

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño y construcción de un sistema para la fabricación de aleaciones no
ferrosas reforzadas con partículas cerámicas nanométricas"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Bryan Erasmo Samaniego Andrade

Edison Paul Tierra Tierra

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por darnos el placer de estar vivos y tener una vida plena junto a nuestros seres queridos y amigos cercanos.

A nuestros padres y hermanos, cuyo esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional son las razones principales por la que tenemos una vida digna y plena, sabiendo que todo logro futuro que alcancemos tiene mucho mérito de su parte como nuestro.

A nuestros familiares y amigos que han estado siempre dándonos su apoyo haciendo que nuestro camino sea mucho más fácil.

A la Doctora Ana Luisa Rivas Fermin por haber creído en nosotros y darnos la confianza plena de realizar este proyecto integrador el cual tiene gran importancia en futuros proyectos que debe realizar, por guiarnos en todo momento y apoyarnos incondicionalmente a lo largo de la realización del mismo.

Al Master Rodrigo Perugachi por su criterio y colaboración a lo largo de la realización del proyecto integrador.

Al taller de máquinas herramientas PROTMEC y sus encargados por brindarnos su experiencia en el uso de los equipos usados para realizar algunos trabajos necesarios para el desarrollo del proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

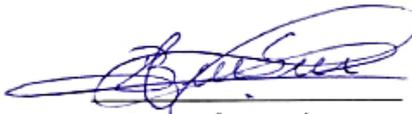
Bryan Erasmo Samaniego

Edison Paul Tierra Tierra

PhD Ana Luisa Rivas Fermin.

MSc Cesar Rodrigo Perugachi Benalcazar

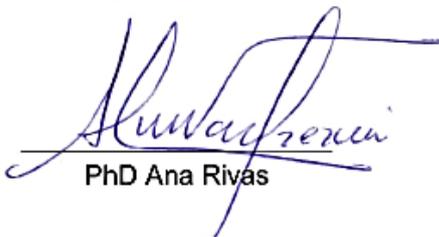
Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL (ESPOL)”.



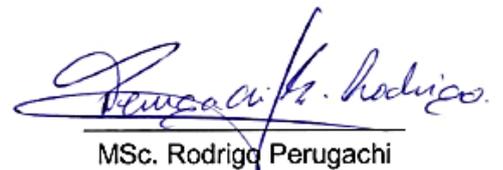
Bryan Samaniego



Edison Tierra



PhD Ana Rivas



MSc. Rodrigo Perugachi

RESUMEN

El siguiente proyecto integrador trata sobre el "**Diseño y construcción de un sistema para la fabricación de aleaciones no ferrosas reforzadas con partículas cerámicas nanométricas**". Se estableció un sistema compuesto por un horno de resistencias eléctricas tipo basculante usando un crisol de grafito como recipiente para fundir una aleación de aluminio, un inyector de partículas de refuerzo con tamaños inferiores a 100 nanómetros, las cuales deben ser inyectadas a presión dentro del metal fundido, un agitador mecánico de baño para lograr una distribución homogénea de las partículas en la matriz de la aleación, y también una estructura metálica de soporte sobre la cual se instalarán las 3 partes antes mencionadas.

El sistema proporciona 8650 vatios de potencia para lograr fundir la carga metálica, mediante 3 resistencias eléctricas con una capacidad máxima de 10000 vatios de potencia.

El agitador mecánico se compone de una hélice de 3 álabes conectada a un eje de 19 mm de diámetro y este a un motor de $\frac{1}{4}$ Hp, ubicado en la parte superior del horno sobre una viga deslizante en forma vertical lo que le permite un fácil ingreso y salida del horno.

El inyector está compuesto por una tubería circular superior de 17 mm con un orificio de placa de 1mm para lograr el efecto Venturi, que al conectarse a la sección media con aberturas circulares de 8mm en su periferia, se produzca un efecto de succión de las partículas de refuerzo ubicadas en el alimentador y fluyan a través de una tubería inferior, inyectándose dentro del metal fundido.

La estructura metálica se diseñó para que sea capaz de soportar todo el peso del horno y que este pueda ser girado con facilidad por el operador para vaciar el metal líquido, además se realizó un sistema de poleas que permita elevar la tapa del horno cuando sea necesario retirar el crisol y también para elevar o bajar una viga deslizante sobre la que descansa el agitador mecánico.

Se logró completar la construcción del cuerpo, tapas, canales para las resistencias y carcasa del horno eléctrico, además del sistema de basculación compuesto por 3 ejes de transmisión, una pareja piñón-engrane y un volante, por finalizar se tiene la construcción de la estructura metálica, el agitador de baño y el inyector de partículas. La razón para no lograr construir todo el sistema fue debido a la falta de tiempo necesario para dedicarse únicamente a construir las partes mencionadas, debido a la gran dimensión del proyecto y también a que no siempre estaban disponibles los equipos y máquinas de construcción necesarios.

Palabras Clave: horno eléctrico, resistencia eléctrica, inyector de partículas, agitador mecánico, sistema basculante.

ABSTRACT

The aim of this project is the **“Design and construction of a system for the production of no ferrous alloys strengthened with ceramic nanometric particles”**.

The system is constituted by an electric heating furnace of tilting type; this furnace has a graphite crucible for melting the aluminum alloy. It also has an injector to introduce reinforcing nanoparticles (less than 100 nanometers) which has to be injected into the molten metal. The system also has a mechanical stirrer which contributes to a homogeneous distribution of particles in the alloy matrix. All the system is supported by an external metallic structure. A power of 8650 Watts are necessary for melting the metal charge so, the system was designed with 3 electric resistances that are able to provide up to 10000 Watts. The mechanical stirrer is constituted by a three-blade propeller connected to an axis of 19mm diameter, which is connected to a 1/4 hp motor. The stirrer will be located over the top of the furnace by a sliding beam to allow the stirrer to get in and out the furnace easily. The particle injector consisted of an upper pipe of 17mm diameter with a plate orifice of 1mm diameter to reach a Venturi effect. This pipe is connected to another one of 8mm external diameter to generate a suction effect on the nanoparticles into the feeder, to transport them all the way down to the molten liquid. The external metallic structure was designed to support the furnace weight and to allow flipping the furnace and pouring down the molten alloy. The structure also has a pulley system for lifting the top of the furnace and removing the crucible. The pulley system also allows to move the sliding beam up and down for using the stirrer when needed. The system is partially completed. The furnace, top, canals for resistances and furnace case are ready. The tilting system constituted by 3 transmission axis, a pinion-gear couple and a wheel are ready too. As work to do is the construction of the metallic support system, the mechanical stirrer and the particle injector. Limitations for completing the entire system were the big dimension of this project, limited time for construction, and limited time for using the equipments and construction machines required.

Keywords: electric heating furnace, electric resistances, particle injector, mechanical stirrer, tilting system

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.1 Requerimientos.....	1
1.1.2 Restricciones	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Marco teórico	4
1.3.1 Aleaciones de aluminio.	4
1.3.2 Aleación aluminio-silicio.....	4
1.3.3 Materiales compuestos y refuerzos.....	5
1.3.3.1 Materiales compuestos.....	5
1.3.3.2 Componentes de un material compuesto	6
1.3.3.3 El material de refuerzo	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología	9
2.1 Alternativas de solución del problema	9

2.1.1	Tipos de hornos y selección de la mejor alternativa.....	9
2.1.1.1	Hornos empleados en la fundición	9
2.1.1.1.1	Hornos de combustibles.....	10
2.1.1.1.2	Hornos convertidores	11
2.1.1.1.3	Hornos Eléctricos	12
2.1.1.2	Matriz de decisión	13
2.1.2	Tipos de hornos eléctricos y selección de la mejor alternativa.....	15
2.1.2.1	Hornos eléctricos de resistencias	15
2.1.2.2	Hornos de arco eléctrico.....	16
2.1.2.3	Hornos eléctricos de inducción.....	17
2.1.2.4	Matriz de decisión	18
2.1.3	Crisoles, manejo y precauciones de uso.....	20
2.1.4	Alternativas de solución para la forma del vaciado de colada y matriz de decisión.....	23
2.1.4.1	Tipos de formas de vaciado de colada	23
2.1.4.2	Matriz de decisión	26
2.1.5	Inyector de partículas de refuerzo.....	27
2.1.6	Agitador mecánico de baño	28
2.1.7	Sistema de control de temperatura	29
2.1.7.1	Termopar o termocupla.	30
2.2	Diseño conceptual.....	31
2.3	Diseño detallado del producto	33
2.3.1	Parámetros de diseño.....	34
2.3.2	Dimensionamiento del hogar del horno.....	35
2.3.3	Análisis térmico para fundir la carga y calentarla hasta una temperatura máxima.....	36
2.3.3.1	Calor necesario (Q_1) para elevar la temperatura de 25°C a 660°C.....	36
2.3.3.2	Calor necesario (Q_2) para promover un cambio de fase del metal.....	36

2.3.3.3	Calor necesario (Q_3) para elevar la temperatura de 660°C a 1200°C.	36
2.3.3.4	Calor que absorbe el crisol de grafito (Q_4).....	36
2.3.3.5	Calor total (Q_T) que debe ser entregado por el horno para fundir el metal en el tiempo de 1 hora.	37
2.3.4	Pérdidas de calor a través de las paredes del horno a los alrededores	37
2.3.4.1	Ladrillo aislante refractario	37
2.3.4.2	Concreto refractario.....	38
2.3.4.3	Manta cerámica.....	39
2.3.4.4	Chapa metálica	39
2.3.4.5	Obtención de la mejor configuración para aislar el horno	40
2.3.5	Dimensionamiento de las paredes del horno	42
2.3.6	Pérdidas de calor a través de la tapa y base del horno.....	43
2.3.7	Dimensionamiento de la tapa y base del horno	44
2.3.7.1	Energía total necesaria considerando el proceso de fundición y pérdidas de calor	45
2.3.8	Dimensionamiento de las resistencias eléctricas	45
2.3.8.1	Diseño del elemento bobinado	48
2.3.9	Esquema del sistema eléctrico para conectar las resistencias.....	51
2.3.10	Dimensionamiento del inyector de partículas de refuerzo	53
2.3.11	Dimensionamiento del agitador mecánico para la fundición.....	55
2.3.12	Dimensionamiento de la estructura metálica de soporte del sistema	58
2.3.13	Dimensionamiento de engranes de transmisión del sistema basculante...	61
2.3.14	Dimensionamiento del eje del sistema basculante.....	66
2.3.14.1	Selección de las chavetas a utilizar en el eje de transmisión.....	77
2.3.15	Selección de los cojinetes de soporte del sistema basculante	79
2.3.16	Dimensionamiento de la soldadura en el eje de transmisión.....	80
2.3.16.1	Análisis de soldadura del ensamble soldado Eje-Platina	81

2.3.16.2	Análisis de soldadura del ensamble soldado Platina-Carcasa del horno	83
2.3.16.3	Análisis de soldadura del ensamble soldado Oreja-Carcasa del horno	85
2.3.16.3.1	Soldadura en la platina soldada a la carcasa del cuerpo	85
2.3.16.3.2	Soldadura de filete entre las platinas que componen la oreja.....	88
2.3.16.4	Selección de pernos para sujetar las orejas de soporte	90
CAPÍTULO 3		92
3.	Construcción del sistema de fundición	92
3.1	Esquema guía para construir el cuerpo del horno	92
3.2	Conformación del hogar del horno	93
3.2.1	Preparación de ladrillos para el hogar del horno	93
3.2.2	Construcción del canal de vaciado de colada	95
3.2.3	Construcción de 4 canales para las resistencias eléctricas.....	96
3.2.4	Unión de los ladrillos aislantes y canal de vaciado utilizando concreto refractario para formar el cuerpo del horno	97
3.2.5	Corte de la manta cerámica para recubrir el cuerpo del horno	98
3.3	Construcción de las carcasas metálicas para el cuerpo, base y tapa del horno ..	100
3.3.1	Proceso de corte de la chapa metálica	100
3.3.2	Proceso de preformado y rolado para dar la forma cilíndrica a las carcasas.....	101
3.3.3	Esquema guía a seguir para completar la carcasa del cuerpo del horno....	103
3.3.4	Construcción de las orejas de soporte de las carcasas del cuerpo, base y tapa del horno.....	104
3.3.4.1	Proceso de corte de las platinas que conforman las orejas de soporte.....	104

3.3.4.2	Proceso de taladrado de las platinas transversales de las orejas de soporte.....	104
3.3.4.3	Proceso de soldadura de filete entre las platinas que conforman las orejas de soporte.....	106
3.3.5	Proceso de soldadura de las orejas de soporte a la carcasa del cuerpo..	107
3.3.6	Proceso de soldadura del eje primario y secundario a la carcasa del cuerpo del horno.....	108
3.3.7	Esquema guía para construir la base de soporte	109
3.3.7.1	Construcción del esqueleto de la base de soporte.	110
3.3.7.2	Elaboración del concreto refractario para la base de soporte del horno.....	111
3.3.7.3	Instalación de la manta refractaria dentro de la base de soporte del horno.....	112
3.3.8	Esquema guía para construir la tapa del horno.....	114
3.3.8.1	Construcción de la carcasa de la tapa del horno	114
3.3.8.2	Elaboración de la capa de concreto refractario para la tapa	116
3.3.8.3	Instalación de la manta refractaria en la tapa del horno	117
3.4	Construcción del sistema basculante	118
3.4.1	Proceso de maquinado del eje principal	118
3.4.2	Construcción de los chaveteros en los ejes de transmisión	119
3.4.3	Construcción de las chavetas para los ejes de transmisión	120
3.4.4	Proceso de maquinado del piñón, engrane y volante.....	122
3.5	Ensamblado del sistema	122
3.5.1	Instalación del cuerpo del horno sobre la estructura del sistema basculante.....	122
3.5.2	Instalación del agitador mecánico de colada.....	123
3.5.3	Instalación del inyector de partículas de refuerzo	124
3.6	Análisis de costos.....	124

3.6.1	Gastos realizados en la construcción del cuerpo del horno y el sistema basculante.	124
3.6.1.1	Costo de los materiales usados en la construcción del cuerpo y carcasa del horno	124
3.6.1.2	Costos de materiales usados en la construcción del sistema basculante	125
3.6.1.3	Costos de servicios brindados por empresas particulares para construir el cuerpo, carcasa y sistema basculante	126
3.6.1.4	Gasto total de las partes que se lograron culminar.	126
3.6.2	Gastos por realizar para completar la construcción del sistema.....	127
3.6.2.1	Costo de elementos para el circuito eléctrico.	127
3.6.2.2	Costos de materiales para construir la estructura metálica.....	128
3.6.2.3	Costos de servicios de mecanizado para construir la estructura metálica.....	128
3.6.2.4	Costo de mano de obra si se contrata un particular para construir la estructura metálica.	129
3.6.2.5	Costo de materiales para construir el agitador mecánico	129
3.6.2.6	Costo de servicios de mecanizado para construir el agitador mecánico.....	130
3.6.2.7	Costo de materiales para construir el inyector de partículas.....	130
3.6.2.8	Costos de servicios de mecanizado para construir el inyector de partículas.....	130
3.6.2.9	Costo de materiales para construir el sistema de elevación del agitador y la tapa.....	131
3.6.2.10	Costo de servicios de mecanizado para el sistema de elevación.....	132
3.6.2.11	Costo de mano de obra si se contrata un particular para construir el sistema de elevación	132
3.6.2.12	Gasto total por realizar para completar la construcción del sistema.....	132

3.6.3	Costos ahorrados debido al diseño y la construcción del horno eléctrico.....	133
3.6.3.1	Costo ahorrado si el cuerpo del horno hubiera sido diseñado y construido por un particular.....	133
3.6.3.2	Costo ahorrado por el diseño y construcción del sistema basculante.....	134
3.6.3.3	Costo ahorrado por el diseño de las resistencias eléctricas y el circuito eléctrico.....	134
3.6.3.4	Costo ahorrado por el diseño de la estructura metálica.....	134
3.6.3.5	Costo ahorrado por el diseño del agitador mecánico.....	135
3.6.3.6	Costo ahorrado por el diseño del inyector de partículas.....	135
3.6.3.7	Costo ahorrado por el diseño del sistema de elevación del agitador y la tapa del horno.....	135
3.6.3.8	Costo total ahorrado por la realización de este proyecto.....	136
3.6.4	Costo neto del sistema de fundición en la industria.....	136
3.6.5	Capital invertido y capital a invertir para la finalización del proyecto.....	138
CAPÍTULO 4.....		139
4. Discusión y Conclusiones.....		139
4.1	Conclusiones.....	139
4.2	Recomendaciones.....	141
5. BIBLIOGRAFÍA.....		143
APÉNDICE A.....		146
APÉNDICE B.....		150
APÉNDICE C.....		162
APÉNDICE D.....		182
APÉNDICE E.....		184

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
RHA	Ceniza de la cascarilla de arroz
ASTM	Sociedad Americana de pruebas y materiales
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices.
AISI	Instituto Americano de Hierro y Acero
AICS	Instituto Americano de Acero de Construcción

SIMBOLOGÍA

A356	Aleación aluminio silicio
SiC _p	Partículas de Carburo de silicio
Al ₂ O ₃	Nanopartículas de Alúmina
Al (NO ₃) ₃	Nitratos de aluminio
C ₂ H ₅ NO ₂	Glicina
Nm	Nanómetro
G	Gramos
cm ³	Centímetros cúbicos
cm ²	Centímetros cuadrados
Kcal	Kilocalorías
Kg	Kilogramos
Lb	Libras
Mm	Milímetros
In	Pulgada
Ft	pies
Ω	Ohmios
Kcal	Kilocalorías
Amp	Amperios
V	voltios
W	vatios
N	Newton
Seg	segundos
°C	Grados centígrados
°K	Grados kelvin
Psi	Unidades de presión - libras por pulgada cuadrada
Pa	Unidades de presión - Pascal

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Horno de coque.....	10
Figura 2.2.- Convertidor Bessemer. a) En posición de carga; b) En posición de funcionamiento; c) En posición de colada; d) Canales de entrada de aire.....	12
Figura 2.3.- a) Horno de arco eléctrico; b) Horno de resistencia; c) Horno de inducción.	13
Figura 2.4.- a) Horno de crisol de resistencia metálica; b) Horno de cámara con resistencia metálica.....	16
Figura 2.5.- Horno de arco eléctrico para fabricar acero.....	17
Figura 2.6.- Horno de inducción.	18
Figura 2.7.- Crisol fijo más cucharón para colación.....	23
Figura 2.8.- Crisol móvil, uso de pinzas para colación.....	24
Figura 2.9.- Crisol fijo con sistema basculante	25
Figura 2.10.- Crisol con orificio y tapón de acero inoxidable.....	26
Figura 2.11.- Inyector de partículas de refuerzo	28
Figura 2.12.- Agitador mecánico.....	29
Figura 2.13.- Esquema del circuito eléctrico.....	30
Figura 2.14.- Esquema del sistema de fundición.....	33
Figura 2.15.- esquema del crisol utilizado	35
Figura 2.16: Esquema del crisol y hogar del horno.....	35
Figura 2.17: Configuración de las paredes del horno	37
Figura 2.18: Perfil de temperaturas de las paredes del horno	41
Figura 2.19: Estructura interna de la tapa y base del horno	43
Figura 2.20: Esquema del elemento bobinado apretado	49
Figura 2.21: Circuito eléctrico del horno.....	52
Figura 2.22: Sección media con aberturas circulares	54
Figura 2.23: Sección media con aberturas rectangulares.....	54
Figura 2.24: Diseño guía del inyector de partículas.....	55
Figura 2.25: Agitador mecánico.....	57
Figura 2.26: Esquema motor-viga deslizante- agitador-horno	58
Figura 2.27: Esquema de la estructura de soporte del horno basculante	59
Figura 2.28: Diseño del horno montado sobre la estructura metálica	60

Figura 2.29: Esquema del horno basculante en posición horizontal	61
Figura 2.30: Esquema torque suministrado por el volante	62
Figura 2.31: Esquema del horno modificando la distancia de giro	65
Figura 2.32: Esquema del eje del sistema basculante.....	66
Figura 2.33: Diagramas de Vector Cortante y Momento Flector en plano X-Y.....	68
Figura 2.34: Diagramas de Vector Cortante y Momento Flector en plano X-Z.....	70
Figura 2.35: Diagrama Torsión del eje.	71
Figura 2.36: Factor de superficie para ejes maquinados	73
Figura 2.37: Sección donde se produce el concentrador de esfuerzos.....	74
Figura 2.38: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t para un eje con filete de hombro en flexión.....	76
Figura 2.39: Dimensión del eje a comprar	77
Figura 2.40: Esquema de transmisión Eje-Chaveta-Engrane	77
Figura 2.41: Tipo de chumacera de piso seleccionada mediante catalogo NTN.....	79
Figura 2.42: Chumacera de piso Marca LK	80
Figura 2.43: Esquema de partes soldadas a la carcasa del horno	80
Figura 2.44: Platina de la oreja soldada a la carcasa	86
Figura 2.45: Esquema de las platinas que componen la oreja.....	88
Figura 2.46: Resistencias mínimas de tensión y cortante para perno de ½ pulgada. ...	91
Figura 3.1: Esquema guía del cuerpo del horno en corte transversal	92
Figura 3.2: Esquema guía del cuerpo del horno y sus componentes.....	93
Figura 3.3: Dimensiones de cada ladrillo aislante.....	93
Figura 3.4: Esquema a seguir en la construcción para conformar el cuerpo del horno .	94
Figura 3.5: Matriz de ladrillos que conforman el cuerpo del horno.....	95
Figura 3.6: Mecanizado del ladrillo refractario para realizar el pico del crisol	96
Figura 3.7: Mecanizado del ladrillo refractario para realizar el canal de vaciado	96
Figura 3.8: Construcción de canales para las resistencias eléctricas	97
Figura 3.9: Cuerpo cilíndrico del horno.....	98
Figura 3.10: Tamaños de pedazos de manta refractaria.	99
Figura 3.11: Pedazos de manta refractaria para recubrir al horno.....	99
Figura 3.12: Corte con plasma para la carcasa del cuerpo del horno	100
Figura 3.13: Corte con plasma para la carcasa de la tapa y base del horno.....	101
Figura 3.14: Corte con plasma para discos de la tapa y base del horno.....	101
Figura 3.15: Proceso de preformado en prensa mecánica	102

Figura 3.16: Proceso de rolado para dar la forma cilíndrica	102
Figura 3.17: Carcasa de la tapa y base del horno	103
Figura 3.18: Esquema guía para construcción de la carcasa del horno.....	103
Figura 3.19: Proceso de corte de las platinas para las orejas de soporte	104
Figura 3.20: Proceso de taladrado en las platinas que conforman las orejas	105
Figura 3.21: Canal realizado en las platinas transversales de las orejas de soporte ..	106
Figura 3.22: Cordón de soldadura realizado en las orejas de soporte	106
Figura 3.23: Orejas de soporte soldadas a la carcasa del cuerpo del horno.....	107
Figura 3.24: Buena penetración del cordón de soldadura	108
Figura 3.25: Esquema de cordones de soldadura a realizar en los ejes primario y secundario.	109
Figura 3.26: Esquema guía para la construcción de la base de soporte del horno	109
Figura 3.27: Soldadura a tope del cilindro rolado de la base de soporte	110
Figura 3.28: Colocación de varillas corrugadas para el mallado	111
Figura 3.29: Mallado soldado en la carcasa	111
Figura 3.30: Preparación de la mezcla de concreto y vertido en la carcasa	112
Figura 3.31: Instalación de manta refractaria dentro de la base de soporte	113
Figura 3.32: Base de soporte del horno.....	113
Figura 3.33: Esquema guía para la construcción de la tapa del horno	114
Figura 3.34: Esquema guía para construir la carcasa de la tapa	115
Figura 3.35: Mallado de varillas corrugadas en la tapa del horno	115
Figura 3.36: Esquema guía para la elaboración del concreto refractario en la tapa....	116
Figura 3.37: Concreto refractario de la tapa del horno.....	117
Figura 3.38: Instalación de la manta refractaria en la tapa del horno.....	117
Figura 3.39: Tapa del horno	118
Figura 3.40: Proceso de maquinado del eje del sistema basculante	119
Figura 3.41: Construcción de los chaveteros en los ejes de transmisión	120
Figura 3.42: Construcción de las chavetas.....	121
Figura 3.43: Chavetas estándar.	121
Figura 3.44: Maquinado de piñón, engrane y volante	122
Figura 3.45: Instalación del cuerpo del horno sobre la estructura de soporte	123
Figura 3.46: Instalación del agitador mecánico sobre la viga deslizante.....	123
Figura 3.47: Instalación del inyector de partículas sobre el horno	124
Figura 5.1: Esquema de resistencias analógicas en las paredes del horno.....	151

Figura 5.2: Esquema de resistencias analógicas en las tapas del horno 157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Combinaciones posibles de materiales compuestos de dos constituyentes...	7
Tabla 2.1: Principales tipos de combustible usados en la fundición	11
Tabla 2.2: Criterios de diseño utilizados para selección del tipo de horno	14
Tabla 2.3: Criterios de diseño utilizados para la selección del tipo de horno eléctrico. .	19
Tabla 2.4: Formas comunes de crisoles para fundir metales.....	21
Tabla 2.5: Manejo general recomendable para crisoles	22
Tabla 2.6: Criterios de diseño utilizados en la selección de la forma de vaciado de colada	26
Tabla 2.7: Tipos de termopares.....	31
Tabla 2.8: Propiedades del aluminio puro	34
Tabla 2.9: Características del crisol utilizado.....	34
Tabla 2.10: Propiedades térmicas del ladrillo aislante.....	38
Tabla 2.11: Propiedades técnicas del concreto refractario	38
Tabla 2.12: Propiedades técnicas de la manta cerámica.....	39
Tabla 2.13: Propiedades técnicas de la chapa metálica	40
Tabla 2.14: Dimensiones y temperaturas de la pared cilíndrica del horno	42
Tabla 2.15: Dimensiones y temperaturas de las paredes del horno	43
Tabla 2.16: Dimensiones y temperaturas de la tapa y base del horno.....	44
Tabla 2.17: Dimensiones y temperaturas de la base y tapa del horno.....	45
Tabla 2.18: Energía total necesaria que se debe suministrar	45
Tabla 2.19: Propiedades mecánicas del alambre Kanthal A-1.....	46
Tabla 2.20: Parámetros de operación a considerar en el diseño de las resistencias ...	47
Tabla 2.21: Parámetros de diseño para construir las resistencias eléctricas	51
Tabla 2.22: Dimensiones del volante comprado	62
Tabla 2.23: Dimensiones del piñón-engrane	64
Tabla 2.24: Dimensiones del piñón-engrane adquiridos en el mercado local	64
Tabla 2.25: Propiedades del acero 1020.....	71
Tabla 2.26: Factores de confiabilidad.....	73
Tabla 2.27: Constante de Neuber para aceros.....	75
Tabla 2.28: Dimensiones de la chaveta seleccionada	78
Tabla 2.29: Chavetas estándar en medidas métricas para ejes de transmisión	78
Tabla 2.30: Dimensiones de las chavetas a construir.....	79

Tabla 2.31: Dimensión de platinas rectangulares que componen las orejas de soporte	85
Tabla 2.32: Tamaños mínimos de soldadura en filetes recomendados	90
Tabla 3.1: Costo de materiales usados en la construcción del cuerpo y carcasa del horno.....	125
Tabla 3.2: Costo de materiales usados en la construcción del sistema basculante	125
Tabla 3.3: Costo de servicios para construir la carcasa y el sistema basculante.	126
Tabla 3.4: Costo total de las partes construidas.	126
Tabla 3.5: Costo de materiales eléctricos.....	127
Tabla 3.6: Costo de materiales para construir la estructura metálica.....	128
Tabla 3.7: Costos de servicios de mecanizado.....	128
Tabla 3.8: Costo de mano de obra para construir la estructura.	129
Tabla 3.9: Costo de materiales para construir el agitador mecánico.....	129
Tabla 3.10: Costos de servicios particulares para construir el agitador mecánico.	130
Tabla 3.11: Costos de materiales para el inyector de partículas.....	130
Tabla 3.12: Costos de servicios de mecanizado para construir el inyector de partículas	131
Tabla 3.13: Costos de materiales para el sistema de elevación	131
Tabla 3.14: Costos de servicio de mecanizado para construir el sistema de elevación	132
Tabla 3.15: Costo de mano de obra para construir el sistema de elevación	132
Tabla 3.16: Gasto total para completar la construcción del sistema	133
Tabla 3.17: Costos ahorrados por diseño y construcción del cuerpo del horno	133
Tabla 3.18: Costos ahorrados por diseño y construcción del sistema basculante	134
Tabla 3.19: Costo ahorrado por el diseño del circuito eléctrico.....	134
Tabla 3.20: Costo ahorrado por el diseño de la estructura metálica	135
Tabla 3.21: Costo ahorrado por diseño del agitador mecánico	135
Tabla 3.22: Costo ahorrado por diseño del inyector de partículas	135
Tabla 3.23: Costo ahorrado por diseño del sistema de elevación.....	136
Tabla 3.24: Ahorro total logrado en la realización del presente proyecto.....	136
Tabla 3.25: Costo neto que el sistema de fundición adquiere en la industria.....	137
Tabla 3.26: Capital gastado hasta el momento y capital necesario para completar la construcción de las partes faltantes.	138
Tabla 5.1: Rangos de calificación utilizados en las matrices de decisión	146

Tabla 5.2: Matriz de decisión para la selección del tipo de horno	147
Tabla 5.3: Matriz de decisión para la selección del tipo de horno eléctrico.	148
Tabla 5.4: Matriz de decisión para la selección en la forma de vaciado de colada	149
Tabla 5.5: Ecuaciones para la obtención del flujo de calor	150
Tabla 5.6: Propiedades del aire con temperatura de película de 335.5°K.	152
Tabla 5.7: Resultados del proceso iterativo para encontrar la temperatura de superficie del horno	156
Tabla 5.8: Resultados del proceso iterativo para encontrar la temperatura de superficie en las tapas del horno	161

ÍNDICE DE PLANOS

Plano Esquemático C 1: Dimensiones de las paredes del horno.....	162
Plano Esquemático C 2: Dimensiones de la base y tapa del horno	162
Plano esquemático C 3: Dimensiones de los ejes de transmisión	162
Plano Esquemático C 4: Dimensiones de la pareja piñon-engrane	162
Plano Esquemático C 5: Dimensiones de las chavetas	162
Plano Esquemático C 6: Dimensiones del volante	162
Plano esquemático C 7: Dimensiones de las orejas de soporte	162
Plano esquemático C 8: Dimensiones de la tubería superior del inyector de partículas	162
Plano esquemático C 9: Dimensiones del alimentador de partículas.....	162
Plano esquemático C 10: Dimensiones de la sección media con aberturas circulares	162
Plano esquemático C 11: Dimensiones de la tubería inferior del inyector de partículas	162
Plano esquemático C 12: Dimensiones del eje para el agitador mecánico.....	162
Plano esquemático C 13: Dimensiones de la hélice de 3 alabes	162
Plano esquemático C 14: Dimensiones de la estructura metálica	162
Plano esquemático C 15: Diseño guía del sistema de poleas sobre la estructura.	162
Plano esquemático C 16: Dimensiones de los canales para las resistencias eléctricas	162

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Los laboratorios de materiales de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción presentan algunas carencias de equipos para prácticas de fundición orientadas a la fabricación de aleaciones. Por tanto, el presente proyecto plantea el diseño y construcción de un sistema de fundición, cuyo fin es utilizarlo inicialmente en la elaboración de un material compuesto de una aleación de aluminio silicio reforzado con un material cerámico, para aplicaciones en la industria automotriz. No obstante, su uso puede ser extendido a la fabricación de otro tipo de aleaciones no ferrosas y tratamientos térmicos.

1.1.1 Requerimientos

Se requiere diseñar un sistema capaz de realizar la fundición de la aleación de aluminio silicio A356 (7% Si-0,4Mg) y que permita mediante un proceso de inyección, adicionar partículas de refuerzo como la sílice (SiO_2) proveniente de la cascarilla de arroz (RHA) obtenida por procesos de calcinación, y también Nanopartículas de alúmina (Al_2O_3) con tamaños inferiores a 100 nm en proporciones variables obtenidas por medio de la disociación de nitratos de aluminio [$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$] en combinación de glicina ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$) usada como combustible. Por otra parte, el horno debe contar con un sistema de agitación del baño que garantice una distribución homogénea de las partículas de refuerzo en la matriz de la aleación.

1.1.2 Restricciones

Se limita el diseño del horno para una carga de aluminio de 6 kg, debido a que este sistema de fundición está previsto que sea usado para propósitos de investigación y prácticas de laboratorio a pequeña escala. Adicionalmente, debe proveer facilidades para realizar experimentos a condiciones variadas, dependiendo de los propósitos de las actividades planificadas.

Para lograr un proceso controlado libre de contaminación de los componentes del horno con el que estará en contacto el metal líquido, se debe cumplir lo siguiente:

- a) El material del crisol debe tener una alta temperatura de fusión, mucho mayor que la del metal a fundir, resistente al ataque químico y, además, debe tener una excelente resistencia en caliente.
- b) El diseño del sistema debe garantizar pérdidas mínimas de calor para reducir gastos de energía y mantener la temperatura del baño constante, por lo tanto, se deben utilizar materiales refractarios y aislantes térmicos para recubrir internamente el horno.
- c) El sistema de control de temperatura de la fundición debe ser de bajo costo, con variación de temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y cuya construcción se pueda realizar con los conocimientos básicos de electrónica adquiridos durante la carrera. Adicionalmente, se debe decidir qué tipo de energía de alimentación es la más viable para el desarrollo del proyecto.
- d) La forma de vaciado de colada debe garantizar una operación de colada fácil y segura para el operador a fin de evitar cualquier tipo de accidentes.
- e) El horno debe constar de una tapa rotativa o manual la cual cierra el hogar y ajusta al crisol dejándolo fijo, por lo tanto, la tapa debe ser diseñada de tal forma que se asegure al cuerpo y pueda ser levantada con facilidad cuando sea necesario remover el crisol o ingresar nuevo material para fundir. La tapa también debe tener una apertura central por la cual pase el agitador del baño, y dos aperturas de menor tamaño por las cuales pasen el inyector de partículas de refuerzo y la termocupla.
- f) El sistema de agitación de colada debe ser práctico y efectivo para lograr la mejor distribución de las partículas de refuerzo en la matriz.

- g) El sistema de inyección de las partículas cerámicas debe ser de fácil operación y no permitir que las partículas queden adheridas a las paredes del distribuidor, por lo que deben ser introducidas mediante inyección utilizando gas a presión, siendo el argón la primera opción. Este gas a su vez actuaría como removedor del oxígeno del baño para evitar la formación de partículas de óxidos que actúan como agentes contaminantes del material.
- h) Todos los componentes que conforman el sistema deben estar encofrados dentro de una estructura metálica, que los recubre de tal forma que el conjunto global sea compacto, fácil de transportar, fácil de ensamblar, y que el mantenimiento sea simple de realizar ante cualquier falla que pueda ocurrir. Además, siempre se debe buscar la forma más económica y factible en cuestión de disponibilidad de materiales en el mercado nacional para el desarrollo del proyecto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El proyecto tiene como objetivo general construir un sistema para la fabricación de aleaciones y materiales compuestos no ferrosos reforzados con partículas cerámicas para la obtención de materiales de alta resistencia mecánica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las variables del proceso que involucran la fundición del aluminio para consideraciones de diseño.
- Realizar el diseño del tipo de horno más recomendable y su estructura de soporte en base a las variables de proceso identificadas.
- Diseñar un inyector de partículas cerámicas de refuerzo en base a los requerimientos y restricciones dados.
- Diseñar el agitador mecánico para la distribución homogénea de las partículas de refuerzo.

- Seleccionar un sistema de control automático de temperatura cuyo rango de variación no sea superior a $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Analizar los costos del sistema de fundición para evaluar su viabilidad económica.
- Construir y probar el sistema para los ajustes finales.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Aleaciones de aluminio.

La combinación única de propiedades que presentan el aluminio y sus aleaciones, hacen de este material uno de los más versátiles, económicos y atractivos para una amplia gama de usos y aplicaciones. Las aleaciones de aluminio ocupan el segundo lugar (con respecto a los aceros) en los materiales que se utilizan con fines estructurales. Tienen una densidad de sólo $2,7 \text{ g/cm}^3$ (aproximadamente un tercio del acero). Este peso tan leve, junto con la alta resistencia en algunas aleaciones de aluminio (próxima o similar a la de algunos aceros estructurales), permite la construcción de estructuras ligeras y resistentes, particularmente ventajosas en vehículos espaciales, aviones, y en todo tipo de vehículos terrestres y náuticos. (Maffia, 2013)

1.3.2 Aleación aluminio-silicio.

El silicio es el elemento de aleación que, literalmente, hace posible la viabilidad comercial de la industria de la fundición de aluminio de grandes volúmenes. (Maffia, 2013).

La mayoría de las composiciones comúnmente utilizadas en todos los procesos de fundición son los de la familia de aluminio-silicio, que están en un rango de hasta el 25% de silicio. El silicio permite el aumento de la fluidez, reduciendo formación de grietas y produciendo una notable mejora en la alimentación de las piezas conjuntamente con una disminución en la contracción (rechupes). (Lisintuña, 2012)

1.3.3 Materiales compuestos y refuerzos.

1.3.3.1 Materiales compuestos

Un material compuesto es un sistema de materiales constituido por dos o más fases distintas físicamente, cuya combinación produce propiedades agregadas diferentes de las de sus componentes. El interés tecnológico y comercial de los materiales compuestos proviene del hecho de que sus propiedades no sólo son distintas de las de sus componentes, sino que con frecuencia son mucho mejores.

Algunas de las posibilidades incluyen las siguientes:

- Es posible diseñar compuestos que sean muy fuertes y rígidos, pero de peso muy ligero, lo que les da relaciones resistencia-peso y rigidez-peso varias veces mayores que las del acero o el aluminio. Estas propiedades son muy deseables para aplicaciones que van de la aviación comercial al equipo deportivo.
- Sus propiedades de fatiga por lo general son mejores que las de los metales comunes de ingeniería, combinado con una buena tenacidad.
- Se pueden diseñar compuestos que no se corroan como el acero; esto es importante en los automóviles y otras aplicaciones.
- Con los materiales compuestos es posible obtener combinaciones de propiedades que no son alcanzables con los metales, cerámicos o polímeros.
- Con ciertos materiales compuestos es posible obtener superficies de mejor apariencia y control de su suavidad.

Junto con las ventajas, hay desventajas y limitaciones asociadas con los materiales compuestos, podemos concluir que:

1) Las propiedades de muchos materiales compuestos importantes son anisotrópicas, lo que significa que difieren de acuerdo con la dirección en que se miden; 2) muchos de los compuestos basados en polímeros son susceptibles al ataque químico o de solventes, igual que los polímeros en sí; 3) por lo general, los materiales compuestos son caros, aunque sus precios disminuyen conforme aumenta el volumen y 4) algunos de los métodos de manufactura para dar forma a los materiales compuestos son lentos y costosos. (P.Groover, 2007)

1.3.3.2 Componentes de un material compuesto

Un material compuesto consiste en dos fases: una primaria y otra secundaria. La fase primaria forma la matriz en la que se encuentra agregada la fase secundaria. En ocasiones a la fase secundaria se le denomina agente reforzador porque por lo general deriva en un incremento en la resistencia mecánica del compuesto. La fase reforzadora puede agregarse en forma de fibras, partículas, entre otras. Generalmente, las fases son insolubles una en la otra, pero puede haber gran adhesividad en la interfaz.

La fase de la matriz es cualquiera de los tres tipos básicos de materiales: polímeros, metales o cerámicos. La fase secundaria también es uno de los tres materiales básicos, o un elemento como el carbono o el boro. El material de la matriz desempeña varias funciones en el compuesto. En primer lugar, proporciona la forma general de la pieza o producto hecho del material compuesto. En segundo, mantiene la fase agregada en su lugar, por lo general la encierra y con frecuencia la oculta. En tercer lugar, cuando se aplica una carga, la matriz comparte la carga con la fase secundaria, y en ciertos casos se deforma de modo que toda la fuerza la soporta el agente reforzador. (P.Groover, 2007)

En la Tabla 1.1 se pueden observar las posibles combinaciones de materiales compuestos por dos constituyentes.

Tabla 1.1: Combinaciones posibles de materiales compuestos de dos constituyentes.

Fase secundaria (refuerzo)	Fase primaria (matriz)		
	Metal	Cerámico	Polímero
Metal	Piezas con polvo metálico infiltradas con un segundo metal	NA	Compuestos de plástico moldeado Llantas radiales con cinturones de acero
Cerámico	Cermets*	Al ₂ O ₃ reforzado con filamentos de SiC	Compuestos de plástico moldeado Plástico reforzado con fibras de vidrio
Polímero	Piezas con polvo metálico impregnadas con polímero	NA	Compuestos de plástico moldeado Epóxico reforzado con Kevlar
Elementos (C.B)	Metales reforzados con fibras	NA	Caucho con negro de humo Plástico reforzado con fibra B o C
NA= no se aplica actualmente			
* Los cerments incluyen carburos cementados			

Fuente: (P.Groover, 2007)

1.3.3.3 El material de refuerzo

Es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz, o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra. Los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras. En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de

poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes. (Stupenengo, 2011)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Alternativas de solución del problema

Para el sistema de fundición planteado, primero es necesario decidir la forma de energía más favorable para cumplir con los propósitos del proyecto, teniendo en cuenta principalmente el costo y la contaminación ambiental. Posteriormente es necesario decidir la mejor forma de distribución de energía en el hogar del horno para que existan condiciones de fundición homogéneas de la aleación. Para ello, es importante considerar el material del contenedor o crisol dentro del cual debe fundirse la aleación, la no contaminación del baño por efecto de posibles desprendimientos de partículas de la superficie del crisol, y es muy importante además que el crisol soporte las altas temperaturas a las que es sometido.

