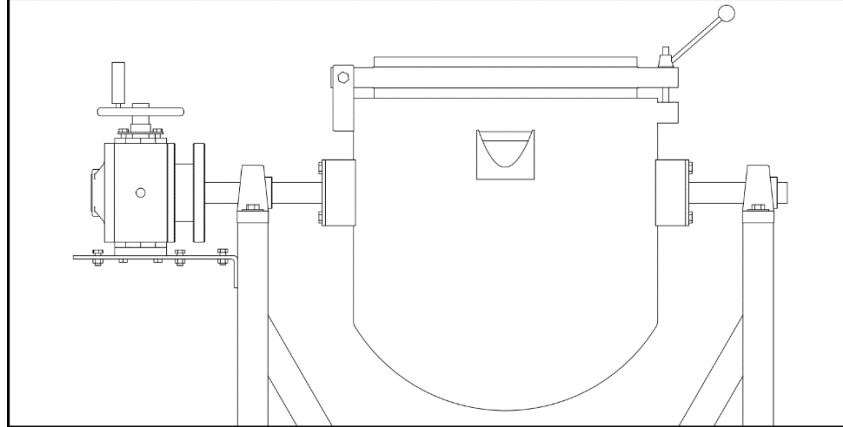


Fuente: Autodesk Inventor 2018.

11:38:04 p. m. Calculation: Calculated.

El diámetro comercial más cercano al diámetro que aconseja el software es el de 25.4 mm, y en definitiva se implementa el eje del sistema de basculación con un diámetro de 25.4 mm en toda la sección. La instalación del sistema basculante se puede ver en la figura 31.

Figura 31. Instalación del sistema basculante.



Fuente: Autor del proyecto.

4.2.2 Selección de rodamiento y soporte. En el catálogo de SKF se selecciona un rodamiento y su soporte, teniendo en cuenta el diámetro del eje, las opciones disponibles en el mercado y la capacidad de carga del rodamiento, para este caso no se tienen en cuenta la revoluciones ni velocidad, pues la exigencia de los rodamientos es mínima. Si desea ver la ubicación de las chumaceras ver figura 31.

Se selecciona un soporte de pies con rodamiento de bolas de la serie UCP 205/H, las especificaciones técnicas y dimensiones se pueden ver en el ANEXO B.

4.2.3 Reductor. El engranaje sinfín corona aporta particularidades buenas al sistema de basculación como: la magnitud de la fuerza necesaria para rotar la cámara de fundición debe ser mínima, el espacio que ocupa el reductor es poco en comparación a los engranajes rectos y engranajes helicoidales, el ajuste del reductor es a una placa soldada a la estructura que funciona como apoyo y cuenta con facilidad para ensamblar y desensamblar en caso de mantenimiento del equipo, todos los elementos son de materiales metálicos y su peso es mínimo. (Ver figura 33).

Figura 32 Reductor de velocidad.



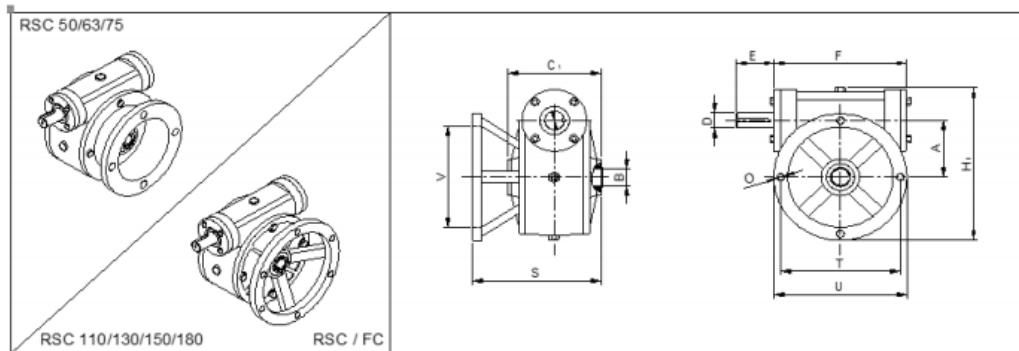
Fuente: Tecnotrans s.a.s.

<https://www.tecnotranssas.com/reductores-y-motorreductores1>

Para el horno de fundición el reductor se utiliza como una alternativa que aporta beneficios y características únicas al sistema de basculación, pero no es un equipo que va a estar expuesto a velocidades altas, esfuerzos por revoluciones y a temperaturas altas, solo es utilizado cuando se requiere girar la cámara de fundición y extraer el material, con base en lo anterior no es necesario realizar cálculos para especificar los engranajes del equipo, pero si se especifican características y medidas.

Características: Serie RSC 50-210 del reductor tipo sinfín corona de alta calidad, Baja vibración, relación de reducción 1:20, múltiples opciones de montaje, Carcasa en fundición de hierro gris, disponibles con eje de entrada y eje de salida macizo, lubricación permanente. (Ver figura 33) y (Ver Tabla 10)

Figura 33. Dimensiones del reductor.



Fuente: Tecnotrans s.a.s.

<https://www.tecnotranssas.com/reductores-y-motorreductores1>

Tabla 10. Medidas del reductor.

RSC 50-210.	
Tamaño	50
Medidas. (mm)	
A	50
Bhueco	22
C1	120
D	14
E	40
F	154
H1	148
O	10
S	140
T	103
U	125
V	70

Fuente: Tecnotrans s.a.s.

<https://www.tecnotranssas.com/reductores-y-motorreductores1>

4.3 ESTRUCTURA

La estructura es la parte del horno que recibe el peso de la cámara de fundición, el sistema de basculación y el soplete del gas. Teniendo en cuenta el peso total de los sistemas, se diseña una estructura compacta y resistente, con facilidad para ser transportada de un lugar a otro y que no represente ningún peligro para el personal de trabajo.

También se tiene en cuenta los materiales que se comercializan en la zona, como los de la marca acceso o lo productos de acerías paz del rio. Por economía y calidad del material se elige un perfil rectangular, es el indicado para el ajuste de las chumaceras y el sistema de basculación, de igual manera por sus características permite instalar ruedas y se deja soldar. Se selecciona un perfil de tubería rectangular de medidas 38mm x 76mm con un espesor de 1.5 mm y 2.67 Kg de peso por metro. Su referencia es estructural galvanizado A500 grado C. para más información del material se recomienda ver el ANEXO C.

Con las dimensiones de la tubería, la estructura del equipo presenta sus dimensiones, cabe recordar que la estructura se realiza teniendo en cuenta todos los aspectos y longitudes calculadas y nombradas anteriormente, de esta manera se recomienda ver el plano del ANEXO D. Con el diseño y las medidas establecidas de la estructura, se puede realizar el diseño en un software, para luego realizar el análisis estructural en el software Ansys y poder analizar su comportamiento con respecto al peso que reposa sobre la estructura.

4.3.1 Análisis Estructural. El primero paso del análisis estructural es definir el material con el cual se desea trabajar, para este caso se trabaja con un acero comercial que tiene las siguientes propiedades. (Ver figura 34)

Figura 34. Propiedades del acero comercial.

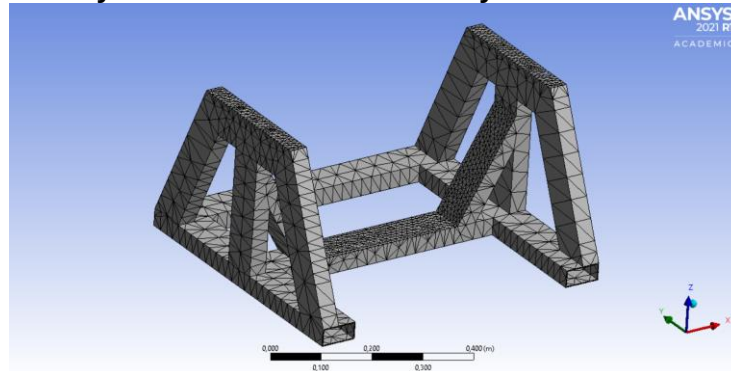
Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			
2	Material			
3	Structural Steel			
*	Click here to add a new material			
Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1				

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
13	Display Curve Type	Strain-Life		
14	Strength Coefficient	9,2E+08	Pa	
15	Strength Exponent	-0,106		
16	Ductility Coefficient	0,213		
17	Ductility Exponent	-0,47		
18	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa	
19	Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2		
20	S-N Curve			
21	Interpolation	Tabular		
22	Scale	Log-Log		
23	Offset	1		
24	Tensile Yield Strength	0	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	2,5E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	4,6E+08	Pa	

Fuente: Ansys workbench,2021.

Luego de definir el material se transporta el diseño de la estructura al software Ansys académico, luego se procede a realizar las pruebas. (Ver figura 35)

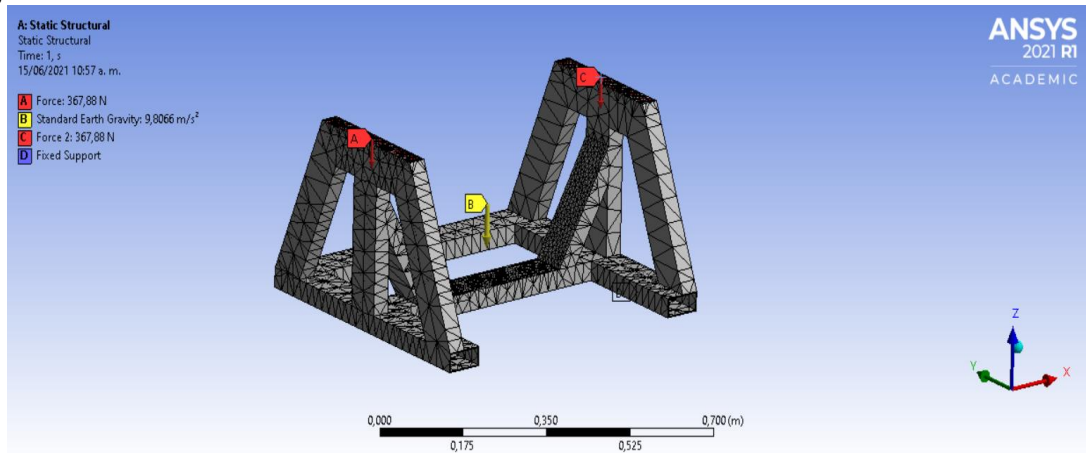
Figura 35. Estructura y diseño de la malla en Ansys.



Fuente: Ansys workbench, 2021

Cuando se establece el material y la estructura, el siguiente paso es generar la malla en la estructura, para este caso se configura la malla en lugares donde reposan las chumaceras y vigas que están más expuestas a fuerzas de flexión. Después del refinamiento de la malla el siguiente paso es establecer las condiciones y las fuerzas a las que está expuesta la estructura.

Figura 36. Condiciones de la estructura.



Fuente: Ansys workbench, 2021

En seguida de las condiciones se realiza la simulación en el software, (Ver figura 36) luego de eso se puede llevar a cabo un análisis del comportamiento de la estructura y evaluar los resultados.

4.3.2 Resultados del análisis estructural. En el resultado del análisis estructural se muestran las condiciones a las que es sometida la estructural y en seguida se muestran los resultados.

Tabla 11. Fuerzas y condiciones de la estructura.

Nombre de la condición.	Magnitud	Coordenada (X,Y,Z)
Fuerza A	367,875 N	(0, 300, 363)
Fuerza B	367,875 N	(652, 300, 363)
Soporte fijo		Cara inferior
Gravedad	9,8 m/s ²	(326, 300, 363)

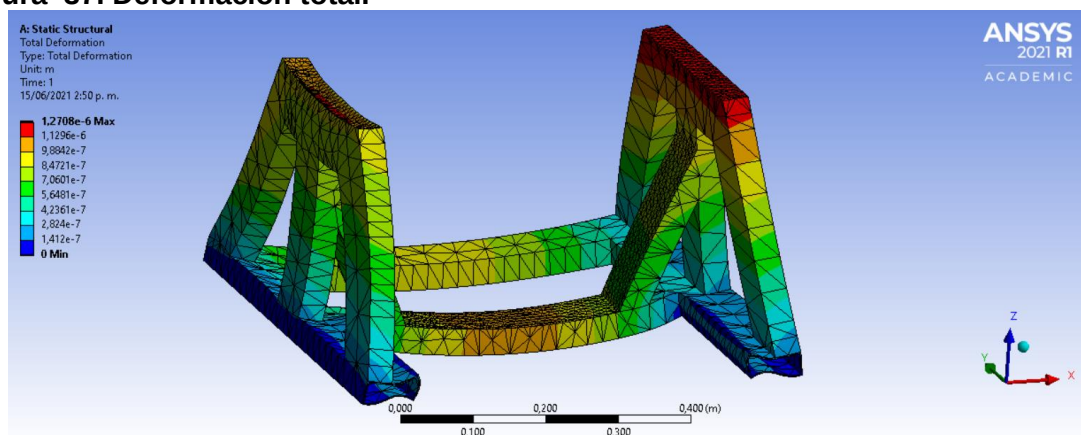
Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 12. Resumen de resultado.

Nombre	Minimo	Maximo	Unidades
Volumen	2,75E-05		m ³
Deformación Total	0	1,27E-06	m
Deformación direccional	-1,24E-06	8,816E-07	m
Deformación elastica equivalente	1,377E-08	5,63E-06	m
Deformación elastica principal	-2,643E-07	3,66E-06	m
Intensidad de la tensión elastica	8,73E-09	7,21E-06	m
Estrés equivalente	1,22E+03	1,00E-06	Pa
Estrés principal maximo	-2,72E-05	7,08E-06	Pa
esfuerzo cortate maximo	6,71E+02	5,45E+05	Pa

Fuente: Ansys workbench,2021.

Figura 37. Deformación total.



Fuente: Ansys workbench,2021

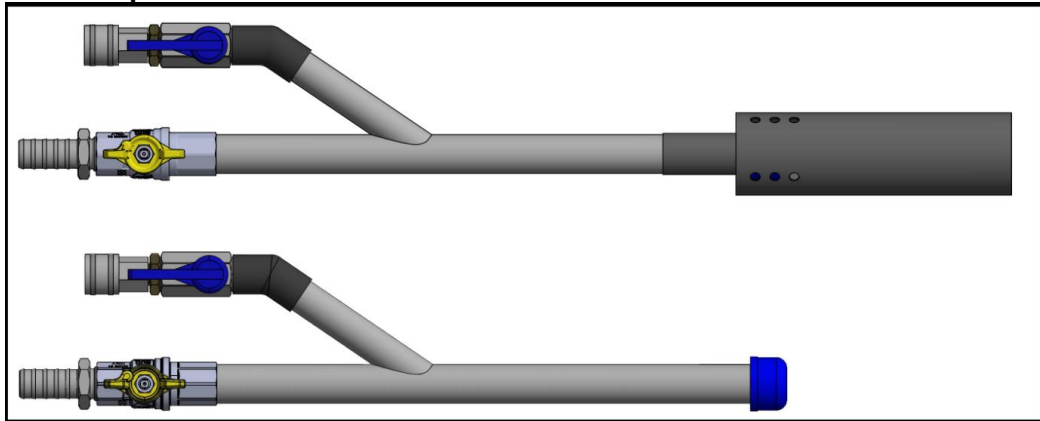
4.3.2 Análisis de resultados. Con el diseño de la estructura se realiza el análisis estructural con ayuda del software Ansys 2021 R1, con el fin de ver la deformación total que genera el peso de la cámara de fundición según su fuerza establecida, se puede concluir que la deformación total que presenta la estructura es de $1,27 \times 10^{-6}$ metros, es una deformación mínima y con base en los demás resultados se aprueba el diseño y el material de su construcción.

Se resalta que para el análisis estructural no se tiene en cuenta la placa que esta soldada a un costado de la estructura,

4.4 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El sistema de calentamiento es un soplete alimentado por gas y aire, cuando el gas hace la combustión y se quema entra a una presión de 23 a 33 mbar dependiendo el regulador con el que se trabaje, el combustible fósil solo se quema y produce una nube de humo negro creando tizne y dañando los componentes interiores de la cámara de fundición, eso debido al hueco que tiene el tapón, es de 5 mm, cuando entra el aire este aumenta la velocidad y permite hacer una buena combustión, aprovechando el poder calorífico total del combustible gaseoso.

Figura 38. Soplete con doble venturi – Alternativa tres.



Fuente. Autor del proyecto.

En la figura 38, se puede observar completamente el soplete, la boquilla es un tubo de acero que atraviesa la pared de concreto refractario y hace contacto con la parte interior de la cámara de fundición. En la parte interior de la boquilla hay un tapón que permite generar una llama direccionada en la cámara permitiendo rodear el crisol de manera correcta.

La válvula amarilla permite la salida de gas y la válvula azul permite la salida del aire, estas dos válvulas permiten regular la cantidad de gas y aire necesario para realizar la combustión y cumplir con el propósito de aumentar la temperatura.