Por último, el equipo debe tener una forma de vertido del metal líquido adecuada, la cual brinde seguridad al operador al momento de vaciar la fundición de alta temperatura y además sea de fácil operatividad o manejo para reducir esfuerzos innecesarios. La primera decisión importante para comenzar a conformar el sistema de fundición es decidir cuál es el tipo de horno más adecuado o recomendable para fundir aleaciones de aluminio, en este caso la A356 y aleaciones no ferrosas en general.

2.1.1 Tipos de hornos y selección de la mejor alternativa.

2.1.1.1 Hornos empleados en la fundición

El objetivo de los hornos de fundición es el de proporcionar al metal calor necesario para fundirlo y recalentarlo hasta el punto de que adquiera la fluidez necesaria para colarlo en un molde y adoptar su forma. Los hornos se pueden dividir en tres clases:

2.1.1.1 Hornos de combustibles

Las fuentes de calor, en estos hornos, son los combustibles sólidos, líquidos o a gas. La temperatura máxima se obtiene cuando la combustión es completa. Cada tipo de combustible tiene una particular temperatura teórica de la llama y esta, en cada caso debe ser superior al punto de fusión del metal que hay que fundir. (Capello, 1974).

Se puede observar en la Figura 2.1 el esquema de un horno que usa coque como combustible y mediante un ventilador se suministra aire para mejorar la combustión, dentro de la cámara de combustión se encuentra una estructura con forma de marmita o crisol en el que se funde el metal, la quema de combustible fuera del crisol genera el calor que pasa a través del mismo hasta la carga metálica, los gases de combustión son evacuados por la chimenea y las cenizas caen en el cenicero. El interior de la cámara de combustión debe ser en lo más posible cilíndrico para permitir una distribución uniforme de calor.

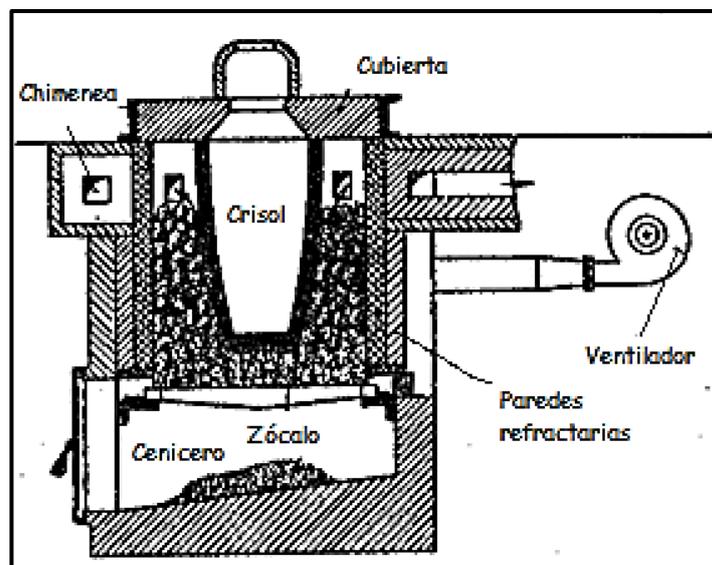


Figura 2.1.- Horno de coque.

Fuente: (Capello, 1974)

Se puede observar en la Tabla 2.1 los diferentes tipos de combustibles usados en la fundición.

Tabla 2.1: Principales tipos de combustible usados en la fundición

Combustible	Tipo	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Sólido	Leña	3800
	Carbón mineral	4000 a 6000
	Coque de fundición	6200 a 7500
	Coque de petróleo	8000
	Carbón vegetal	6500 a 7000
Líquido	Gasolina	10200
	Petróleo diésel	11000 Kcal/litro
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
	Petróleo-Fuel-Oil	9820
	- OC4	10000
Gaseoso	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	Metano	8500

Fuente: (Ordoñez)

El flujo de calor puede ser natural o forzado mediante el uso de un ventilador pequeño el cual puede trabajar a presiones de 50 a 75 mm H₂O, para controlar mejor el calor y la atmosfera del horno. (Calvo, 2016)

2.1.1.1.2 Hornos convertidores

Este tipo de horno está basado en la idea de soplar aire a través del arrabio líquido para oxidar las impurezas tales como el carbono, silicio y manganeso, cuya combustión suministra el calor suficiente para la conversión del arrabio líquido. Su principal uso es para fundiciones de hierro. Las principales características que presenta es tener una alta capacidad de producción, además, como la elevación de temperatura se logra a partir del desprendimiento de

calor del proceso de oxidación no se necesita de combustible, como desventaja se enfatiza que es difícil regular el proceso de fusión, así como existe grandes pérdidas del material al quemarse. (Capello, 1974). En la Figura 2.2 se puede apreciar la secuencia del tratamiento Bessemer.

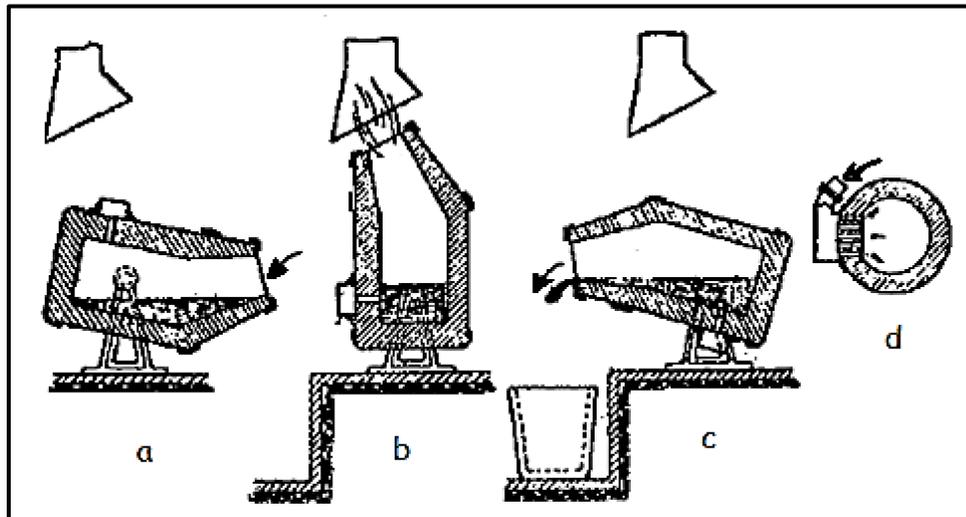


Figura 2.2.- Convertidor Bessemer. a) En posición de carga; b) En posición de funcionamiento; c) En posición de colada; d) Canales de entrada de aire

Fuente: (Capello, 1974)

2.1.1.1.3 Hornos Eléctricos

Existen diferentes configuraciones para construir un horno eléctrico dependiendo del tipo de trabajo que se requiera realizar, este tipo de horno se utiliza actualmente en fundiciones que trabajan con aleaciones ligeras porque en el mismo se puede regular automáticamente la temperatura necesaria de trabajo. (Industrias)

Existen tres tipos de hornos eléctricos:

- Hornos de Resistencia
- Hornos de inducción
- Hornos de arco eléctrico

Entre sus ventajas está el poder controlar los niveles de temperatura de una manera exacta, no presenta contaminación en comparación con los hornos de combustión, no tiene pérdidas de energía al realizar la conversión de electricidad en calor ya que el coeficiente es prácticamente 100% y además este tipo de hornos presenta facilidad de obtención de altas temperaturas difíciles de conseguir económicamente en otros hornos. (Ordoñez)

En la Figura 2.3 se puede apreciar los tipos de hornos eléctricos.

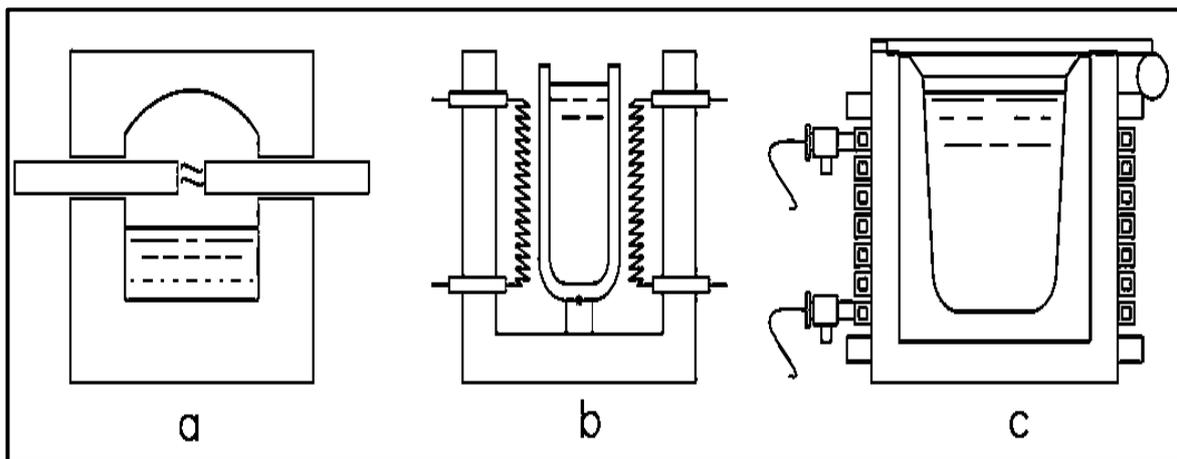


Figura 2.3.- a) Horno de arco eléctrico; b) Horno de resistencia; c) Horno de inducción.

Fuente: (Capello, 1974)

2.1.1.2 Matriz de decisión

Para poder seleccionar la mejor alternativa de solución se realiza una matriz de decisión, la cual permite encontrar que tipo de horno posee la valoración más alta en función de ciertos criterios de diseño, estos criterios obtienen una calificación comparativa entre los diferentes tipos de hornos, categorizándolas en orden de jerarquías para establecer la que presenta la mayor calificación y así escoger la alternativa más viable. Se puede observar en la Tabla 2.2 los criterios de diseño a utilizar junto con su descripción.

Tabla 2.2: Criterios de diseño utilizados para selección del tipo de horno

Criterios	Descripción
Costo fabricación	Se considera el costo total que representan todos los componentes que conforman el horno
Pureza de la fundición	Se refiere a la existencia de elementos contaminantes presentes en el proceso.
Seguridad	Considera el riesgo al que se somete el operador durante el proceso.
Disponibilidad de fuente de energía	Considera la problemática entre el gasto de energía disponible y su reabastecimiento.
Disponibilidad de materiales	Considera la facilidad de obtención de los materiales de construcción en el país.
Operatividad	Se refiere a la facilidad con la que cualquier persona pueda operar el horno.
Eficiencia	Se refiere a la máxima generación posible de calor que produce la fuente de energía utilizada.
Control de proceso (temperatura)	Se refiere a la exactitud con la que se puede controlar la temperatura y la entrada de energía durante el proceso de fundición.
Capacidad de producción	Considera las cantidades de material que se pueden fundir para cada tipo de horno dependiendo de su tamaño.
Tamaño o robustez.	Se refiere a la cantidad de espacio que se tenga que ocupar al construir el equipo.
Mantenimiento	Se refiere a la facilidad de limpieza, reparación y cambios de elementos defectuosos.

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La tabla de valoración usada para calificar los criterios de diseño y la matriz de decisión que otorga la mejor solución, se pueden encontrar en la sección de anexos apéndice A. Estas serían la Tabla 4.1 y la Tabla 4.2
- ❖ La alternativa de solución que obtuvo la calificación más alta fue el **Horno tipo eléctrico**, por lo tanto, se procede a encontrar cual es la mejor alternativa de solución entre los distintos tipos de hornos eléctricos usados en la industria metalúrgica.

2.1.2 Tipos de hornos eléctricos y selección de la mejor alternativa.

2.1.2.1 Hornos eléctricos de resistencias

Los hornos industriales de resistencias son aquellos en que la energía requerida para su calentamiento es originada por la corriente que recorre los hilos (resistencias) o también conocido como efecto Joule cediendo calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor, las resistencias son hechas de aleaciones múltiples especiales o de grafito envueltas en espiral o dobladas en forma de "S", esto con el fin de que puedan desarrollar la máxima longitud en el mínimo espacio.

La temperatura máxima que pueden alcanzar las resistencias para un trabajo continuo se encuentra entre los 1000 y 1300 °C, de aquí la facilidad para fundir aluminio, magnesio, zinc y aleaciones derivadas cuyo punto de fusión oscila entre los 400 a 700 °C. Las salpicaduras del metal líquido y los vapores de sales fundidas empleadas en la refusión oxidan a la larga las espirales por lo tanto cada cierto tiempo tendrán que ser cambiadas. (Capello, 1974)

La distribución uniforme de las resistencias metálicas en todo el hogar del horno específicamente incrustadas en las paredes de los materiales refractarios permite que toda la carga metálica reciba homogéneamente el calor necesario para lograr su completa fundición, además para su construcción se dispone localmente de todos los materiales necesarios y a precios accesibles.

En la Figura 2.4 se pueden observar dos esquemas de hornos de resistencias metálicas. (Capello, 1974)

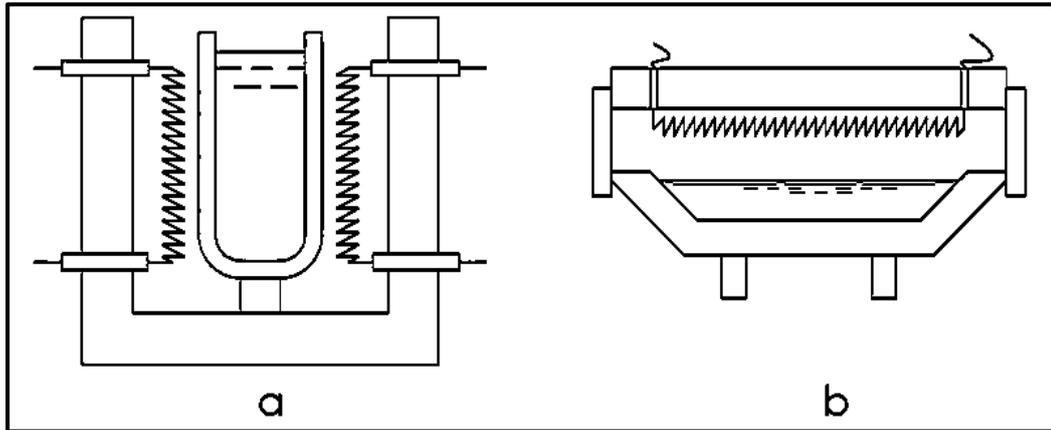


Figura 2.4.- a) Horno de crisol de resistencia metálica; b) Horno de cámara con resistencia metálica

Fuente: (Capello, 1974)

2.1.2.2 Hornos de arco eléctrico

En este tipo de horno, la carga se funde debido al calor generado por un arco eléctrico. Existen varias configuraciones, con dos o tres electrodos. El consumo de energía es alto, pero los hornos eléctricos se diseñan para que tengan capacidad alta de fundición (23 000 a 45 000 kg/h, o 25 a 50 ton/h), y se usan sobre todo para fundir acero. (P.Groover, 2007)

Su construcción se considera compleja debido a que es necesario un sistema mecánico o hidráulico para levantar los brazos porta electrodos que sostienen las varillas de cobre que llevan la corriente a las bridas de bronce y estas a los electrodos, además las bridas deben calibrarse de forma que puedan resistir la intensidad de corriente generada por el transformador sin calentarse en exceso, también es necesario un regulador automático que permita la absorción de una potencia constante y elimine las variaciones bruscas de corriente.

Estos sistemas por lo tanto complican aún más la construcción de un sistema de fundición que en lo más posible se desea que sea simple y económico. (Capello, 1974)

En la Figura 2.5 se puede apreciar un esquema de un horno de arco eléctrico usado en la fundición de acero.

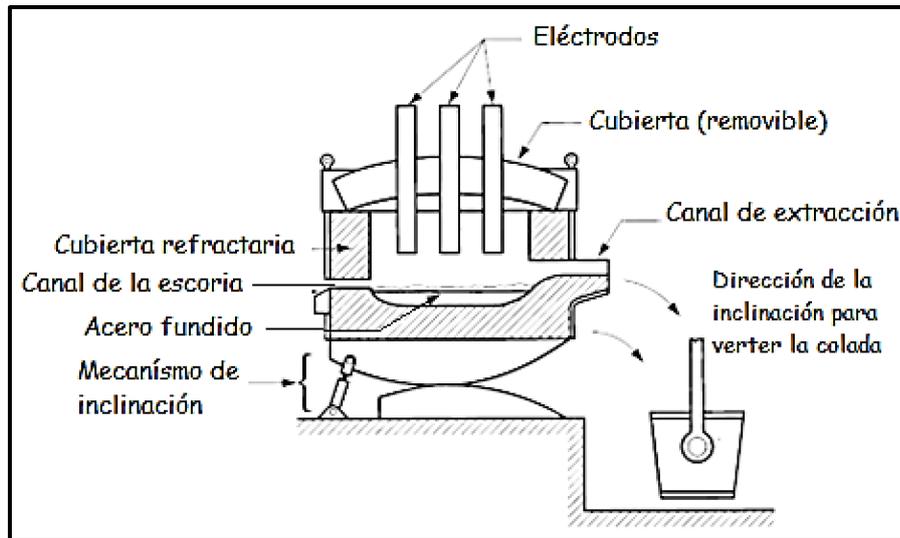


Figura 2.5.- Horno de arco eléctrico para fabricar acero.

Fuente: (P.Groover, 2007)

2.1.2.3 Hornos eléctricos de inducción

Un horno de inducción emplea corriente alterna que pasa a través de una bobina para desarrollar un campo magnético en el metal, y la corriente inducida que ocasiona el calentamiento rápido y la fundición del metal. El campo de fuerza electromagnética hace que ocurra una acción mezcladora en el metal líquido. Asimismo, como el metal no entra en contacto directo con los elementos calientes, el ambiente en que tiene lugar se puede controlar de cerca. Todo esto da como resultado metales fundidos de calidad y pureza altas, y los hornos de inducción se emplean para casi cualquier aleación cuando esos requerimientos son importantes. En el trabajo de fundición son comunes las aplicaciones de fundir aleaciones de acero, hierro y aluminio. (P.Groover, 2007)

Su construcción implica un diseño complejo debido a que su parte principal es una bobina electromagnética la cual debe generar un campo uniforme para que mediante el efecto Joule que se produce

exista una transferencia de calor uniforme en la carga metálica, la construcción de esta bobina sería muy difícil de lograr y si se plantea comprarla no existe disponibilidad en el país. Estos factores implican un alto costo de inversión de capital comparado con los otros tipos de hornos eléctricos analizados anteriormente, por lo tanto, esta alternativa no se considera viable para el desarrollo del proyecto actual. La Figura 2.6 muestra un esquema de un horno de inducción.

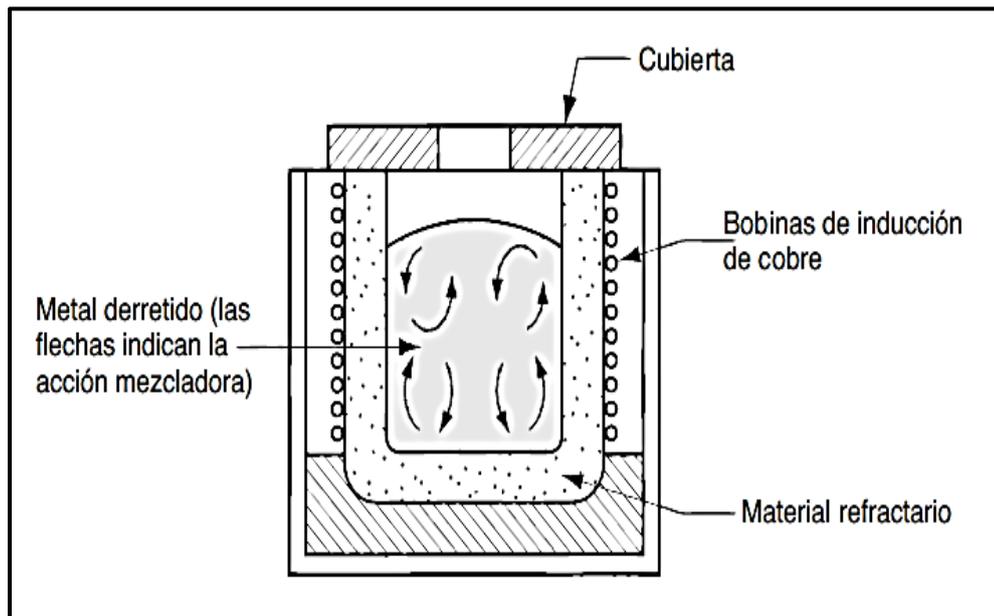


Figura 2.6.- Horno de inducción.

Fuente: (P.Groover, 2007)

2.1.2.4 Matriz de decisión

Para corroborar cual es la mejor alternativa del tipo de horno eléctrico para el proyecto en desarrollo, se tienen en cuenta ciertos criterios de diseño, los cuales se describen en la Tabla 2.3 para una mejor comprensión del porqué de su uso.

Tabla 2.3: Criterios de diseño utilizados para la selección del tipo de horno eléctrico.

Criterios	Descripción
Costo fabricación	Se enfatiza más en el costo de los elementos cuya función es la generación de calor para el proceso de fundición.
Disponibilidad de materiales	Considera la facilidad de obtención de los materiales de construcción en el país, principalmente los elementos generadores de calor.
Facilidad de diseño y construcción	Considera el nivel de complejidad que se tiene para encontrar el dimensionamiento y lograr un desempeño óptimo.
Uso en función del rango de temperatura del proceso	Se refiere al rango de temperatura en el cual se recomienda que trabaje cada tipo de horno eléctrico.
Mantenimiento	Se refiere a la facilidad de reparación, obtención de repuestos de los elementos de generación de calor y elementos del sistema de control de temperatura.
Seguridad	Considera el riesgo eléctrico al que se somete el operador durante el proceso de fundición.

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La matriz de decisión se puede encontrar en la sección de anexos apéndice A. Esta sería la Tabla 4.3.
- ❖ La alternativa de solución que obtuvo la calificación más alta fue el Horno eléctrico de resistencias metálicas.

Posteriormente se procede a encontrar cual es la mejor alternativa del tipo de crisol que se debe utilizar en una fundición de aluminio.

2.1.3 Crisoles, manejo y precauciones de uso.

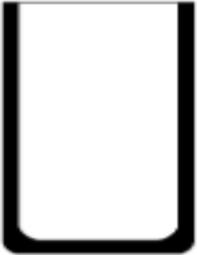
Los tipos de crisol que ofrece la industria vienen en tamaños muy variados, generalmente son numerados acorde a la cantidad de aluminio que puedan contener, cada fabricante posee su propia denominación por lo que su capacidad de almacenamiento puede variar. Para el aluminio y sus aleaciones se utilizan crisoles de arcilla grafitada, carburo de silicio y de hierro fundido. Mientras que el crisol de arcilla grafitada y carburo de silicio se usa, preferentemente, para la fusión, la conservación de calor y la colada, los crisoles de hierro fundido solo se usan para la conservación del calor y la colada.

Los crisoles de arcilla grafitada están formados por una mezcla de grafito y arcilla aglutinante, los crisoles de carburo de silicio en comparación con los crisoles de grafito tienen la ventaja de que la conductividad calorífica y el rendimiento de fusión permanecen constantes, por eso no tiene límite su duración respecto a la conductividad.

Los crisoles de carburo de silicio tienen una mayor resistencia a los cambios de temperatura y cuando son usados adecuadamente tienen una mayor duración en comparación con los de arcilla grafitada los cuales son más baratos. El comportamiento de los crisoles de carburo de silicio y los crisoles de arcilla grafitada frente al aluminio líquido es neutro. (Evelin Flores, 2014)

En la Tabla 2.4 se pueden observar las distintas formas de crisoles usados para fundición.

Tabla 2.4: Formas comunes de crisoles para fundir metales

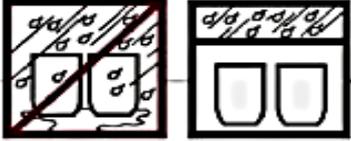
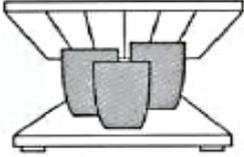
Denominación de forma	Aplicación	Forma
A	Horno de crisol estacionario y de crisol removible	
B (Báge)	Horno de crisol removible	
BU (Bale Out)	Horno de crisol estacionario y de crisol removible	
C	Horno de inducción	

Fuente: (Evelin Flores, 2014)

El crisol es uno de los elementos más críticos para el horno desde su almacenamiento, instalación, carga, limpieza y operación la cual se debe realizar con mucho cuidado para alargar la vida útil del mismo y para asegurar una fusión apropiada del metal.

En Tabla 2.5 se puede observar el manejo recomendable que se debe procurar realizar al operar el crisol durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 2.5: Manejo general recomendable para crisoles

<p>1) Inspeccionar el empaque y los crisoles antes de usar los para verificar que no se hayan dañado durante el transporte.</p>	 <p>Inspección de crisol</p>
<p>2) Nunca rodar los crisoles en el piso, utilizar herramientas apropiadas para evitar que se talle el crisol. Cualquier daño en la superficie del vitrificado de protección acelera la oxidación, provocando pérdida de la resistencia mecánica y falla prematura.</p>	 <p>Transporte y manejo de crisol</p>
<p>3) Los crisoles siempre deben almacenarse en un lugar seco, cálido y bien ventilado.</p>	 <p>El crisol debe almacenarse en un lugar seco</p>
<p>4) Los crisoles no deben almacenarse directamente sobre el concreto, pavimento o tierra. Siempre deben estar sobre una base plana. Los crisoles son higroscópicos y pueden absorber humedad de la atmosfera, así como de un piso húmedo.</p>	 <p>El crisol debe almacenarse sobre bases planas</p>
<p>5) Si el refractario húmedo es calentado o puesto en contacto con metal fundido, se pueden generar grietas y/o una explosión o reacción violenta como las mostradas.</p>	 <p>Fracturas en crisoles debido al mal uso.</p>

Fuente: (Evelin Flores, 2014)

En el mercado local se encontraron pocos lugares que dispongan de crisoles de tamaños pequeños, uno de estos lugares es la Importadora Cruz y asociados S.A “IMPORTCRUZ” la cual dispone de crisoles de grafito brasileros en stock de numeración AGF20 marca SALAMANDER GF para una capacidad de 6 kg de aluminio con un precio accesible, por lo tanto, esta opción es la más viable a utilizar durante el desarrollo del proyecto.

Se puede encontrar la hoja técnica E1 y la proforma F1 del crisol, ambas otorgadas por la importadora en la sección de anexos Apéndice E y Apéndice F, respectivamente.

2.1.4 Alternativas de solución para la forma del vaciado de colada y matriz de decisión.

2.1.4.1 Tipos de formas de vaciado de colada

En las fundidoras se pueden utilizar 3 tipos de formas de colación de la fundición:

- a) La primera opción considera que el crisol se mantenga fijo dentro del horno, por lo tanto cuando la fundición se ha completado la aleación fundida se extrae usando un cucharón de material refractario para posteriormente vaciar la colada en el molde, esto produce que el operador se vea expuesto a peligros como pueden ser quemaduras debido a posibles derrames del metal por un mal manejo del cucharón, además existe un desperdicio de material debido a que no se puede extraer por completo del fondo del crisol y lo que se desea es que el sistema sea eficiente, cómodo y seguro de operar. En la Figura 2.7 se observar un esquema de vaciado con cuchara.

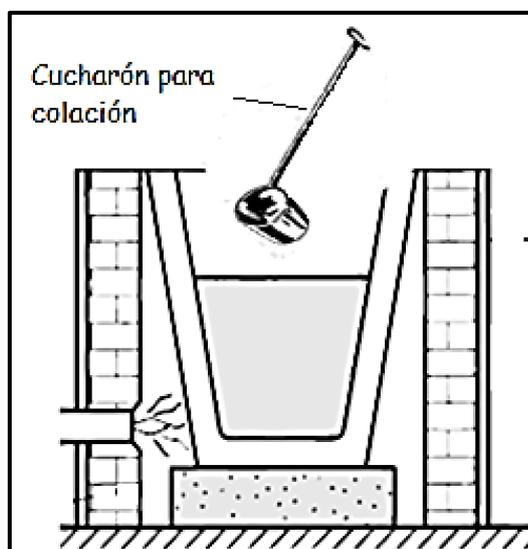


Figura 2.7.- Crisol fijo más cucharón para colación

Fuente: Elaboración propia

- b) La segunda opción considera que el crisol puede ser removible del interior del horno, esto se logra usando unas tenazas de ramas curvas con anillos de seguridad para evitar cualquier deslizamiento del crisol soltándose de las mismas, esto provoca inconvenientes en el traslado del crisol y la colación del material en el molde se torna difícil para el operador, además este método también pone en peligro su seguridad y existen posibilidades de derrame.

En la Figura 2.8 se observa un esquema de vaciado sacando el crisol del horno usando tenazas.

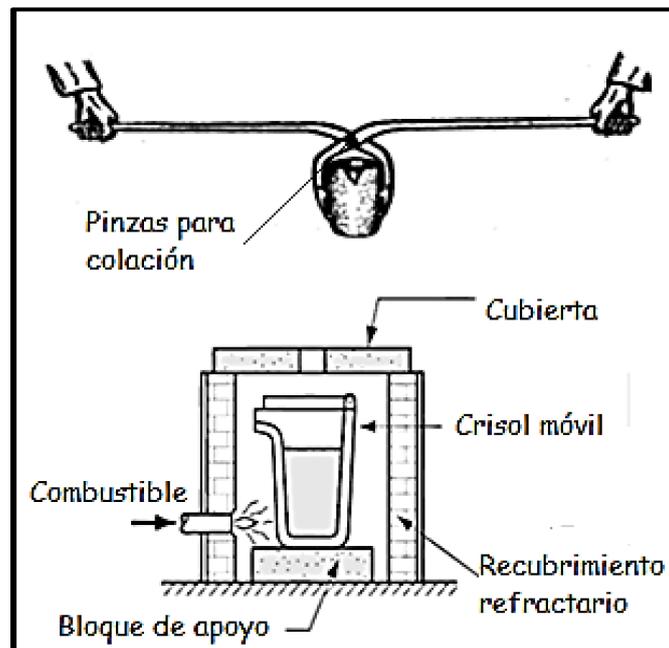


Figura 2.8.- Crisol móvil, uso de pinzas para colación.

Fuente: Elaboración propia

- c) La tercera opción considera que el crisol forme un conjunto con el cuerpo del horno de tal forma que se realice un pico o canal entre ambos, a través del cual la colada se vierta sin que exista ningún derrame hacia el hogar del horno, además el conjunto de horno y crisol se construye con la facilidad que pueda ser basculante, esto con la finalidad de que se pueda realizar un vaciado en el molde de una forma segura y sin someter al operador a ningún esfuerzo físico, y se reducen considerablemente los riesgos de quemaduras y

derrames. En la Figura 2.9 se puede observar el esquema del conjunto horno crisol basculante.

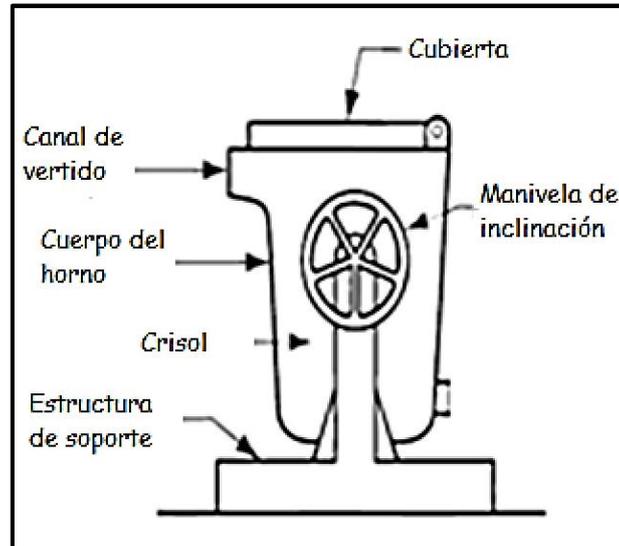


Figura 2.9.- Crisol fijo con sistema basculante

Fuente: (P.Groover, 2007)

- d) La cuarta opción considera realizar un orificio en el fondo del crisol de grafito, la salida de la fundición por este agujero se controlaría con un tapón de acero inoxidable conectado a un alargador o varilla que permite manipularlo, esta varilla sale del horno pasando a través de la tapa lo que permite mantener fijo el tapón mientras se funde el metal y cuando se realice la colación poder levantarlo y dejar pasar el baño hacia el molde por el canal de vaciado.

Realizar un orificio en el crisol se considera complicado de lograr debido al riesgo que conlleva, su resistencia estructural podría ser afectada lo que ocasionaría comprar un nuevo crisol, además la fabricación del tapón y su varilla serían un costo adicional y lo que se requiere es buscar la forma más económica de desarrollar el proyecto. En la Figura 2.10 se puede observar un esquema que permite apreciar mejor esta opción.

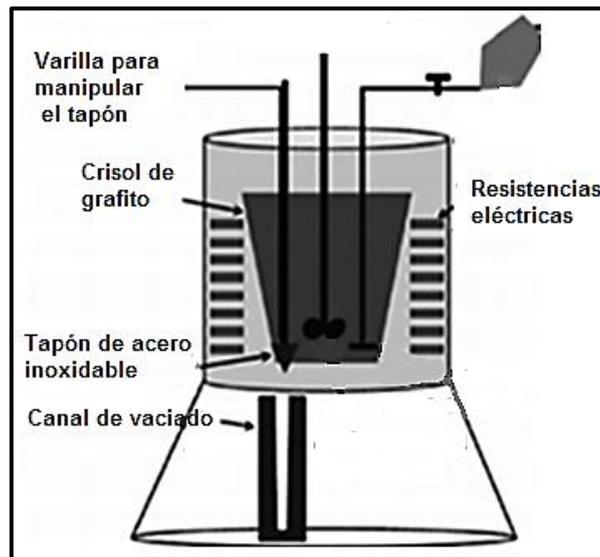


Figura 2.10.- Crisol con orificio y tapón de acero inoxidable.

Fuente: (S. AMIRKHANLOU, 2010)

2.1.4.2 Matriz de decisión

Para corroborar cual es la mejor alternativa de la forma de vaciado de la colada es necesario realizar una matriz de decisión, se pueden observar los criterios de diseño utilizados en la Tabla 2.6

Tabla 2.6: Criterios de diseño utilizados en la selección de la forma de vaciado de colada

Criterios	Descripción
Seguridad	Se enfatiza en la forma más segura en la cual el operador pueda realizar el proceso de vaciado sin riesgo.
Facilidad de operación	Considera la facilidad con la que el operador puede manipular el horno y realice el proceso de vaciado en el molde.
Posibilidad que no existan derrames internos	Esto se refiere a probabilidad que no ocurran derrames del metal líquido durante el proceso de vaciado en el interior del hogar del horno.
Vaciado completo del metal líquido	Esto se refiere a que exista un completo vaciado del metal líquido en el molde sin que queden nada de residuos de metal dentro del crisol.

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La matriz de decisión se puede encontrar en la sección de anexos apéndice A. Esta sería la Tabla 4.4

- ❖ La alternativa de solución que obtuvo la calificación más alta fue el conjunto crisol horno basculante.

2.1.5 Inyector de partículas de refuerzo

Según una investigación realizada en el Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Tecnología de la ciudad de Isfahán en Irán, se conoce que los compuestos de matriz de aluminio reforzados con partículas de Carburo de Silicio (SiC_p) otorgan una alta resistencia específica, alto modulo específico, baja densidad, excelente resistencia al desgaste y un mayor rango de operación de temperatura en comparación con el material de la matriz sola. (Niroumand, 2008)

Este sistema debe ser capaz de utilizar el flujo de un gas a alta presión, siendo argón la primera opción, el tanque a presión tiene que conectarse a la primera tubería llegando su extremo hacia una cámara donde se localizan las partículas de refuerzo, después la cámara se conecta a la tubería de distribución por la cual los refuerzos ingresan en la colada, además el sistema debe constar de ciertas válvulas de paso ubicadas adecuadamente para que permitan controlar el flujo del gas.

El dimensionamiento de las tuberías, la cámara y selección de las válvulas se realizará detalladamente más adelante. Se puede observar un esquema del inyector de partículas en la Figura 2.11.

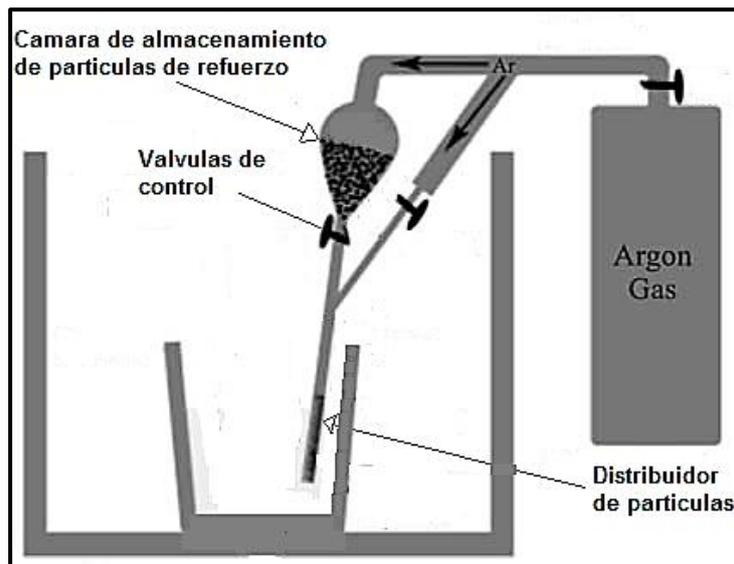


Figura 2.11.- Inyector de partículas de refuerzo

Fuente: (S. AMIRKHANLOU, 2010)

2.1.6 Agitador mecánico de baño

Diferentes investigaciones han demostrado que la velocidad de agitación y el tiempo de agitación influyen en la microestructura y la dureza del material compuesto, según una investigación realizada en el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Anna en la India se obtuvo que a una baja velocidad y a un menor tiempo de agitación el agrupamiento de las partículas de refuerzo (SiC_p) es mayor, pero que si hay un aumento en la velocidad y el tiempo de agitación, existe una mejor distribución de las partículas de refuerzo en un material compuesto de matriz de aluminio. (S. Balasivanandha Prabu, 2005).

Por lo tanto, el agitador se diseñará de tal forma que pueda ser operado a velocidades mayores a 500 revoluciones por minuto, este debe ser capaz de sumergirse en el interior del baño y resistir las altas temperaturas sin que exista una contaminación del metal fundido, además que el eje conectado al impeller debe ser suficientemente largo y resistente ya que este conecta al motor el cual se ubica a una distancia prudente del horno. Se puede observar un esquema del agitador en la Figura 2.12.

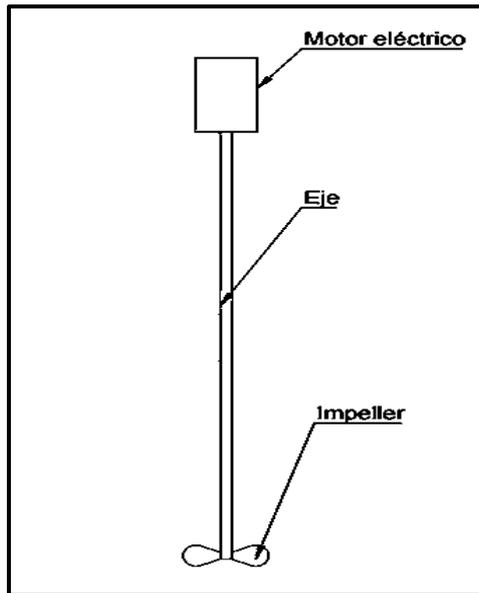


Figura 2.12.- Agitador mecánico.

Fuente: Elaboración propia

2.1.7 Sistema de control de temperatura

Este sistema tiene la finalidad de controlar la temperatura del baño seleccionada en el controlador de temperatura digital antes de fundir la carga metálica, este equipo se encarga de verificar que el sistema llegue a la temperatura deseada, y al momento que ocurra mantener un valor constante durante el tiempo que sea requerido.

La temperatura de baño tiene que ser controlada usando un dispositivo sensor de temperatura o también conocido como termopar, este sensor tiene que ser capaz de resistir las altas temperaturas que alcanza el baño ya que tiene que ser sumergido en este para obtener el valor exacto de su temperatura pasando este dato al controlador digital, de esta forma se controla con precisión la temperatura del proceso, manteniéndola constante cuando sea necesario, y si se requiere elevar o disminuir su valor solo es necesario ingresar un nuevo dato en el controlador de temperatura digital para que este se encargue de realizar dicha acción.

En la Figura 2.13 se puede observar un esquema del circuito eléctrico que se pretende utilizar.