Por último, luego de la válvula de gas se encuentra un racor en espiga que permite adaptar la manguera de alta presión del combustible, para la válvula del aire se utiliza un racor en latón con rosca de 3/8" x 1/4" y con eso poder roscar un acople rápido que se utiliza cuando el aire viene de un compresor; se presenta el nombre técnico de las partes necesaria para la construcción del soplete.

Materiales:

- Tubo de acero de 2" x 170 mm con reducción a 1" x 45 mm.
- Tapón galvanizado de media, rosca NPT.
- Tubo galvanizado de 1/2" x 350 mm.
- Tubo galvanizado de 3/8" x 100 mm.
- Semicodo galvanizado de 3/8".
- Válvula hembra macho de 3/8".
- Racor en latón de 3/8" x 1/4".
- Acople rápido de 1/4".
- Válvula de bola para gas de 1/2" serie PN25.
- Racor en espiga por rosca de 1/2" NPT.

4.5 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Para la construcción del equipo, se realiza un registro fotográfico de los instantes donde se arma cada parte del horno de fundición, con el fin de dar a conocer el proceso adecuado del ensamble de cada componente del equipo. En el inicio del proceso constructivo del horno, se decide reutilizar un cilindro de gas GLP para la cámara de fundición, eso de acuerdo con los parámetros y las dimensiones establecidas en los cálculos de capítulos anteriores. (Ver figura 39)

Figura 39. Cilindro de gas reciclado.



Fuente: Autor del proyecto.

En la figura 40, se realiza un corte en la mitad del cilindro según la altura establecida en la sección 3.4.15. Se resalta que la altura de la cámara establecida es de 416 mm, pero se realiza un corte con una mayor altura para mayor facilidad en el momento en que se instalen las paredes aislantes.

Figura 40. Corte del cilindro.



Fuente: Autor del proyecto.

Después de realizar el corte se construye una malla con barrilla de 4 mm, que sirve como refuerzo para el concreto aislante en la base de la cámara, ver la figura 41, primero se recubre con la fibra de vidrio el fondo del cilindro y luego se adiciona el concreto aislante.

Figura 41. Base de la cámara de fundición.



Fuente: Autor del proyecto.

En el siguiente paso se procede a la construcción de las paredes internas de la cámara de fundición, esta la pared de ladrillo refractario, le sigue la pared de concreto aislante y en seguida esta la delgada capa de la fibra de vidrio y la chapa metálica, es la cara exterior de la cámara de fundición. (Ver Figura 42) Luego se realiza un recubrimiento en la parte superior de las paredes del horno, buscando un mejor acabado y una mejor consistencia de las paredes.

Figura 42. Construcción de las paredes Internas.



Fuente: Autor del proyecto.

Por medio de un nivel se busca que las paredes del horno tengan una mejor instalación y que una parte no quede más arriba de la otra, se busca una igualdad de altura en todos los lados de las paredes. (Ver figura 43)

Figura 43. Nivel de las paredes Internas.



Fuente: Autor del proyecto.

Con la construcción de la cámara, se inicia el proceso de construcción de la tapa, esta cuenta con un refuerzo de varilla metálica en su interior, haciendo una rejilla con el fin de dar una mejor resistencia al concreto de la tapa, a su alrededor cuenta con un recubrimiento de platina metálica que permite adaptar un sistema de cierre en la parte superior del equipo. (Ver figura 44)

Figura 44. Construcción de la tapa del horno.



Fuente: Autor del proyecto.

Luego de tener construidas las dos partes principales de la camara de fundición, se realiza el orificio donde reposa la boquilla del quemador, se implementa un ajuste por tornillo para asegurar la boquilla. (Ver figura 45)

Figura 45. Construcción de la tapa del horno.



Fuente: Autor del proyecto.

El siguiente paso es la construcción del soplete, el primer paso es soldar el miple pequeño al miple de 350 mm y en seguida se ensambla el semicodo, la valvula, el miple y el acople rapido, eso para la inyección de aire comprimido. Los accesorios para la inyección del combustible son: la vavula y el racon en espiga. En la punta del soplete se instala un tapon que esta en la parte interior de la boquilla. (Ver figura 62). Para este ensamble de piezas roscadas se utiliza un trabarosca con serie Gastop Fuerza Media de la marca unifix, con el fin de impedir las fugas y escapes del combustile gaseoso.

Figura 46. Construcción del soplete.



Fuente: Autor del proyecto.

La construcción del soplete del sistema de calentamiento se realiza primero que la estructura y el sistema basculante, porque es necesario hacer pruebas de funcionamiento de la cámara de fundición.

Se procede a la construcción de la estructura donde van a reposar todos los elementos y sistemas que hacen parte del equipo. Las dimensiones se pueden ver en el ANEXO D, y la construcción se puede ver en la figura 47.

Figura 47. Construcción de estructura.



Fuente: Autor del proyecto.

El montaje de la cámara de combustión es el siguiente paso, se perfora la parte superior de la estructura para asegurar las chumaceras.

Los ejes tienen un refuerzo en su cara interior para tener mejor inclinación en la cámara y distribuir el centro de masa, luego del montaje se debe hacer una alineación de los ejes y un nivel de la cámara de fundición. (Ver figura 48)

Figura 48. Montaje de la cámara de fundición.



Fuente: Autor del proyecto.

La placa donde reposa el reductor encargado de la basculación, se suelda a un costado de la estructura, y en seguida se adapta el reductor, esta pieza del equipo debe estar alineada perfectamente a los ejes que sostienen la cámara de fundición. (Ver figura 49)

Figura 49. Ensamble del reductor como sistema de basculación.



Fuente: Autor del proyecto.

Se procede a ensamblar las cajas protectoras del sistema de basculación, en seguida se realiza un hueco en la parte superior de la caja, para que se pueda ensamblar la palanca encargada del giro de la cámara. (Ver figura 50)

Figura 50. Ensamble del reductor como sistema de basculación.



Fuente: Autor del proyecto.

Despues de completar la instalación del sistema basculante, se instala la tapa de la camara de fundición, por medio de un sistema de tornillo regulable. (Ver figura 51)

Figura 51. Instalación de la tapa.



Fuente: Autor del proyecto.

Se instalan las ruedas en la parte inferior de la estructura, para poder mover el horno de un lado a otro, teniendo en cuenta que al realizar un proceso de fundición se debe hacer en un espacio al aire libre.

Despues se instala la tapa, se procede al ajuste interno del crisol, y por ultimo se realiza el hueco por donde sale el material fundido, en la parte exterior de la camara de fundición se hace una pequeña canaleta por donde sale el material.

Figura 52. Ajuste de crisol y pintura.



Fuente: Autor del proyecto.

Luego se procede a pintar el equipo en su totalidad, para dar paso a las pruebas de funcionamiento. (Ver figura 52 y 53).

Figura 53. Pintura y finalización del trabajo.



Fuente: Autor del proyecto.

5 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y ASPECTOS DE OPERACIÓN

5.1 PRE OPERACIONAL DEL HORNO DE FUNDICIÓN BASCULANTE

- Realice una inspección visual de todos los componentes del equipo, y que haya un buen ajuste de todas las piezas.
- Verifique que la ubicación del horno de fundición sea un lugar que tenga circulación de aire constante o al aire libre, no puede ser un espacio confinado.
- Pruebe el sistema de basculación, incline la cámara de fundición cuarenta y cinco grados y sostener durante diez segundos, luego devolver a su posición inicial.
- Verifique que las ruedas de la parte inferior de la estructura estén ajustadas y pruebe los frenos de las ruedas.
- inspeccione el interior de la cámara de fundición, que las paredes no presenten grietas o agujeros. En caso de residuos o arenas remueva con una escoba y realice una limpieza del equipo.
- Verifique el ajuste del crisol, recuerde la posición inicial del crisol.
- Verifique si el cierre de la tapa del horno tiene un ajuste óptimo.
- Pese el cilindro de GLP y mida según el consumo.
- Verifique que la ubicación del cilindro de gas es segura y no representa peligro, en seguida Verifique la ubicación del compresor de aire.
- En caso de algún elemento dañado no utilizar en horno hasta ser reparado e informar de inmediato al personal encargado.

5.2. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL HORNO BASCULANTE

Para la puesta en funcionamiento del equipo es muy importante tener en cuenta las tareas establecidas en el pre operacional, si los pasos del pre operacional se cumplen a cabalidad el paso a paso para la puesta en funcionamiento del horno es el siguiente.

- Ubique el horno de fundición, el cilindro de gas y el compresor en las partes previamente verificadas y analizadas anteriormente.
- Acople el soplete con la manguera del combustible y ajústela, y en seguida acople la manguera del aire comprimido, y posteriormente ajuste el soplete al hueco de la cámara de fundición.

- Pese el material blando no ferroso que desea fundir, si es aluminio que no exceda los 5.6 Kg y si es otro material se recomienda hacer el análisis volumétrico.
- Introduzca el material al crisol, el material debe ser compacto posible para que pueda almacenar mayor cantidad.
- Con precaución y utilizando los elementos de seguridad, gradualmente abra la llave del gas y prenda el soplete, luego gradualmente abra la llave del aire comprimido hasta tener una llama fina y fuerte.
- Cierre la tapa y realice el ajuste de la tapa.
- Espere aproximadamente cincuenta o sesenta minutos hasta que se presente un color rojo vivo y adicione más material de fundición.
- Después de aproximadamente cuarenta y cincuenta minutos verifique que el material fundido esté en condiciones del extraer de la cámara de fundición.
- Si el material está líquido, prepare el molde y vierta con mucha precaución.
- Si desea fundir más material no apague el horno, si la fundición termina después de verter el material en el molde, apague el horno y espere unos minutos hasta que baje un poco la temperatura del horno para poder ubicarlo en su puesto.

5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se realizaron tres pruebas de funcionamiento, donde se mide el tiempo necesario para fundir aluminio, y la cantidad de material fundido se mide por medio de las latas de cerveza que puede fundir, se hacen observaciones respecto al funcionamiento del horno.

5.3.1 Primera prueba de funcionamiento. En la primera prueba, el soplete prende con facilidad y todos los sistemas que componen el horno funcionan bien.

Tabla 13. Prueba de funcionamiento número uno.

Prueba	Tiempo	Latas fundidas
1	2 Horas.	30

Fuente: Autor del proyecto.

Observaciones:

El tiempo estimado para el proceso de funcionamiento es de una hora y media, el almacenamiento del crisol son dos litros de material fundido, pero no se cumple el objetivo.

El espesor del crisol es de 6.5 mm y presenta dificultad para elevar su temperatura y lograr hacer un proceso de funcionamiento adecuado, solo la parte inferior del crisol presenta un color rojo vivo y la cantidad de material que se funde no es la adecuada según los establecidos en los parámetros de funcionamiento.

Como solución se decide desbastar las paredes el crisol metálico, se deja con un espesor de 4 milímetros y se da paso a la segunda prueba de funcionamiento. (Ver tabla 23)

5.3.2 Segunda prueba de funcionamiento. En la segunda prueba de funcionamiento el crisol cuenta con un grosor de 4 mm en sus paredes, teniendo en cuenta el pre operacional se inicia el proceso de funcionamiento, el comportamiento del equipo se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 14 Prueba de funcionamiento número dos.

Prueba	Tiempo	Latas fundidas
2	1 Hora.	40
	1:15 Horas.	50
	1:20 Horas.	60
	1:25 Horas.	70
	1:30 Horas.	80
	1:40 Horas.	Vaciado del crisol.

Fuente: Autor del proyecto.

Observaciones:

Se ve una mejoría en cuanto al tiempo que se tiene establecido para el proceso de fundición, se puede evidenciar que la cantidad de latas de cerveza aumente y por consiguiente aumenta la capacidad de fundición del horno.

Aun se presentar dificultades para en el tiempo de calentamiento del crisol, durante el proceso se tiene que poner al máximo la capacidad del soplete, el material que está en el crisol se derrite, pero el material que esta liquido es muy poco, se pierde mucho material.

Como solución se decide reducir el grosor de las paredes del crisol, teniendo en cuenta que se vio una mejoría en el proceso de fundición, el grosor que se deja en las paredes del crisol es de 2,5 mm y se da paso a la tercera prueba de funcionamiento. (Ver tabla 24)

5.3.3 Tercera prueba de funcionamiento. Luego de hacer un desbaste en las paredes del crisol, se evaluó el proceso de fundición y se vieron mejorías en el tiempo y en la cantidad de material fundido.

Tabla 15. Prueba de funcionamiento número tres.

Prueba	Tiempo	Latas fundidas
3	40 minutos.	30
	55 minutos.	60
	1 Hora.	80
	1:10 Horas.	100
	1:15 Horas.	120
	1:20 Horas.	140
	1:25 Horas.	160
	1:30 Horas.	180
	1:35 Horas.	210
	1: 40 Horas.	Vaciado del crisol.

Fuente: Autor del proyecto.

Observaciones:

Se ve una mejoría en el proceso de funcionamiento del horno, con respecto a la prueba uno y dos. El proceso de fundición se pasa del tiempo establecido, porque en el crisol se debe ir adicionando el material poco a poco, las 210 latas no caben en el crisol, se debe hacer un aporte cada 10 o 5 minutos según la rapidez con que se funda cada lata que se adiciona.

Es importante recalcar que en el crisol caben aproximadamente 600 latas y que después de la hora y media las latas que se adicionen se funden al instante, entonces el proceso de adición de material puede ser constante.

Por último, el material que se funde es el aluminio, pueden ser latas de cerveza, desperdicio de las maquinas C.N.C. o tornos, partes de automóviles, ollas o cualquier otro tipo de aluminio que se utilice a diario en la vida del ser humano.

Debido al buen rendimiento del horno de fundición, se deja en esas condiciones, pero es importante mejorar cada que se haga una fundición. (Ver tabla 25)

5.4 ASPECTOS DE OPERACIÓN

En los aspectos de operación se tiene en cuenta los parámetros que se establecieron en un principio con el fin de verificar si son aceptados y viables en el momento en que se realiza el proceso de fundición. (Ver tabla 26)

Tabla 16. Aspectos de operación.

ASPECTOS DE OPERACIÓN	VALOR.	OBSERVACIÓN.
Capacidad de material fundido.	5.6 Kg	En caso de ser aluminio, si es otro material se aconseja realiza analisis volumetrico para mirar la capacidad.
Tiempo minimo de funcionamiento	90 minutos	Aproximadamente en este tiempo se alcanza el rojo vivo en el interior de toda la camara de fundición.
Tiempo maximo de funcionamiento	420 minutos	Despues de cierto tiempo se pueden presentar grietar en los materiales refractarios.
Temperatura maxima.	1100°C	La temperatura es directamente proporcional al tiempo que dure prendido el horno.
Combustible.	Gas luciado del petroleo. Gas natural.	De acuerdo con las características del soplete se pueden utilizar los dos combustibles gaseosos.
Basculación de la camara de fundición.	45°	El sentido de giro es importante pues gracias a la basculación se puede verter el material fundido.
presión de gas y aire comprimido.	23 mbar	O según el regulador que se utilice.
Tiempo de etapa de precaliento del horno.	20 minutos	Luego del tiempo de calentamiento se empieza con la adición de material al crisol.
Tiempo de etapa de adición de calor.	Variable.	
Tiempo de etapa de sobrecalentamiento.	Variable.	

Fuente: Autor del proyecto.

6 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo de diseñar y construir un horno basculante a gas, para la fundición de metales blandos.
- De acuerdo con las pruebas de funcionamiento y los resultados obtenidos se puede decir que los parámetros tenidos en cuenta para en el inicio del diseño y la construcción del equipo son los adecuados.
- Con la investigación de los antecedentes y trabajos que se han desarrollado en el tema de hornos de fundición, se logra un conocimiento amplio en materias como la metalurgia, materiales industriales, diseño, transferencia de calor y combustibles. Lo aprendido se aplicó para el diseño de las alternativas.
- En la selección de los materiales y partes del horno de fundición se fue muy riguroso, cuidadoso y se consideraron los altos estándares de calidad de cada uno, con el fin de garantizar una larga vida útil del equipo.
- Con el análisis estructural se establece que el comportamiento de la estructura es óptimo y que los materiales metálicos utilizados pueden resistir las cargas y las condiciones a las cuales está expuesta la estructura.
- El combustible gaseoso que se utiliza en las primeras pruebas es el gas licuado del petróleo (GLP), por el poder calorífico que ofrece, por las bajas emisiones contaminantes que genera, por su facilidad de almacenamiento y por la disposición que da cuando se desea transportar. Pero se resalta que el gas natural también puede servir como combustible, teniendo en cuenta que las características de instalación y de transporte son un poco más complicadas, pero su valor es inferior al gas que se almacena en un cilindro.
- Al implementar el reductor de tipo sinfín corona, la fuerza que se utiliza para generar la basculación de la cámara de fundición es mínima y se puede catalogar como un sistema de basculación simple que puede ser útil en equipos con mayor capacidad y con espacios de funcionamiento muy reducidos debido a las dimensiones que tiene el reductor.
- El horno de fundición basculante es funcional y al mismo tiempo se busca que ofrezca seguridad para las personas que lo utilizan.