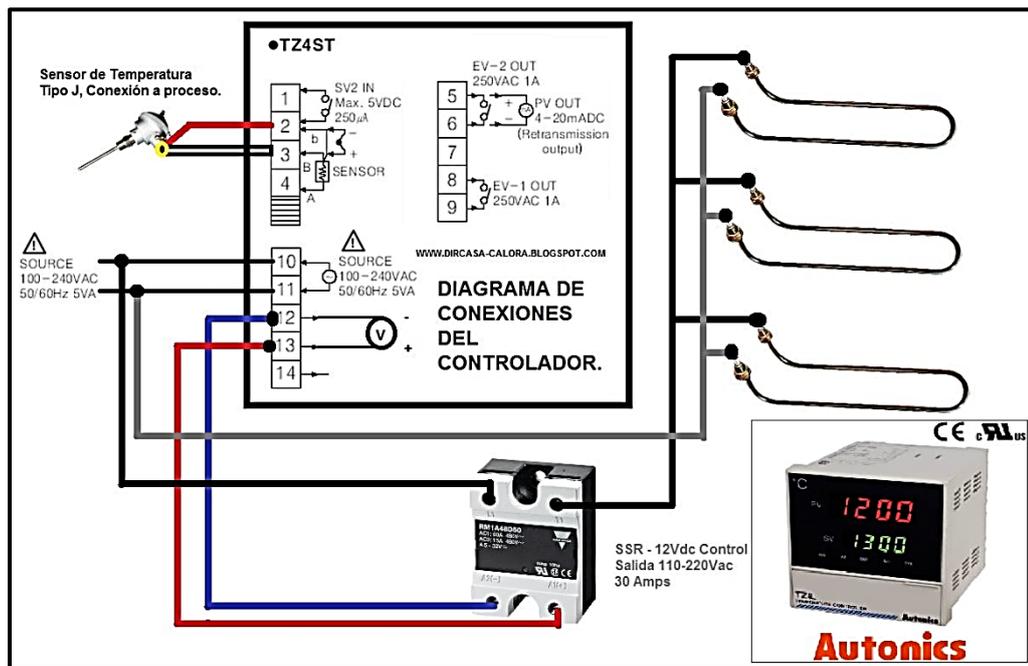


Figura 2.13.- Esquema del circuito eléctrico

Fuente: (Aquino)

En el mercado local se contactó con la compañía de equipamiento eléctrico industrial EEINSA. S.A. En este lugar disponían de un controlador de temperatura digital modelo AX74 con número de serie XMT – 808 y un tamaño de (96 * 96) mm², con un precio accesible por lo tanto se procedió a adquirir este equipo.

Se puede encontrar la hoja técnica E2 y la proforma F2 del controlador de temperatura digital, ambas otorgadas por la empresa en la sección de anexos Apéndice E y Apéndice F, respectivamente.

2.1.7.1 Termopar o termocupla.

La termocupla es el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Está constituida por dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivoltios el cual aumenta en función de la

temperatura. Existen muchos tipos de termopares usados en la industria, pero los más utilizados son del tipo J y el tipo K.

En el proyecto en desarrollo se pretende usar una termocupla tipo K, ya que su rango de operación es apropiado y permite trabajar sin que existan problemas de daños o fusión del sensor. (Arian)

En la Tabla 2.7 se pueden observar los distintos tipos y rangos de operación de cada uno.

Tabla 2.7: Tipos de termopares

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Fuente: (Arian)

2.2 Diseño conceptual

A partir de todas las selecciones realizadas anteriormente, se puede realizar un diseño esquemático preliminar, el cual permite tener una idea más clara sobre la forma que va a tener el sistema de fundición en desarrollo.

Inicialmente se obtuvo que la fuente de energía del sistema va a ser eléctrica lo que considera usar un horno eléctrico, posteriormente se podrá especificar con exactitud los valores de fuente de voltaje y corriente que serán necesarios para lograr fundir la carga metálica sin ningún problema, considerando una producción máxima al estar el crisol lleno completamente y que la temperatura máxima de trabajo sea de 1200°C.

Ya conociendo la fuente de energía que se va a utilizar se obtuvo que la mejor alternativa de solución es utilizar un horno eléctrico de resistencias metálicas, más adelante se van a realizar los cálculos pertinentes para poder dimensionar el tamaño de dichas resistencias y seleccionar el material adecuado del que estén fabricadas, esto con el fin de que puedan producir el calor necesario para fundir el metal a las condiciones especificadas.

También se conoce que se va a usar un crisol de grafito el cual se obtuvo fácilmente en el mercado local con una capacidad de 6kg para aluminio, todos los cálculos posteriores se realizarán considerando a esta cantidad como la máxima masa a fundir.

La última solución obtenida fue el diseño del horno capaz de mantener fijo el crisol y que sea de tipo basculante para girar todo el conjunto al momento de realizar el vertido del metal líquido en un molde de fundición. Por lo tanto, los cálculos pertinentes para obtener el dimensionamiento del sistema basculante y la estructura metálica del sistema se obtendrán más adelante.

Al crisol se plantea realizarle un pico usando polvo cerámico, otorgándole la forma de un crisol para horno basculante facilitando así la acción de vaciado del metal líquido.

El diseño del sistema de inyección y el agitador mecánico del baño, así como la construcción del sistema de control de temperatura, se especificarán en la sección de diseño detallado, ya que se conocen claramente las funciones que deben cumplir dentro del sistema de fundición. Se puede observar el esquema del diseño preliminar del sistema de fundición en la Figura 2.14.

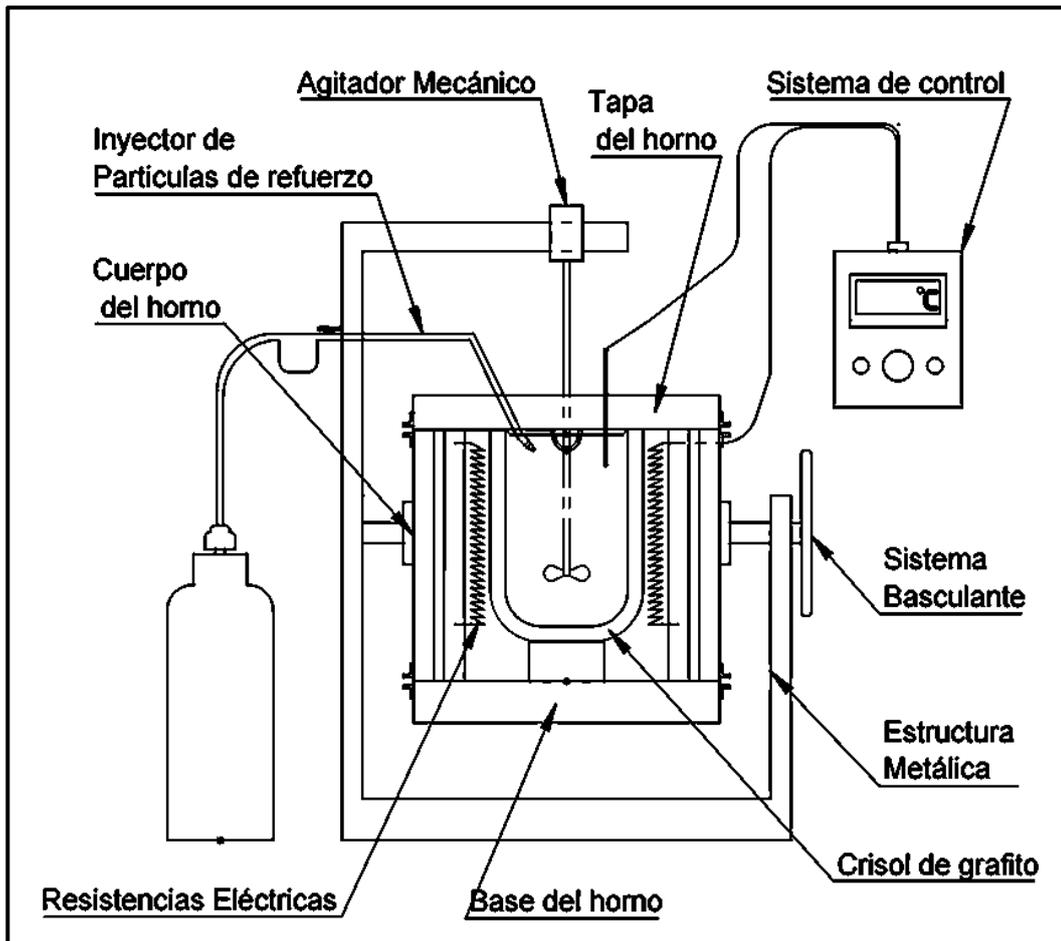


Figura 2.14.- Esquema del sistema de fundición.

Fuente: Elaboración propia

2.3 Diseño detallado del producto

El diseño del horno es el foco central del proyecto, y desarrollarlo de forma detallada un diseño detallado facilita la identificación de los requerimientos de materiales, máquinas y equipos para poder ejecutar una correcta y rápida construcción del horno. El diseño implica analizar el consumo energético necesario para fundir la carga preestablecida, encontrar el dimensionamiento del cuerpo y carcasa del horno así como su estructura de soporte, establecer los materiales adecuados a utilizar, todo esto para posteriormente construir las diferentes partes que componen al equipo y realizar su correcto ensamblaje.

2.3.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño a considerar son los relativos al material a fundir, en este caso aluminio y el tipo de crisol a utilizar. Las propiedades y características de ambos se encuentran especificadas en la Tabla 2.8 y Tabla 2.9. Asimismo, el esquema del crisol a utilizar se ilustra en la Figura 2.15.

Tabla 2.8: Propiedades del aluminio puro

Carga a fundir	Aluminio
Densidad, ρ (20°C)	2702 kg / m ³
Masa, m	6 kg - 13.2 lb
Temperatura o Punto fusión, T_f	660°C – 933°K
Calor específico, C_p	0.92 J/g°K - 0.23 Kcal / Kg °C
Calor latente de fusión, Y	395.10 ³ J/kg – 94 Kcal/kg
Conductividad térmica, k	237 W/m.°K
Temperatura ambiente, T_{amb}	25°C - 298°K
Temperatura máxima a la que llega el horno, $T_{m\acute{a}x}$	1200°C – 1473°K
Tiempo en que se funde la carga si se desea que llegue hasta los 1200°C, t	Se asume que tardara 1 hora en fundirse alcanzando los 1200°C.

Fuente: (Incropera, 2002)

Tabla 2.9: Características del crisol utilizado

Crisol a utilizar	35%grafito, 12% carburo de silicio ligado con carbono
Masa del crisol, m_c	9.15 kg
Calor específico del grafito, C_{p-g}	709 J/kg°K
Calor específico del carburo de silicio, C_{p-cs}	675 J/kg°K
Calor específico del crisol, C_{p-c}	1384 J/kg°K – 0.33 Kcal/kg°C
Dimensiones	H:249mm * D:200mm * d: 140mm

Fuente: (Incropera, 2002)

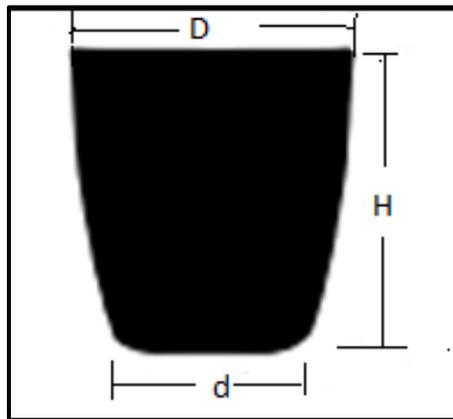


Figura 2.15.- esquema del crisol utilizado

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Dimensionamiento del hogar del horno

A partir del diámetro mayor del crisol el fabricante recomienda una separación entre este y las paredes del horno de unos 3 a 5 centímetros por lo que se decidió dejar un espacio de 4 cm, además también se recomienda que el crisol debe estar apoyado en un soporte por lo que se utilizan 2 ladrillos refractarios de alta alúmina para cumplir con este requerimiento. En la Figura 2.16 se muestra una ilustración del hogar del horno.

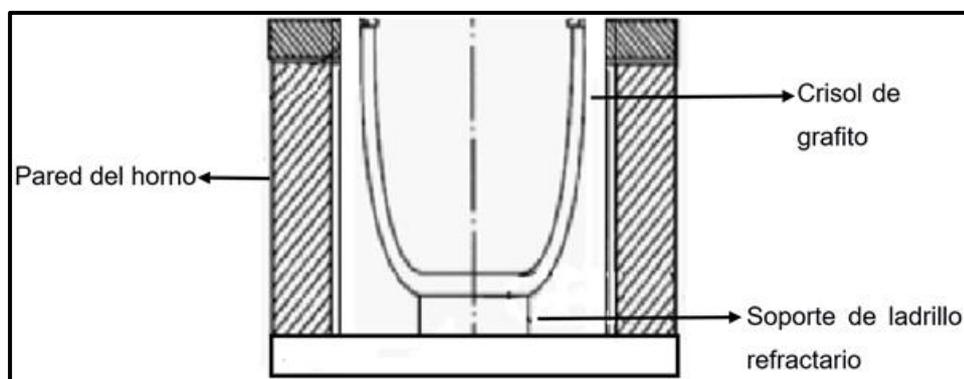


Figura 2.16: Esquema del crisol y hogar del horno

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Análisis térmico para fundir la carga y calentarla hasta una temperatura máxima.

2.3.3.1 Calor necesario (Q_1) para elevar la temperatura de 25°C a 660°C

Se obtiene el calor necesario que deberá ser suministrado por el horno eléctrico para llevar la carga de 6kg de aluminio hasta su temperatura de fusión.

$$Q_1 = m * C_p * (T_f - T_{amb}) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$Q_1 = 6\text{kg} * (0.23 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C}) * (660^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 876.3 \text{ Kcal}$$

2.3.3.2 Calor necesario (Q_2) para promover un cambio de fase del metal

Se obtiene el calor necesario que deberá ser suministrado por el horno eléctrico para promover un cambio de fase del aluminio a temperatura constante de 660°C.

$$Q_2 = m * \Upsilon \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$Q_2 = 6\text{kg} * (94 \text{ Kcal / Kg})$$

$$Q_2 = 564 \text{ Kcal}$$

2.3.3.3 Calor necesario (Q_3) para elevar la temperatura de 660°C a 1200°C.

Se obtiene el calor necesario que deberá ser suministrado por el horno eléctrico para llevar la carga de 6kg de aluminio hasta una temperatura máxima de operación de 1200°C.

$$Q_3 = m * C_p * (T_{m\acute{a}x} - T_f) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$Q_3 = 6\text{kg} * (0.23 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C}) * (1200^\circ\text{C} - 660^\circ\text{C})$$

$$Q_3 = 745.2 \text{ Kcal}$$

2.3.3.4 Calor que absorbe el crisol de grafito (Q_4)

Se obtiene el calor que absorbe el crisol al pasar de la temperatura ambiente hasta la temperatura máxima de operación.

$$Q_4 = m_c * C_{p-c} * (T_{m\acute{a}x} - T_{amb}) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$Q_4 = 9.15\text{kg} * (0.33 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C}) * (1200^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = 3547.91 \text{ Kcal}$$

2.3.3.5 Calor total (Q_T) que debe ser entregado por el horno para fundir el metal en el tiempo de 1 hora.

Es la suma total de calor necesario que se debe suministrar para conseguir la fundición del metal considerando una temperatura máxima de operación de 1200°C durante 1 hora.

$$Q_T = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)/t \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$Q_T = 5733.41 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_T = 6663.50 \text{ watts}$$

2.3.4 Pérdidas de calor a través de las paredes del horno a los alrededores

Es necesario tomar en cuenta las pérdidas de calor que existen a través de las paredes del horno debido a las altas temperaturas a las que se encuentran durante el proceso de fundición y su interacción con los alrededores existiendo así un intercambio de energía hacia el exterior.

Primero se define como estará conformada la estructura interna del horno, se puede observar un esquema en la Figura 2.17

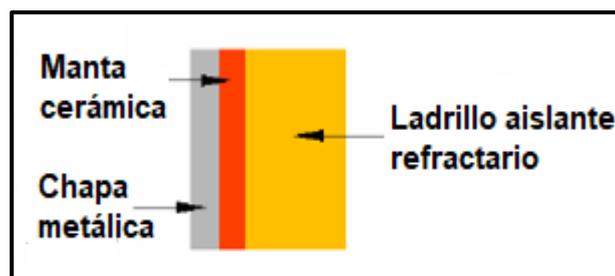


Figura 2.17: Configuración de las paredes del horno

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.1 Ladrillo aislante refractario

En la Tabla 2.10 se listan las propiedades y composición de este material otorgadas por la empresa proveedora, Maquinarias Henriques C.A

Tabla 2.10: Propiedades térmicas del ladrillo aislante.

Ladrillo aislante liviano	
Marca	SDMEC
Alúmina, Al ₂ O ₃ (%)	45
SiO ₂ (%)	52
Porosidad aparente (%)	70
Fuerza de aplastamiento (Mpa)	>1
Densidad aparente (g/cm ³)	0.6
Máxima temperatura de servicio (°C)	1350
Dimensiones: L (mm) * a (mm) * e (mm)	230 * 114 * 64
Conductividad térmica: K _{ladrillo} (W/m.°K)	
350 °C	0.20
550°C	0.22
1200°C	0.29

Fuente: (C.A., 1946)

2.3.4.2 Concreto refractario

Las propiedades y composición del material refractario disponible para la fabricación del horno se reportan en la Tabla 2.11; las mismas fueron suministradas por la empresa La Llave S.A.

Tabla 2.11: Propiedades técnicas del concreto refractario

Hormigón refractario de sílice-alúmina	
Marca	CEKAST-N1
Temperatura máxima de uso	1450°C
Cantidad por saco (kg)	25
Alúmina, Al ₂ O ₃ (%)	48
SiO ₂ (%)	40
Conductividad térmica: K _{concreto} (W/m.°K)	1.11
Densidad aparente después de moldeado (g/cm ³)	2.25
Densidad aparente después de 110°C x 24h (g/cm ³)	2.10
Densidad aparente después de 1400°C x 5h (g/cm ³)	2.10
Resistencia a la compresión a Temperatura ambiente, después de 110°C x 24h (Mpa)	23
Resistencia a la compresión a Temperatura ambiente, después de 1400°C x 5h (Mpa)	44

Fuente: (Llave, 2017)

2.3.4.3 Manta cerámica

En la Tabla 2.12 se registran las propiedades y composición de este material, según la empresa La Llave S.A.

Tabla 2.12: Propiedades técnicas de la manta cerámica

Manta de fibra cerámica	
Marca	Calorcol
Temperatura de operación	1260°C
Principales aplicaciones	Aislamiento, revestimiento y reparación general de hornos, calderas y otros equipos de altas temperaturas
Conductividad térmica (BTU.PLG/Pie ² .hr.°F)	0.26
Diámetro promedio de la fibra (micrones)	2.8
Densidad (lb/ft ³ - kg/m ³)	8 - 128
Punto de fusión (°C)	1600
Color	Blanco
Espesor (pulg)	1
Longitud (mm) * ancho (mm)	3810 x 610
Conductividad térmica: K_{manta} (W/m.°K)	0.22

Fuente: (Llave, 2017)

2.3.4.4 Chapa metálica

En la Tabla 2.13 se especifican las propiedades y composición de este material el cual fue adquirido en la empresa MEGAMETALES S.A.

Tabla 2.13: Propiedades técnicas de la chapa metálica

Chapa metálica	
Tipo de material	Aleación de acero al carbono ASTM A36
% Carbono	0.26
Espesor (mm)	2
Dimensiones L (mm) x a (mm)	2438.4 x 1219.2
Conductividad térmica: $K_{\text{chapa metálica}}$ (W/m.°K)	63.9
Límite de fluencia mínimo (Mpa)	250
Límite de rotura mínimo (Mpa)	400
Densidad (kg/m ³ – lb/in ³)	7860 – 0.28

Fuente: (MEGAMETALES, 2006)

2.3.4.5 Obtención de la mejor configuración para aislar el horno

Para la definición del espesor óptimo de las paredes del horno se tuvo en cuenta principalmente el uso de la menor cantidad posible de materiales para propósitos de ahorro, y se asumió que la temperatura externa de la chapa metálica debería estar alrededor de los 100°C cuando el horno se encuentre a su máxima temperatura de operación (1200°C).

Se realizó un proceso iterativo mediante el cual se encontraron las temperaturas en las paredes de los distintos materiales que constituyen el horno, con la finalidad de encontrar el mejor balance entre el aislamiento logrado y el costo del mismo.

En la Figura 2.18 se puede observar el perfil de temperaturas en las paredes del horno utilizado para encontrar el flujo de calor de salida debido a la conducción en las paredes y el flujo de calor debido a la convección y radiación entre la superficie externa del horno con el medio ambiente.

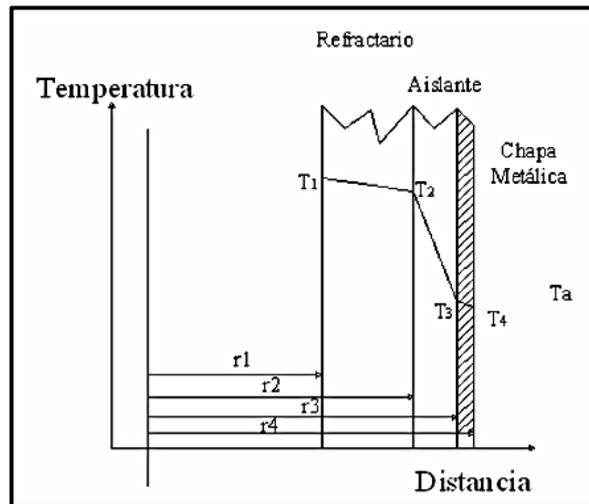


Figura 2.18: Perfil de temperaturas de las paredes del horno

Fuente: Elaboración propia

Simbología del perfil de temperaturas:

T_1 : Temperatura en la cara interna del ladrillo aislante o el hogar del horno ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 : Temperatura en la cara externa del ladrillo aislante, así como la cara interna de la manta cerámica ($^{\circ}\text{C}$)

T_3 : Temperatura en la cara externa de la manta cerámica y la cara interna de la chapa metálica ($^{\circ}\text{C}$)

T_4 : Temperatura en la cara externa de la chapa metálica ($^{\circ}\text{C}$)

T_{amb} : Temperatura ambiente considerada como 25°C .

r_1 : Radio interior del horno (mm)

r_2 : Radio de la cara externa del ladrillo aislante (mm)

r_3 : Radio de la cara externa de la manta cerámica (mm)

r_4 : Radio de la cara externa de la chapa metálica (mm)

Los espesores de las paredes del horno se fueron variando conforme las pérdidas de calor aumentaban o disminuían y la cantidad de material que se debía comprar tenía una válida justificación considerando la variable costo.

En la Tabla 2.14 se muestran los resultados de las temperaturas externas del horno para cada configuración junto a las dimensiones de cada una seleccionando la más conveniente.

Tabla 2.14: Dimensiones y temperaturas de la pared cilíndrica del horno

Pared cilíndrica del horno								
Configuración	Ladrillo aislante		Manta cerámica		Chapa metálica	Temperatura superficial externa	Perdidas de calor	Estimación Costo
	Espesor (mm)	Unidades a usar	Espesor (mm)	Unidades a usar	Espesor (mm)	T (°C)	Q _{per} (W)	
1	64	12	50.8	1	2	152	925.6	BAJO
2	64	12	76.2	1	2	124.8	779.8	BAJO
3	64	12	101.6	2	2	106	681.7	ALTO
4	114	22	25.4	1	2	134.3	859.3	MEDIO
5	114	22	50.8	1	2	113.25	741.3	MEDIO
6	114	22	76.2	2	2	98.4	658.3	ALTO

Fuente: Elaboración propia

En la sección de anexos Apéndice B se encuentra el Procedimiento analítico B 1: Análisis de transferencia de calor en las paredes y tapas del horno

2.3.5 Dimensionamiento de las paredes del horno

Las dimensiones a utilizar para construir el cuerpo del horno serán las que se muestran en la Tabla 2.15 y también las temperaturas teóricas que se esperan obtener en la superficie de cada material que compone las paredes del mismo.

Se puede observar el Plano Esquemático C 1: Dimensiones de las paredes del horno en la sección de anexos apéndice C.

Tabla 2.15: Dimensiones y temperaturas de las paredes del horno

Ladrillo aislante		Manta cerámica		Chapa metálica		Temperatura externa del horno T4 (°C)	Calor perdido Qper (W)
Espesor (mm)	Temperatura T1 (°C)	Espesor (mm)	Temperatura T2 (°C)	Espesor (mm)	Temperatura T3 (°C)		
114	1200	50.8	425.68	2	113.28	113.25	741.3

Fuente: Elaboración propia

2.3.6 Pérdidas de calor a través de la tapa y base del horno.

Para encontrar el espesor óptimo de la tapa y base del horno se decidió utilizar una capa de concreto refractario en lugar de una capa de ladrillos livianos aislantes debido a los esfuerzos de carga a los que se tendrían que someter y estos por ser muy frágiles no eran adecuados para esta tarea mientras que el concreto rígido si lo hace.

Por lo tanto la estructura interna de la tapa y base del horno se puede observar en la Figura 2.19

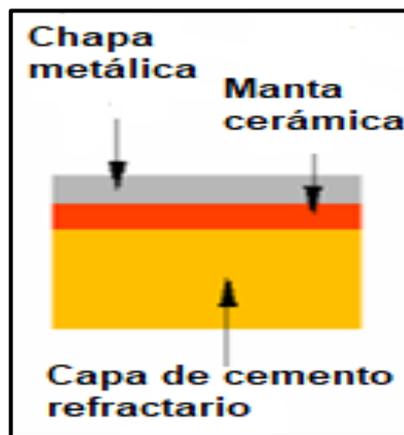


Figura 2.19: Estructura interna de la tapa y base del horno

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el mismo proceso iterativo utilizado en las paredes del horno para encontrar la configuración más conveniente y económica para lograr un buen aislamiento de ambas partes, se asumieron las mismas temperaturas de pared interna y externa de 1200°C y 100°C para comenzar cada proceso iterativo hasta encontrar la correcta temperatura

externa. El perfil de temperaturas utilizado es el mismo usado anteriormente correspondiente a la Figura 2.18.

En la Tabla 2.16 se muestran los resultados de las temperaturas externas de la base y tapa del horno para cada configuración junto a las dimensiones de cada una seleccionando la más conveniente. Es importante tener en cuenta que la tapa y base serán de las mismas dimensiones por lo que sus resultados serán los mismos.

Tabla 2.16: Dimensiones y temperaturas de la tapa y base del horno

Tapa y base del horno								
Configuración	Concreto refractario		Manta cerámica		Chapa metálica	Temperatura superficial externa	Perdidas de calor	Estimación Costo
	Espesor (mm)	Paquetes (25kg) a usar	Espesor (mm)	Unidades a usar	Espesor (mm)	T (°C)	Q _{per} (W)	
1	30	1	50.8	1	2	203.29	1067.98	BAJO
2	40	1	76.2	1	2	171.68	794.94	BAJO
3	50	1	100.16	1	2	148.6	621.3	MEDIO
4	50	1	125.2	2	2	132.84	513.72	ALTO
5	40	1	150.6	2	2	121.63	394.64	ALTO

Fuente: Elaboración propia

En la sección de anexos Apéndice B se encuentra el Procedimiento analítico B 1: Análisis de transferencia de calor en las paredes y tapas del horno

2.3.7 Dimensionamiento de la tapa y base del horno

Las dimensiones a utilizar para construir la tapa y base del horno serán las que se muestran en la Tabla 2.17 y también las temperaturas teóricas que se esperan obtener en la superficie de cada material que compone las paredes.

Se puede observar el Plano Esquemático C 2: Dimensiones de la base y tapa del horno en la sección de anexos apéndice C.

Tabla 2.17: Dimensiones y temperaturas de la base y tapa del horno

Concreto refractario		Manta cerámica		Chapa metálica		Temperatura externa del horno T4 (°C)	Calor perdido o Qper (W)
Espesor (mm)	Temperatura T1 (°C)	Espesor (mm)	Temperatura T2 (°C)	Espesor (mm)	Temperatura T3 (°C)		
50	1200	100.16	1105.34	2	148.66	148.6	621.3

Fuente: Elaboración propia

2.3.7.1 Energía total necesaria considerando el proceso de fundición y pérdidas de calor

Esta sería la suma de la energía total necesaria que se debe suministrar en una hora para fundir la carga metálica considerando la suma total de las pérdidas de calor que existen a través de las paredes, base y tapa del horno. Estos valores se encuentran en la Tabla 2.18

Tabla 2.18: Energía total necesaria que se debe suministrar

Energía para fundir la carga metálica: Q_T	6663.5 watts
Pérdidas de calor en las paredes: $Q_{paredes}$	741.3 watts
Pérdidas de calor en la base: Q_{base}	621.3 watts
Pérdidas de calor en la tapa: Q_{tapa}	621.3 watts
Energía total que se debe suministrar: Q_{TOTAL}	8647.4 watts

Fuente: Elaboración propia

2.3.8 Dimensionamiento de las resistencias eléctricas

A partir del valor de energía total necesaria que se debe suministrar en el sistema para lograr fundir la carga de aluminio en el tiempo de 1 hora se realiza el dimensionamiento de las resistencias eléctricas.

Se conoce que el laboratorio de soldadura tiene una entrada de voltaje de 220 voltios, además su capacidad de amperaje esta alrededor de los 300 amperios. Para ello, primero es necesario conocer las propiedades del material del que estarán hechas las resistencias, se decidió utilizar alambre Kanthal A-1 el cual según varias fuentes es el más utilizado en este tipo de aplicaciones. En la Tabla 2.19 se tienen las propiedades de este tipo de material a una temperatura de operación de 1200°C

Tabla 2.19: Propiedades mecánicas del alambre Kanthal A-1

Kanthal A-1	
Composición	Aleación de hierro ferrítico-cromo-aluminio (FeCrAl)
Principales aplicaciones	Elementos de calefacción eléctrica en hornos de alta temperatura para tratamientos térmicos de cerámica, vidrio, acero y en la industria de la electrónica.
Densidad (g/cm ³)	7.10
Resistividad eléctrica a 20°C (Ω. mm ² /m)	1.45
Factor de resistividad a 1200°C- Ct	1.04
Conductividad térmica (W/m.°K)	27
Capacidad específica de calor (KJ/kg. °K)	0.74
Temperatura de fusión °C	1500
Máxima temperatura de operación en aire °C	1400
Propiedades magnéticas	Magnético por encima de los 600°C aproximadamente.
Emisividad	0.7

Fuente: (Group, 2010)

Primero es necesario establecer la potencia que se desea que genere una sola resistencia, para esto es necesario saber algunas restricciones de operación que dependen del diámetro del alambre que se vaya a utilizar y de las dimensiones de los canales hechos en el interior del horno.

En la Tabla 2.20 se observan algunos parámetros de operación para un alambre de 1mm de diámetro y la dimensión longitudinal que tiene uno de los canales construidos en el horno.

Tabla 2.20: Parámetros de operación a considerar en el diseño de las resistencias

Parámetros de operación para alambre de diámetro d=1.02 mm	
Máxima corriente de operación I_{op} (Amperios)	16
Diámetro del canal del horno (mm)	290
Longitud de canal horno (mm)	911.1
Paso entre espiras recomendado (mm)	2-3
Carga del área superficial S (W/cm ²)	Para elementos de hornos (8 – 12) (International, 1946)
Potencia que se pretende generar P (W)	3000
Voltaje de operación V(voltios)	220
área transversal (mm ²)	0.82
área superficial por metro (cm ² /m)	32.04

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la potencia que se desea suministrar en cada resistencia se procede a encontrar la corriente I que pasara por cada una de estas.

$$I = P/V \quad \text{Ecuación 2.6; (International, 1946)}$$

$$I = \frac{3000}{220} [\text{Amp}]$$

$$I = \mathbf{13.64 \text{ Amp}}$$
 (No sobrepasa el límite de operación establecido)

Se procede a calcular su resistencia eléctrica a temperatura de operación

R_t

$$R_t = \frac{V}{I} [\Omega] \quad \text{Ecuación 2.7; (International, 1946)}$$

$$R_t = \frac{220}{13.64} [\Omega]$$

$$R_t = \mathbf{16.13 [\Omega]}$$

Se procede a calcular la resistencia por unidad de longitud del alambre

$$\frac{\text{OHM}}{\text{M}} (20^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{resistividad eléctrica}}{\text{área transversal}} \quad \text{Ecuación 2.8; (International, 1946)}$$

$$\frac{\text{OHM}}{\text{M}} (20^{\circ}\text{C}) = \frac{1.45 [\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}]}{0.82 [\text{mm}^2]}$$

$$\frac{\text{OHM}}{\text{M}} (20^{\circ}\text{C}) = \mathbf{1.774} [\frac{\Omega}{\text{m}}]$$

Se obtiene la resistencia eléctrica R que debe tener el alambre a la temperatura de 20°C

$$\mathbf{R} = \frac{\text{Resistencia eléctrica a temperatura de operación (R}_t\text{)}}{\text{Factor de resistividad a temperatura operación (Ct)}} \quad \text{Ecuación 2.9; (International, 1946)}$$

$$\mathbf{R} = \frac{16.13 [\Omega]}{1.04}$$

$$\mathbf{R} = 15.51 [\Omega]$$

Se procede a obtener la longitud de alambre (L_{alambre}) necesaria para tener la resistencia eléctrica requerida

$$\mathbf{L}_{\text{alambre}} = \frac{\mathbf{R}}{\frac{\text{OHM}}{\text{M}} (20^{\circ}\text{C})} \quad \text{Ecuación 2.10; (International, 1946)}$$

$$\mathbf{L}_{\text{alambre}} = \frac{15.51 [\Omega]}{1.774 [\frac{\Omega}{\text{m}}]}$$

$$\mathbf{L}_{\text{alambre}} = 8.74 [\text{m}]$$

Obtención de la carga superficial (S)

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{P}}{(\pi \cdot d \cdot L_{\text{alambre}})} [\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}] \quad \text{Ecuación 2.11; (International, 1946)}$$

$$\mathbf{S} = \frac{3000}{(\pi \cdot 0.1\text{cm} \cdot 87.4)} [\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}]$$

$$\mathbf{S} = 10.71 [\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}]$$

2.3.8.1 Diseño del elemento bobinado

Los elementos de alambre dispuestos en forma de bobina permiten acomodar una longitud adecuada de alambre en un espacio relativamente corto, y también absorben los efectos de la expansión

térmica. Las relaciones máxima y mínima recomendadas entre el diámetro interior de la bobina y el diámetro del alambre son 6:1 y 3:1 respectivamente. (International, 1946)

A partir de la Ecuación 2.12 se puede encontrar la longitud de alambre bobinado cuando todas sus espiras están pegadas entre sí, en la Figura 2.20 se observa una ilustración del elemento bobinado.

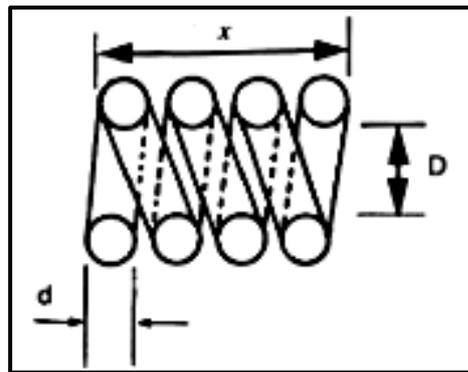


Figura 2.20: Esquema del elemento bobinado apretado

Fuente: (International, 1946)

$$X = \frac{L[\text{mm}] * d[\text{mm}]}{\pi * \{D[\text{mm}] + d[\text{mm}]\}}$$

Ecuación 2.12; (International, 1946)

Simbología:

L: Longitud del alambre [mm]

d: Diámetro del alambre [mm]

D: diámetro interior de la bobina [mm]

X: Longitud del alambre bobinado apretado

Para poder construir el elemento bobinado es necesario envolverlo en una varilla sólida, por tal razón se decidió utilizar una varilla de diámetro ¼ de pulgada lo que dará un diámetro de bobina interno de 6.35mm

$$X = \frac{8742[\text{mm}] * 1.02[\text{mm}]}{\pi * \{6.35[\text{mm}] + 1.02[\text{mm}]\}}$$

$$X = 385.12 [\text{mm}]$$

Conociendo la longitud de la bobina cuando todas las espiras están pegadas se obtiene el número de espiras que tendrá

$$\#espiras = \frac{x}{d} \quad \text{Ecuación 2.13; (International, 1946)}$$

$$\#espiras = \frac{385.12}{1.02}$$

$$\#espiras = 377.6 \approx 378$$

Ya que se tiene una longitud de canal de 911.1 mm se procede a encontrar el paso (p) que tendrá la resistencia cuando sea estirada y ubicada dentro del horno.

$$p = \frac{\text{Longitud canal [mm]}}{\#espiras} \quad \text{Ecuación 2.14; (International, 1946)}$$

$$p = \frac{911.1 \text{ [mm]}}{378}$$

$$p = 2.4 \text{ [mm]}$$

Por lo tanto, con los resultados obtenidos se puede proceder a construir las resistencias eléctricas, si se dispone de un alambre de diámetro diferente se puede realizar el mismo proceso analítico pero siempre teniendo en cuenta los factores de diseño que condicionan su uso como son el amperaje máximo permitido (I_{op}), la carga superficial (S) y las recomendaciones dadas en el dimensionamiento de la bobina.

En la Tabla 2.21 se tienen los resultados obtenidos anteriormente para un diámetro de alambre de 1mm y también para un alambre de diámetro 1.5 mm ya que se encontró un distribuidor que construye resistencias pero con un diámetro interno de la bobina de 4.94mm.

Tabla 2.21: Parámetros de diseño para construir las resistencias eléctricas

d_{alambre} [mm]	I [amp]	P [W]	R_t [Ω]	Ohm/m [$\frac{\Omega}{m}$]	R [Ω]	L_{alambre} [mm]	S [$\frac{W}{cm^2}$]	X [mm]	Longitud canal	# espiras	p [mm]
1.02	13.64	3000	16.13	1.77	15.51	8742.1	10.71	385.1	911.1 (1 canal)	377.6	2.6
1.5	18.18	4000	12.10	0.82	11.63	14179.4	5.99	1051.3	1822.2 (2 canales)	700.8	2.4

Fuente: Elaboración propia

2.3.9 Esquema del sistema eléctrico para conectar las resistencias.

Se decidió construir 2 resistencias con un diámetro de alambre de 1mm cada una de 3000 vatios y 1 resistencia con diámetro de alambre de 1.5 mm de 4000 vatios, por lo tanto será necesaria una entrada de amperaje de 45.46 amperios por lo que el horno otorgará una potencia de 10000 watts. Cada resistencia tendrá su propio interruptor con la finalidad de que si alguna resistencia se dañe con el tiempo debido a fracturas del alambre, el horno pueda seguir funcionando utilizando las otras resistencias disponibles.

La resistencia cuya potencia de diseño es de 4000 vatios será controlada por un breque de 50 amperios, esto se hace considerando que el operario decida utilizar solo esta resistencia por lo que si se pusiera un breque de menor amperaje no funcionaría debido a que la corriente total que es suministrada al horno será de 45.46 amperios.

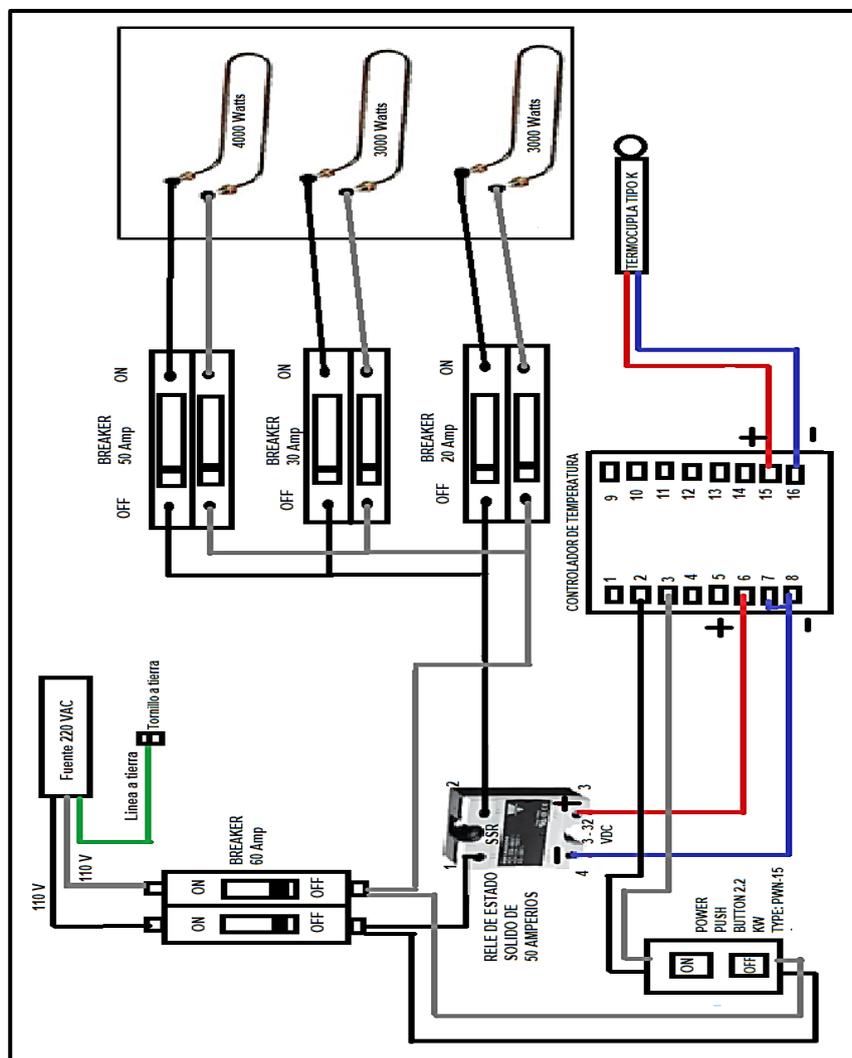
La segunda resistencia cuya potencia de diseño es de 3000 vatios será controlada por un breque de 30 amperios, esto ya que si se desea utilizar solo las 2 primeras resistencias el amperaje se encuentra por debajo del límite del breque lo que permite trabajar sin problemas.

Y la última resistencia igual de 3000 vatios será controlada por un breque de 20 amperios, esto ya que al trabajar las 3 resistencias juntas el

amperaje de cada una estará bajo los 20 amperios y no existirán problemas que alguno de los breques corte el paso de corriente.

Se decide utilizar un relé de estado sólido SSR porque permite controlar carga de corriente alterna (CA) mediante un pulso de corriente continua (CC) de tensión inferior la cual sale del controlador de temperatura. Su capacidad será de 50 amperios que es la corriente que debe ser suministrada al horno para generar la potencia establecida. En la Figura 2.21 se puede observar el circuito eléctrico del horno que debe ser construido.

Figura 2.21: Circuito eléctrico del horno.



Fuente: Elaboración propia

2.3.10 Dimensionamiento del inyector de partículas de refuerzo

El inyector de partículas se construirá de acero inoxidable debido a las altas temperaturas que debe soportar. El mismo estará compuesto de 3 partes:

- a) Una tubería inferior para desarrollar aún más el flujo.
- b) Una sección media, la cual es una tubería con aberturas en su periferia y un alimentador de polvo.
- c) Una tubería en la parte superior que conecta al tanque de argón a presión.

Según un proyecto de investigación en conjunto entre el Departamento de Ingeniería de seguridad contra incendios del Instituto Politécnico en Worcester, Massachusetts y el Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto de Tecnología en Madras India, analizaron 3 tipos de diseños para las aberturas periféricas en la sección media en términos de forma, tamaño y número de aberturas los cuales fueron evaluados probando cuál de ellos resultaba en una máxima entrada de partículas. (Rangwala, 2011).

Utilizando el proyecto antes mencionado como guía para elaborar un equipo eficaz se tomaron en cuenta las dos mejores opciones, la primera opción considera una sección media con 3 aberturas circulares con diámetro de 8 mm tendiendo un total de área abierta de 151 mm^2 , en la Figura 2.22 se puede observar un diseño del mismo.

Mientras que la segunda opción considera una sección media con 3 aberturas rectangulares con un área de 90 mm^2 y un área total de 270 mm^2 , en la Figura 2.23 se puede observar el diseño de esta opción.

En la sección de anexos Apéndice C se puede observar el Plano esquemático C 8: Dimensiones de la tubería superior del inyector de partículas, Plano esquemático C 9: Dimensiones del alimentador de partículas, Plano esquemático C 10: Dimensiones de la sección media

con aberturas circulares, y el Plano esquemático C 11: Dimensiones de la tubería inferior del inyector de partículas.

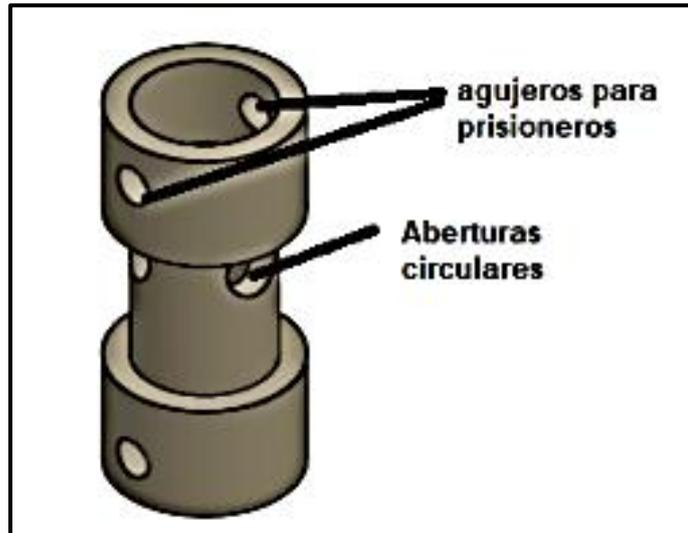


Figura 2.22: Sección media con aberturas circulares

Fuente: Elaboración propia

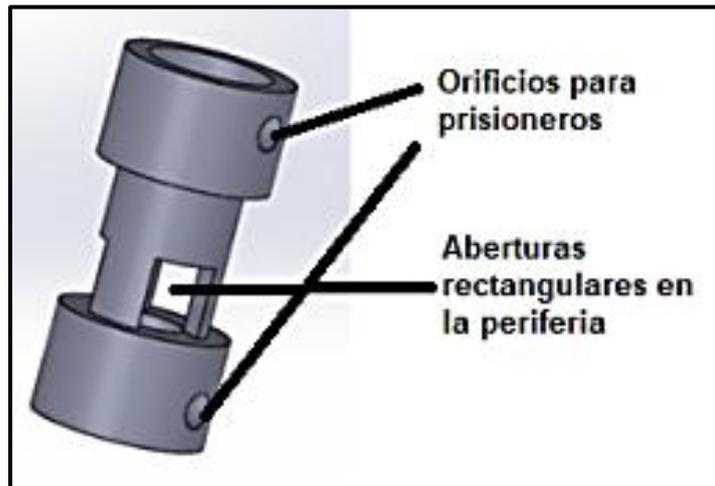


Figura 2.23: Sección media con aberturas rectangulares

Fuente: Elaboración propia

El diseño que consiste en aberturas rectangulares es el que más cantidad de partículas logra ingresar, pero debido a la dificultad de realizar estas aberturas rectangulares de una dimensión tan pequeña cuando se construya el inyector, se prevé que la otra opción de orificios circulares

sea más fácil de lograr. En la Figura 2.24 se observa el diseño guía que se va a utilizar para construirlo.

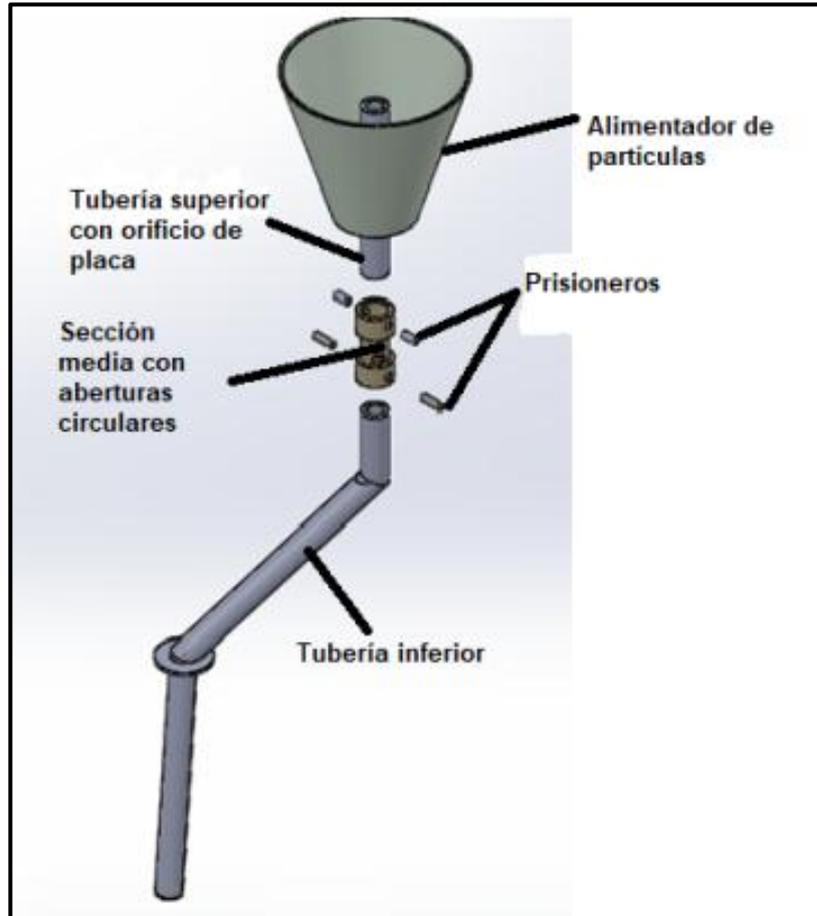


Figura 2.24: Diseño guía del inyector de partículas

Fuente: Elaboración propia

2.3.11 Dimensionamiento del agitador mecánico para la fundición

El diámetro de giro del agitador mecánico estará restringido por el diámetro interno del crisol, se decidió que el agitador pueda introducirse hasta que, a una altura de 5 cm sobre el nivel del piso del crisol, esto con la finalidad de que exista una buena agitación de la colada.

El agitador estará compuesto por una hélice de 3 alabes la cual se conectará a un eje giratorio, este eje se conectará directamente al eje del motor mediante un acople mecánico. El motor a utilizar será el más

pequeño disponible en el mercado con una potencia de $\frac{1}{4}$ HP, para poder obtener velocidades del orden de 500 revoluciones por minuto. Asimismo, se pretende utilizar un variador de frecuencia conectado directamente al motor lo que permitirá rebajar sus revoluciones.

El diámetro del eje del motor es de $\frac{3}{4}$ pulgada, aproximadamente 19 mm, por lo que se decidió que el diámetro del eje del agitador sea del mismo tamaño. Se puede observar el Plano esquemático C 12: Dimensiones del eje para el agitador mecánico en la sección de anexos Apéndice C.

El diámetro del agujero de la tapa del horno será de 90 mm por lo tanto el diámetro de giro de los alabes será de 80 mm para que no exista peligro de golpes al girar dentro del crisol.

Se puede observar el Plano esquemático C 13: Dimensiones de la hélice de 3 alabes en la sección de anexos Apéndice C. En la Figura 2.25 se puede observar el diseño guía del agitador mecánico y todos sus componentes.

El eje y la hélice serán construidos de acero inoxidable, pero ambos deberán ser enlosados en su superficie con algún componente cerámico para evitar que exista contaminación del metal fundido.

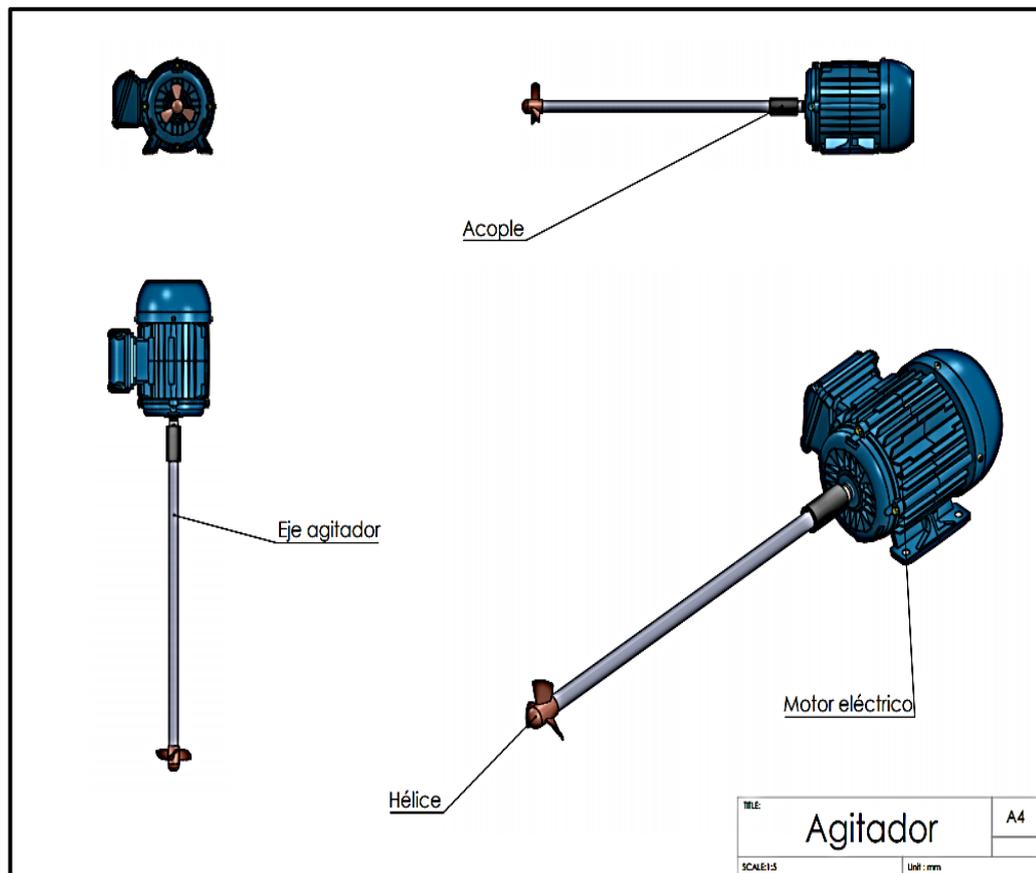


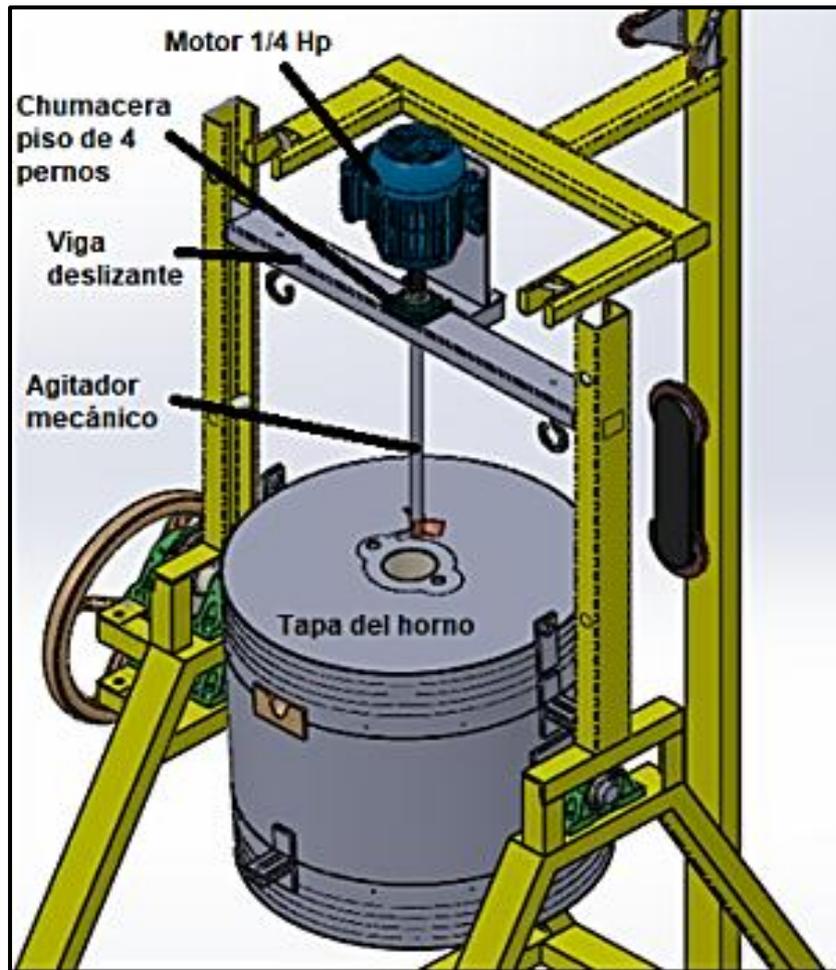
Figura 2.25: Agitador mecánico

Fuente: Elaboración propia

El motor estará montado sobre una viga de la estructura, y el agitador pasará a través de la viga y se alineará utilizando una chumacera de piso de 4 pernos, el agitador va a ser ubicado estratégicamente en el centro de la tapa del horno, la viga que sostiene a todo el conjunto se podrá deslizar verticalmente lo que permitirá introducir el agitador dentro del horno y subirlo cuando termine de utilizarse.

En la Figura 2.26 se puede observar la forma final del agitador mecánico montado sobre la estructura de soporte estratégicamente ubicado y alineado con el agujero de la tapa del horno.

Figura 2.26: Esquema motor-viga deslizante- agitador-horno



Fuente: Elaboración propia

2.3.12 Dimensionamiento de la estructura metálica de soporte del sistema

Para realizar el diseño de la estructura metálica que soportara todo el peso del horno se utilizarán vigas UPN de 800 mm y ángulos de (50 x 50 x 4) mm.

En la Figura 2.27 se observa un esquema guía de la estructura metálica y en la Figura 2.28 se exhibe un esquema del horno montado sobre esta.



Figura 2.27: Esquema de la estructura de soporte del horno basculante

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar el Plano esquemático C 14: Dimensiones de la estructura metálica en la sección de anexos Apéndice C. Estos planos serán usados para la construcción de la estructura.

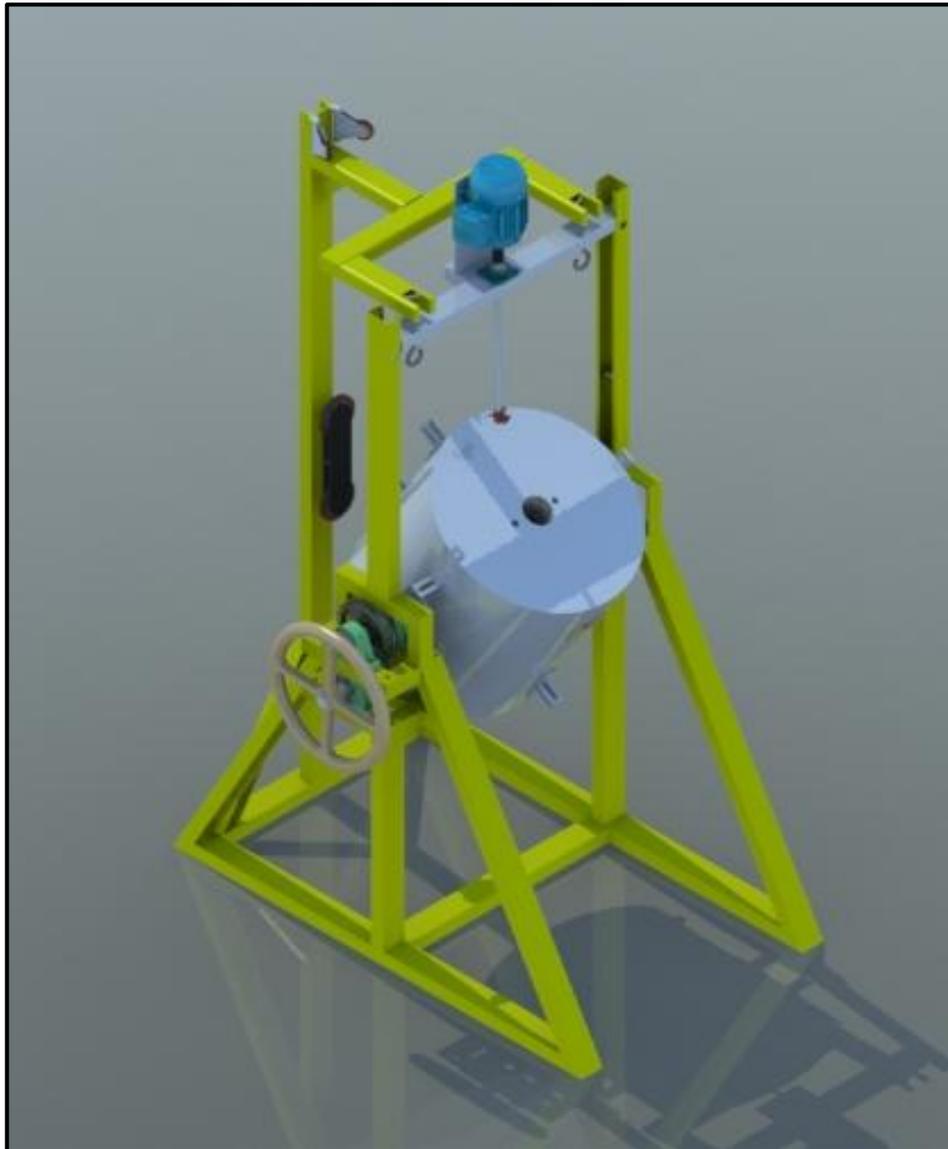


Figura 2.28: Diseño del horno montado sobre la estructura metálica

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de levantamiento de la tapa y la viga deslizante se utilizarán 2 poleas fijas cada una capaz de soportar 500 kg con un diámetro exterior de 60 mm, una polea de elevación de rueda libre y 7 metros de cable de acero galvanizado de diámetro 5/32 pulgadas, y un enrollador de cable con manivela.

En el Plano esquemático C 15: Diseño guía del sistema de poleas sobre la estructura., se puede observar el diseño guía del sistema de poleas.

2.3.13 Dimensionamiento de engranes de transmisión del sistema basculante

En principio se encuentra el torque máximo que se produce debido al peso del horno (W), el cual tiene una masa aproximada de 159.1 kg, cuando este se encuentra totalmente horizontal, ya que su propio peso tiende a mantenerlo en posición vertical. En la Figura 2.29 se observa un esquema del horno basculante en posición horizontal.

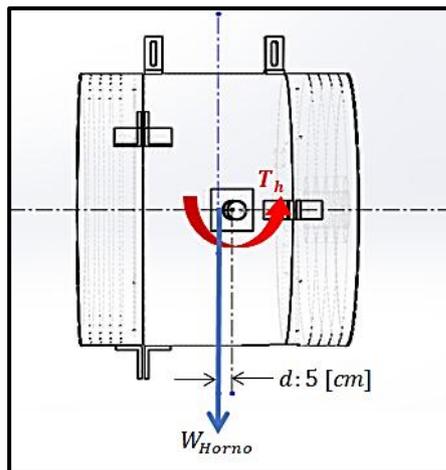


Figura 2.29: Esquema del horno basculante en posición horizontal

Fuente: Elaboración propia

$$W_{\text{Horno}} = m * g \quad \text{Ecuación 2.15}$$

$$W_{\text{Horno}} = 159.1 \text{ [Kg]} * 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$W_{\text{Horno}} = 1559.1 \text{ [N]}$$

Torque generado por el horno (T_h) completamente horizontal

$$T_h = W_{\text{Horno}} * d \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$T_h = 1559.1 \text{ [N]} * 0.05 \text{ [m]}$$

$$T_h = 78 \text{ [N.m]}$$

Cálculo del torque suministrado por una persona considerando que en cada brazo se pueden suministrar 7.5 kg de masa (m) y que se utilizara un volante cuyas dimensiones se encuentran en la Tabla 2.22

Se puede observar el Plano Esquemático C 6: Dimensiones del volante en la sección de anexos Apéndice C.

Tabla 2.22: Dimensiones del volante comprado

Diámetro volante (mm)	Longitud axial o ancho (mm)
400	50

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar una ilustración del volante en la Figura 2.30

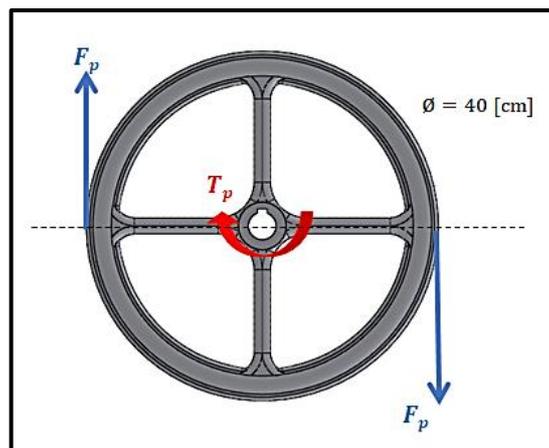


Figura 2.30: Esquema torque suministrado por el volante

Fuente: Elaboración propia

Fuerza suministrada por una persona (F_p)

$$F_p = m * g$$

Ecuación 2.17

$$F_p = 7.5[\text{Kg}] * 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F_p = 73.5 [\text{N}]$$

Torque generado por una persona (T_p)

$$T_p = F_p * \Phi_{\text{volante}}$$

Ecuación 2.18

$$T_p = 73.5 [\text{N}] * 0.40[\text{m}]$$

$$T_p = 29.4 [\text{N.m}]$$

Relación de torques (R_t)

$$R_t = \frac{T_h}{T_p} \quad \text{Ecuación 2.19; (Norton, 2011)}$$

$$R_t = \frac{78}{29.4}$$

$$R_t = \mathbf{2.65}$$

A partir de los Módulos métricos estándares del libro de Diseño de máquinas de Norton se considera como mejor opción un módulo (m) de 4 mm y también se tiene en cuenta la recomendación de Número mínimo de dientes del piñón para evitar la interferencia entre piñón y engrane, del mismo libro de Norton se considera utilizar un piñón de 18 dientes, con estos parámetros se calcula el diámetro de paso del piñón:

$$\emptyset_{\text{piñon}} = \# \text{dientes piñón} * m \quad \text{Ecuación 2.20; (Norton, 2011)}$$

$$\emptyset_{\text{piñon}} = 18 * 4 \text{ [mm]}$$

$$\emptyset_{\text{piñon}} = \mathbf{72 \text{ [mm]}}$$

Teniendo el diámetro de paso del piñón se obtiene el diámetro de paso del engrane considerando la relación de torque que se debe cumplir:

$$\emptyset_{\text{engrane}} = \emptyset_{\text{piñon}} * R_t \quad \text{Ecuación 2.21; (Norton, 2011)}$$

$$\emptyset_{\text{engrane}} = 72 \text{ [mm]} * 2.65$$

$$\emptyset_{\text{engrane}} = \mathbf{190.8 \text{ [mm]}}$$

A partir del diámetro de paso del engrane se obtiene el número de dientes que debería tener:

$$\# \text{dientes engrane} = \frac{\emptyset_{\text{engrane}}}{R_t} \quad \text{Ecuación 2.22; (Norton, 2011)}$$

$$\# \text{dientes engrane} = \frac{190.8 \text{ [mm]}}{2.65}$$

$$\# \text{dientes engrane} \approx \mathbf{72}$$

Finalmente se puede observar las dimensiones de la pareja piñón-engrane en la Tabla 2.23

Tabla 2.23: Dimensiones del piñón-engrane

	Número Dientes	Diámetro de paso (mm)
Piñón	18	72
Engrane	72	191

Fuente: Elaboración propia

Debido a que no se encontraron los elementos de diseño calculados disponibles en el mercado local, se compraron otros elementos cuyas dimensiones se encuentran en la Tabla 2.24, se puede observar el Plano Esquemático C 4: Dimensiones de la pareja piñon-engrane en la sección de anexos Apéndice C.

Tabla 2.24: Dimensiones del piñón-engrane adquiridos en el mercado local

ELEMENTOS ADQUIRIDOS	Número Dientes	Diámetro de paso (mm)	Modulo	Longitud axial (mm)
Piñón	25	90	3.6	40
Engrane	60	190	3.2	60

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar sus módulos son prácticamente iguales por lo que no existe interferencia entre sus dientes y pueden transmitir movimiento sin problemas. Utilizando la relación de torque anterior se obtiene que la dimensión del engrane debería ser de aproximadamente:

$$\emptyset_{\text{engrane}} = 90 \text{ [mm]} * 2.65$$

$$\emptyset_{\text{engrane}} = \mathbf{238.5 \text{ [mm]}}$$

Debido a que el engrane adquirido no cumple con la dimensión calculada, se procedió a disminuir el torque máximo que genera el horno (T_h) cambiando la distancia entre el eje de giro con el nivel del centro de masa, en la Figura 2.31 se puede observar el nuevo esquema cuando el horno volteado completamente genera el máximo torque al querer volver a su estado vertical.

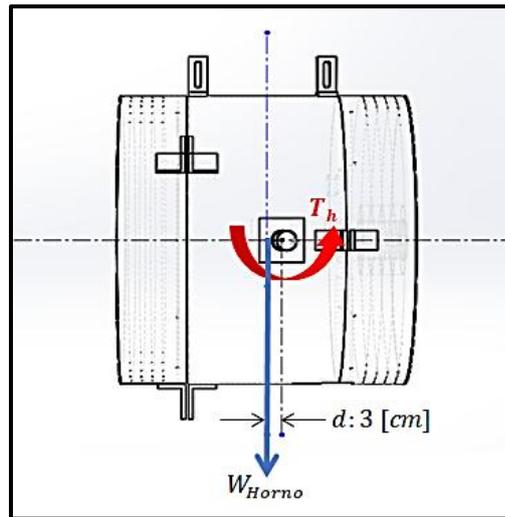


Figura 2.31: Esquema del horno modificando la distancia de giro

Fuente: Elaboración propia

$$T_h = W_{\text{Horno}} * d$$

$$T_h = 1559.1 \text{ [N]} * 0.03 \text{ [m]}$$

$$T_h = \mathbf{46.78 \text{ [N.m]}}$$

Por lo tanto, la nueva relación de torque será:

$$R_t = \frac{T_h}{T_p} = \frac{46.78}{29.4} = \mathbf{1.6}$$

Es necesario comparar la relación de la pareja piñón-engrane comprados con la nueva relación de torque obtenida, si la primera es igual o mayor que la segunda se puede concluir que los elementos de transmisión adquiridos cumplen con la función de amplificar el torque suministrado por una persona y bascular el horno.

$$\text{Relación de transmisión: } \frac{\varnothing_{\text{engrane}}}{\varnothing_{\text{piñón}}} \geq \frac{T_h}{T_p}$$

$$\frac{190 \text{ [mm]}}{90 \text{ [mm]}} \geq \frac{46.78 \text{ [N.m]}}{29.4 \text{ [N.m]}}$$

$2.11 \geq 1.59$; Por lo tanto, el torque suministrado será suficiente para voltear el horno.

2.3.14 Dimensionamiento del eje del sistema basculante

Se comenzó desarrollando el cuerpo libre para visualizar las distintas fuerzas y torques al cual está sometido el eje, como se puede observar un esquema en la Figura 2.32

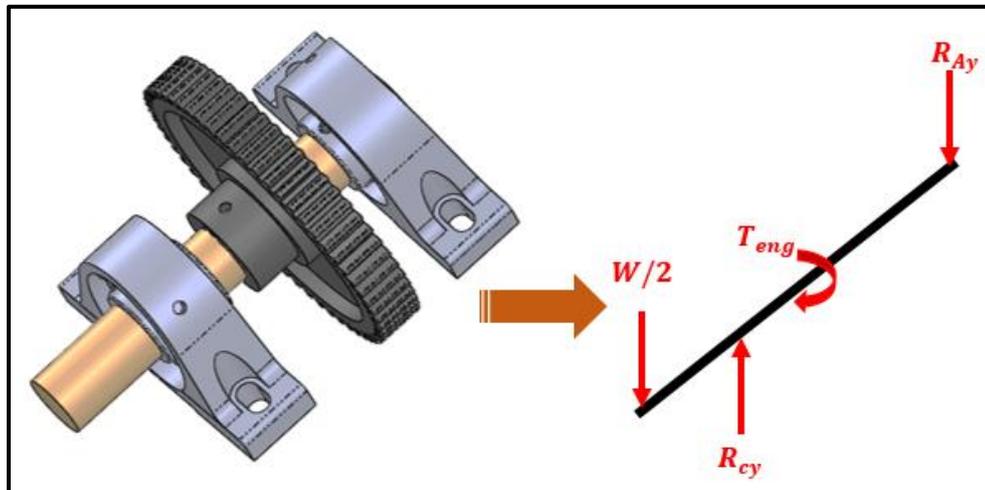


Figura 2.32: Esquema del eje del sistema basculante.

Fuente: Elaboración propia

Se calculan las reacciones:

$$(+)\ \curvearrowright\ \sum M_A = 0$$

$$R_{cy} * (0.1) - (779,55) * (0.195) = 0$$

$$\mathbf{R_{cy} = 1520,123\ N}$$

$$(+)\ \uparrow\ \sum Fy = 0$$

$$-R_{Ay} - 779,55 + R_{cy} = 0$$

$$\mathbf{R_{Ay} = 740,57\ N}$$

Se determinan los parámetros del diagrama cortante:

$$(+)\ \uparrow\ \sum Fy = 0$$

$$-R_{Ay} - V_1 = 0$$

$$\mathbf{V_1 = 740.57\ N}$$

$$\begin{aligned}
 (+) \uparrow \sum F_y &= 0 \\
 -R_{Ay} - V_2 - R_{Cy} &= 0 \\
 V_2 &= 779.553 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Se determinan los parámetros del diagrama de momento:

$$(+) \curvearrowright \sum M_1 = 0$$

$$R_{Ay} * (0) + M_1 = 0$$

$$M_1 = 0$$

$$(+) \curvearrowright \sum M_{eng} = 0$$

$$R_{Ay} * (0.045) + M_{eng} = 0$$

$$M_{eng} = 33.32 \text{ Nm}$$

$$(+) \curvearrowright \sum M_2 = 0$$

$$R_{Ay} * (0.1) + R_{Cy} * (0) + M_2 = 0$$

$$M_2 = 74.06 \text{ Nm}$$

En la Figura 2.33 visualizamos los diagramas de vector cortante y momento flector que se producen en el eje en el plano X-Y

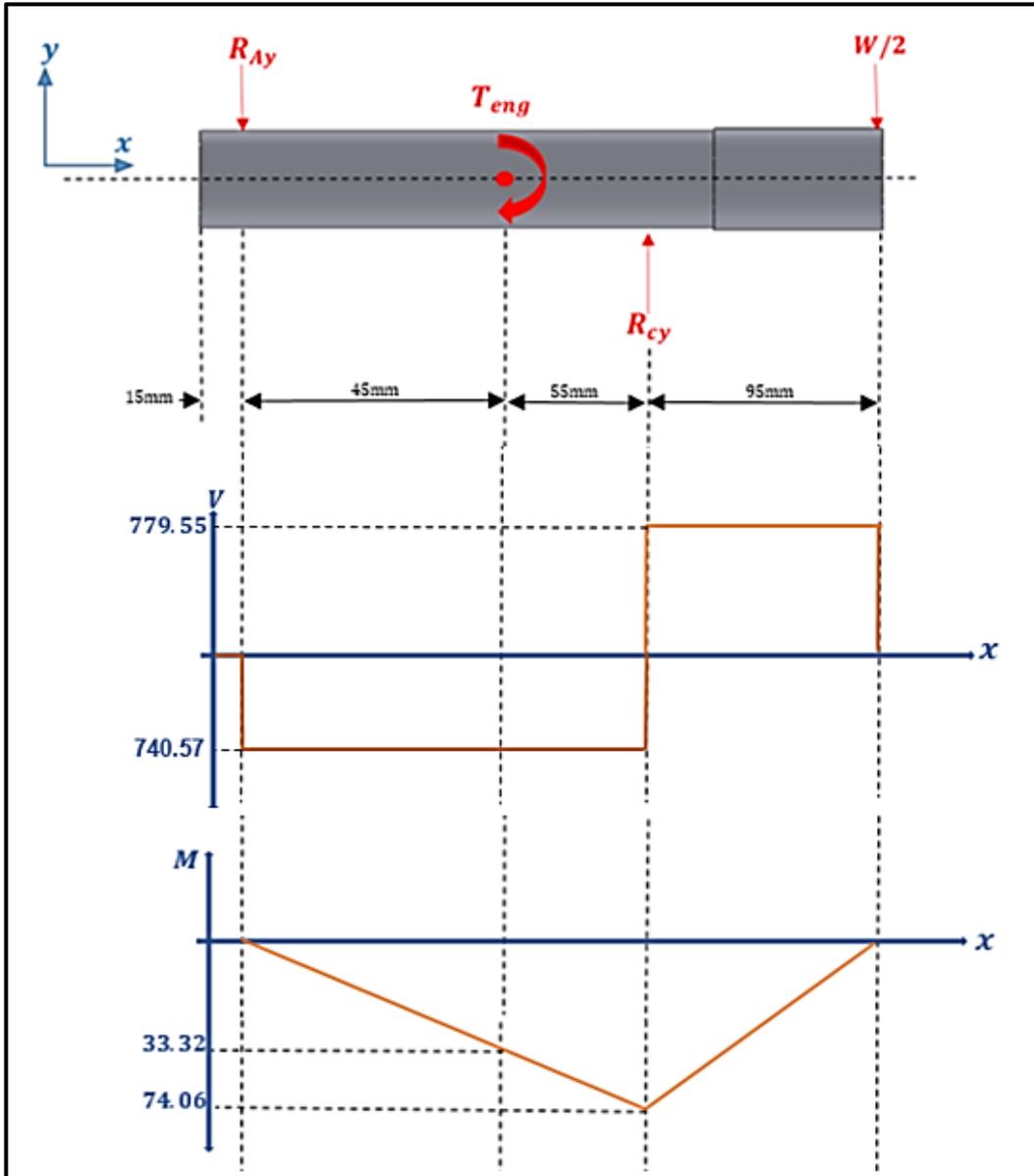


Figura 2.33: Diagramas de Vector Cortante y Momento Flector en plano X-Y

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se procede a analizar el diagrama de cuerpo libre en el plano X-Z

$$(+)\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$F_{eng} * (0.045) - R_{cz} * (0.1) = 0$$

$$\frac{29,4}{0.036} * (0.045) = R_{cz} * (0.1)$$

$$R_{cz} = 367,5 \text{ N}$$

$$(+)\uparrow \sum F_z = 0$$

$$F_{\text{eng}} - R_{\text{cz}} - R_{\text{Az}} = 0$$

$$\frac{29,4}{0.036} - 367,5 - R_{\text{Az}} = 0$$

$$\mathbf{R_{Az} = 449,16 \text{ N}}$$

Se determinan los parámetros del diagrama de momento:

$$(+)\curvearrowright \sum M_1 = 0$$

$$R_{\text{Az}} * (0) + M_1 = 0$$

$$\mathbf{M_1 = 0}$$

$$(+)\curvearrowright \sum M_2 = 0$$

$$R_{\text{Az}} * (0.045) + F_{\text{eng}} * (0) + M_2 = 0$$

$$\mathbf{M_2 = 20.21 \text{ Nm}}$$

Se procede a calcular el momento resultante en el punto B.

$$M_{\text{RB}} = \sqrt{20.21^2 + 33.32^2}$$

$$\mathbf{M_{RB} = 39 \text{ Nm}}$$

Comparando los momentos en el punto B y el punto C se concluye que el punto crítico se encuentra en el punto C.

$$\mathbf{M_c = 74.06 \text{ Nm}}$$

En la Figura 2.34 visualizamos los diagramas de vector cortante y momento flector que se producen en el eje en el plano X-Z

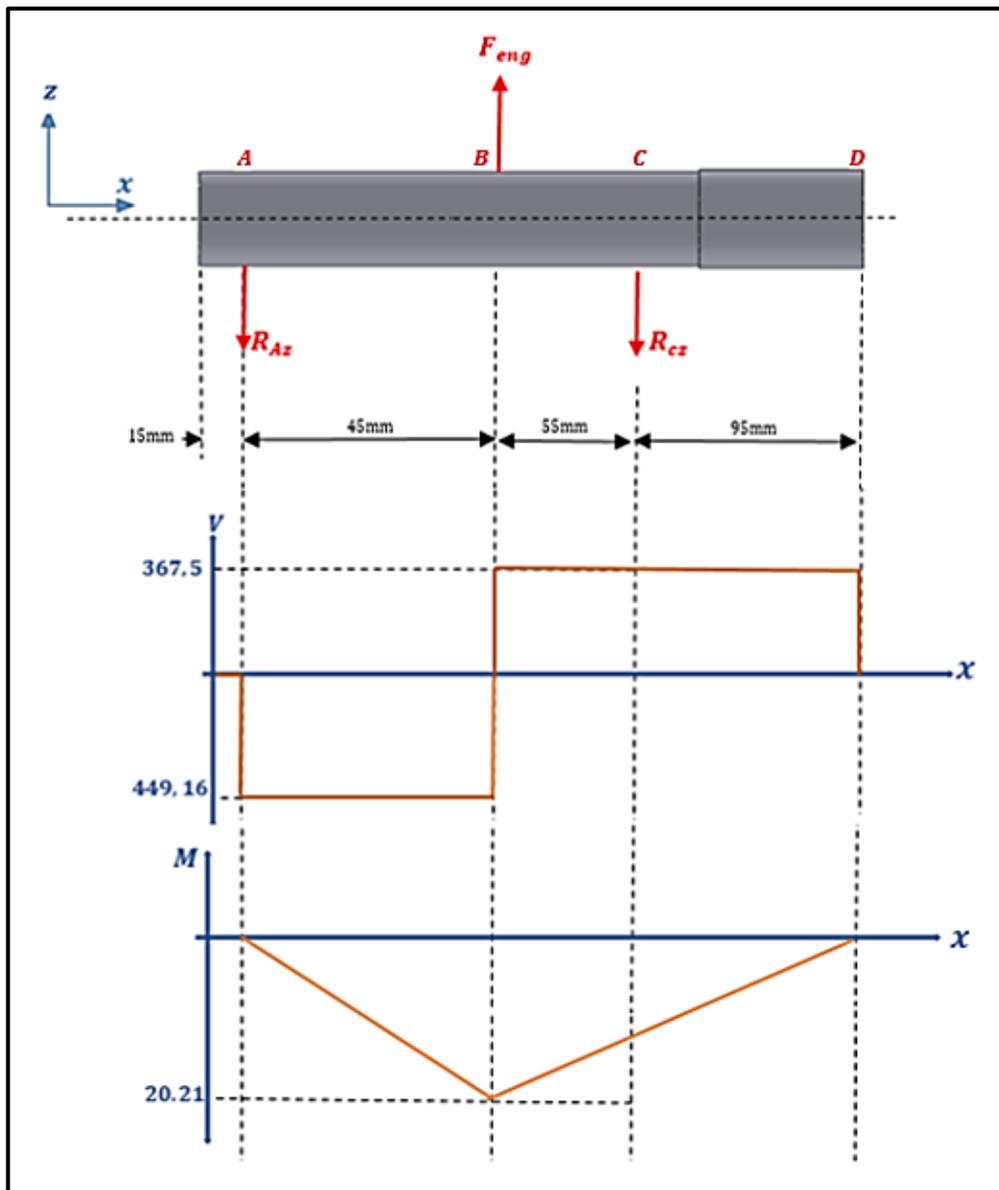


Figura 2.34: Diagramas de Vector Cortante y Momento Flector en plano X-Z.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.35 se observa el Diagrama de torsión al que está sometido el eje.