6.1 RECOMENDACIONES

- Ser cuidadoso al momento de encender el soplete cuando esta entre la cámara de fundición, es muy importante generar un arranque seguro para el personal de trabajo y evitar accidentes no deseados.
- Se recomienda implementar moldes y área para mejorar la calidad de la fundición y mejorar la mayoría de los detalles en piezas que se deseen obtener.
- Primordialmente es obligatorio utilizar los elementos de protección personal como guantes, gafas, overol, botas.
- Se recomienda tener cerca un extintor de incendios en caso de algún accidente o falla.
- Se recomienda realizar el pre operacional establecido antes de cada proceso de fundición.
- Luego de apagar el horno no realice limpieza ni arrojar agua, se pueden quemar los artículos con los que está limpiando y en caso de echarle agua a la cámara de fundición puede dañar los materiales refractarios

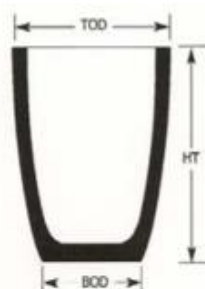
BIBLIOGRAFÍA

- ALIAGA luis. (17 de 2018). *Repositorio Institucional Universidad Mayor De San Andres*. Obtenido de DISEÑO DE UN HORNO DE FUNDICIÓN PARA LA EMPRESA SER - TEC.: <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18779>
- BONE, Jorge y CRESPO, David. (05 de 05 de 2015). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10418>
- CABRERA, Danial y MORALES, Jose . (30 de 10 de 2019). *Repositorio institucional UPN* . Obtenido de Diseño y construcción de un horno crisol estacionario para reciclaje de chatarra de cobre – Cajamarca 2019: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22376>
- CALDERÓN, Mario. (2018). Optimización en hornos de fundición en industria de aluminio. *Revista Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*, 31. Obtenido de Optimización en hornos de fundición en industria de aluminio: <http://revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/riyc/article/view/985>
- ÇENGEL, Y. A. (2004). *Transferencia De Calor y Masa - Fundamentos Y Aplicaciones* . C.P. 01376, México, D.F : MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- CORONEL, Mario ; SANGUCHO Simba, . (07 de 2019). *Repositorio universidad de COTOPAXI*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/>: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5502/1/PI-001416.pdf>
- El Alumino. (2015). Obtenido de https://wiki.ead.pucv.cl/images/8/8e/Clase_2_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_Aluminio_2.pdf
- FERNANDEZ javier. (2008). *Fundición protocolo–cursos de procesos de manufactura*. Obtenido de Escuela colobiana de ingeniería: https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/9627_fundicion.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=aPEzabpgwSzB0PliRKdOq2eT8kg%3D&Expires=1616766768
- Glez, Antonio . (16 de 09 de 2019). *aprendemos tecnologia.org* . Obtenido de Cuaderno de trabajo de Tecnología de 1º ESO – IES Tejina: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/10/estructuras-revisic3b3n-2012.pdf>
- GRANDAS Sandra; PÉREZ Lina,. (2010). *Formulación de un plan de negocios para la creación de una empresa dedicada al procesamiento y reciclaje de escoria de metales no ferrosos,*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2236/65811P438f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huertas, J. I. (21 de 05 de 2003). *Estudio de riesgos de suministro de GNV y fabricación y mantenimiento de cilindros de GLP y tanques estacionarios de GLP*. Obtenido de <https://bdigital.upme.gov.co> : https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/844/3/INFORME_FINAL_GLP.PDF

- HUFNAGEL. (2004). *Manual del aluminio*. Barcelona: EDITORIAL REVERTE, S.A. SEGUNDA EDICIÓN.
- LOPEZ, José . (16 de 07 de 2013). *Crai Landívar Red De Bibliotecas*. Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/7.pdf>
- MESTANZA, Diego; LARA Viviana,. (12 de 07 de 2012). *DSpace ESPOCH*. Obtenido de Diseño y Construcción de un Horno de Combustión Industrial para Fundir Aluminio.: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1974>
- OCW Universidad de Cantabria . (16 de 06 de 2021). Obtenido de Transmisión de movimiento : https://ocw.unican.es/pluginfile.php/228/course/section/139/tema_5%201.pdf
- Quintero Hurtado LTDA . (26 de 04 de 2021). *Rodacenter Soluciones*. Obtenido de Tipos de chumaceras y aplicaciones. : <https://www.quinterohurtado.com/post/tipos-de-chumaceras-y-aplicaciones>
- REFRACTARIOS DE COLOMBIA. (3 de 12 de 2020). *Refractarios de colombia.com*. Obtenido de <https://www.refractariosdecolombia.com/>
- SALTOS Jose, F., & VARGAS Juan. (02 de 2009). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4086>
- SUNTAXI, Edison y TORRES, Carlos, . (16 de 10 de 2014). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Diseño y construcción de un horno crisol para fundición de aluminio con una capacidad de 15 kg/h a una temperatura de 800 °C utilizando GLP: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7226>
- TRONCOSO, j. (2 de 09 de 2008). *Historia de la fundición*. Recuperado el 15 de 06 de 2021, de https://elcrisoluspt.files.wordpress.com/2008/09/historia_fundicion.pdf
- TRUJILLO, Sebastián. (01 de 2005). *Repositorio Digital USFQ*. Obtenido de Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/843>
- VARGAS Fornaris, & MORA Juan. (05 de 12 de 2014). *Repositorio UFPSO*. Obtenido de IMPLEMENTAR UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL LABORATORIO DE FUNDICION DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA: <http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/handle/123456789/2229>

ANEXOS

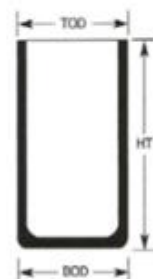
ANEXO A. Catálogo Morgan mms - dimensiones del Crisol.



- * A 1 até A 150 são fornecidos com pequeno bico
- * AK para vazamento pelo topo em fornos basculantes
- * AK e BUK cadinhos com bico para fornos basculantes
- * Capacidade aproximada em litros

Descrição	FORMATO	HT	TOD	BOD	Bronze	Aluminio	Volume
	A	(mm)	(mm)	(mm)	Kg	Kg	l
A&0075H0080&-GRA	A 1/2	80	75	50	1,5	0,5	0,2
A&0090H0090&-GRA	A 1	90	90	55	1,5	0,5	0,2
A&0100H0110&-GRA	A 2	110	100	65	3,0	1,0	0,4
A&0110H0130&-GRA	A 3	130	110	70	3,0	1,0	0,4
A&0115H0140&-GRA	A 4	140	115	75	4,5	1,4	0,6
A&0125H0150&-GRA	A 5	150	125	85	4,5	1,4	0,6
A&0130H0165&-GRA	A 6	165	130	90	7,5	2,4	1,0
A&0155H0180&-GRA	A 8	180	155	110	9,0	2,9	1,2
A&0160H0200&-GRA	A 10	200	160	115	12,0	3,8	1,6
A&0170H0210&-GRA	A 12	210	170	120	15,0	4,8	2,0
A&0175H0220&-GRA	A 14	220	175	120	16,5	5,3	2,2
A&0185H0230&-GRA	A 16	230	185	125	19,5	6,2	2,6
A&0200H0255&-GRA	A 20	255	200	140	25,5	8,2	3,4
A&0220H0260&-GRA	A 25	260	220	150	30,0	9,6	4,0
A&0230H0290&-GRA	A 30	290	230	160	37,5	12	5,0
A&0260H0310&-GRA	A 40	310	260	190	52,5	17	7,0