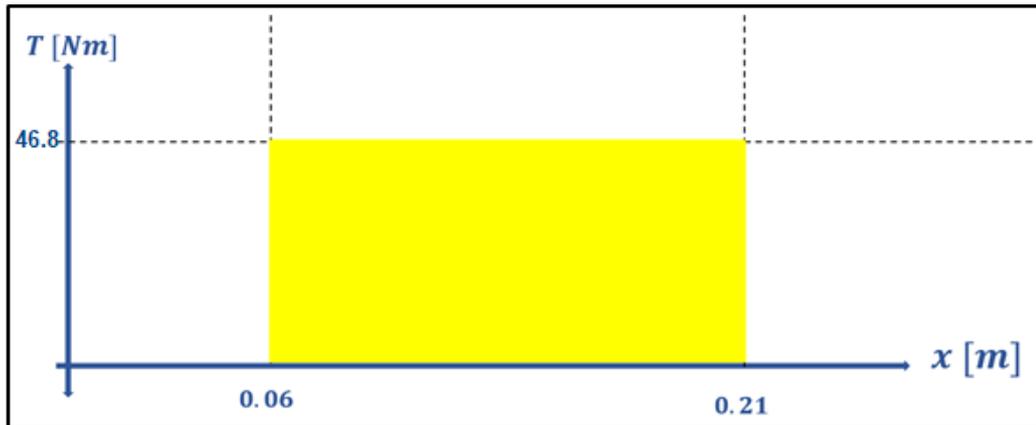


Figura 2.35: Diagrama Torsión del eje.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se seleccionó el tipo de acero recomendable del que debe estar hecho el eje de transmisión, que correspondió al acero SAE 1020. Este tipo de acero puede utilizarse en estado cementado, templado, y revenido o simplemente en estado calibrado.

Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de media resistencia con una gran tenacidad además de ser fácilmente soldable con soplete o al arco. Se pueden observar sus propiedades en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25: Propiedades del acero 1020

Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono							
Número SAE/AISI	Condición	Resistencia a la fluencia por tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	rolado en caliente	26	179	47	324	28	95
	rolado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	rolado en caliente	30	207	55	379	25	111
	rolado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	rolado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650 °F	50	345	75	517	32	149
	rolado en frío	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000 °F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800 °F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400 °F	94	648	123	848	17	495

Fuente: (Norton, 2011)

Se conoce que el límite de resistencia a la fatiga S'_e aproximado para aceros está dado por la siguiente fórmula:

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad \text{Ecuación 2.23 para } S_{ut} < 1400 \text{ Mpa ; (Norton, 2011)}$$

Para un $S_{ut} = 55 \text{ kpsi}$ se tiene:

$$S'_e = 0.5 (55 \text{ Kpsi})$$

$$S'_e = 27.5 \text{ Kpsi}$$

Se procede a calcular los factores de corrección para la resistencia a la fatiga teórica (S'_e) y así encontrar un límite de resistencia a la fatiga corregido (S_e) del material del que está hecho el eje de transmisión.

Fórmula a utilizar para encontrar el límite de resistencia a la fatiga corregido S_e

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S'_e \quad \text{Ecuación 2.24; (Norton, 2011)}$$

Factor de corrección debido a la carga suministrada (C_{carga})

Eje sometido a flexión: $C_{carga} = 1$ (Norton, 2011)

Factor de corrección debido al tamaño ($C_{tamaño}$)

Se deduce que la dimensión del eje del sistema basculante se encuentra entre:

Para $0.3 \text{ in} < d \leq 10 \text{ in}$; se tiene $C_{tamaño} = 0.869d^{-0.097}$; (Norton, 2011)

Es necesario asumir una dimensión para el diámetro del eje para poder continuar con el análisis, se eligió la siguiente:

$$\emptyset_{eje} = 1 \text{ [in]}$$

Por lo tanto:

$$C_{tamaño} = 0,869$$

Factor de corrección debido a la superficie (C_{sup})

Mediante la Figura 2.36 se elige el factor de superficie para un eje maquinado:

$$C_{sup} = 0.8$$

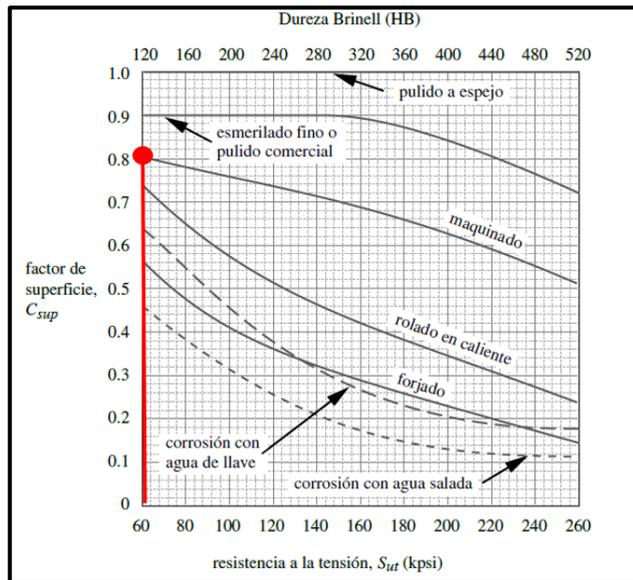


Figura 2.36: Factor de superficie para ejes maquinados

Fuente: (Norton, 2011)

Factor de corrección de temperatura (C_{temp})

El siguiente factor está definido por:

Para $T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$, entonces $C_{temp} = 1$; (Norton, 2011)

Factor de corrección de confiabilidad (C_{conf})

De acuerdo a la Tabla 2.26 se puede seleccionar el porcentaje de confiabilidad con el que se desea trabajar.

Tabla 2.26: Factores de confiabilidad

Factores de confiabilidad	
% de confiabilidad	C_{conf}
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Fuente: (Norton, 2011)

Por lo tanto se tiene:

$$C_{\text{conf}} = 0.702$$

Una vez determinados todos los factores de corrección procedemos a reemplazar los valores y a determinar el límite de resistencia a la fatiga corregido S_e

$$S_e = C_{\text{carga}} * C_{\text{tamaño}} * C_{\text{sup}} * C_{\text{temp}} * C_{\text{conf}} * S'_e ; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$S_e = 1 * 0,869 * 0.8 * 1 * 0.702 * 27.5$$

$$S_e = 13,43 \text{ [Ksi]}$$

A continuación, se realiza un análisis en los concentradores de esfuerzos críticos que se generan debido a la reducción de sección que se le realice al eje de transmisión, se considera una reducción $R=3\text{mm}$ como se puede apreciar en la Figura 2.37

Asumimos:

$$\varnothing_{\text{eje}} = 1.5 \text{ [in]}$$

$$\varnothing_{\text{chumacera}} = 1.25 \text{ [in]}$$

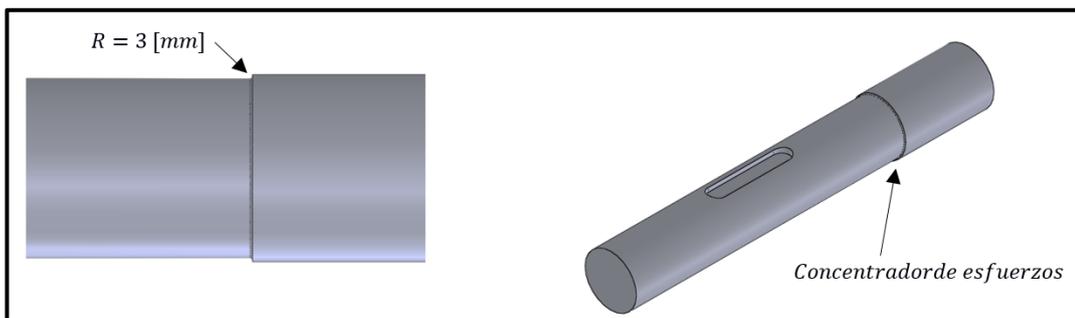


Figura 2.37: Sección donde se produce el concentrador de esfuerzos

Fuente: Elaboración propia

Se procede a determinar el diámetro del eje d_{eje} mediante la Norma ASME B106 para diseño de ejes de transmisión de movimiento.

$$d_{\text{eje}} = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 2.25; (Norton, 2011)}$$

Para la determinación del diámetro del eje se utilizan los siguientes parámetros:

Factor de seguridad mínimo de diseño igual a $N_f = 2.5$
 Resistencia a la fatiga corregida $S_e = 13,43$ [Ksi]
 Momento máximo $M_{max} = 74,06$ [Nm] = 654.56 [lb. in]
 Torque máximo $T_m = 78$ [Nm] = 689.38 [lb. in] .
 Esfuerzo a la fluencia $S_y = 30$ [Ksi]

Se procede a encontrar el concentrador de esfuerzo por fatiga K_f

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Ecuación 2.26; (Norton, 2011)}$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Ecuación 2.27; (Norton, 2011)}$$

Simbología:

K_t : Concentrador teórico

q : sensibilidad a la muesca

r : radio de la muesca = R

\sqrt{a} : Constante de Neuber

En la Tabla 2.27 se pueden encontrar la constante de Neuber para el material del que está hecho el eje de transmisión:

Tabla 2.27: Constante de Neuber para aceros

S_{ut} (kspi)	\sqrt{a} (in ^{0.5})
50	0.130
55	0.118
60	0.108
70	0.093
80	0.080
90	0.070
100	0.062
110	0.055
120	0.049
130	0.044
140	0.039
160	0.031
180	0.024
200	0.018
220	0.013
240	0.009

Fuente: (Norton, 2011)

Se procede a obtener la sensibilidad de la muesca:

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0.118}{0.11}}$$

$$q = 0.74$$

Y el concentrador teórico K_t

$$\frac{D}{d} = \frac{1.5}{1.25} = 1.2$$

$$\frac{r}{d} = \frac{3}{25.4} = 0.12$$

Utilizando la Figura 2.38 se encuentra el valor correspondiente del concentrador teórico con respecto a las relaciones existentes entre las reducciones que se le realizan al eje de transmisión.

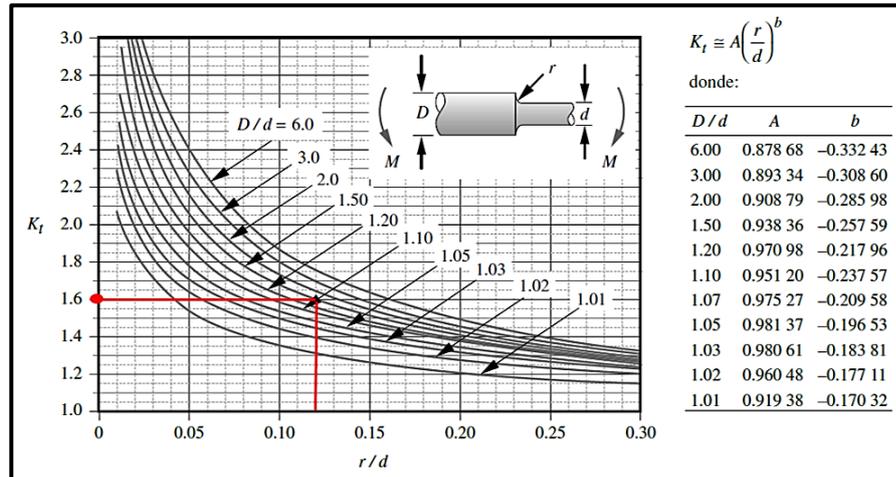


Figura 2.38: Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t para un eje con filete de hombro en flexión

Fuente: (Norton, 2011)

Por lo tanto: $K_t = 1.6$ y se procede a encontrar el concentrador de esfuerzo por fatiga K_f :

$$K_f = 1 + 0.74(1.6 - 1)$$

$$K_f = 1.44$$

Se procede a reemplazar todos los parámetros y se obtiene el diámetro del eje de diseño:

$$d = \left\{ \frac{32(2.5)}{\pi} \left[\left(1.44 * \frac{654.56}{13430} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{639.38}{30000} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 1.23 \text{ [in]}$$

Considerando las dimensiones del eje existentes en el mercado se pretende utilizar un eje de mayor diámetro, en la Figura 2.39 se aprecia un esquema del mismo.

$$d = 1.5 \text{ [in]} = 38.1 \text{ [mm]}$$

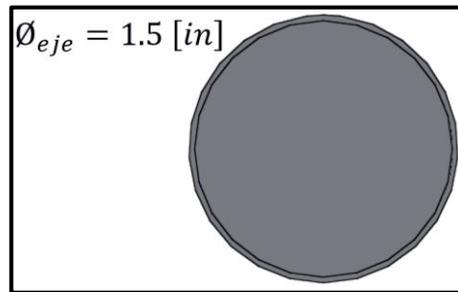


Figura 2.39: Dimensión del eje a comprar

Fuente: Elaboración propia

2.3.14.1 Selección de las chavetas a utilizar en el eje de transmisión.

A partir de la dimensión del eje seleccionado se procede a seleccionar la chaveta que se debe utilizar para lograr la transmisión de movimiento entre el eje y la pareja piñón-engrane. Se puede observar un esquema en la Figura 2.40

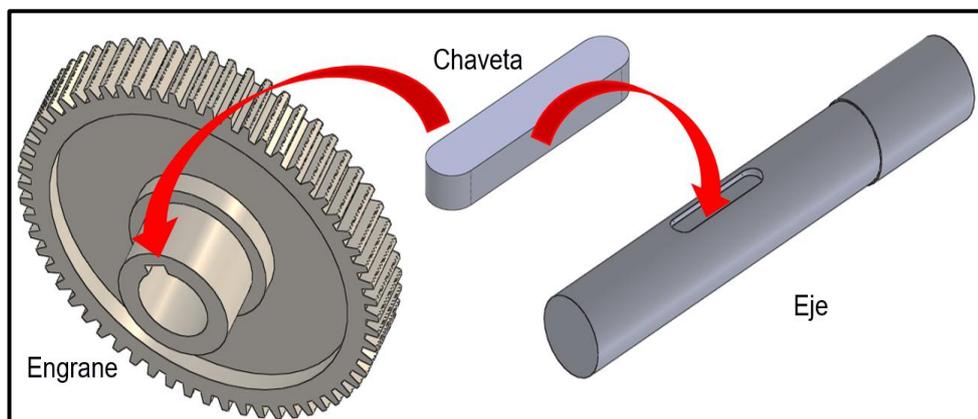


Figura 2.40: Esquema de transmisión Eje-Chaveta-Engrane

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la Tabla 2.29 dada por el libro de Norton se puede seleccionar las dimensiones estándar que debe tener la chaveta, las cuales se encuentran en la Tabla 2.28

Tabla 2.28: Dimensiones de la chaveta seleccionada

Dimensiones de la Chaveta	
Ancho (a)	12 [mm]
Altura (h)	8 [mm]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.29: Chavetas estándar en medidas métricas para ejes de transmisión

Diámetro del eje (mm)	Ancho × alto de la cuña (mm)
$8 < d \leq 10$	3 × 3
$10 < d \leq 12$	4 × 4
$12 < d \leq 17$	5 × 5
$17 < d \leq 22$	6 × 6
$22 < d \leq 30$	8 × 7
$30 < d < 38$	10 × 8
$38 < d \leq 44$	12 × 8
$44 < d \leq 50$	14 × 9
$50 < d \leq 58$	16 × 10
$58 < d \leq 65$	18 × 11
$65 < d \leq 75$	20 × 12
$75 < d \leq 85$	22 × 14
$85 < d \leq 95$	25 × 14

Fuente: (Norton, 2011)

Cabe mencionar que la longitud de cada chaveta depende de la longitud que tenga cada elemento de transmisión, en este caso el piñón, engrane y el volante. Por lo tanto se tienen las dimensiones finales en la Tabla 2.30.

En la sección de anexos Apéndice C se puede observar el Plano Esquemático C 5: Dimensiones de las chavetas

Tabla 2.30: Dimensiones de las chavetas a construir

Dimensiones de las chavetas a construir			
	Ancho a [mm]	Altura h [mm]	Longitud L [mm]
Piñón	12	8	40
Engrane	12	8	60
Volante	12	8	50

Fuente: Elaboración propia

La altura de cada chavetera que se debe mecanizar tanto en el eje de transmisión, así como en el piñón, engrane y volante se considera que sea la mitad de la altura de la chaveta.

$$h_{\text{chavetero}} = 4\text{mm}$$

2.3.15 Selección de los cojinetes de soporte del sistema basculante

A partir del análisis previo en el cual se seleccionó un eje de diámetro 1.5 pulgadas, se procedió a seleccionar la chumacera de piso que se debe utilizar mediante el catálogo NTN, en la Figura 2.41 se observa el tipo de chumacera de piso seleccionada.

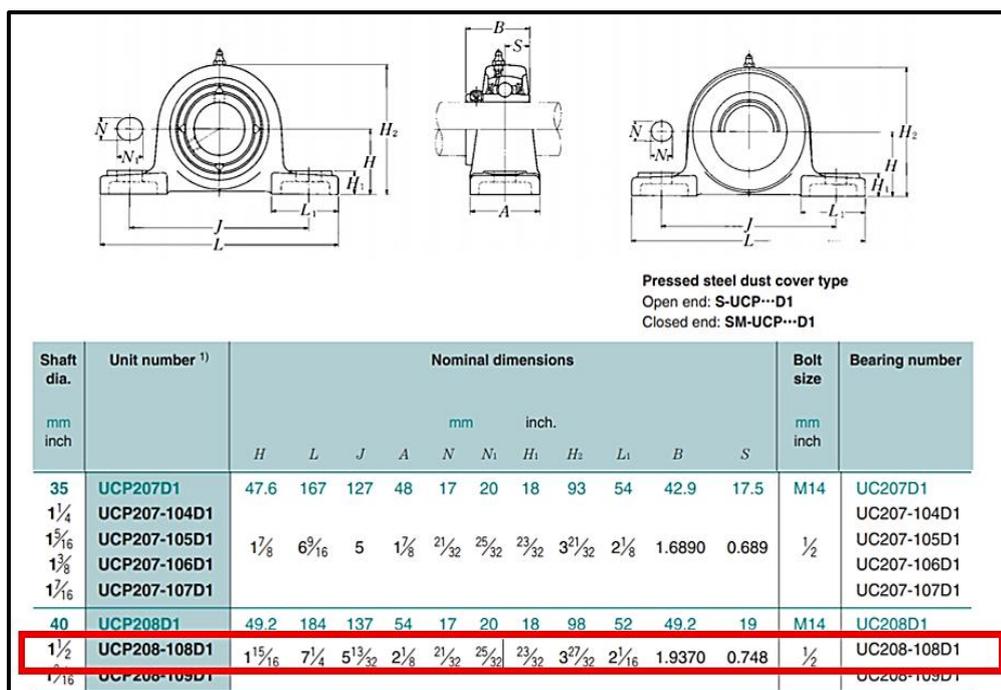


Figura 2.41: Tipo de chumacera de piso seleccionada mediante catalogo NTN

Fuente: (Corporation, 2013)

Finalmente se seleccionó la chumacera de piso NTN UCP208-108D1, cabe recalcar que para economizar en gastos se compraron 5 chumaceras de iguales parámetros pero de una marca más económica siendo esta la Marca LK, en la Figura 2.42 se puede observar el tipo de chumacera adquirido.

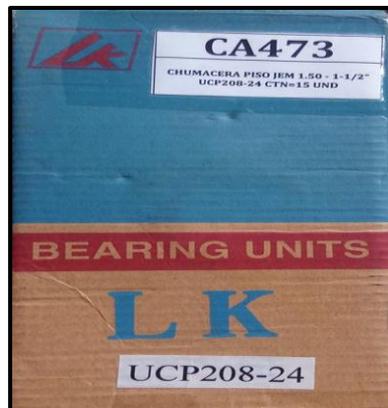


Figura 2.42: Chumacera de piso Marca LK

Fuente: Elaboración propia

2.3.16 Dimensionamiento de la soldadura en el eje de transmisión.

Para el dimensionamiento de la soldadura se seleccionan las áreas que se encuentran expuestas a mayores esfuerzos, en la Figura 2.43 se puede observar un esquema de los ensambles que serán soldadas a la carcasa del horno basculante.

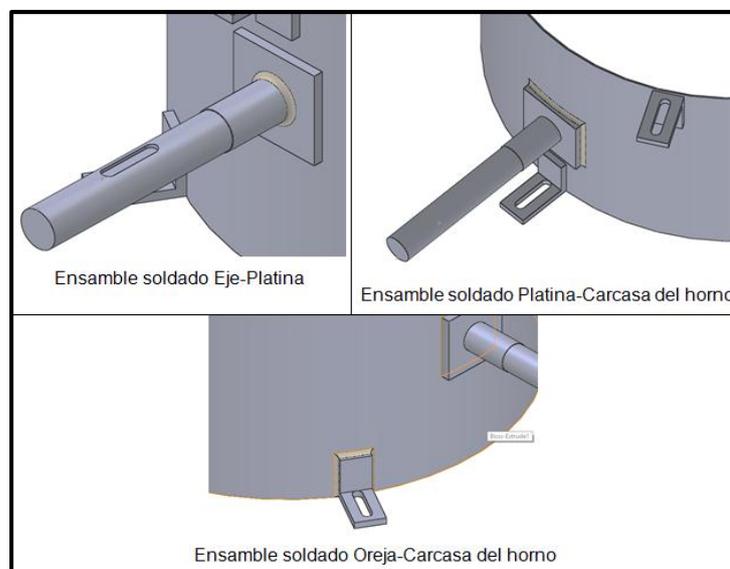


Figura 2.43: Esquema de partes soldadas a la carcasa del horno

Fuente: Elaboración propia

2.3.16.1 Análisis de soldadura del ensamble soldado Eje-Platina

El material de la chapa metálica es acero estructural ASTM 36 y se realizaron soldaduras de filete a todo el contorno, los cordones de soldadura se realizaron con electrodo E6011.

Este ensamble debido al peso del horno y el torque suministrado para voltearlo se encuentra sometido a una carga por cortante directo y a una carga por torsión.

Carga debido a cortante directo f_s

$$f_s = \frac{V}{A_w} \quad \text{Ecuación 2.28; (Norton, 2011)}$$

Simbología:

Vector cortante máximo: $V = 779.55 \text{ [N]}$

Factor de relación área/longitud:

$$A_w = \pi * d_{\text{eje}} \quad \text{Ecuación 2.29; (Norton, 2011)}$$

$$A_w = \pi * 38.1$$

$$A_w = 119.69 \text{ [mm]}$$

Por lo tanto:

$$f_s = \frac{779.553 \text{ [N]}}{0.119 \text{ [m]}}$$

$$f_s = 6512.65 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Carga debido a torsión f_t

$$f_t = \frac{Tc}{J_w} \quad \text{Ecuación 2.30; (Norton, 2011)}$$

Simbología:

Torsor máximo: $T = 46.8 \text{ [N.m]}$

Punto donde el torque es máximo:

$$c = \frac{d_{\text{eje}}}{2} \quad \text{Ecuación 2.31; (Norton, 2011)}$$

Momento polar de inercia de área:

$$J_w = \pi * \frac{(d_{eje})^3}{4} \quad \text{Ecuación 2.32; (Norton, 2011)}$$

$$J_w = \pi * \frac{(0.0381)^3}{4}$$

$$J_w = 0.0000434 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$f_t = \frac{46.8 \text{ [N.m]} * \frac{0.0381 \text{ [m]}}{2}}{0.0000434 \text{ [m}^3\text{]}}$$

$$f_t = 20524.66 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Se procede a calcular la magnitud de la fuerza unitaria resultante

$$|F_R| = \sqrt{f_s^2 + f_t^2} \quad \text{Ecuación 2.33; (Norton, 2011)}$$

$$|F_R| = \sqrt{6512.65^2 + 20524.66^2}$$

$$|F_R| = 21533.15 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right) = 122.78 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}} \right]$$

En base a las categorías de soldaduras definidas por la AISC (American Institute of Steel Construction), se utiliza la categoría F que otorga:

Límite de fatiga al cortante del metal soldado:

$$S_{ers} = 8 \text{ kpsi (Norton, 2011)}$$

Considerando un factor de seguridad: $N_{fr} = 1.5$

Se procede a calcular el esfuerzo permisible de soldadura:

$$\tau_{\text{permisible}} = \frac{S_{ers}}{N_{fr}} \quad \text{Ecuación 2.34; (Norton, 2011)}$$

$$\tau_{\text{permisible}} = \frac{8000 \text{ psi}}{1.5}$$

$$\tau_{\text{permisible}} = 5333 \text{ psi}$$

Se procede a obtener la dimensión de la garganta (t) de soldadura:

$$t = \frac{|F_R|}{\tau_{\text{permisible}}} \quad \text{Ecuación 2.35; (Norton, 2011)}$$

$$t = \frac{122.78 \text{ (lb/in)}}{5333 \text{ (Psi)}}$$

$$t = 0.023[\text{in}] \approx 0.6[\text{mm}]$$

Por lo tanto, el tamaño de la pierna (w) de la soldadura es:

$$w = 1.414 * t \quad \text{Ecuación 2.36; (Norton, 2011)}$$

$$w = 1.414 * 0.023 [\text{in}]$$

$$w = 0.033[\text{in}] \approx 0.83 [\text{mm}]$$

2.3.16.2 Análisis de soldadura del ensamble soldado Platina-Carcasa del horno

Se procede a realizar el mismo análisis anterior:

Carga debido a cortante directo f_s

$$f_s = \frac{V}{A_w}; \text{ (Norton, 2011)}$$

Simbología:

Vector cortante máximo: $V = 779.55 \text{ [N]}$

Factor de relación área/longitud:

$$A_w = 2b + 2d \quad \text{Ecuación 2.37; (Norton, 2011)}$$

Se pretende utilizar una platina de ancho $b = 90 \text{ [mm]}$ y alto $d = 90 \text{ [mm]}$

$$A_w = 2(90\text{mm}) + 2(90\text{mm})$$

$$A_w = 360 [\text{mm}]$$

Por lo tanto:

$$f_s = \frac{779.553 \text{ [N]}}{0.36 \text{ [m]}}$$

$$f_s = 2165.42 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Carga debido a torsión f_t

$$f_t = \frac{T_c}{J_w}; \text{ (Norton, 2011)}$$

Simbología:

Torsor máximo: $T = 46.8 \text{ [N.m]}$

Punto donde el torque es máximo: $c = \frac{d}{2}$ (Norton, 2011)

Momento polar de inercia de área:

$$J_w = \frac{(b+d)^3}{6} \quad \text{Ecuación 2.38; (Norton, 2011)}$$

$$J_w = \frac{(0.090\text{m} + 0.090\text{m})^3}{6}$$

$$J_w = \mathbf{0.000972 \text{ m}^3}$$

Por lo tanto:

$$f_t = \frac{46.8 \text{ [N.m]} * \frac{0.09[\text{m}]}{2}}{0.000972 \text{ [m}^3]}$$

$$f_t = \mathbf{2166.67 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]}$$

Se procede a calcular la magnitud de la fuerza unitaria resultante

$$|F_R| = \sqrt{f_s^2 + f_t^2}; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$|F_R| = \sqrt{2165.42^2 + 2166.67^2}$$

$$|F_R| = \mathbf{3063.25 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right) = 17.5 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}} \right]}$$

Se utiliza el mismo esfuerzo permisible usado anteriormente dado por la categoría F:

$$\tau_{\text{permisible}} = 5333 \text{ psi}$$

Se procede a obtener la dimensión de la garganta (t) de soldadura:

$$t = \frac{|F_R|}{\tau_{\text{permisible}}}; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$t = \frac{17.5 \text{ (lb/in)}}{5333 \text{ (Psi)}}$$

$$t = \mathbf{0.0033[\text{in}] \approx 0.083[\text{mm}]}$$

Por lo tanto, el tamaño de la pierna (w) de la soldadura es:

$$w = 1.414 * t; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$w = 1.414 * 0.0033 \text{ [in]}$$

$$w = \mathbf{0.0047[\text{in}] \approx 0.12 \text{ [mm]}}$$

2.3.16.3 Análisis de soldadura del ensamble soldado Oreja-Carcasa del horno

Se decide soldar orejas de soporte a las tres partes que componen el cuerpo para así mantenerlas unidas y formar un solo cuerpo, es decir en la base se soldarán 3 orejas, en la carcasa 6 y en la tapa del horno 3 orejas más. Por lo tanto, es necesario realizar el análisis de soldadura para estas orejas de soporte.

Las orejas se componen de dos platinas rectangulares soldadas en forma de L mediante soldadura de filete, en la Tabla 2.31 se pueden encontrar las dimensiones de las platinas que conforman las mismas. Asimismo, en la sección de anexos Apéndice C se puede encontrar el Plano esquemático C 7: Dimensiones de las orejas de soporte.

Tabla 2.31: Dimensión de platinas rectangulares que componen las orejas de soporte

Platina soldada a la carcasa del cuerpo	
Largo: d_1 [mm]	40
Ancho: b_1 [mm]	50
Espesor: e_1 [mm]	9
Platina transversal a la carcasa del cuerpo	
Largo: d_2 [mm]	75
Ancho: b_2 [mm]	50
Espesor: e_2 [mm]	9

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, es necesario un análisis de soldadura de filete entre ambas platinas que componen la oreja, y otro en donde se considere únicamente la oreja soldada a la carcasa del cuerpo.

2.3.16.3.1 Soldadura en la platina soldada a la carcasa del cuerpo

Las orejas que más carga estarán soportando serán las que se encuentren soldadas a la carcasa del horno en la parte inferior que sirven para unir el cuerpo y la base. La carga soportada por cada una se asume será la tercera parte del peso de todo el horno ya

que son 3 las orejas que se planean soldar. Se puede observar un esquema en la Figura 2.44

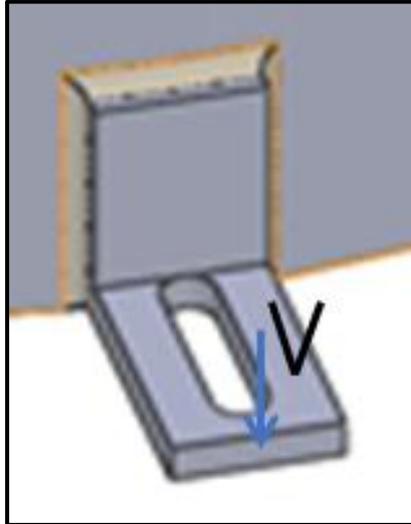


Figura 2.44: Platina de la oreja soldada a la carcasa

Fuente: Elaboración propia

Carga cortante:

$$V = \frac{W}{3} \text{ [N]}$$

$$V = \frac{1559.1 \text{ [N]}}{3}$$

$$V = 519.7 \text{ [N]}$$

Como no existe torque transmitido en las orejas solo se procede a obtener la carga por cortante directo y también se considera que existe un momento por flexión si se considera que la carga se transmite al extremo de la oreja transversal

Carga debido a cortante directo f_s

$$f_s = \frac{V}{A_w}; \text{ (Norton, 2011)}$$

Simbología:

Vector cortante máximo: $V = 519.7 \text{ [N]}$

Factor de relación área/longitud: $A_w = 2b + 2d$ (Norton, 2011)

$$A_w = 2(50\text{mm}) + 2(40\text{mm})$$

$$A_w = 180 \text{ [mm]}$$

Por lo tanto:

$$f_s = \frac{519.7 \text{ [N]}}{0.18 \text{ [m]}}$$

$$f_s = 2887.22 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Carga debido a flexión f_b

$$f_b = \frac{M}{S_w}$$

Ecuación 2.39; (Norton, 2011)

Momento flector M:

$$M = V * d_2$$

$$M = 519.7 \text{ [N]} * 0.075 \text{ [m]}$$

$$M = 38.98 \text{ [N.m]}$$

Módulo de sección:

$$S_w = b_2 * d_2 + \frac{d_2^2}{3}$$

Ecuación 2.40; (Norton, 2011)

$$S_w = (0.05 \text{ m} * 0.075 \text{ m}) + \frac{(0.075 \text{ m})^2}{3}$$

$$S_w = 0.00563 \text{ [m}^2\text{]}$$

Por lo tanto:

$$f_b = \frac{38.98 \text{ [N.m]}}{0.00563 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$f_b = 6929.78 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Se procede a calcular la magnitud de la fuerza unitaria resultante

$$|F_R| = \sqrt{f_s^2 + f_b^2}; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$|F_R| = \sqrt{2887.22^2 + 6929.78^2}$$

$$|F_R| = 7507.19 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right] = 42.81 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}} \right]$$

Se utiliza el mismo esfuerzo permisible usado anteriormente dado por la categoría F:

$$\tau_{\text{permisible}} = 5333 \text{ psi}$$

Se procede a obtener la dimensión de la garganta (t) de soldadura:

$$t = \frac{|F_R|}{\tau_{\text{permisible}}}; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$t = \frac{42.81 \text{ (lb/in)}}{5333 \text{ (Psi)}}$$

$$t = 0.0080[\text{in}] \approx 0.204[\text{mm}]$$

Por lo tanto, el tamaño de la pierna (w) de la soldadura es:

$$w = 1.414 * t; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$w = 1.414 * 0.0033 [\text{in}]$$

$$w = 0.0114[\text{in}] \approx 0.29 [\text{mm}]$$

2.3.16.3.2 Soldadura de filete entre las platinas que componen la oreja.

Las platinas que componen las orejas que son soldadas perpendicularmente en forma de filete, se considera la misma carga cortante usada en el análisis anterior $V = 519.7 \text{ [N]}$ y el mismo momento flector $M = 38.98 \text{ [N.m]}$. Se puede observar un esquema de éstas en la Figura 2.45

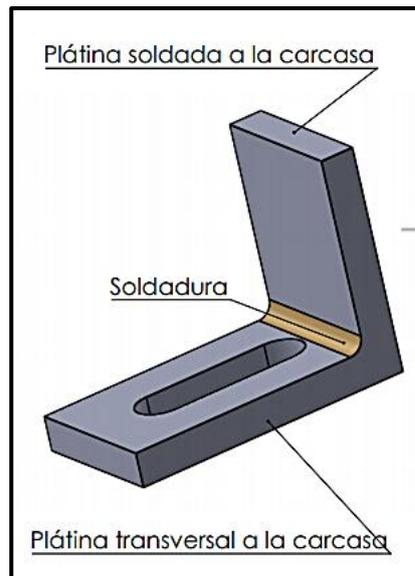


Figura 2.45: Esquema de las platinas que componen la oreja

Fuente: Elaboración propia

Carga debido a cortante directo f_s

$$f_s = \frac{V}{A_w}; \text{ (Norton, 2011)}$$

Simbología:

Factor de relación área/longitud:

$$A_w = b$$

Ecuación 2.41; (Norton, 2011)

$$A_w = 50 \text{ [mm]}$$

Por lo tanto:

$$f_s = \frac{519.7 \text{ [N]}}{0.05 \text{ [m]}}$$

$$f_s = 10394 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Carga debido a flexión f_b

$$f_b = \frac{M}{S_w}; \text{ (Norton, 2011)}$$

Módulo de sección:

$$S_w = \frac{b^2}{6}$$

Ecuación 2.42; (Norton, 2011)

$$S_w = \frac{(0.05\text{m})^2}{6}$$

$$S_w = 0.00042 \text{ [m}^2\text{]}$$

Por lo tanto:

$$f_b = \frac{38.98 \text{ [N. m]}}{0.00042 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$f_b = 93552 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Se procede a calcular la magnitud de la fuerza unitaria resultante

$$|F_R| = \sqrt{f_s^2 + f_b^2}; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$|F_R| = \sqrt{10394^2 + 93552^2}$$

$$|F_R| = 94127.64 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right] = 536.72 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}} \right]$$

Se utiliza el mismo esfuerzo permisible usado anteriormente dado por la categoría F:

$$\tau_{\text{permisible}} = 5333 \text{ psi}$$

Se procede a obtener la dimensión de la garganta (t) de soldadura:

$$t = \frac{|F_R|}{\tau_{\text{permisible}}}; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$t = \frac{536.72 \text{ (lb/in)}}{5333 \text{ (Psi)}}$$

$$t = 0.101[\text{in}] \approx 2.57[\text{mm}]$$

Por lo tanto, el tamaño de la pierna (w) de la soldadura es:

$$w = 1.414 * t; \text{ (Norton, 2011)}$$

$$w = 1.414 * 0.101 [\text{in}]$$

$$w = 0.143[\text{in}] \approx 3.63 [\text{mm}]$$

El código de soldadura estructural AWS D1.1 define tamaños mínimos de soldadura con base al espesor del material que se esté soldando, estos datos se pueden apreciar en la Tabla 2.32

Tabla 2.32: Tamaños mínimos de soldadura en filetes recomendados

Espesor del metal base (T) en [mm]	Tamaño mínimo de la pierna (w) en la soldadura. [mm]
T < 6	3
6 < T ≤ 12	5
12 < T ≤ 20	6
20 < T	8

Fuente: (Norton, 2011)

Dado que la mayor dimensión de la garganta del cordón de soldadura fue de 3.63 mm entre todos los elementos soldados, se decidió realizar un cordón de soldadura con un tamaño de pierna w de 5 mm como base para realizar todos los ensambles soldados.

2.3.16.4 Selección de pernos para sujetar las orejas de soporte

Para unir la base y tapa del horno con el cuerpo a través de las orejas de soporte se decidió utilizar pernos cabeza hexagonal de grado SAE 2 hechos de acero de bajo carbono de ½ pulgada de

diámetro por 2 pulgadas de longitud en conjunto con su tuerca estándar y anillos de presión.

Se eligió este tipo de perno porque se conoce que su resistencia mínima de rotura por tracción es de 60000 psi y por cortante es de 27646 psi como se muestra en la Figura 2.46. Lo que quiere decir que cada perno resiste tranquilamente 5428 lb de carga, por lo tanto, los pernos seleccionados soportan sin problema las cargas que se producen debido al peso del horno.

Fuerza de Clampeo, Torque y Rotura para Tornillos (USA)										
% Esf. Tension	0.35	(30-75%)								
Esf. Tension PSI	176000	(60000-180000)								
Coef. Fricc.	0.15	(0.15 Lub / 0.20 Seco)								
Diam	Hilos	Paso	D. Paso	D. Menor	Esf. En Rosca	Presion de Clampeo Lbs	Torque Lbs / Pulgs	Torque Lbs / Pie	Esfuerzo a corte Lbs	Metrico
0.25	20	0.050	0.218	0.185	0.0318	1,960	50	4	6,912	M6
0.3125	18	0.056	0.276	0.240	0.0524	3,230	127	11	10,799	M8
0.375	16	0.063	0.334	0.294	0.0775	4,773	268	22	15,551	M10
0.5	13	0.077	0.450	0.400	0.1419	8,741	865	72	27,646	M12
0.625	11	0.091	0.566	0.507	0.2260	13,922	2,138	178	43,197	M16
0.75	10	0.100	0.685	0.620	0.3345	20,603	4,511	376	62,204	M20
1	8	0.125	0.919	0.838	0.6057	37,314	14,425	1202	110,584	M24
1.125	7	0.143	1.032	0.939	0.7633	47,018	23,042	1920	139,958	M30
Grado	Esf. Ten.	Dureza	Especificacion del Material							
Sae Grado 2	60000	53-70 Brn	Acero de bajo carbon							
Sae Grado 5 (8.8)	120000	22-32 R/C	Acero al carbon, templado y revenido							
Sae Grado 8 (10.9)	150000	31-38 R/C	Acero al carbon aleado, templado y revenido							
ASTM A574 (12.9)	180000	39-44 R/C	Esp. estandar para Tornillo Socket (Acero al carbon aleado, templado y revenido)							
(*, *) Son equivalentes para tornillos metricos										
Fuente:										
Machining handbook, fastenal, Astm										

Figura 2.46: Resistencias mínimas de tensión y cortante para perno de ½ pulgada.

Fuente: (Fastenal, 2008)

CAPÍTULO 3

3. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN

3.1 Esquema guía para construir el cuerpo del horno

En la Figura 3.1 y Figura 3.2 se puede apreciar un esquema guía para realizar la correspondiente construcción del cuerpo del horno y todos sus componentes.

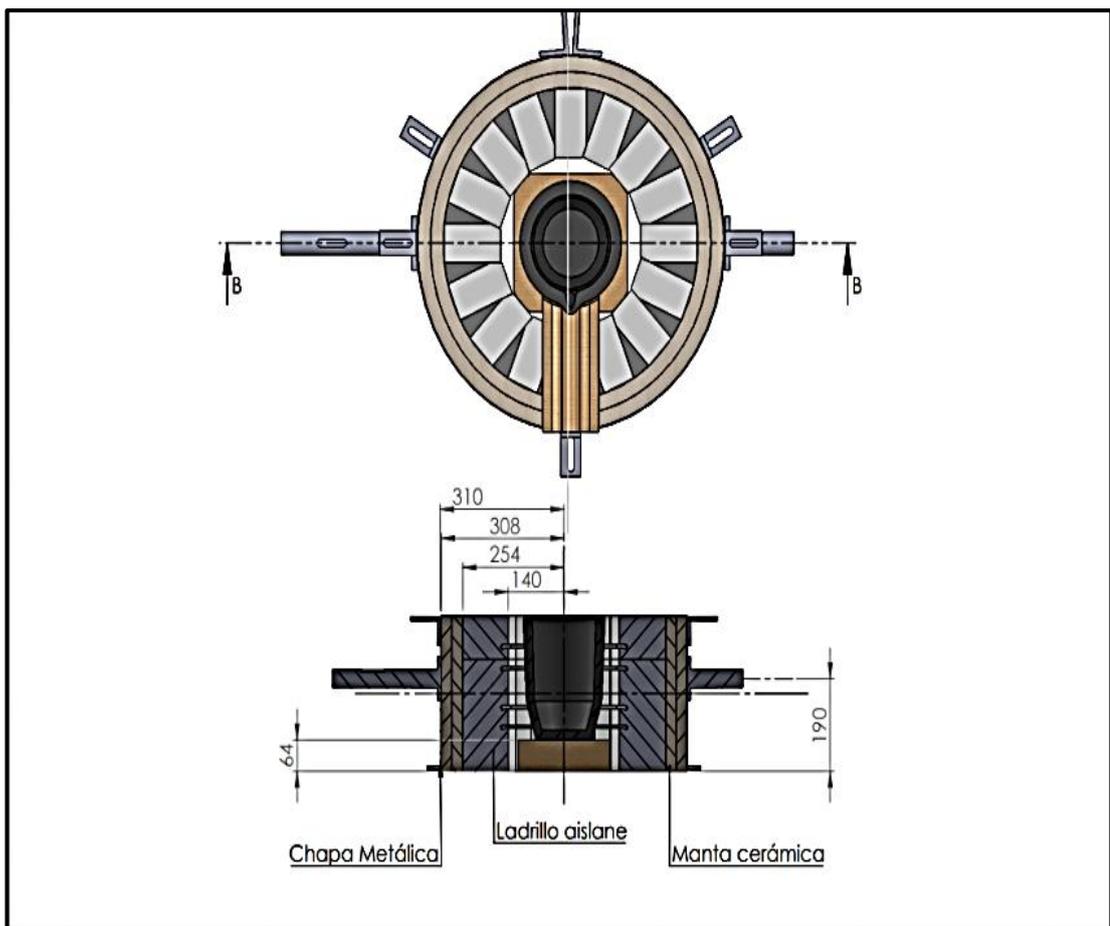


Figura 3.1: Esquema guía del cuerpo del horno en corte transversal

Fuente: Elaboración propia

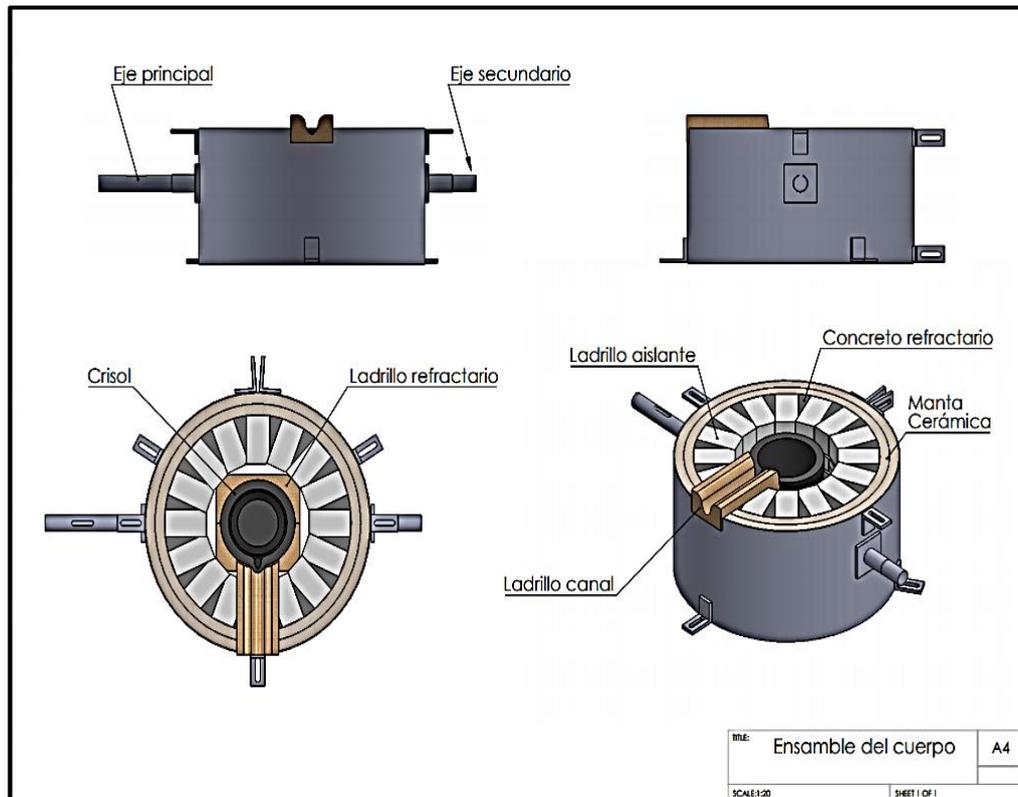


Figura 3.2: Esquema guía del cuerpo del horno y sus componentes

Fuente: Elaboración propia

3.2 Conformación del hogar del horno

3.2.1 Preparación de ladrillos para el hogar del horno

Se comenzó por darles la forma a cada ladrillo aislante para que formando una matriz circular conformen el cuerpo cilíndrico del horno de diámetro interno 280mm. Las dimensiones de cada ladrillo se pueden observar en la Figura 3.3

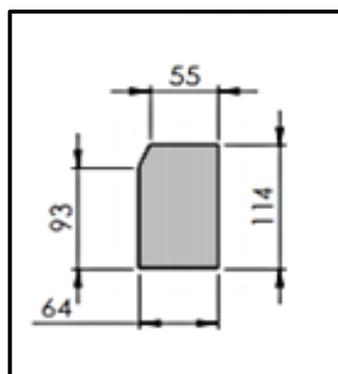


Figura 3.3: Dimensiones de cada ladrillo aislante

Fuente: Elaboración propia

Ya que los ladrillos tenían una altura de 230mm fue necesario unir un pedazo más pequeño de altura 90mm para completar así la altura total del cilindro la cual era de 320 mm. Es importante señalar que se dejó un espacio en la parte superior del cilindro de un ancho de 114mm, esto para ubicar un ladrillo refractario al cual se le realizará un canal que conecte al crisol para vaciar el metal fundido.

Se utilizaron dos ladrillos refractarios como base para soportar el crisol, se deben cortar los extremos para que puedan entrar en el hogar del horno sin problemas.

En la Figura 3.4 se puede observar el esquema que se siguió al momento de construir la matriz de ladrillos.

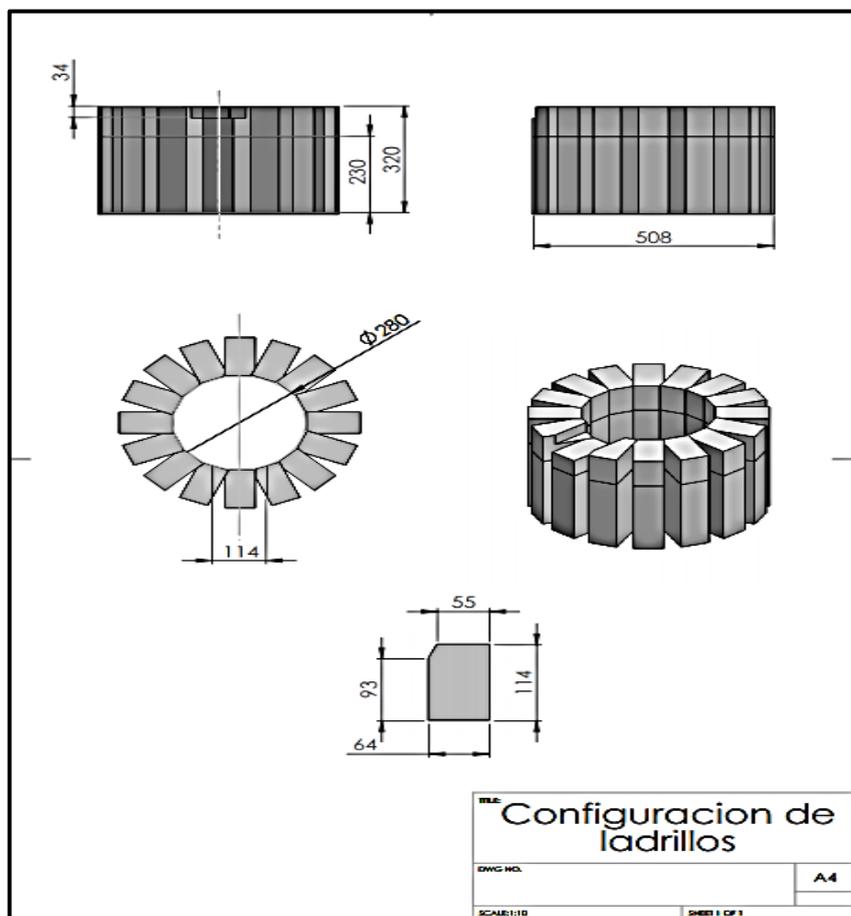


Figura 3.4: Esquema a seguir en la construcción para conformar el cuerpo del horno

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.5 se puede apreciar como quedo la matriz de ladrillos que conformaron el cuerpo del horno y la base de ladrillos refractarios que se va a utilizar para soportar el crisol.



Figura 3.5: Matriz de ladrillos que conforman el cuerpo del horno

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Construcción del canal de vaciado de colada

El canal de vaciado se planeó realizarlo en un ladrillo refractario de tal forma que el pico del crisol quede al mismo nivel del canal formando un camino por el cual el metal fundido pueda fluir.

En la Figura 3.6 y en la Figura 3.7 se puede observar la forma en que se maquino el ladrillo refractario para darle la forma del pico del crisol y el canal de vaciado, para eso se utilizó una amoladora con disco de corte de diamante segmentado apropiado para esta tarea. Cabe destacar que para poder maquinar de una forma sencilla el ladrillo refractario era necesario humedecerlo repetidas ocasiones lo que lo hacía más suave.



Figura 3.6: Mecanizado del ladrillo refractario para realizar el pico del crisol

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.7: Mecanizado del ladrillo refractario para realizar el canal de vaciado

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Construcción de 4 canales para las resistencias eléctricas

Los canales para colocar las resistencias eléctricas tienen una dimensión de 10 mm de ancho por 10 mm de alto, espacio suficiente para instalar las resistencias que se diseñaron anteriormente. Las resistencias con diámetro de alambre de 1 mm fueron diseñadas para ocupar un solo canal del horno, mientras que la resistencia con diámetro de alambre de 1.5 mm por tener una longitud de espira mayor necesita 2 canales, por lo

tanto el primer canal o superior tiene un agujero de entrada conectándose al segundo canal el cual tiene el agujero de salida para la resistencia más larga, mientras que el tercer y cuarto canal tienen ambos agujeros de entrada y salida para su respectiva resistencia.

El primer canal se encuentra a una altura de 255mm, el segundo a 205mm, el tercero a 125 mm y el cuarto se encuentra a 85 mm con respecto a la altura del cuerpo del horno. En la Figura 3.8 se puede observar la construcción de los canales en los ladrillos aislantes y los agujeros por donde pasan los alambres de las resistencias.

En la sección de anexos Apéndice C se encuentra el Plano esquemático C 16: Dimensiones de los canales para las resistencias eléctricas.



Figura 3.8: Construcción de canales para las resistencias eléctricas

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Unión de los ladrillos aislantes y canal de vaciado utilizando concreto refractario para formar el cuerpo del horno

Para lograr adherir o pegar los ladrillos aislantes y el canal de vaciado, con la finalidad de que formen un solo cuerpo, se utilizó mezcla de concreto refractario vertida sobre los espacios existentes entre ladrillos y

de esta manera lograr la forma cilíndrica del cuerpo del horno. Se encerró la matriz de ladrillos dentro de un cilindro de caucho para así evitar derramamientos de la mezcla y lograr dar la forma deseada. Se puede observar en la Figura 3.9 el cuerpo final del horno.



Figura 3.9: Cuerpo cilíndrico del horno

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Corte de la manta cerámica para recubrir el cuerpo del horno

A partir del tamaño de la manta cerámica comprada se cortan dos pedazos rectangulares de tal forma que puedan recubrir al cuerpo del horno, en la Figura 3.10 se pueden observar las dimensiones que deben tener estos.

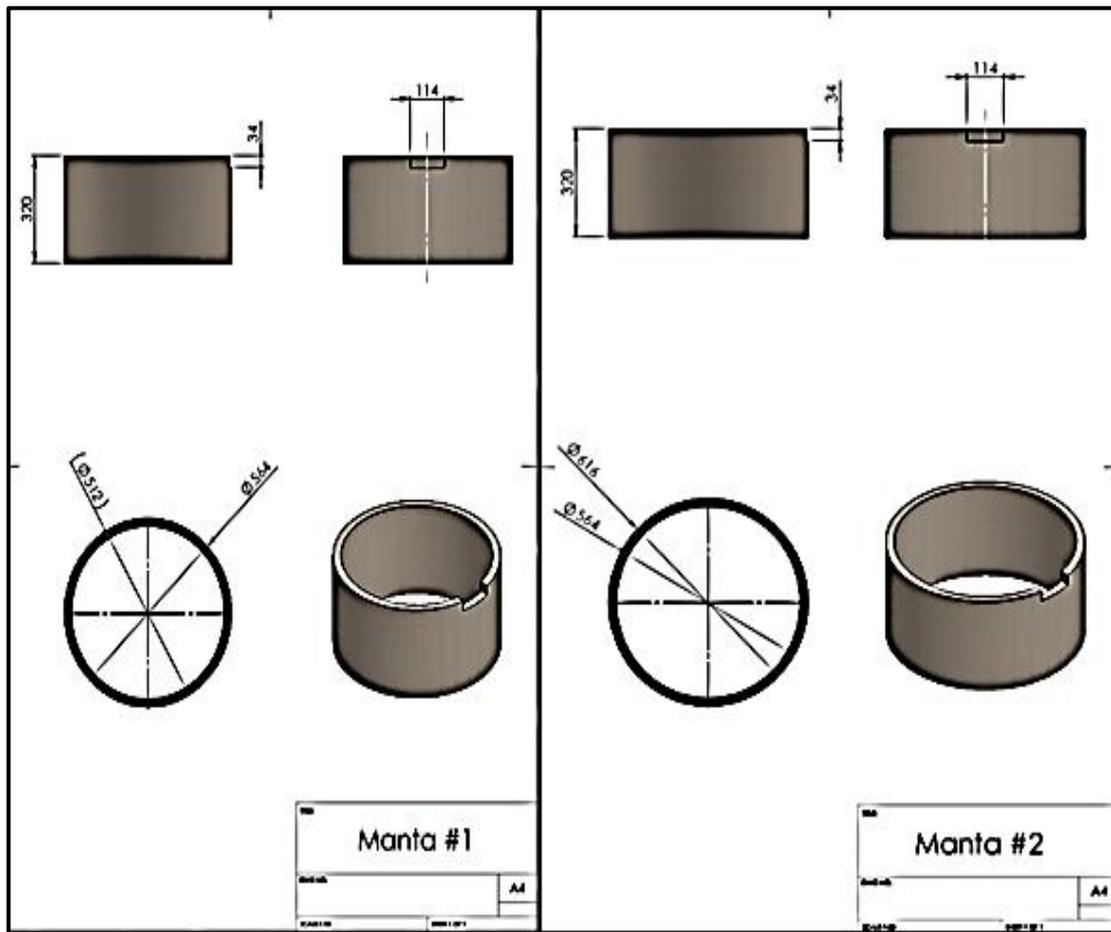


Figura 3.10: Tamaños de pedazos de manta refractaria.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.11 se puede observar la forma en que se cortaron los pedazos de manta refractaria para recubrir el cuerpo del horno.



Figura 3.11: Pedazos de manta refractaria para recubrir al horno

Fuente: Elaboración propia

3.3 Construcción de las carcasas metálicas para el cuerpo, base y tapa del horno

3.3.1 Proceso de corte de la chapa metálica

A partir de la dimensión total de la chapa metálica se realizaron 3 procesos de corte con plasma de forma rectangular para las carcasas del cuerpo, tapa y base del horno, y 2 procesos de corte con plasma de forma circular para los discos que completan la tapa y base del horno. Los rectángulos tienen una longitud 1948 mm dado por el perímetro del diámetro externo del horno y con alturas de 320 mm para el cuerpo del horno, y 14 mm para ambas tapa y base del horno.

Los discos deben tener un diámetro de 620mm. En la Figura 3.12, Figura 3.13 y Figura 3.14, se puede observar el proceso de corte de estas. Los cortes se realizaron en la empresa GRINTEC ya que esta brindaba este servicio.



Figura 3.12: Corte con plasma para la carcasa del cuerpo del horno

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.13: Corte con plasma para la carcasa de la tapa y base del horno

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.14: Corte con plasma para discos de la tapa y base del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Proceso de preformado y rolado para dar la forma cilíndrica a las carcadas.

A los rectángulos obtenidos anteriormente en el proceso de corte se les realizó primero un proceso de preformado en una prensa mecánica con el fin de facilitar el posterior proceso de rolado que se les aplicó. En la Figura 3.15 y Figura 3.16 se puede observar ambos procesos hasta obtener la forma cilíndrica deseada. Ambos procesos fueron realizados en la empresa GRINTEC.



Figura 3.15: Proceso de preformado en prensa mecánica

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.16: Proceso de rolado para dar la forma cilíndrica

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.17 se pueden observar como quedaron las carcasas de la base y tapa del horno las cuales se unieron temporalmente por puntos de soldadura para mantener su forma cilíndrica, esto hasta que posteriormente se unan completamente con un correcto cordón de soldadura.



Figura 3.17: Carcasa de la tapa y base del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Esquema guía a seguir para completar la carcasa del cuerpo del horno

En la Figura 3.18 se puede observar un esquema guía de la forma en que debe quedar la carcasa del cuerpo del horno cuando esté completamente construida junto a los elementos soldados que la conforman.

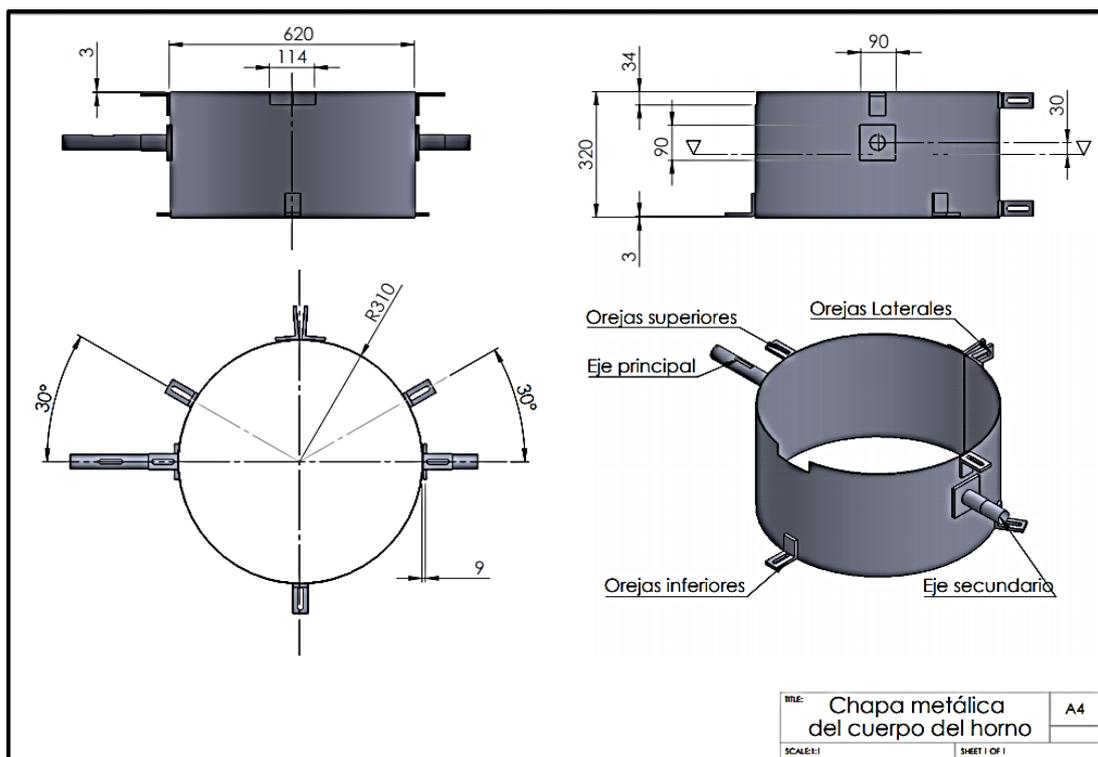


Figura 3.18: Esquema guía para construcción de la carcasa del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Construcción de las orejas de soporte de las carcasas del cuerpo, base y tapa del horno

Se utilizó como guía el Plano esquemático C 7: Dimensiones de las orejas de soporte para construir estos elementos, para esto se tuvieron que realizar varios procesos de construcción:

3.3.4.1 Proceso de corte de las platinas que conforman las orejas de soporte

En el mercado local se adquirió una platina con longitud 625 mm, un ancho de 80 mm y un espesor de 9 mm, por lo que fue necesario realizar varios cortes usando la sierra mecánica existente en el laboratorio de máquinas herramientas ubicado en el área de tecnologías, esto con el fin de obtener las platinas requeridas con las dimensiones preestablecidas.

En la Figura 3.19 se puede observar el proceso de corte realizado.



Figura 3.19: Proceso de corte de las platinas para las orejas de soporte

Fuente: Elaboración propia

3.3.4.2 Proceso de taladrado de las platinas transversales de las orejas de soporte

Las platinas transversales serán las que permitan sujetar las carcasas del horno mediante pernos, por lo tanto, fue necesario realizarles un proceso de taladrado y un proceso de fresado usando el taladro de

banco y la máquina fresadora existentes en el laboratorio de máquinas herramientas PROTMEC ubicado en el área de tecnologías.

Se anticiparon posibles problemas por desajustes entre las orejas por lo que se decidió realizar agujeros de canal de 47mm de longitud o comúnmente conocidos como “ojos chinos”, por lo tanto, el proceso de taladrado consistía en realizar dos agujeros separados a 34 mm y un agujero en el medio usando la broca de centro para de esta forma facilitar el arranque de viruta de la broca de ½ pulgada de diámetro que otorga el ancho del canal. Después de realizar las perforaciones se procedió a completar los canales en la fresadora usando una fresa de ½ pulgada de diámetro.

En la Figura 3.20 se pueden observar las perforaciones realizadas en las platinas y en la Figura 3.21 se observa la forma del canal hecho en las platinas.



Figura 3.20: Proceso de taladrado en las platinas que conforman las orejas

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.21: Canal realizado en las platinas transversales de las orejas de soporte

Fuente: Elaboración propia

3.3.4.3 Proceso de soldadura de filete entre las platinas que conforman las orejas de soporte

Las platinas fueron soldadas en forma de L utilizando electrodo de alta penetración E6011 realizando una soldadura de filete horizontal, para realizar dicha tarea se utilizaron los equipos de protección y la máquina de soldar existentes en el laboratorio de soldadura de la facultad en el área de materiales. En la Figura 3.22 se puede observar el cordón de soldadura realizado y la forma final de las orejas de soporte.



Figura 3.22: Cordón de soldadura realizado en las orejas de soporte

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Proceso de soldadura de las orejas de soporte a la carcasa del cuerpo

Al tener las orejas de soporte listas se procedió a realizar soldaduras de filete con electrodo de alta penetración E6011, se soldaron 4 orejas laterales, 2 orejas superiores y 3 orejas inferiores en la carcasa del cuerpo como se muestra en la Figura 3.18 cabe destacar que para evitar problemas al momento de soldar las orejas de espesor grande en comparación con el espesor de la chapa metálica se dejó un desfase de 3 mm entre la periferia de la carcasa con la periferia de las orejas de soporte con el fin de evitar perder la forma del cilindro.

En la Figura 3.23 se pueden observar las orejas de soporte soldadas a la carcasa del cuerpo del horno. En la Figura 3.24 se puede observar que existió una buena fusión entre la carcasa y las orejas de soporte.



Figura 3.23: Orejas de soporte soldadas a la carcasa del cuerpo del horno

Fuente: Elaboración propia

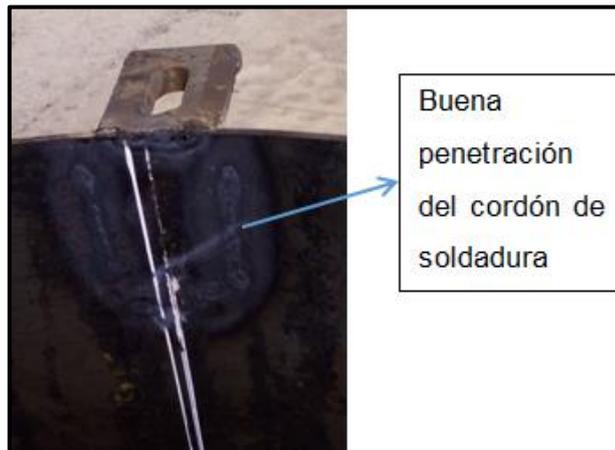


Figura 3.24: Buena penetración del cordón de soldadura

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Proceso de soldadura del eje primario y secundario a la carcasa del cuerpo del horno

El eje primario y secundario debe soldarse a la platina cuadrada de dimensión 90 x 90 mm justo en su centro, para realizar esto se va a usar electrodo de alta penetración E6011 con un tamaño de pierna de 5 mm.

Al estar el eje unido a la platina se procede a soldar la última a una distancia de 30 mm por encima del eje central del horno utilizando también electrodo de alta penetración E6011 usando el espesor de 9mm de la platina como el metal base para evitar realizar perforaciones en la carcasa del cuerpo del horno, el cordón también debe tener una dimensión de pierna de 5 mm.

En la Figura 3.25 se puede apreciar el diseño guía a utilizar cuando se realicen estas tareas.



Figura 3.25: Esquema de cordones de soldadura a realizar en los ejes primario y secundario.

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 Esquema guía para construir la base de soporte

En la Figura 3.26 se puede observar un esquema guía de la forma en que debe quedar la base de soporte del horno cuando esté completamente construida junto a los materiales y elementos soldados que la conforman.

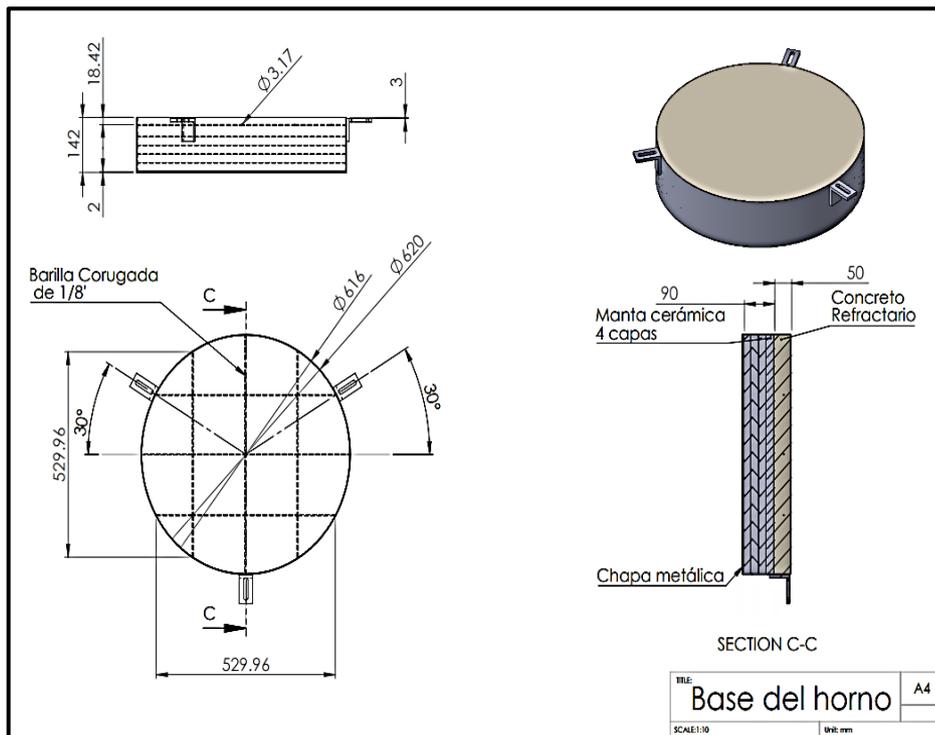


Figura 3.26: Esquema guía para la construcción de la base de soporte del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.7.1 Construcción del esqueleto de la base de soporte.

Primero se realizó la completa unión del cilindro rolado mediante un proceso de soldadura a tope usando electrodo de baja penetración E7018 debido a los pequeños espesores de estas partes.

En la Figura 3.27 se puede observar el proceso de soldadura realizado.



Figura 3.27: Soldadura a tope del cilindro rolado de la base de soporte

Fuente: Elaboración propia

Luego se realizó un mallado de varilla corrugada de diámetro 1/8 de pulgada como muestra la Figura 3.26, esto se realizó con la finalidad de que el concreto refractario se agarre fuertemente a la carcasa, para soldar las varillas al interior de la misma se utilizó electrodo de alta penetración E6011.

En la Figura 3.28 se puede observar el momento en que se marcaron los puntos donde debía ubicar cada varilla que conforma el mallado, y en la Figura 3.29 se observa el mallado soldado en el interior de la carcasa.



Figura 3.28: Colocación de varillas corrugadas para el mallado

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.29: Mallado soldado en la carcasa

Fuente: Elaboración propia

3.3.7.2 Elaboración del concreto refractario para la base de soporte del horno

El proceso guía utilizado fue el recomendado por la empresa “LA LLAVE” donde se adquirió el producto, es importante señalar que se deben utilizar gafas de protección, respirador con filtro mecánico, guantes y ropa adecuada antes de manipular este material. Aproximadamente se utilizaron 15 kg de concreto para dar el espesor de 50mm, por lo que fueron necesarios 3 litros de agua mezclando el

producto durante 5 minutos para lograr una distribución homogénea de la humedad y una buena manipulación de la mezcla.

Es necesario mencionar que la carcasa se ubicó sobre madera para evitar aislar la mezcla de concreto del piso y que se pusieron pedazos de ladrillos aislantes con la finalidad de mejorar el aislamiento en la base de soporte. Luego del vertido de la mezcla se dejó secar el concreto durante 3 días como recomendaba el fabricante.

En la Figura 3.30 se puede observar los materiales usados para elaborar la mezcla de concreto y cuando está totalmente vertido dentro de la carcasa



Figura 3.30: Preparación de la mezcla de concreto y vertido en la carcasa

Fuente: Elaboración propia

3.3.7.3 Instalación de la manta refractaria dentro de la base de soporte del horno

Los discos de manta refractaria que se deben ubicar en la base de soporte son 4, todos con un diámetro de 620 mm, en la Figura 3.31 se puede observar la instalación de la manta dentro de la base de soporte.



Figura 3.31: Instalación de manta refractaria dentro de la base de soporte

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procedió a cerrar la carcasa de la base del horno con el disco metálico mediante un proceso de soldadura, primero se realizaron varios puntos de soldadura con electrodo de alta penetración E6011 para mantener fijo el disco metálico, luego utilizando electrodo de baja penetración E6013 se procedió a realizar el cordón completo de soldadura cerrando por completo la base de soporte. En la Figura 3.32 se puede observar el proceso realizado.



Figura 3.32: Base de soporte del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Esquema guía para construir la tapa del horno

En la Figura 3.33 se puede observar un esquema guía de la forma en que debe quedar la tapa del horno cuando esté completamente construida junto a los materiales y elementos soldados que la conforman.

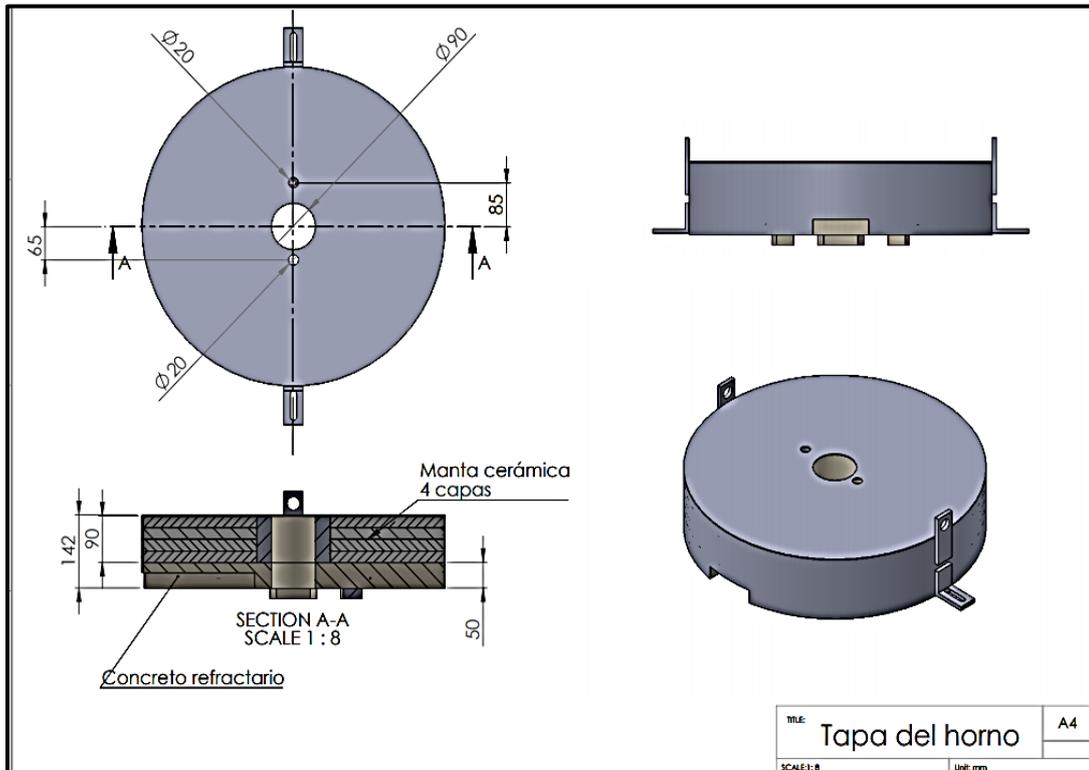


Figura 3.33: Esquema guía para la construcción de la tapa del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.8.1 Construcción de la carcasa de la tapa del horno

En la Figura 3.34 se tiene una esquema guía a seguir para construir la carcasa de la tapa del horno y el mallado de varilla corrugada de diámetro 1/8 de pulgada para que el concreto refractario se agarre fuertemente a la carcasa.

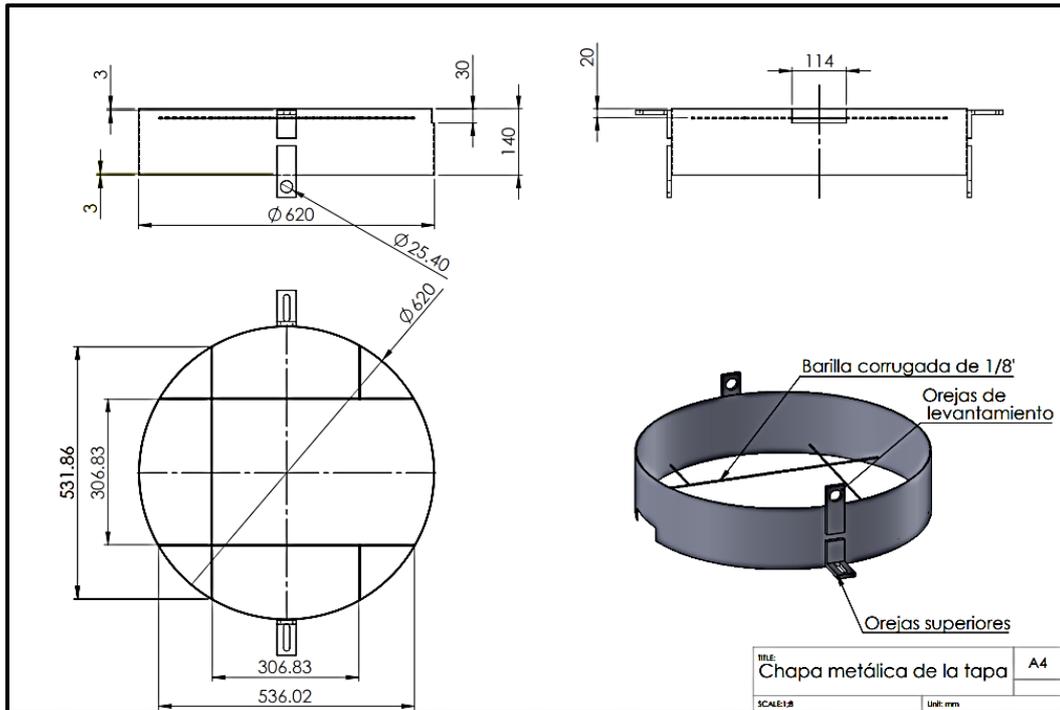


Figura 3.34: Esquema guía para construir la carcasa de la tapa

Fuente: Elaboración propia

Las varillas corrugadas se soldaron con electrodo de alta penetración E6011, en la Figura 3.35 se puede observar el momento en que se dibujó el mallado sobre la plancha de madera usada como plano para saber los puntos exactos donde debían ir soldadas las varillas corrugadas, y también el mallado soldado en el interior de la carcasa.



Figura 3.35: Mallado de varillas corrugadas en la tapa del horno

Fuente: Elaboración propia

3.3.8.2 Elaboración de la capa de concreto refractario para la tapa

En la Figura 3.36 se tiene un esquema guía para la elaboración de la capa de concreto refractario para la tapa.

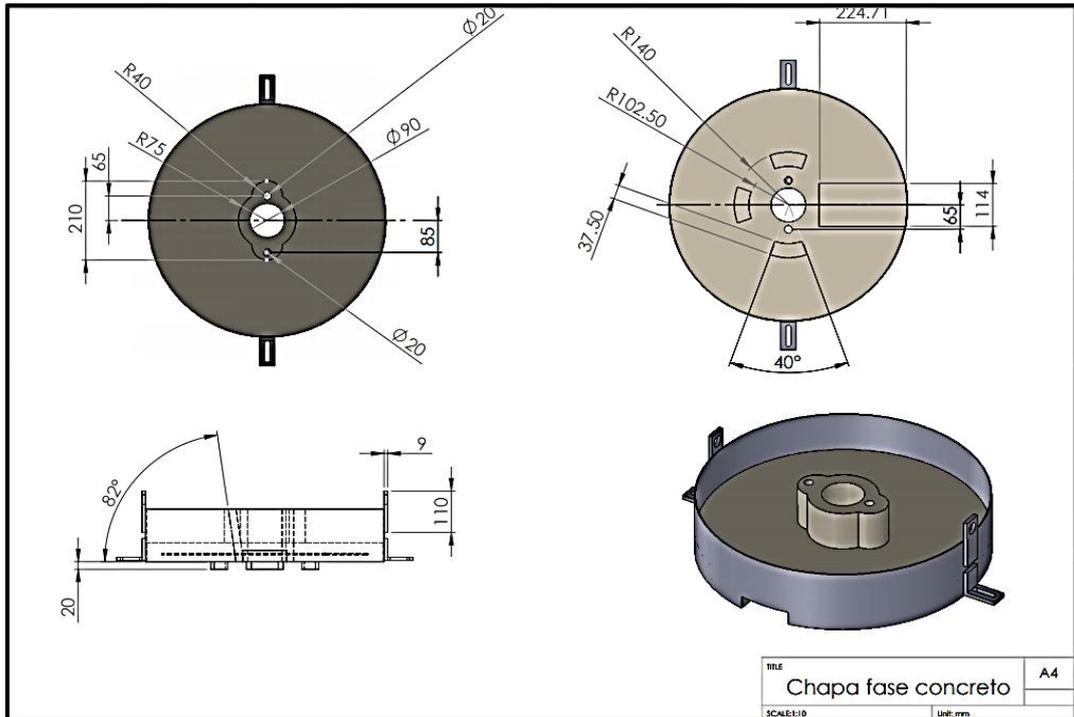


Figura 3.36: Esquema guía para la elaboración del concreto refractario en la tapa

Fuente: Elaboración propia

Para lograr dar forma a los conductos por donde deben atravesar el agitador, inyector y termocupla se realizó un molde en plumafón el cual servirá para verter la mezcla de concreto en su interior y dejar que se seque completamente, además bajo la carcasa de la tapa se colocaron varias planchas de plumafón las cuales permitieron realizar los agujeros de los dientes que sobresalen en la Figura 3.36 y así cuando se vierta la mezcla queden de la forma deseada.

Además, también se creó un ladrillo de plumafón que permita crear el espacio donde se tiene que ajustar al canal del horno con su tapa. En la Figura 3.37 se pueden observar los distintos moldes utilizados y la forma final del concreto en la tapa. Se hizo la mezcla de concreto como la hecha anteriormente y se dejó secar durante 3 días.



Figura 3.37: Concreto refractario de la tapa del horno.

Fuente: Elaboración propia

3.3.8.3 Instalación de la manta refractaria en la tapa del horno

Se colocaron 4 discos de manta refractaria igual que en la base de soporte solo que estos debían tener los agujeros por donde pasan los conductos del agitador, inyector y termocupla. En la Figura 3.38 se observa la instalación de la manta refractaria.



Figura 3.38: Instalación de la manta refractaria en la tapa del horno

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procedió a cerrar la carcasa de la tapa del horno con el disco metálico mediante el mismo proceso de soldadura hecho en la base de soporte. Es necesario decir que en el disco se realizaron los agujeros por donde deben pasar el agitador, inyector y termocupla. En la Figura 3.39 se puede observar el proceso realizado.



Figura 3.39: Tapa del horno

Fuente: Elaboración propia

3.4 Construcción del sistema basculante

3.4.1 Proceso de maquinado del eje principal

El eje de transmisión que se consiguió tenía una longitud de 700 mm y un diámetro de 40 mm por lo que se tuvieron que realizar varios procesos de corte y maquinado para obtener los 3 ejes que componen el sistema basculante. Primero se cortó el eje utilizando la máquina de corte de disco de 14 pulgadas que se encuentra en el laboratorio de materiales LEMAT, ya con los ejes cortados y con su longitud correcta se les realizó un maquinado para reducir su sección utilizando el torno disponible en el taller de máquinas herramientas PROTMEC ubicado en el área de tecnologías, es necesario decir que se utilizó una cuchilla de corte con punta de carburo de tungsteno.