Descrição	FORMATO	HT	TOD	BOD	Bronze	Aluminio	Volume
	CY	(mm)	(mm)	(mm)	Kg	Kg	l
CY0060H0070&-GRA	Ci 1/2	70	60	55	0,45	0,1	0,06
CY0060H0090&-GRA	Ci 1	90	60	55	0,8	0,2	0,1
CY0070H0140&-GRA	Ci 1 1/2	140	70	65	2,3	0,7	0,3
CY0090H0150&-GRA	Ci 2	150	90	80	3,4	1,1	0,45
CY0110H0250&-GRA	Ci 6	250	110	105	9,8	3,1	1,3
CY0115H0200&-GRA	Ci 8	200	115	115	9,0	2,9	1,2
CY0145H0250&-GRA	Ci 15	250	145	145	16,5	5,3	2,2
CY0165H0320&-GRA	Ci 30	320	165	165	24,0	7,7	3,2
CY0165H0380&-GRA	Ci 30 H380	380	165	165	27,8	8,9	3,7
CY0225H0325&-GRA	Ci 50	325	225	220	47,6	15,2	6,4
CY0225H0420&-GRA	Ci 60	420	225	220	65,6	21,0	8,75
CY0255H0370&-GRA	Ci 70	370	255	240	65,3	20,9	8,7
CY0275H0380&-GRA	Ci 100	380	275	260	82,5	26,4	11
CY0310H0430&-GRA	Ci 150	430	310	305	150,0	48,0	20,0
CY0390H0540&-GRA	Ci 250	540	390	385	285,0	91	38,0
CY0400H0560&-GRA	Ci 300	560	400	390	315,0	101	42,0
CY0440H0660&-GRA	Ci 400	660	440	430	450,0	144	60,0
CY0480H0660&-GRA	Ci 500	660	480	470	536,3	172	71,5
CY0480H0760&-GRA	Ci 500 H760	760	480	470	618,8	198	82,5
CY0530H0740&-GRA	Ci 800	740	530	515	697,5	223	93
CY0550H0980&-GRA	Ci 900	980	550	540	1087,5	348	145
CY0600H0810&-GRA	Ci 1000	810	600	585	1012,5	324	135
CY0650H1270&-GRA	Ci 1500	1270	650	600	1897,5	607	253



Cadinhos específicos para evitar transbordamento em fornos transportáveis, podendo ser instalado em qualquer cadinho.

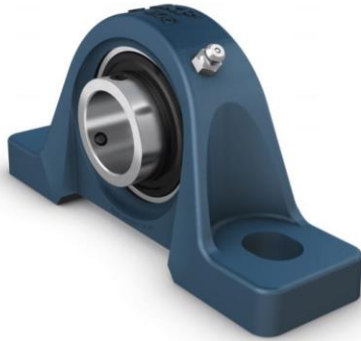
Todas as dimensões estão sujeitas as tolerâncias normais de fabricação. Morgan MMS reserva-se o direito de alterar quaisquer detalhes e especificações sem aviso prévio. Não nos responsabilizamos por erros de impressão.

Fuente. Salamander grafinox.
<https://metalinsumos.com/grafinox.html>

ANEXO B. Rodamiento con soporte.

SKF

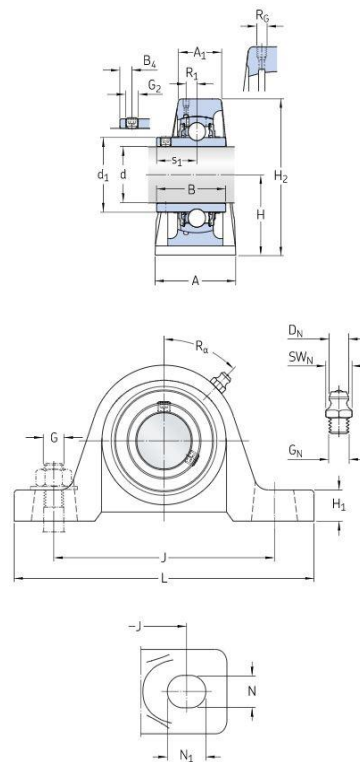
Generado desde [sitio] el [fecha]



UCP 205/H Soportes de pie con rodamientos de bolas

Soportes de pie con rodamientos de bolas

ESPECIFICACIONES TECNICAS.			
DIMENSIONES. (mm)		DATOS DE CALCULO.	
d	25	Capacidad de carga dinamica basica	14 Kn
d1	33,74		
A	38		
A1	23		
B	34,1	Capacidad de carga estatica basica	15 Kn
B4	5		
H	36,5		
H1	16		
H2	70,5	Velocidad limite	5850 r/min
J	105	Masa	0,76 Kg
J max	110		
Jmin	100	Soporte	P 205/Y
L	139,5		
N	13	Rodamiento	UC 205/H
N1	18		
s1	19,8	Rosca del prisionero	M6x0,75
RG	1/4-28 UNF		
R1	1,5	Tamano de llave hexagonal para prisionero	3mm
R	45°		
DN	6,6		
SWN	7,94		
GN	1/4-28 UNF		



Autor: (SKF,2021)

https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf

ANEXO C. Tubería estructural.

Metaltub Tubería Estructural Rectangular

[Acabado negro y galvanizado]



METALTUB TUBERÍA ESTRUCTURAL RECTANGULAR												
[ACABADO NEGRO Y GALVANIZADO]												
REFERENCIA	ESPEORES EN MILIMETROS											UNIDAD DE EMPAQUE
	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
Tubos Rectangulares (mm)	Peso Teórico Calculado (kg / m)											
60 x 40	2,34	3,08										100
	2,33	3,07										
76 x 38	2,67	3,52	4,35	5,17								72
	2,66	3,51	4,34	5,16								
90 x 50		4,34	5,37	6,39								60
		4,32	5,36	6,38								
100 x 50		4,65	5,77	6,86								50
		4,64	5,75	6,85								
120 x 60		5,59	6,94	8,28								50
		5,58	6,93	8,26								
150 x 100				11,69	15,44		22,70*					32
200 x 70				12,63	16,69		24,58*					40
200 x 100				14,05	18,58		27,41					28
250 x 100				16,40		26,95						18
250 x 150						30,88						18
300 x 100				18,76		30,88		42,70		54,21*		24
300 x 150									54,77		67,70*	10

Estructural Galvanizado A500 Grado C

Estructural Negro A500 Grado C

*Producción bajo pedido

Estructural Galvanizado A500 Grado C
Estructural Negro A500 Grado C

*Producción bajo pedido

Fuente: Acesco.

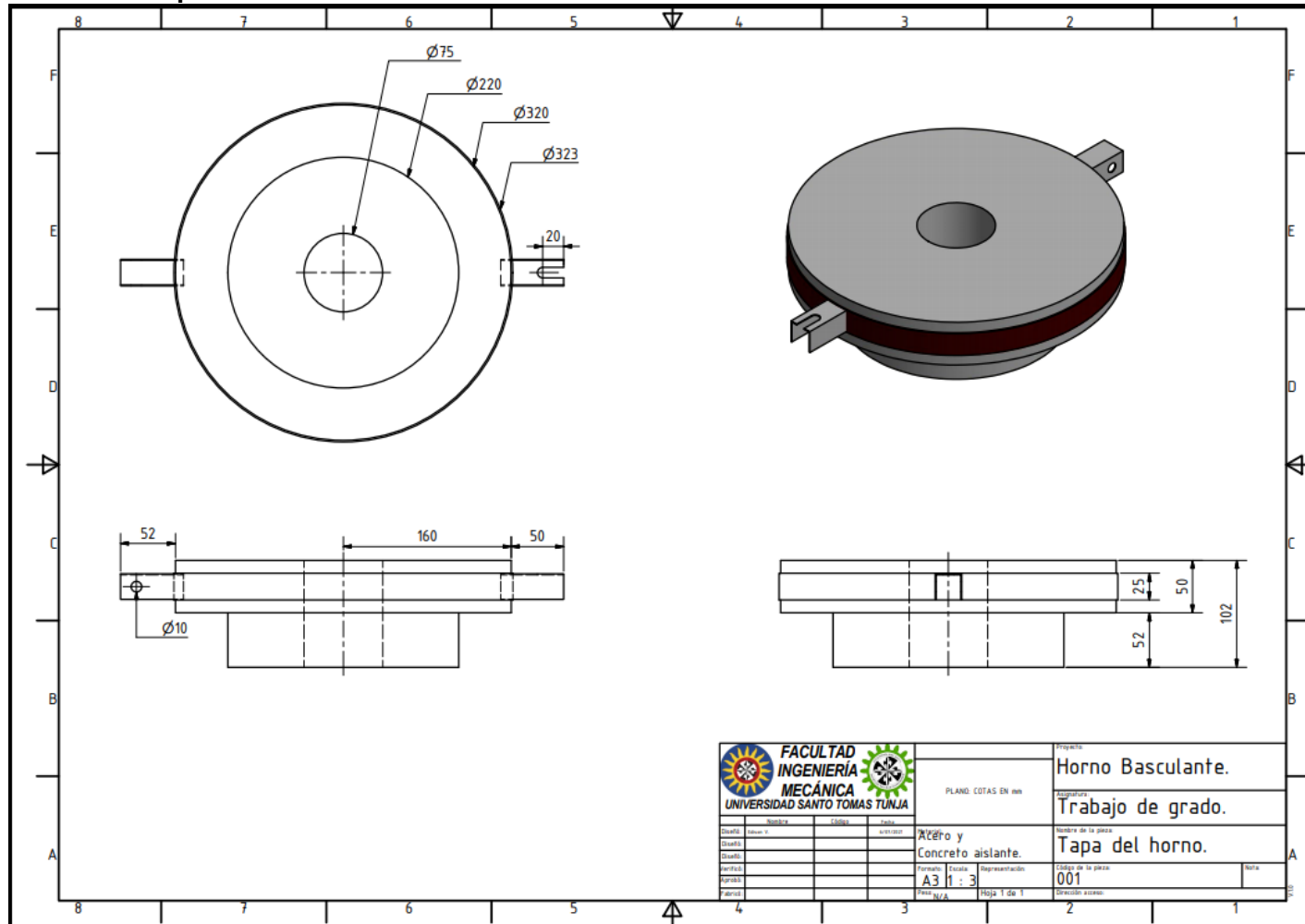
<https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-metaltub.pdf>

Fuente: Autor del proyecto.