En la Figura 3.40 se puede observar el momento en que se realizó esto.



Figura 3.40: Proceso de maquinado del eje del sistema basculante

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Construcción de los chaveteros en los ejes de transmisión

Luego de maquinar los 3 ejes hasta que tengan las dimensiones establecidas en el Plano esquemático C 3: Dimensiones de los ejes de transmisión, se procedió a realizar los chaveteros y las chavetas de cada eje.

Primero en cada eje era necesario señalar exactamente la forma y ubicación de las chavetas, luego se realizaban dos perforaciones en cada extremo del chavetero utilizando una broca de 12 mm de diámetro, para que después usando la fresadora se termine el canal del chavetero usando una fresa de 12mm de diámetro.

En la Figura 3.41 se puede observar el momento en que fueron hechos los chaveteros.

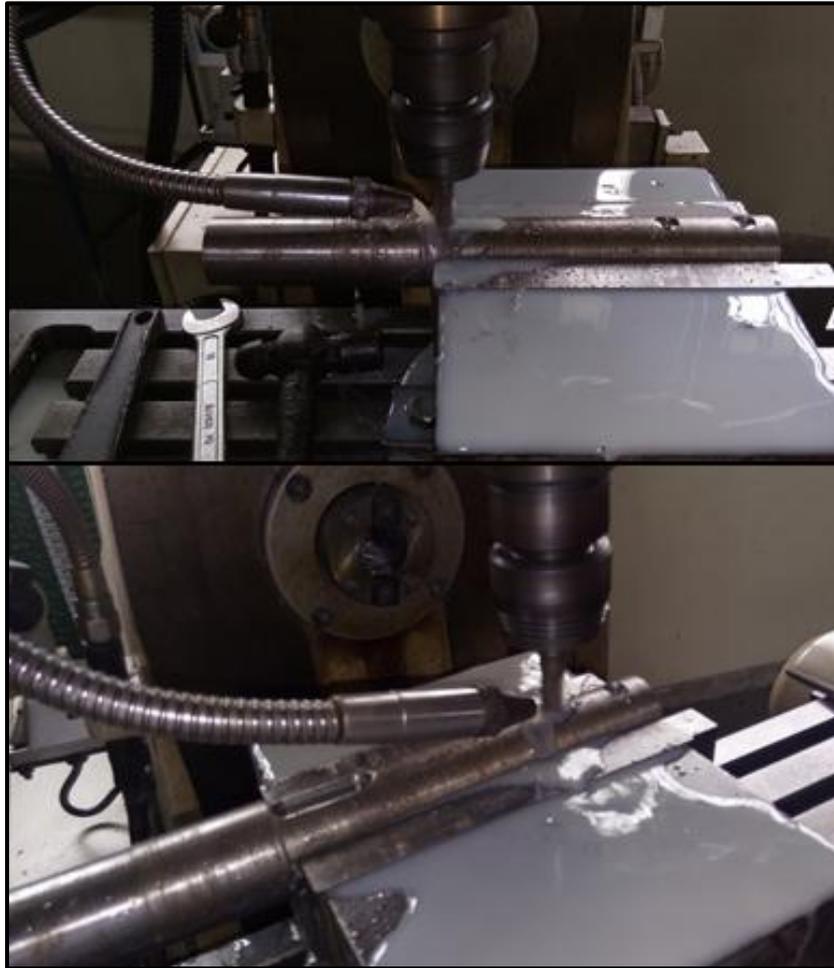


Figura 3.41: Construcción de los chaveteros en los ejes de transmisión

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Construcción de las chavetas para los ejes de transmisión

Sabiendo las dimensiones que debían tener las chavetas se compró una barra cuadrada de 12 x 12 mm AISI 1045 Acero al carbono en la empresa IVAN BOHMAN C.A. de 260 mm de longitud. Primero se procedió a rebajar su altura hasta los 8 mm utilizando la limadora mecánica disponible en el taller de máquinas herramientas ubicada en el área de tecnologías.

En la Figura 3.42 se muestra el momento en que se realizó dicha tarea.



Figura 3.42: Construcción de las chavetas

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se cortó la varilla en 3 partes con longitudes iguales a las requeridas para cada chaveta y mediante el uso del esmeril eléctrico se les otorgo el redondeado estándar como el de la Figura 3.43.



Figura 3.43: Chavetas estándar.

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Proceso de maquinado del piñón, engrane y volante

A cada elemento nombrado se les realizó un cilindrado en el torno con el fin de que su diámetro interno sea el mismo al especificado en el Plano Esquemático C 4: Dimensiones de la pareja piñon-engrane y al Plano Esquemático C 6: Dimensiones del volante, en la Figura 3.44 se puede observar la forma en que se realizó dicha tarea y el posterior montaje en los ejes de transmisión.



Figura 3.44: Maquinado de piñón, engrane y volante

Fuente: Elaboración propia

3.5 Ensamblado del sistema

3.5.1 Instalación del cuerpo del horno sobre la estructura del sistema basculante

Según el esquema de la Figura 3.45 de esta forma se espera ensamblar el cuerpo del horno junto al sistema basculante, ambos soportados sobre la estructura metálica



Figura 3.45: Instalación del cuerpo del horno sobre la estructura de soporte

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Instalación del agitador mecánico de colada

Según el esquema de la Figura 3.46 el agitador mecánico debe ser instalado sobre la estructura metálica.

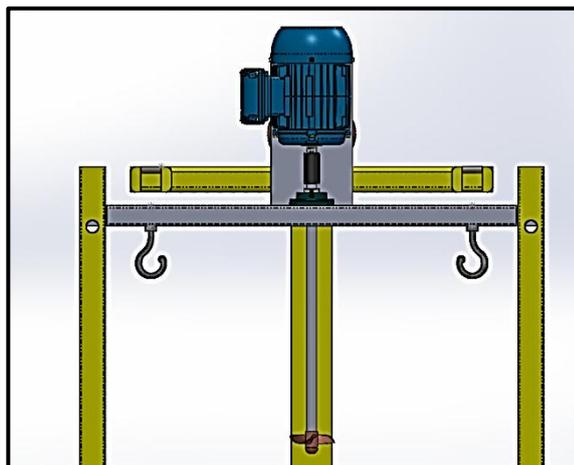


Figura 3.46: Instalación del agitador mecánico sobre la viga deslizante.

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Instalación del inyector de partículas de refuerzo

Según el esquema de la Figura 3.47 el inyector de partículas debe posicionarse sobre el horno

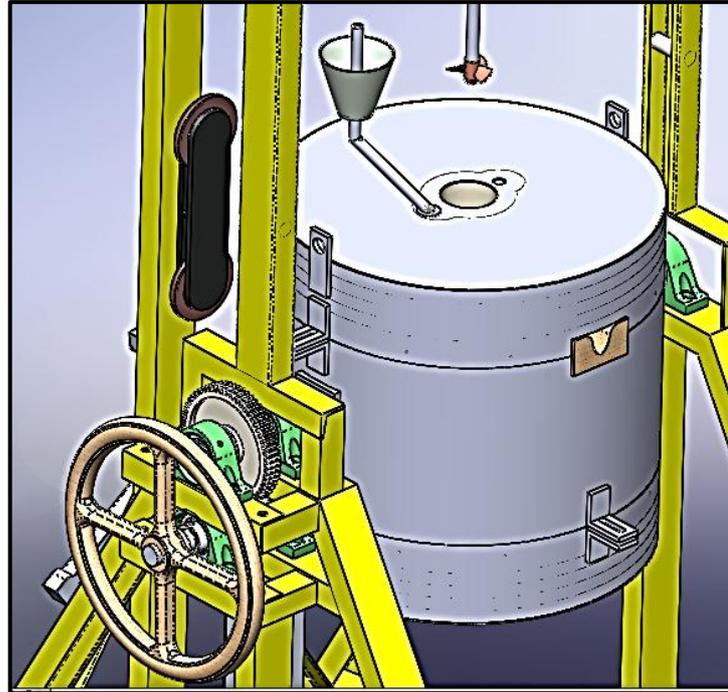


Figura 3.47: Instalación del inyector de partículas sobre el horno

Fuente: Elaboración propia

3.6 Análisis de costos

3.6.1 Gastos realizados en la construcción del cuerpo del horno y el sistema basculante.

3.6.1.1 Costo de los materiales usados en la construcción del cuerpo y carcasa del horno

Tabla 3.1: Costo de materiales usados en la construcción del cuerpo y carcasa del horno

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Crisol 20 AGF BRASILEIRO	1	61.60	61.60
Ladrillo aislante liviano	24	5.11	122.53
Ladrillo refractario	7	5.92	41.44
Cemento refractario	3 (fundas de 25 Kg)	31.08	91.87
Mortero	1 (funda de 25 kg)	19.60	19.60
Manta cerámica B8	1	88.20	88.20
Plancha negra de 2mm	1 (4' x 8')	38.73	38.73
Soldadura E6011 (1/8)	1 funda (5Kg)	16.27	16.27
Disco diamantado segmentado 7*7/8mm	1 (7x7/8mm)	19.07	19.07
Platina (40X9mm)	1(6mts)	6.00	6.00
Varilla corrugada (5.5mm)	1 (5,90 mts)	1.08	1.08
Pernos cabeza hexagonal 1/2" * 2"	7	0.69	4.86
Materiales de apoyo (madera, plumafón, marcador, cinta, etc.)		0.00	28.25
Total			539.5

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.2 Costos de materiales usados en la construcción del sistema basculante

Tabla 3.2: Costo de materiales usados en la construcción del sistema basculante

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Eje 1.5" * 1.5mts	1	13.57	13.57
Chumacera de piso de 1 1/2"	4	31.35	31.35
Barra de acero M12 para chaveta	1	2.16	2.16
Piñón	1	15.00	15.00
Engrane	1	30.00	30.00
Volante	1	20.00	20.00
Prisioneros M6	5	0.90	4.50
			116.58

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.3 Costos de servicios brindados por empresas particulares para construir el cuerpo, carcasa y sistema basculante

Tabla 3.3: Costo de servicios para construir la carcasa y el sistema basculante.

Servicio	Descripción	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Corte y preformado	Corte de la chapa metálica con plasma y preformado de la misma para la carcasa del horno	30.00	30.00
Fresado	Elaboración del canal "ojo chino" para las 14 orejas.	1.5	21.00
Corte y desbaste	Elaboración de 6 chaveteros para los ejes, engrane, piñón y volante.	5.00	30.00
Total			81.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.4 Gasto total de las partes que se lograron culminar.

Tabla 3.4: Costo total de las partes construidas.

Descripción	Costo total (\$)
Construcción del cuerpo y carcasa del horno	539.5
Construcción del sistema basculante	116.58
Servicios de mecanizado	81.00
Total	737.08

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Gastos por realizar para completar la construcción del sistema.

3.6.2.1 Costo de elementos para el circuito eléctrico.

Tabla 3.5: Costo de materiales eléctricos

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Termocupla tipo K	1	65.00	65.00
Resistencias eléctricas (d:1.5mm)	1 (15 mts)	100.00	100.00
Resistencias eléctricas (d:1mm)	2 (9 mts c/u)	100.00	100.00
Breaker 60 Amperios	1	6.00	6.00
Breaker 50 Amperios	1	4.94	4.94
Breaker 30 Amperios	1	3.50	3.50
Breaker 20 Amperios	1	3.50	3.50
Controlador automático de temperatura (comprado)	1	72.77	72.77
Relé de estado sólido SSR	1	20.00	20.00
Interruptor de corriente	1	15.00	15.00
Rollo de cable eléctrico flexible #8	1	20.00	20.00
Terminales de cromo níquel para alta temperatura	10	0.60	6.00
Total			343.94

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.2 Costos de materiales para construir la estructura metálica

Tabla 3.6: Costo de materiales para construir la estructura metálica

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Viga UPN 80	3 (6mts C/U)	45.50	136.50
Platina (120x120x 5)	1	1.20	1.20
Eje (1/2")	40 cm	5.00	5.00
Tornillo (2"), tuerca, arandela	14 (conjuntos)	0.70	9.80
Angulo(50x4)	2 mts	7.00	7.00
Tubo cuadrado (50x50x3)	1.5 mts	6.00	6.00
Tubo rectangular (80x45x2)	2 mts	9.00	9.00
Disco de corte de 14"	1	7.10	7.10
Disco de pulir de 7"	1	3.42	3.24
Pintura	6 Lts	20.58	20.58
Diluyente	6 Lts	9.54	9.54
Total			214.96

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3 Costos de servicios de mecanizado para construir la estructura metálica

Los costos que se presentan en la Tabla 3.7 son considerados solamente si el proceso mencionado no se realiza dentro de la institución.

Tabla 3.7: Costos de servicios de mecanizado

Servicio	Descripción	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Perforado	18 Perforaciones en las vigas para asegurar las chumaceras.	0.50	9.00
Total			9.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.4 Costo de mano de obra si se contrata un particular para construir la estructura metálica.

Los costos que se presentan en la Tabla 3.8 son considerados solamente si se contrata a particulares para realizar la construcción en lugar de que un estudiante la realice como se hizo en este proyecto.

Tabla 3.8: Costo de mano de obra para construir la estructura.

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Obrero	2.5 (\$20 x DIA)	16	40.00
Soldador	5	16	80.00
Total			120.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.5 Costo de materiales para construir el agitador mecánico

Tabla 3.9: Costo de materiales para construir el agitador mecánico

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Motor eléctrico de 1/4 Hp	1	104.00	104.00
Chumacera de piso de 4 pernos de 3/4" (código: UCF 204-12)	1	10.00	10.00
Variador de frecuencia de 1/4 Hp	1	100.00	100.00
Acople mecánico de 3/4 "	1	15.00	15.00
Eje de 3/4"	1 (0.6m)	10.00	10.00
Tornillo (2"), tuerca, arandela	2 (conjuntos)	0.70	1.40
Prisionero M6	2	0.90	1.80
Total			242.20

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.6 Costo de servicios de mecanizado para construir el agitador mecánico

Los costos que se presentan en la Tabla 3.10 son considerados solamente si el proceso mencionado no se realiza dentro de la institución.

Tabla 3.10: Costos de servicios particulares para construir el agitador mecánico.

Servicio	Descripción	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Fundición	Fundición del modelo de hélice deseado	50.00	50.00
Perforado	Perforación de la manzana para los prisioneros	2.00	2.00
Total			52.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.7 Costo de materiales para construir el inyector de partículas.

Tabla 3.11: Costos de materiales para el inyector de partículas

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Barra de acero inoxidable de 3/4"	1(0.5m)	25.00	25.00
Plancha de acero inoxidable de 2"	1(100x400)	5.00	5.00
Platina redonda de (d=40, 2mm)	1	3.00	3.00
Tornillos de 1/2"	4 (d=5)	0.20	0.80
Barra de acero inoxidable de 1"	1 (0.051m)	10.00	10.00
Total			43.80

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.8 Costos de servicios de mecanizado para construir el inyector de partículas

Los costos que se presentan en la Tabla 3.12 son considerados solamente si el proceso mencionado no se realiza dentro de la institución.

Tabla 3.12: Costos de servicios de mecanizado para construir el inyector de partículas

Servicio	Descripción	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Torneado	Torneado de las barras de acero a las medidas deseadas de los tubos superior, inferior y central.	30.00	30.00
Corte	Corte de la tubería a las medidas deseadas y de la plancha para formar el cono de alimentación de partículas	5.00	5.00
Soldadura	Soldar los tubos de la parte inferior y del cono de alimentación	10.00	10.00
Perforación	Perforaciones en la sección central para introducir partículas y sujeción con los tubos	5.00	5.00
Total			50.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.9 Costo de materiales para construir el sistema de elevación del agitador y la tapa.

Tabla 3.13: Costos de materiales para el sistema de elevación

Material	Descripción de cantidad	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Tubo rectangular (80x45x2 mm)	1 (1.1m)	5.00	5.00
Platina (300x160x5 mm)	1	1.50	1.50
Ángulos (50x4 mm)	1(0.5m)	1.50	1.50
Juego de tornillos para Chumacera-viga (2")	4 (Conjuntos)	0.70	2.80
Juegos de tornillos para el motor-viga (1")	4 (Conjuntos)	0.50	2.00
Poleas con base fija	2	5.00	10.00
Ganchos con topes	2	4.00	8.00
Enrolladores de cable con manivela	1	40.00	40.00
Cable de acero galvanizado (5/32")	7 (m)	2.00	14.00
Polea de elevación de rueda libre	1	15.00	15.00
Total			99.80

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.10 Costo de servicios de mecanizado para el sistema de elevación

Los costos que se presentan en la Tabla 3.14 son considerados solamente si el proceso mencionado no se realiza dentro de la institución.

Tabla 3.14: Costos de servicio de mecanizado para construir el sistema de elevación

Servicio	Descripción	Precio/U (\$)	Costo total (\$)
Perforación	8 Perforación de la platina y la viga para inserción de tornillos entre mecanismos	0.50	4.00
Total			4.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.11 Costo de mano de obra si se contrata un particular para construir el sistema de elevación

Los costos que se presentan en la Tabla 3.15 son considerados solamente si se contrata a particulares para realizar la construcción en lugar de que un estudiante la realice como se hizo en este proyecto.

Tabla 3.15: Costo de mano de obra para construir el sistema de elevación

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Obrero	2.5 (\$20 x DIA)	8	20.00
Soldador	5	8	40.00
Total			60.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.12 Gasto total por realizar para completar la construcción del sistema

Los costos que se presentan en la Tabla 3.16 muestran el costo necesario para finalizar la construcción del sistema de fundición si

se continúa como proyecto de materia integradora y también el costo si la construcción la termina un particular.

Tabla 3.16: Gasto total para completar la construcción del sistema

Costos por materiales (\$)	
Costo de materiales del circuito eléctrico	343.94
Construcción de la estructura metálica	214.96
Construcción del agitador mecánico	242.2
Construcción del inyector de partículas	43.8
Construcción del sistema de elevación	99.8
Total	944.7
Costos por servicios de mecanizado y mano de obra (\$)	
Costos por servicio de mecanizado (Opcional: lo puede realizar un estudiante)	115.00
Costos por mano de obra (Opcional: lo puede realizar un estudiante)	180.00
Total	295.00
Costo total	1239.7

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Costos ahorrados debido al diseño y la construcción del horno eléctrico

3.6.3.1 Costo ahorrado si el cuerpo del horno hubiera sido diseñado y construido por un particular

Los costos presentados en la Tabla 3.17 muestran el valor que hubiera adquirido el diseño y la construcción del cuerpo del horno si se hubiera contratado una empresa particular para hacerlo.

Tabla 3.17: Costos ahorrados por diseño y construcción del cuerpo del horno

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Obrero	2.5 (\$20 x DIA)	160	400.00
Soldador	5	20	100.00
Ing. Mecánico	9	80	720.00
Total			1,220.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2 Costo ahorrado por el diseño y construcción del sistema basculante.

Los costos presentados en la Tabla 3.18 muestran el valor que hubiera adquirido el diseño y la construcción del cuerpo del horno si se hubiera contratado una empresa particular para hacerlo

Tabla 3.18: Costos ahorrados por diseño y construcción del sistema basculante

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Obrero	2.5 (\$20 x DIA)	120	300.00
Ing. Mecánico	9	40	360.00
Total			660.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3 Costo ahorrado por el diseño de las resistencias eléctricas y el circuito eléctrico

El costo presentado en la Tabla 3.19 muestra el valor que hubiera adquirido el diseño de las resistencias eléctricas y el diagrama del circuito eléctrico si se hubiera contratado una empresa particular para hacerlo

Tabla 3.19: Costo ahorrado por el diseño del circuito eléctrico

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Ing. Mecánico	9	40	360.00
Total			360.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.4 Costo ahorrado por el diseño de la estructura metálica.

El costo presentado en la Tabla 3.20 muestra el valor que hubiera adquirido el diseño de la estructura metálica si se hubiera contratado una empresa particular para hacer esto.

Tabla 3.20: Costo ahorrado por el diseño de la estructura metálica

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Ing. Mecánico	9	40	360.00
Total			360.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.5 Costo ahorrado por el diseño del agitador mecánico

El costo presentado en la Tabla 3.21 muestra el valor que hubiera adquirido el diseño del agitador mecánico si se hubiera contratado una empresa particular para hacer esto.

Tabla 3.21: Costo ahorrado por diseño del agitador mecánico

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Ing. Mecánico	9	16	144.00
Total			144.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.6 Costo ahorrado por el diseño del inyector de partículas

El costo presentado en la Tabla 3.22 muestra el valor que hubiera adquirido el diseño del inyector de partículas si se hubiera contratado una empresa particular para hacer esto.

Tabla 3.22: Costo ahorrado por diseño del inyector de partículas

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Ing. Mecánico	9	8	72.00
Total			72.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.7 Costo ahorrado por el diseño del sistema de elevación del agitador y la tapa del horno.

El costo presentado en la Tabla 3.23 muestra el valor que hubiera adquirido el diseño del inyector de partículas si se hubiera contratado una empresa particular para hacer esto.

Tabla 3.23: Costo ahorrado por diseño del sistema de elevación

PERSONAL	Costo \$/h	Horas De Trabajo	Costo Total (\$)
Ing. Mecánico	9	8	72.00
Total			132.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.8 Costo total ahorrado por la realización de este proyecto.

El valor total presentado en la Tabla 3.24 es el ahorro logrado durante la realización de este proyecto gracias al diseño del sistema y la construcción total del cuerpo del horno y el sistema basculante.

Tabla 3.24: Ahorro total logrado en la realización del presente proyecto.

Componentes del sistema de fundición	Costo (\$)
Diseño y construcción del cuerpo y carcasa del horno eléctrico.	1,220.00
Diseño y construcción del sistema basculante	660.00
Diseño de resistencias eléctricas y circuito eléctrico	360.00
Diseño de la estructura metálica	360.00
Diseño del agitador mecánico	144.00
Diseño del inyector de partículas	72.00
Diseño del sistema de elevación	132.00
Ahorro total	2948.00

Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Costo neto del sistema de fundición en la industria

El costo presentado en la Tabla 3.25 muestra el valor que adquiere el sistema de fundición si es diseñado y construido completamente por una empresa particular.

Tabla 3.25: Costo neto que el sistema de fundición adquiere en la industria

COSTO NETO DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN		
Componentes		COSTO
Cuerpo y carcasa del horno	Costo de diseño	720.00
	Costo de materiales	539.5
	Costo de mano de obra y servicios de mecanizado	551.00
Sistema basculante	Costo de diseño	360.00
	Costo de materiales	116.58
	Costo de mano de obra y servicios de mecanizado	330.00
Estructura metálica	Costo de diseño	360.00
	Costo de materiales	214.96
	Costo de mano de obra y servicios de mecanizado	129.00
Agitador mecánico	Costo de diseño	144.00
	Costo de materiales	242.2
	Costo de mano de obra y servicios de mecanizado	52.00
Inyector de partículas	Costo de diseño	72.00
	Costo de materiales	43.80
	Costo de mano de obra y servicios de mecanizado	50.00
Sistema de elevación	Costo de diseño	132.00
	Costo de materiales	99.80
	Costo de mano de obra y servicios de mecanizado	64.00
Sistema eléctrico	Costo de diseño de resistencias eléctricas	360.00
	Costo de materiales para el circuito eléctrico	343.94
	Costo mínimo por realizar la conexión de un tablero eléctrico en la industria	100.00
	COSTO DE FABRICACIÓN	5024.78
	UTILIDAD 30 % DEL COSTO DE FABRICACIÓN	1,507.43
	COSTO DEL SISTEMA EN LA INDUSTRIA	6532.21

Fuente: Elaboración propia

3.6.5 Capital invertido y capital a invertir para la finalización del proyecto.

Tabla 3.26: Capital gastado hasta el momento y capital necesario para completar la construcción de las partes faltantes.

SISTEMAS CONSTRUIDOS	
	Cuerpo completo del horno (\$590.5)
	Sistema basculante (\$146.58)
Porcentaje que representan en el sistema de fundición	65%
Capital invertido hasta el momento	\$737.08
SISTEMAS POR CONSTRUIR	
	Estructura, Agitador, Inyector de partículas, Sistema de elevación.
Porcentaje que representan en el sistema de fundición	35%
Capital a invertir si se realiza como proyecto de materia integradora	\$944.7
Capital ahorrado	\$2948.00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El haber decidido realizar el diseño y la construcción del sistema de fundición como propuesta de materia integradora fue acertado, como muestran los análisis de costos realizados anteriormente el sistema hubiera adquirido un costo muy elevado si se hubiera contratado una empresa particular. Mientras que al aprovechar los conocimientos aprendidos durante el desarrollo de la carrera, fue posible realizar un correcto diseño mecánico sin costo alguno respetando siempre los parámetros de diseño preestablecidos al inicio del proyecto, además las habilidades adquiridas en la materia taller básico permitieron realizar con éxito procesos de corte, perforado, fresado, cilindrado y de soldadura siendo esenciales en la construcción de la carcasa del horno y el sistema basculante, hay que tener en cuenta que algunas operaciones se tuvieron que realizar fuera de la institución debido a que no se contaba con ciertos equipos de trabajo como eran la cortadora de plasma y la roladora.

Es importante mencionar la gran dimensión que adquiere este proyecto al tener que construirlo, la falta de experiencia en este tipo de trabajo no permitió que se realice una planificación real y acertada del tiempo que era necesario para construir todos los componentes del sistema, el cronograma establecido durante la primera etapa no consideraba tareas como la búsqueda de materiales en diferentes distribuidores con la finalidad de abaratar costos, además no se consideraron demoras no programadas como de hecho ocurrieron mientras se realizaba la construcción, las razones mencionadas fueron decisivas en la construcción por lo que no fue posible construir todo el sistema como inicialmente se había planeado.

4.1 Conclusiones

- La realización del presente proyecto permitió poner en práctica una combinación de conocimientos de ingeniería mecánica, eléctrica y de materiales, cuyos resultados se concretaron en el diseño de un sistema, que al ser completamente construido aportará a la dotación de laboratorios con

equipos construidos en la propia institución para el desarrollo de proyectos de investigación, fabricación de nuevas aleaciones no ferrosas y de compuestos base metálica reforzadas con partículas cerámicas nanométricas. Adicionalmente, contribuirá a la docencia para la realización de prácticas de laboratorio de estudiantes de Ingeniería Mecánica, de Ingeniería en Materiales e Ingeniería industrial, entre otras.

- Se logró un correcto diseño del sistema de fundición teniendo en cuenta siempre la variable costo que fue vital para lograr ahorros significativos, comparando con el costo de un sistema similar distribuido en el mercado.
- Para las aplicaciones a que se destina el sistema, se concluye que el mejor diseño lo constituye un horno eléctrico de resistencias basculante que opera con corriente 220 V, con un control de temperatura cuya variación no supere los 2°C y un agitador con capacidad de girar a velocidades mayores a 500 revoluciones por minuto.
- El horno diseñado es de tipo basculante de 60 cm de alto y 61 cm de diámetro. Opera a una temperatura máxima de 1200°C, y dispone de un sistema de inyección de partículas, impulsadas a presión mediante un gas inerte y cuenta, además, con un sistema de agitación capaz de operar a velocidades mayores a 500 revoluciones por minuto, para lograr una distribución homogénea de partículas en el baño metálico. Tiene una capacidad para la fundición de 6kg de aleación de aluminio, y su uso se hace extensivo a otras aleaciones no ferrosas cuyas temperaturas de fusión estén por debajo de los 1200°C. Para que la aleación de aluminio alcance los 1200°C se requiere suministrar una energía total de 8650watts, por lo que se diseñaron 3 resistencias eléctricas capaces de suministrar 10000 watts de potencia. El aislamiento del horno se efectuó mediante el uso de ladrillos y mantas refractarias, con lo cual se logra mantener la temperatura en la superficie a 100°C mientras que temperatura interna de operación es de 1200°C.

- El ahorro logrado por la realización de este proyecto es muy significativo si se compara el costo que puede tener el sistema en la industria, al haber diseñado completamente todos los componentes y haber construido el cuerpo del horno junto a su carcasa más el sistema de basculación se obtuvo un ahorro de \$2948.
- La experiencia adquirida con la realización de este proyecto fue de gran importancia para nuestra formación profesional, ya que nos permitió tener una idea más clara de la dedicación y el trabajo necesario para cumplir a cabalidad trabajos de gran dimensión. Además, se obtuvo un gran aprendizaje en la forma en que se debe realizar un diseño, siempre teniendo en cuenta los materiales y equipos disponibles en el mercado para evitar dificultades en su ejecución.

4.2 Recomendaciones

- ✓ Calentar el crisol alrededor de los 100 °C antes de iniciar cualquier proceso de fundición para así evaporar la humedad dentro de su superficie y evitar posibles fracturas en sus paredes.
- ✓ Mantener siempre el cuerpo del horno unido a la base ya que esta es la que soporta todo el peso de la matriz de ladrillos.
- ✓ Asegurar que al momento de realizar el vaciado del metal líquido la tapa del horno este bien ajustada, para evitar posibles desplazamientos del crisol y derrames internos que puedan dañar las resistencias eléctricas.
- ✓ Se recomienda cambiar los pernos que mantienen unidas las 3 partes del horno cuando se aprecia un desgaste o corrosión de los mismos para mayor seguridad y evitar cualquier posible accidente.
- ✓ Pintar la carcasa del horno utilizando pintura epoxica ya que esta es capaz de soportar las temperaturas a las que puede llegar a estar su superficie.

Mientras que la estructura metálica y los componentes del sistema basculante se deberían pintar utilizando pintura anticorrosiva.

- ✓ Contar con un técnico especialista cuando se encienda el horno por primera vez para asegurar su correcto funcionamiento.
- ✓ Considerar un mecanismo automático para la elevación de la tapa y agitador en lugar del enrollador manual, para disminuir los esfuerzos a los que se somete el operador al manejar el sistema.
- ✓ Con respecto a la construcción del sistema, es importante dimensionar el tiempo de ejecución del mismo y evaluar el alcance del proyecto, tomando en consideración las causas que dificultaron su completa culminación, entre ellas se debe considerar las dificultades para adquirir los componentes, el retraso en la entrega de los mismos por parte del distribuidor, la disponibilidad de los equipos y máquinas para construir las piezas y componentes, entre otros.
- ✓ En el presente documento se encuentran todas las indicaciones necesarias para la construcción de la estructura de soporte del horno, el agitador mecánico e inyector de partículas. Por lo tanto, se recomienda la continuación del proyecto como otra propuesta de materia integradora, con la finalidad de que si es necesario intentar mejorar los diseños establecidos o si es posible mediante otras propuestas de diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- Aquino, I. C. (s.f.). *Dircasa - Proveedor Industrial*. Recuperado el 08 de Junio de 2017, de Dircasa-calora.blogspot.com: <http://dircasa-calora.blogspot.com/2012/03/control-de-temperatura-para-coccion-de.html>
- Arian. (s.f.). *Arian - Control and Instrumentation*. Recuperado el 08 de Junio de 2017, de www.arian.cl: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- C.A., M. H. (10 de marzo de 1946). *Maquinarias Henriques C.A.* Recuperado el 5 de junio de 2017, de www.maquinarias-henriques.com: <http://www.maquinarias-henriques.com/index.php/materiales/materiales-refractarios/166-sdmec1-2>
- Calvo, C. S. (23 de Noviembre de 2016). Hornos utilizados en la fabricación de aleaciones ferrosas y no ferrosas. *Scientia*, XVII(17), 143-160.
- Capello, E. (1974). *Tecnología de la fundición* (Tercera ed.). España: Gustavo Gili.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Tercera ed.). Reno, Nevada, Estados Unidos: Mc Graw Hill.
- Corporation, N. B. (1 de Enero de 2013). *NTN Revolución en movimiento*. Obtenido de <http://www.ntnamericas.com>:
<http://www.ntnamericas.com/es/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/bearing-units%202400-IX.pdf>
- Eeinsa. (1999). *Equipamiento Eléctrico Industrial S.A.* Recuperado el 08 de Junio de 2017, de www.eeinsa.com: <http://www.eeinsa.com/popsp/EE1501.htm>
- Elicrom. (1 de Enero de 2017). *Elicrom*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, de <http://www.elicrom.com/>:
<http://www.elicrom.com/content/EMISIVIDADES%20NORMALES.pdf>
- Evelin Flores, R. O. (20 de Septiembre de 2014). *Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas*. Tesis de graduación previo al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador. Obtenido de [www.ues.edu.sv](http://ri.ues.edu.sv):
<http://ri.ues.edu.sv/6320/1/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20horno%20de%20crisol%20para%20aleaciones%20no%20ferrosas.pdf>
- Fastenal. (1 de Enero de 2008). *Fastenal*. Recuperado el 20 de julio de 2017 , de www.fastenal.com: <https://www.fastenal.com/en/76/metric-system-and-specifications>
- Group, S. (19 de Enero de 2010). *Kanthal Part of Sandvik Group*. Recuperado el 15 de Junio de 2017 , de <http://www.kanthal.com/en/>:

<http://www.kanthal.com/en/products/material-datasheets/wire/resistance-heating-wire-and-resistance-wire/kanthal-a-1/>

Incropera, F. P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Jefferson City, Estados Unidos : John Wiley & Sons, Inc.

Industrias. (s.f.). *Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires*. Recuperado el 22 de Mayo de 2017, de www.fi.uba.ar: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/15_Apunte%20HornosIndustriales.pdf

International, A. w. (1 de Enero de 1946). *Alloy wire International*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://www.alloywire.com>: http://www.alloywire.com/spanish/heating_element_design_2.html

Kreith, F. (2001). *Principios de transferencia de calor*. (I. Thompson Learning, Ed.) México, D. F.: International Thompson Editores S. A.

Lisintuña, C. D. (2012). *Construcción de un molde permanente (coquilla) con noyo para la fundición en serie de piezas de aluminio*. Proyecto previo a la obtención del título de tecnóloga en procesos de producción mecánica, Escuela Politécnica Nacional , Tecnología en procesos de producción mecánica, Quito.

Llave, L. (5 de Enero de 2017). *La Llave*. Recuperado el 1 de junio de 2017, de la-llave.com: <http://la-llave.com/ec/marca/magnesita.html>

Maffia, D. G. (2013). *ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES*. Obtenido de https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M0624/descargar.php?secc=0&id=M0624&id_inc=2717

MEGAMETALES. (1 de Enero de 2006). *Comercio Ferretero*. Recuperado el 5 de julio de 2017, de comercioferretero.com: <http://comercioferretero.com/exhibidores-megahierro-mapasingue-este/>

MorganMMS. (s.f.). *Insumos metalurgicos Ltda*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de www.insumosmetalurgicos.com: <http://www.insumosmetalurgicos.com/publico/producto.php>

Niroumand, M. G. (July de 2008). Compcasting of an Al-Si-SiCp Composite Using Powder Injection Method. *Scientific.Net*, 141-143, 175-180.

Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas*. Naucalpan de Juarez , Estado de Mexico , Mexico : Pearson .

Ordoñez, D. S. (s.f.). *Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile*. Recuperado el 24 de Mayo de 2017, de

www.usach.cl:

http://metalurgia.usach.cl/sites/metalurgica/files/paginas/3._hornos_y_medicion_de_temperatura_-_stella_ordonez.pdf#overlay-context=apuntes-t%25C3%25A9cnicas-experimentales-en-metalurgia-%25C3%25A1rea-ingenier%25C3%25ADa-de-materiales

P.Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (Tercera ed.). Ciudad de México, México: Mc Graw Hill.

Rangwala, A. S. (2011). Naturally Entraining Solid Particle Injector. *Scientific.Net*, 1-12.

S. AMIRKHANLOU, B. N. (25 de June de 2010). Synthesis and characterization of 356-SiCp composites by. *ScienceDirect*, 788-793.

S. Balasivanandha Prabu, L. K. (27 de June de 2005). Influence of stirring speed and stirring time on distribution. *Journal of Materials Processing Technology*, 268-273.

Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materias primas*. Recuperado el 4 de Mayo de 2017, de www.inet.edu.ar: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>

APÉNDICE A

Matrices de decisión

Tabla 4.1: Rangos de calificación utilizados en las matrices de decisión

Valores de calificación a utilizar	
81 – 100 %	Excelente
61 – 80 %	Muy bueno
41 – 60 %	Bueno
21 – 40 %	Regular
0 – 20 %	Malo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Matriz de decisión para la selección del tipo de horno

Importancia	Criterios	Alternativas del tipo de horno		
		Horno de combustibles	Hornos convertidores	Hornos eléctricos
		Calificación (%)	Calificación (%)	Calificación (%)
15%	Costo fabricación	7.5	4.5	12
15%	Pureza de la fundición	4.5	3	13.5
15%	Seguridad	6	6	10.5
10%	Disponibilidad de fuente de energía	6	7	8
10%	Disponibilidad de materiales	8	4	5
10%	Operatividad	5	4	8
5%	Eficiencia	3.5	3	3
5%	Control de proceso (temperatura)	2	1.5	4.5
5%	Capacidad de producción	4	4	3.5
5%	Tamaño o robustez.	3	2	4
5%	Mantenimiento	1.5	2.5	3.5
100%	Mayor valor (Suma total)	51	41.5	75.5 (Muy bueno)

Fuente: Elaboración propia

Alternativa seleccionada: **Horno tipo eléctrico.**

Tabla 4.3: Matriz de decisión para la selección del tipo de horno eléctrico.

Importancia	Criterios	Alternativas del tipo de horno eléctrico		
		Horno eléctrico de resistencias	Hornos de arco eléctrico	Horno eléctrico de inducción
		Calificación (%)	Calificación (%)	Calificación (%)
30%	Costo fabricación	27	21	12
20%	Disponibilidad de materiales	18	16	12
20%	Facilidad de diseño y construcción	18	14	10
10%	Uso en función del rango de temperatura del proceso	10	6	10
10%	Mantenimiento	0.9	9	7
10%	Seguridad	0.8	7	8
100%	Mayor valor (Suma total)	74.7 (Muy bueno)	73	59

Fuente: Elaboración propia

Alternativa seleccionada: **Horno eléctrico de resistencias.**

Tabla 4.4: Matriz de decisión para la selección en la forma de vaciado de colada

Importancia	Criterios	Alternativas de forma de vaciado de colada			
		Crisol fijo junto con cucharón refractario	Crisol móvil junto a tenazas	Conjunto crisol horno basculante	Crisol con orificio y tapón de acero inoxidable
		Calificación (%)	Calificación (%)	Calificación (%)	Calificación (%)
40%	Seguridad	20	16	36	28
40%	Facilidad de operación	24	20	40	24
10%	Posibilidad que no existan derrames internos	4	5	8	5
10%	Vaciado completo del metal líquido	7	10	10	7
100%	Mayor valor (Suma total)	55	51	94 (Excelente)	64

Fuente: Elaboración propia

Alternativa seleccionada: **Conjunto crisol horno basculante.**

APÉNDICE B

Desarrollo de Cálculos

Procedimiento analítico B 1: Análisis de transferencia de calor en las paredes y tapas del horno

Se considera que el flujo de calor en estado estable en las paredes y tapas del horno por conducción es igual al flujo de calor debido a la convección y radiación entre la pared externa y el medio ambiente.

Con esta consideración se tiene que:

$$Q_{\text{conducción}} = Q_{\text{convección+radiación}} \quad (\text{Kreith, 2001})$$

Las ecuaciones utilizadas se encuentran en la Tabla 4.5

Tabla 4.5: Ecuaciones para la obtención del flujo de calor

Conducción	
Paredes planas	$Q = \frac{Kc * A * (T_n - T_{n+1})}{L}$
Paredes cilíndricas	$Q = \frac{2\pi * Kc * L * (T_n - T_{n+1})}{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n+1}}\right)}$
Convección	
Paredes planas	$Q = A_{\text{superf}} * h_{\text{conv}} * (T_4 - T_{\text{amb}})$
Paredes cilíndricas	
Radiación	
Paredes planas	$Q = A_{\text{superf}} * \epsilon\sigma(T_4 + T_{\text{amb}})(T_4^2 + T_{\text{amb}}^2)$
Paredes cilíndricas	

Fuente: (Kreith, 2001)

Se utiliza el método de analogías eléctricas mediante resistencias equivalentes para la determinación del flujo de calor por unidad de longitud en las paredes cilíndricas y por unidad de área en las paredes planas del horno.

En la Figura 4.1 se puede apreciar la configuración de las resistencias analógicas en las paredes del horno.

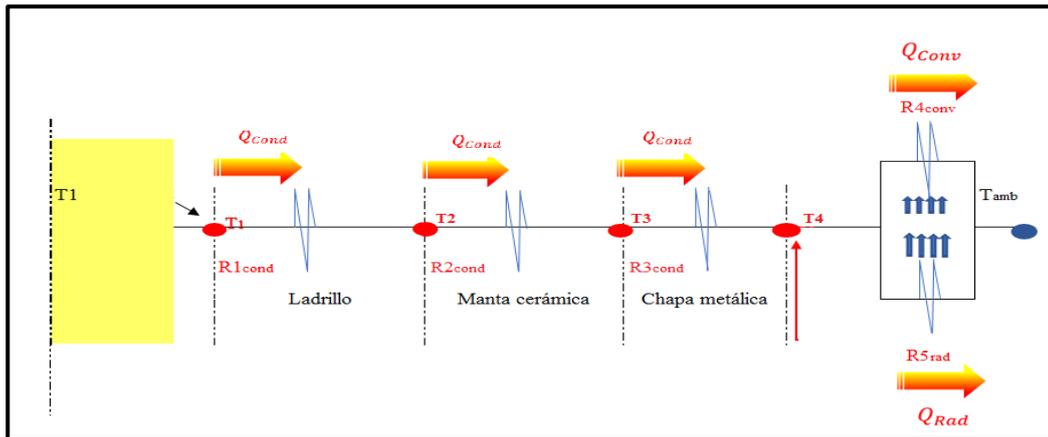


Figura 4.1: Esquema de resistencias analógicas en las paredes del horno

Fuente: Elaboración propia

La simbología correspondiente es la siguiente:

R_1 : Resistencia en el ladrillo aislante

R_2 : Resistencia en la manta cerámica

R_3 : Resistencia en la chapa metálica

R_4 : Resistencia en el aire debido al proceso de transferencia de calor por convección

R_5 : Resistencia en el aire debido al proceso de transferencia de calor por radiación

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes del horno ($\overline{h_c}$)

En primer lugar se obtiene la temperatura de película (T_p) del fluido en este caso aire, el valor de temperatura de película va variando conforme cambie la temperatura en la pared externa del horno T_4 .

$$T_p = \frac{T_{amb} + T_4}{2}$$

Dónde:

T_{amb} : Temperatura ambiente = 25°C = 298°K

T_4 : Temperatura de la pared externa (asumida) = 100°C = 373°K

Entonces: $T_p = 335.5°K$

En la Tabla 4.6 se pueden observar las propiedades del aire a la temperatura de película las cuales se obtienen de las tablas del libro de Fundamentos de transferencia de calor de Frank Incropera.