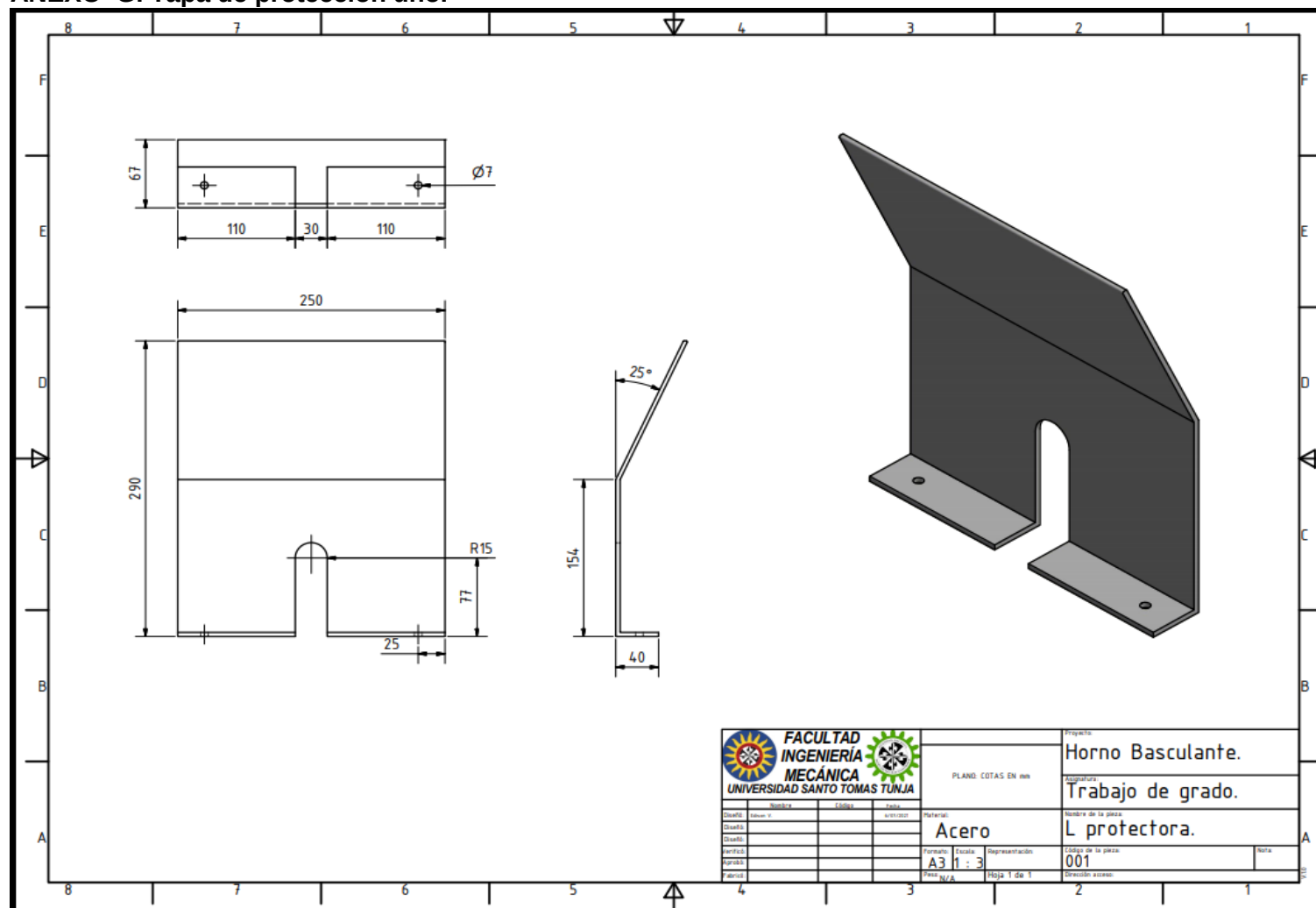
79

ANEXO F. Tapa de la cámara de fundición



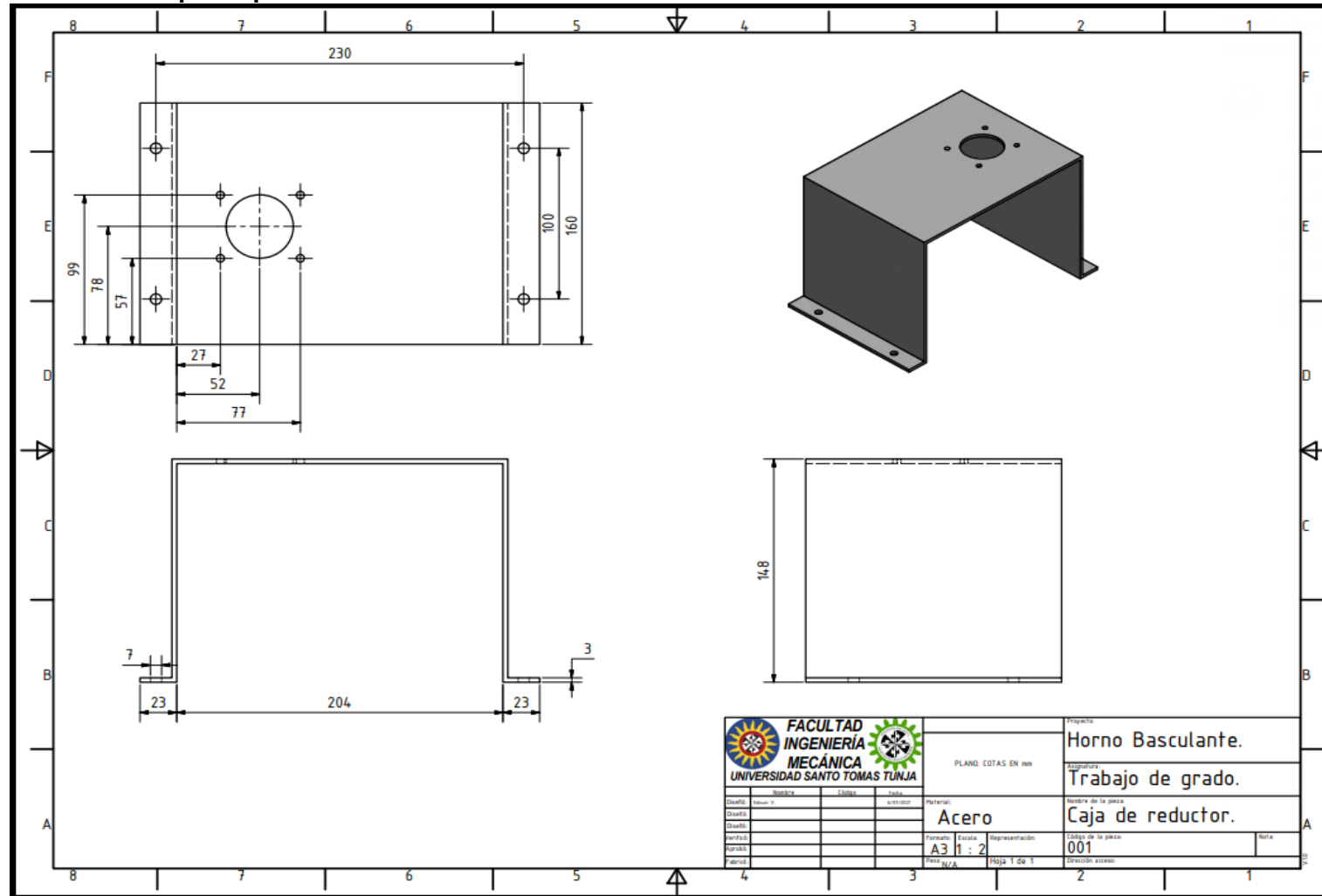
Fuente: Autor del proyecto.

ANEXO G. Tapa de protección uno.



Fuente: Autor del proyecto.

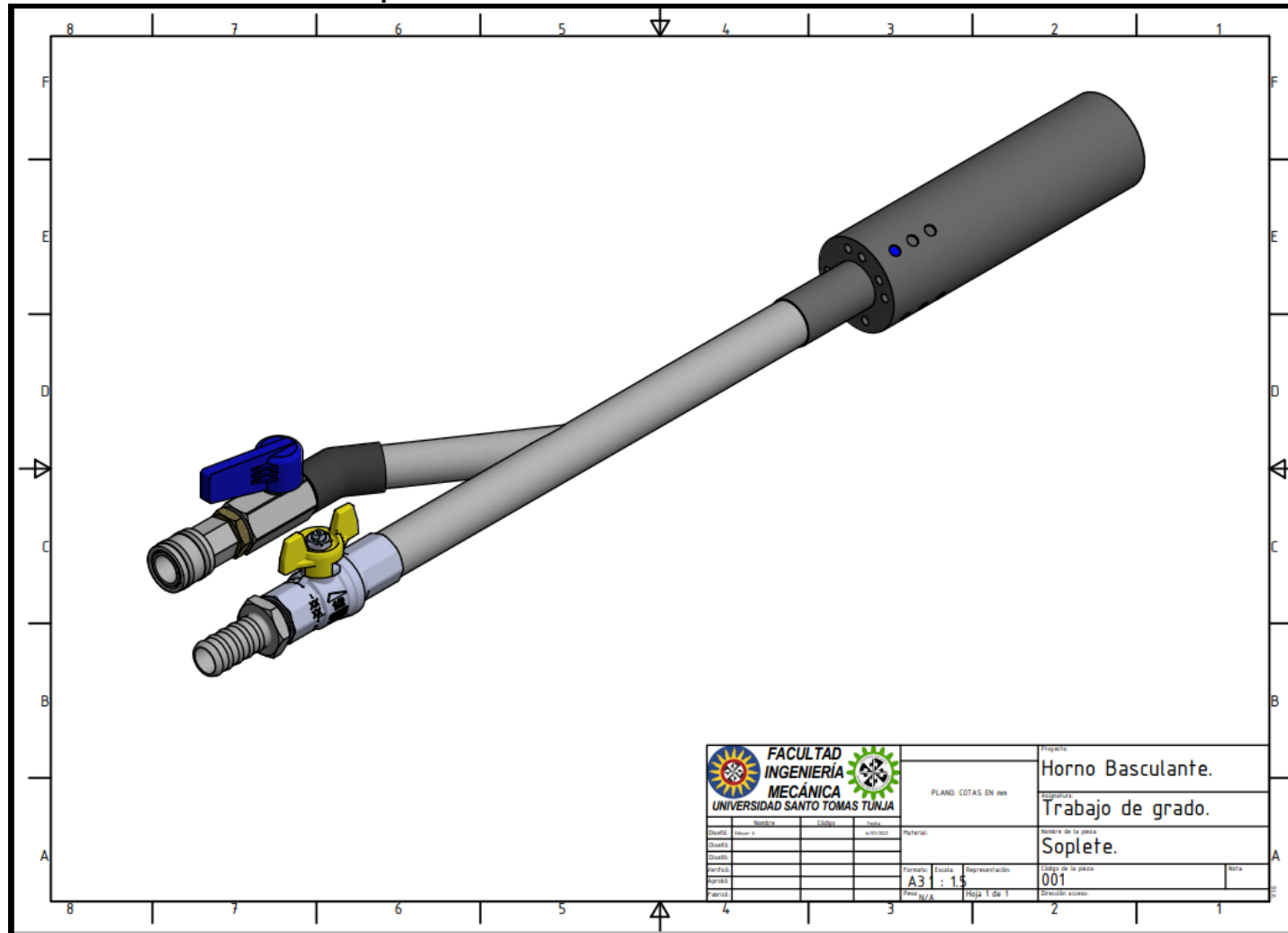
ANEXO H. Tapa de protección dos.



Fuente: Autor del proyecto.

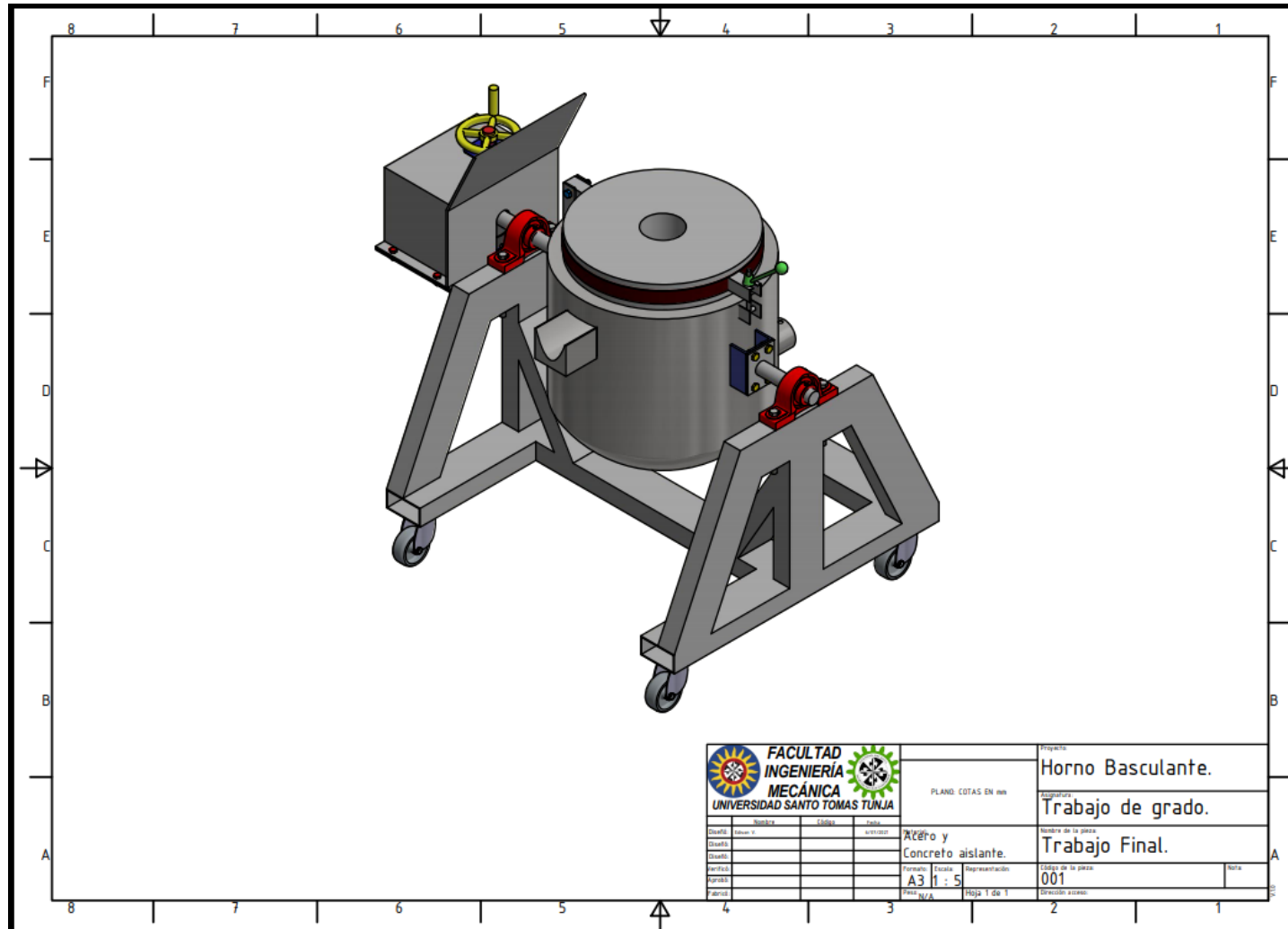
83

ANEXO J. Diseño final del soplete.



Fuente: Autor del proyecto.

ANEXO K. Diseño final del horno de fundición.



Fuente: Autor del proyecto.