Tabla 4.6: Propiedades del aire con temperatura de película de 335.5°K.

Densidad: $\rho_{air} = 1.05 \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Viscosidad cinemática: $\nu = 19.46 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$
Calor específico: $C_p = 1.018 \text{ (KJ/kg. }^\circ\text{K)}$	Conductividad térmica: $k = 28.927 \cdot 10^{-3} \text{ (W/m.}^\circ\text{K)}$
Viscosidad absoluta: $\mu = 19.91 \cdot 10^{-6} \text{ (N. s/m}^2\text{)}$	Difusividad térmica: $\alpha = 27.8 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$
Número de Prandtl: $Pr = 0.702$	Coefficiente expansión térmica: $\beta = 2.95 \cdot 10^{-3} \text{ (1/}^\circ\text{K)}$

Fuente: (Incropera, 2002)

Obtención de la longitud característica (L_c) para cilindros:

$$L_c = \frac{A_{\text{superf-cilindro}}}{\text{perimetro}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$A_{\text{superf-cilindro}} = \pi * D_{\text{ext}} * H_{\text{horno}}$$

$$A_{\text{superf-cilindro}} = 3.1416 * 0.61\text{m} * 0.313\text{m}$$

$$A_{\text{superf-cilindro}} = 0.6034 \text{ m}^2$$

$$\text{perimetro} = \pi * D_{\text{ext}} = 3.1416 * 0.61\text{m}$$

$$\text{perimetro} = 1.92 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{0.6034 \text{ m}^2}{1.92 \text{ m}}$$

$$L_c = H_{\text{horno}} = \mathbf{313 \text{ mm}}$$

Obtención del **número de Grashof (Gr)** para cilindros:

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_4 - T_{\text{amb}}) * L_c^3}{\nu^2}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$Gr = \mathbf{1,77 * 10^8}$$

Si número de Grashof $< 10^9$ entonces el flujo es laminar, mientras si es $> 10^9$ el flujo es turbulento, el **número de Nusselt (\overline{Nu}_L)** está dado por las siguientes ecuaciones:

$$\overline{Nu}_L = 0.555 (Gr. Pr)^{1/4} \text{ (Laminar); (Kreith, 2001)}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.0210 (Gr. Pr)^{2/5} \text{ (Turbulento); (Kreith, 2001)}$$

Entonces se tiene:

$$\overline{Nu}_L = 0.555 [(1,77 * 10^8). (0.702)]^{1/4}$$

$$\overline{Nu}_L = \mathbf{58.63}$$

Por lo tanto el **coeficiente de transferencia de calor por convección** ($\overline{h_c}$) será:

$$\overline{h_c} = \frac{\overline{Nu_L} * k}{L_c}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$\overline{h_c} = \frac{58.63 * (28.927 * 10^{-3} \text{W/m} \cdot \text{°K})}{0.313 \text{m}}$$

$$\overline{h_c} = 5.42 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right]$$

Obtenido $\overline{h_c}$ se procede a calcular la **resistencia analógica (R₄)** debido a la transferencia de calor por convección con el medio ambiente:

$$R_4 = \frac{1}{(A_{\text{supf-cilindro}}) * \overline{h_c}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_4 = \frac{1}{(0.6034 \text{ m}^2) * 5.42 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right]}$$

$$R_4 = 0.306 \left[\frac{\text{°K}}{\text{W}} \right]$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación en las paredes del horno (h_{rad})

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * (T_{\text{amb}} + T_4) * (T_{\text{amb}}^2 + T_4^2); \text{ (Kreith, 2001)}$$

Se prevé pintar la superficie de la chapa metálica con pintura negra brillante por lo que el valor de emisividad utilizado es:

$$\varepsilon = 0.9 \text{ (Elicrom, 2017)}$$

Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.6696 * 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}^4} \right]$ (Kreith, 2001)

$$h_{\text{rad}} = 0.9 * (5.6696 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}^4}) * (298^\circ\text{K} + 373^\circ\text{K}) * (298^\circ\text{K}^2 + 373^\circ\text{K}^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 7.81 \left[\frac{\text{°K}}{\text{W}} \right]$$

Obtenido h_{rad} se procede a calcular la **resistencia analógica (R₅)** debido a la transferencia de calor por radiación con el medio ambiente:

$$R_5 = \frac{1}{(A_{\text{supf-cilindro}}) * h_{\text{rad}}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_5 = \frac{1}{(0.6034 \text{ m}^2) * 7.81 \left[\frac{\text{°K}}{\text{W}} \right]}$$

$$R_5 = 0.215 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Las resistencias analógicas de convección y radiación se encuentran en paralelo por lo que es necesario encontrar una **resistencia analógica equivalente** $R_{\text{equiv}(\text{conv,rad})}$

$$R_{\text{equiv}(\text{conv,rad})} = \frac{R_4 * R_5}{R_4 + R_5}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_{\text{equiv}(\text{conv,rad})} = \frac{0.306 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right] * 0.215 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]}{(0.306 + 0.215) \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]}$$

$$R_{\text{equiv}(\text{conv,rad})} = 0.125 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Obtenida la resistencia equivalente de convección y radiación es posible encontrar el **calor total perdido** hacia el exterior debido a estos dos fenómenos $Q_{(\text{conv,rad})}$

$$Q_{(\text{conv,rad})} = \frac{T_4 - T_{\text{amb}}}{R_{\text{equiv}(\text{conv,rad})}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$Q_{(\text{conv,rad})} = \frac{373^\circ\text{K} - 298^\circ\text{K}}{0.125 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]}$$

$$Q_{(\text{conv,rad})} = 598.37 \text{ [W]}$$

Se procede a calcular todas las resistencias analógicas por conducción de todos los materiales que componen la pared del horno.

Resistencia analógica del ladrillo aislante (R_1)

$$R_1 = \frac{\text{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * K_{\text{ladrillo}} * L_c}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_1 = \frac{\text{Ln}\left(\frac{254}{140}\right)}{2 * \pi * 0.29 * 0.313} \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_1 = 1.044 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Resistencia analógica de la manta cerámica (R_2)

$$R_2 = \frac{\text{Ln}\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 * \pi * K_{\text{manta}} * L_c}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_2 = \frac{\text{Ln}\left(\frac{304.8}{254}\right)}{2 * \pi * 0.22 * 0.313} \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_2 = 0.421 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Resistencia analógica de la chapa metálica (R_3)

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{chapa}} \cdot L_c}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{306.8}{304.8}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 63.9 \cdot 0.313} \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_3 = 5.20 \cdot 10^{-5} \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Dado que los materiales se encuentran en una configuración en serie se suman todas las resistencias para formar una **resistencia equivalente por conducción total**

$R_{\text{Total-cond}}$

$$R_{\text{Total-cond}} = R_1 + R_2 + R_3; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_{\text{Total-cond}} = 1.466 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Obtenida la resistencia equivalente de conducción es posible encontrar el **calor total perdido** hacia el exterior debido a este fenómeno $Q_{(\text{cond})}$

$$Q_{(\text{cond})} = \frac{T_1 - T_4}{R_{\text{Total-cond}}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$Q_{(\text{cond})} = \frac{1473^\circ\text{K} - 373^\circ\text{K}}{1.466 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]}$$

$$Q_{(\text{cond})} = 750.38 \text{ [W]}$$

Obtenidas las pérdidas de calor totales por conducción $Q_{(\text{cond})}$ y las pérdidas de calor totales por convección y radiación $Q_{(\text{conv,rad})}$ se procede encontrar la diferencia entre estos calores, esta diferencia debe tender al valor cero para que el proceso alcance el estado estable y así encontrar el equilibrio térmico.

$$\Delta Q = |Q_{(\text{cond})} - Q_{(\text{conv,rad})}| \text{ (Tiene que ser cero)}$$

$$\Delta Q = |750.38 - 598.37| \text{ [W]}$$

$$\Delta Q = 152 \text{ [W]} \neq 0$$

Por lo tanto como el valor aún no es cero se procede a obtener una **nueva temperatura de superficie** T'_4 para reemplazar a la primera T_4 mediante el siguiente proceso:

$$Q_{(cond)} = Q_{(conv,rad)}$$

$$\frac{T_1 - T'_4}{R_{Total-cond}} = \frac{T'_4 - T_{amb}}{R_{equiv(conv,rad)}}$$

$$T'_4 = \frac{(T_1 * R_{equiv(conv,rad)}) + (T_{amb} * R_{Total-cond})}{(R_{Total-cond} + R_{equiv(conv,rad)})} \text{ [}^\circ\text{K]}$$

$$T'_4 = 390.55 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Con una nueva temperatura de superficie es necesario volver a realizar todo el proceso anterior hasta que la **diferencia de calor** ΔQ sea cero o aproximadamente cero. Cabe destacar que para realizar todas las iteraciones se creó un programa usando la aplicación Excel.

En la Tabla 4.7 se pueden observar los resultados de todas las iteraciones únicamente en el caso de la configuración seleccionada para la construcción.

Tabla 4.7: Resultados del proceso iterativo para encontrar la temperatura de superficie del horno

$T_{superficie} (T_4)$ [°K]	T.pelicula (T_p) [°K]	$Q_{(conv,rad)}$ [W]	$Q_{(cond)}$ [W]	ΔQ [W]	Nueva $T_{superficie}$ (T'_4) [°K]
373	335.5	598.37	750.38	152	390.55
390.55	344.27	790.23	738.41	51.82	384.93
384.93	341.46	723.65	742.24	15.59	386.65
386.65	342.32	745.89	741.07	4.82	386.12
386.12	342.06	739.94	741.43	1.49	386.28
386.28	342.14	741.73	741.32	0.41	386.23
386.23	342.12	741.17	741.35	0.13	386.25 ≈ 113.23°C

Fuente: Elaboración propia

Ahora se procede a realizar el mismo análisis en las tapas del horno.

Se puede apreciar la configuración de las resistencias analógicas en las paredes del horno en la Figura 4.2

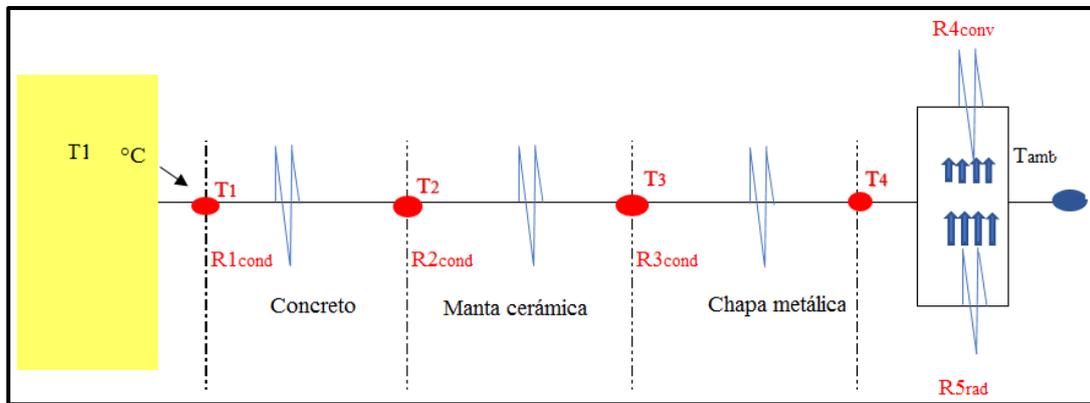


Figura 4.2: Esquema de resistencias analógicas en las tapas del horno

Fuente: Elaboración propia

La única simbología que cambia es la resistencia analógica R_1 esto debido a que se decidió utilizar concreto en las tapas en vez de ladrillos aislantes.

R_1 : Resistencia en el concreto refractario

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección en las tapas del horno ($\overline{h_c}$)

T_{amb} : Temperatura ambiente = $25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K}$

T_4 : Temperatura de la pared externa (asumida) = $100^\circ\text{C} = 373^\circ\text{K}$

$$T_p = \frac{T_{amb} + T_4}{2}$$

$$T_p = 335.5^\circ\text{K}$$

En la **Tabla 4.6** se pueden observar las propiedades del aire a la temperatura de película.

Obtención de la longitud característica (L_{pp}) para placas planas:

$$L_{pp} = \frac{A_{supf-placas}}{\text{perimetro}} ; (\text{Kreith, 2001})$$

$$A_{supf-placas} = \pi * D_{ext}^2 / 4$$

$$A_{supf-placas} = \pi * (0.613\text{m})^2 / 4$$

$$A_{supf-placas} = 0.296 \text{ m}^2$$

$$\text{perimetro} = \pi * D_{\text{ext}} = 3.1416 * 0.61\text{m}$$

$$\text{perimetro} = 1.92 \text{ m}$$

$$L_{\text{pp}} = \frac{0.296 \text{ m}^2}{1.92 \text{ m}}$$

$$L_{\text{pp}} = \mathbf{0.153\text{m}}$$

Obtención del **número de Grashof (Gr)** para placas planas:

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_4 - T_{\text{amb}}) * L_c^3}{\nu^2}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$Gr = \mathbf{0.20 * 10^8}$$

Número de Nusselt (\overline{Nu}_L):

$$\overline{Nu}_L = 0.555 (Gr \cdot Pr)^{1/4} \text{ (Laminar); (Kreith, 2001)}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.0210 (Gr \cdot Pr)^{2/5} \text{ (Turbulento); (Kreith, 2001)}$$

Entonces se tiene:

$$\overline{Nu}_L = 0.555 [(1.77 * 10^8) \cdot (0.702)]^{1/4}$$

$$\overline{Nu}_L = \mathbf{34.34}$$

Por lo tanto el **coeficiente de transferencia de calor por convección (\overline{h}_c)** será:

$$\overline{h}_c = \frac{\overline{Nu}_L * k}{L_c}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$\overline{h}_c = \frac{35.15 * (28.92 * 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{°K})}{0.153\text{m}}$$

$$\overline{h}_c = \mathbf{6.48 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right]}$$

Resistencia analógica (R_4) debido a la transferencia de calor por convección con el medio ambiente:

$$R_4 = \frac{1}{(A_{\text{supf-placas}}) * \overline{h}_c}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_4 = \frac{1}{(0.296 \text{ m}^2) * 6.48 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \right]}$$

$$R_4 = \mathbf{0.522 \left[\frac{\text{°K}}{\text{W}} \right]}$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación en las tapas del horno (h_{rad})

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * (T_{\text{amb}} + T_4) * (T_{\text{amb}}^2 + T_4^2); \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$h_{\text{rad}} = 0.9 * (5.6696 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}) * (298^\circ\text{K} + 373^\circ\text{K}) * (298^\circ\text{K}^2 + 373^\circ\text{K}^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 7.81 \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Resistencia analógica (R_5) debido a la transferencia de calor por radiación con el medio ambiente:

$$R_5 = \frac{1}{(A_{\text{supf-placas}}) * h_{\text{rad}}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_5 = \frac{1}{(0.296 \text{ m}^2) * 7.81 \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]}$$

$$R_5 = 0.433 \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Resistencia analógica equivalente $R_{\text{equiv(conv,rad)}}$

$$R_{\text{equiv(conv,rad)}} = \frac{R_4 * R_5}{R_4 + R_5}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_{\text{equiv(conv,rad)}} = 0.237 \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Calor total perdido por convección y radiación $Q_{\text{(conv,rad)}}$

$$Q_{\text{(conv,rad)}} = \frac{T_4 - T_{\text{amb}}}{R_{\text{equiv(conv,rad)}}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$Q_{\text{(conv,rad)}} = 316.71 [\text{W}]$$

Cálculo de **resistencias analógicas por conducción** de todos los materiales que componen las tapas del horno.

Resistencia analógica del concreto refractario (R_1)

$$R_1 = \frac{e_{\text{concreto}}}{(A_{\text{supf-placas}}) K_{\text{concreto}}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_1 = \frac{0.05}{(0.296)(1.11)} \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_1 = 0.152 \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Resistencia analógica de la manta cerámica (R_2)

$$R_2 = \frac{e_{manta}}{(A_{supf-placas})K_{manta}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_2 = \frac{0.102}{(0.296)*(0.22)} \left[\frac{^\circ K}{W} \right]$$

$$R_2 = 1.562 \left[\frac{^\circ K}{W} \right]$$

Resistencia analógica de la chapa metálica (R_3)

$$R_3 = \frac{e_{chapa.metálica}}{(A_{supf-placas})K_{chapa}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_3 = \frac{0.002}{(0.296)*(63.9)} \left[\frac{^\circ K}{W} \right]$$

$$R_3 = 1.06 * 10^{-4} \left[\frac{^\circ K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente por conducción total $R_{Total-cond}$

$$R_{Total-cond} = R_1 + R_2 + R_3; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$R_{Total-cond} = 1.714 \left[\frac{^\circ K}{W} \right]$$

Calor total perdido por conducción $Q_{(cond)}$

$$Q_{(cond)} = \frac{T_1 - T_4}{R_{Total-cond}}; \text{ (Kreith, 2001)}$$

$$Q_{(cond)} = \frac{1473^\circ K - 373^\circ K}{1.714 \left[\frac{^\circ K}{W} \right]}$$

$$Q_{(cond)} = 641.71 [W]$$

Diferencia de calores ΔQ :

$$\Delta Q = |Q_{(cond)} - Q_{(conv,rad)}| \text{ (Tiene que ser cero)}$$

$$\Delta Q = |641.71 - 316.71| [W]$$

$$\Delta Q = 324.99 [W] \neq 0$$

Por lo tanto como el valor aún no es cero se procede a obtener una **nueva temperatura de superficie T'_4** para reemplazar a la primera T_4 :

$$Q_{(cond)} = Q_{(conv,rad)}$$

$$\frac{T_1 - T'_4}{R_{Total-cond}} = \frac{T'_4 - T_{amb}}{R_{equiv(conv,rad)}}$$

$$T'_4 = \frac{(T_1 * R_{equiv(conv,rad)}) + (T_{amb} * R_{Total-cond})}{(R_{Total-cond} + R_{equiv(conv,rad)})} [^{\circ}\text{K}]$$

$$T'_4 = 440.62 [^{\circ}\text{K}]$$

Se volvió a realizar el mismo proceso iterativo usado en las paredes del horno, se pueden observar los resultados en la Tabla 4.8 de todas las iteraciones únicamente en el caso de la configuración seleccionada para la construcción de las tapas del horno.

Tabla 4.8: Resultados del proceso iterativo para encontrar la temperatura de superficie en las tapas del horno

$T_{\text{superficie}} (T_4)$ [$^{\circ}\text{K}$]	$T_{\text{película}} (T_p)$ [$^{\circ}\text{K}$]	$Q_{(conv,rad)}$ [W]	$Q_{(cond)}$ [W]	ΔQ [W]	Nueva $T_{\text{superficie}} (T'_4)$ [$^{\circ}\text{K}$]
373	335.5	316.71	641.71	324.99	440.62
440.62	369.31	763.11	602.26	160.85	413.51
413.51	355.75	564.95	618.07	53.12	423.21
423.21	360.6	632.74	612.42	20.32	419.60
419.60	358.8	607.11	614.52	7.4	420.93
420.93	359.5	616.5	613.74	2.75	420.44
420.44	359.2	613.03	614.03	0.99	420.62
420.62	359.3	614.31	613.92	0.38	420.55 \approx 147.55 $^{\circ}\text{C}$

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE C

Planos Esquemáticos

Plano Esquemático C 1: Dimensiones de las paredes del horno

Plano Esquemático C 2: Dimensiones de la base y tapa del horno

Plano esquemático C 3: Dimensiones de los ejes de transmisión

Plano Esquemático C 4: Dimensiones de la pareja piñon-engrane

Plano Esquemático C 5: Dimensiones de las chavetas

Plano Esquemático C 6: Dimensiones del volante

Plano esquemático C 7: Dimensiones de las orejas de soporte

Plano esquemático C 8: Dimensiones de la tubería superior del inyector de partículas

Plano esquemático C 9: Dimensiones del alimentador de partículas

Plano esquemático C 10: Dimensiones de la sección media con aberturas circulares

Plano esquemático C 11: Dimensiones de la tubería inferior del inyector de partículas

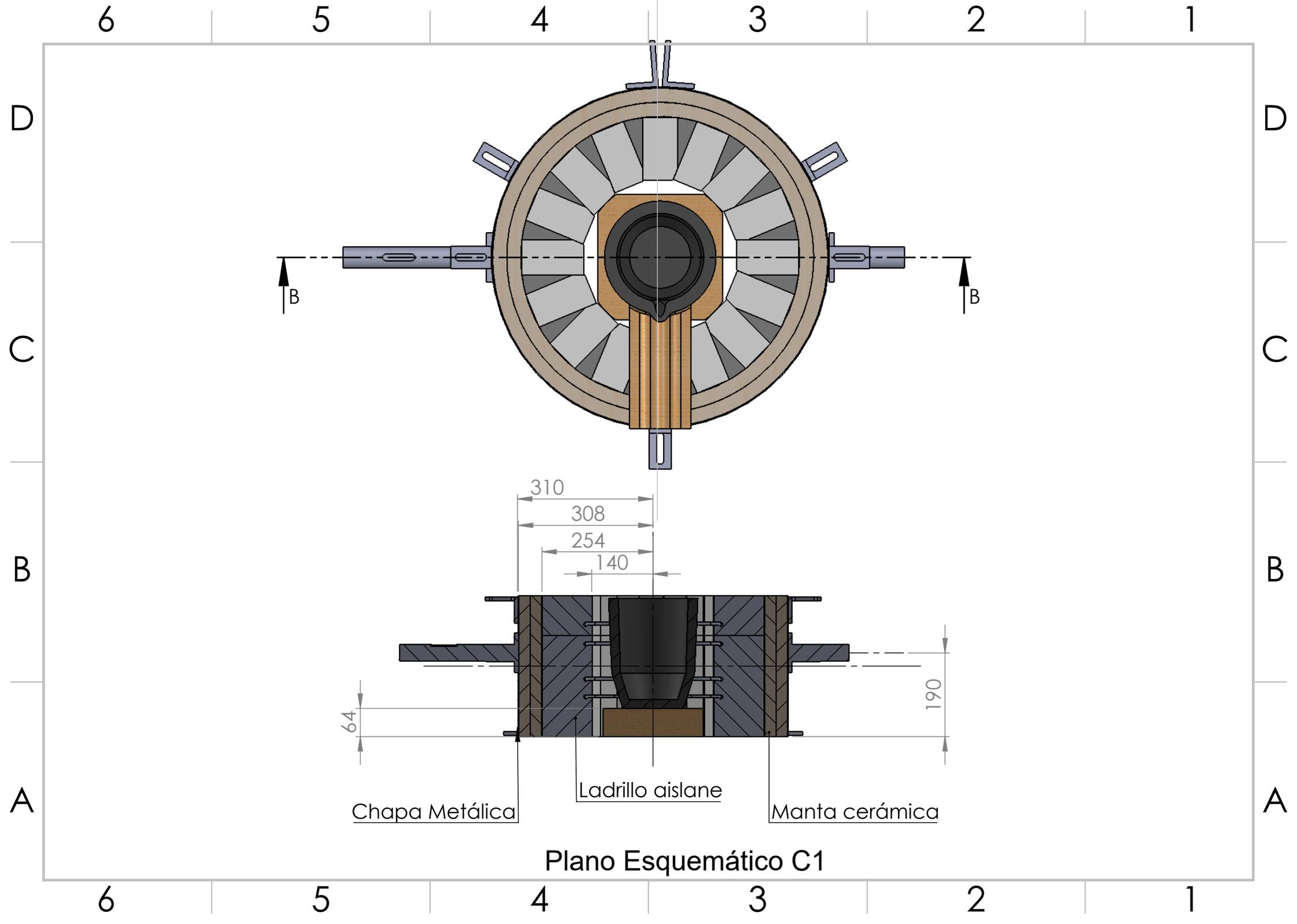
Plano esquemático C 12: Dimensiones del eje para el agitador mecánico

Plano esquemático C 13: Dimensiones de la hélice de 3 alabes

Plano esquemático C 14: Dimensiones de la estructura metálica

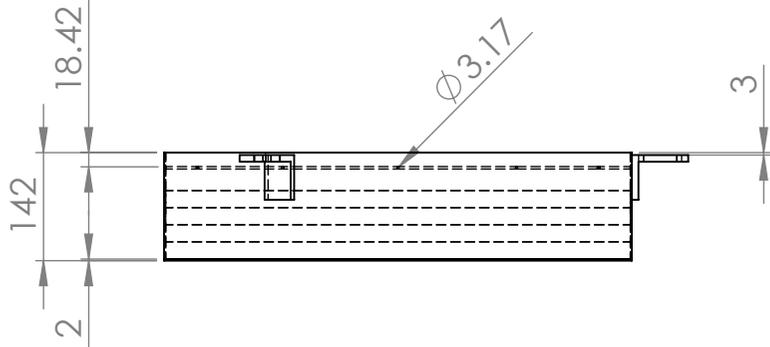
Plano esquemático C 15: Diseño guía del sistema de poleas sobre la estructura.

Plano esquemático C 16: Dimensiones de los canales para las resistencias eléctricas

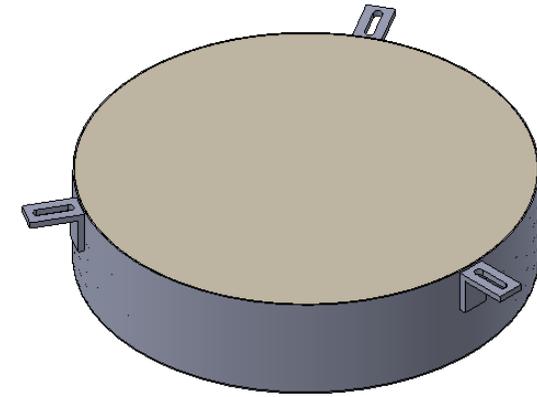


Plano Esquemático C1

D

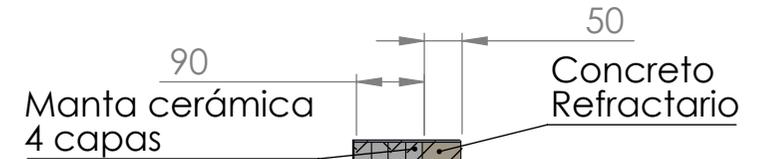
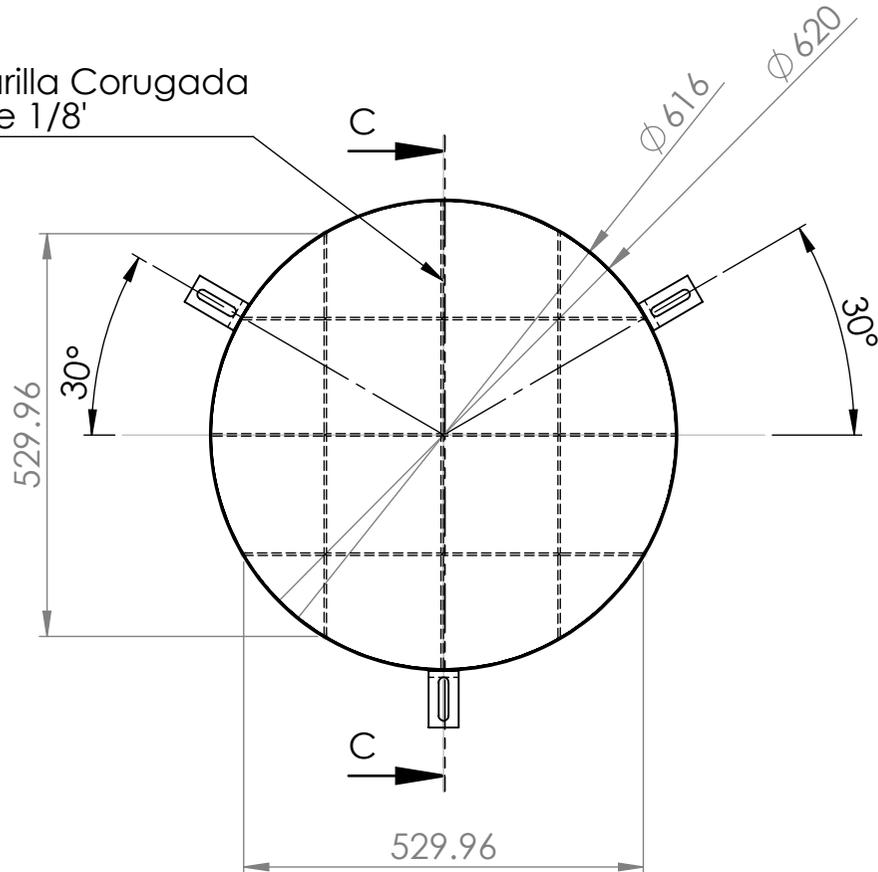


D



C

Barilla Corugada de 1/8'



B

SECTION C-C

A

Plano Esquemático C2

TITLE: Base del horno

A4

SCALE:1:10

Unit: mm

6

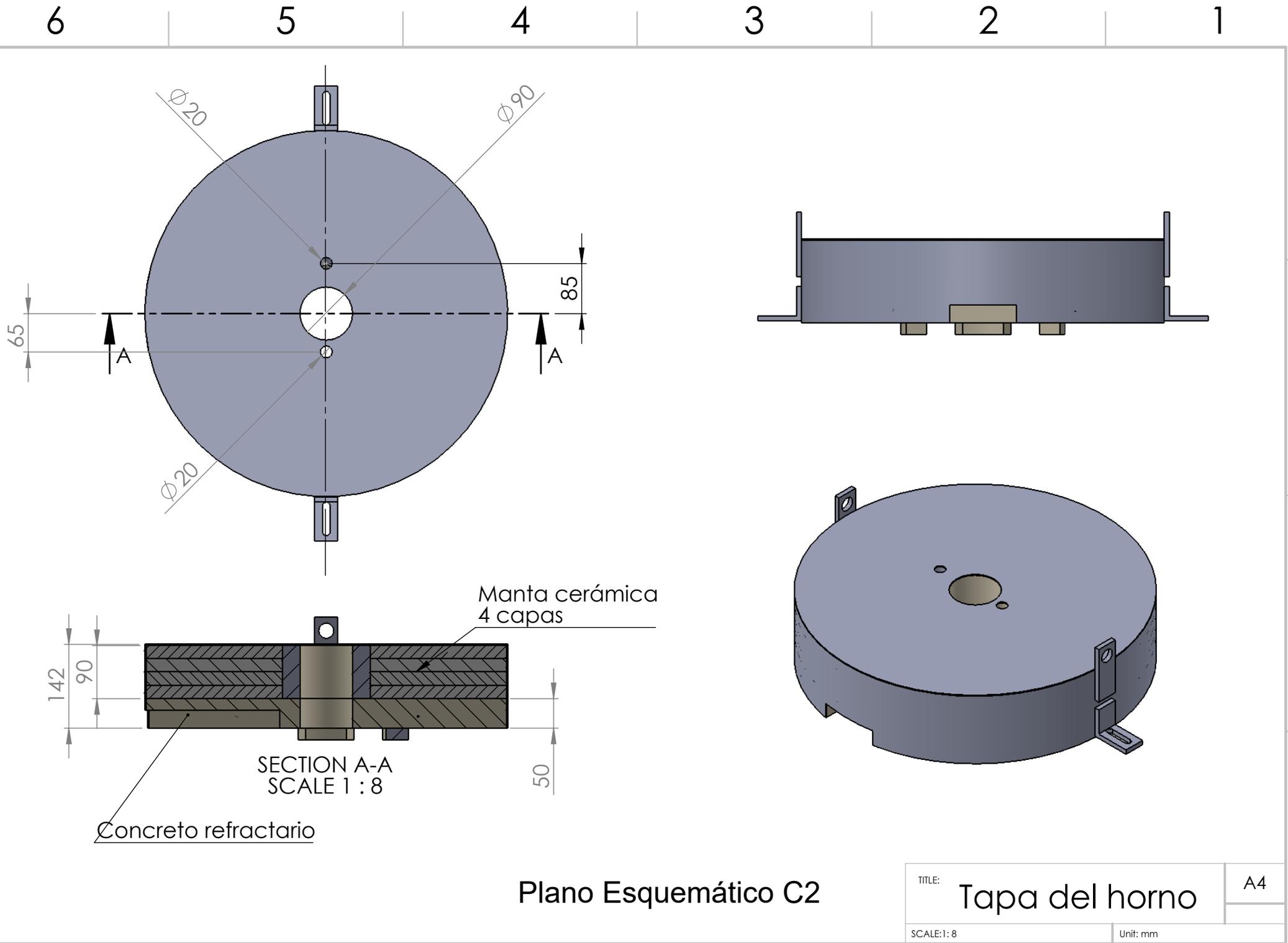
5

4

3

2

1



Plano Esquemático C2

TITLE:	Tapa del horno	A4
SCALE: 1: 8	Unit: mm	

4

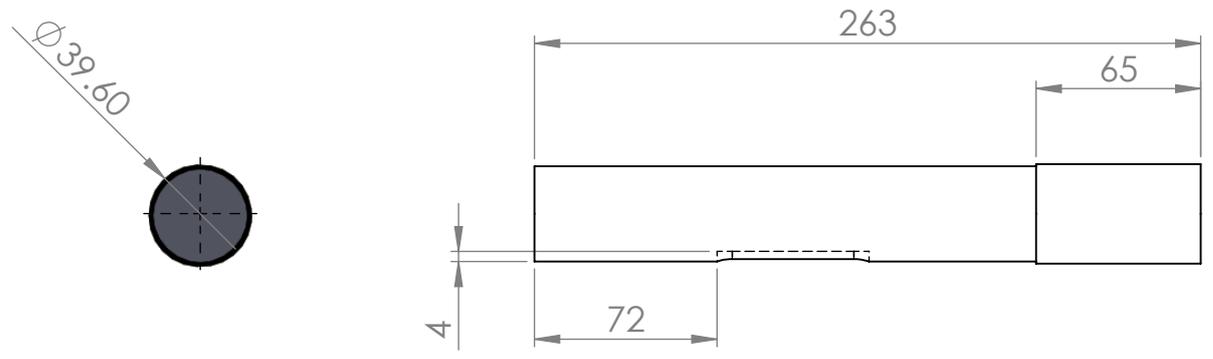
3

2

1

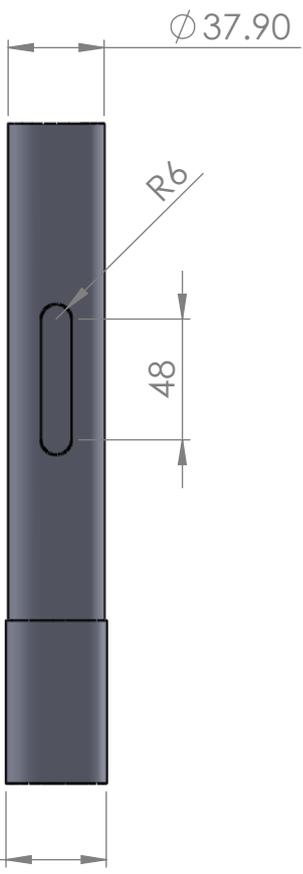
F

F



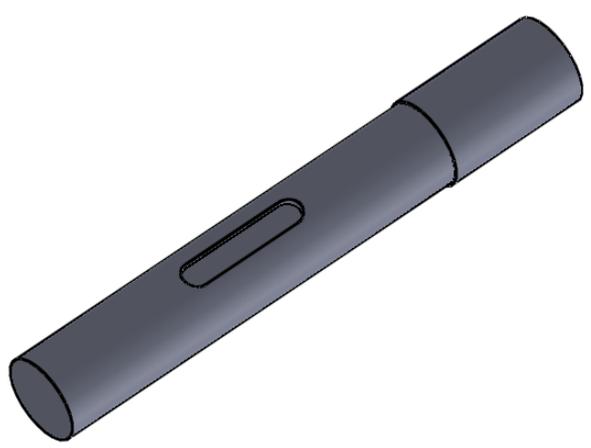
E

E



D

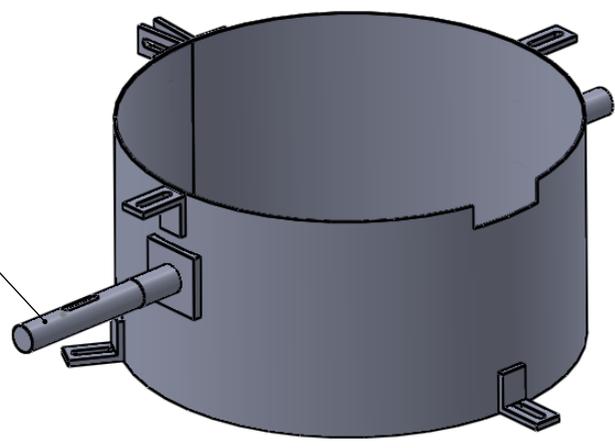
D



C

C

Eje principal



B

B

Plano Esquemático C3

TITLE:	Eje principal	A4
SCALE:1:3	Unit: mm	

A

A

4

3

2

1

4

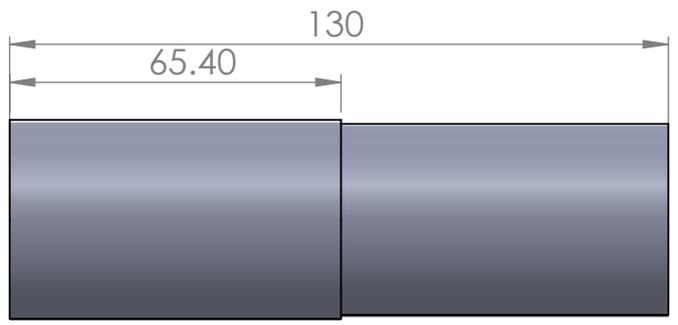
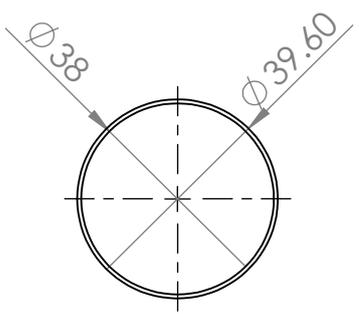
3

2

1

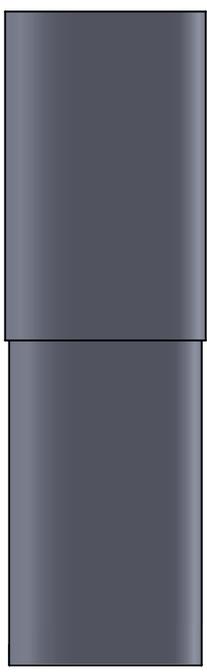
F

F



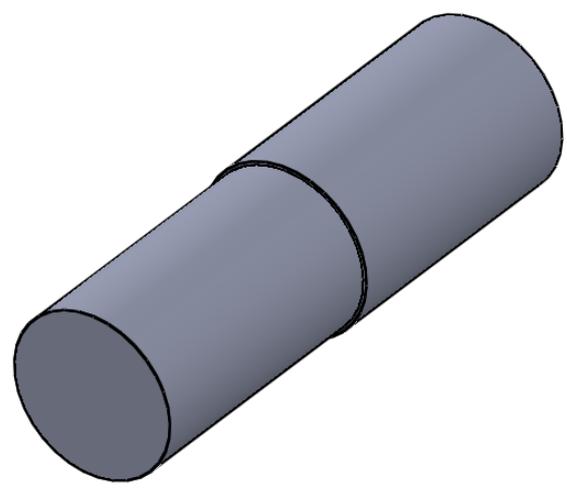
E

E



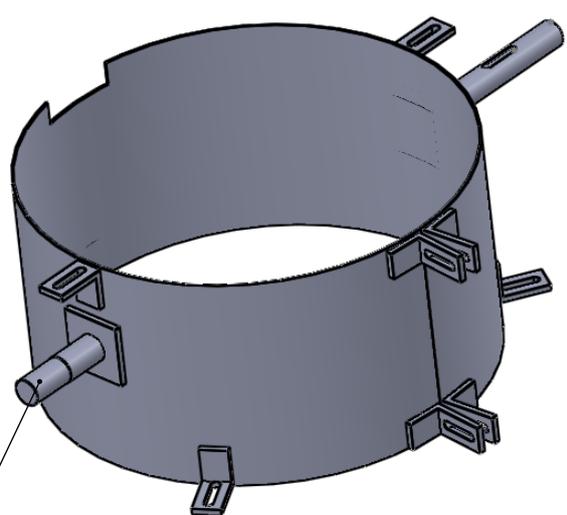
D

D



C

C



Eje secundario

B

B

A

A

Plano Esquemático C3

TITLE:	Eje secundario	A4
SCALE:1:2	Unit:mm	

4

3

2

1

4

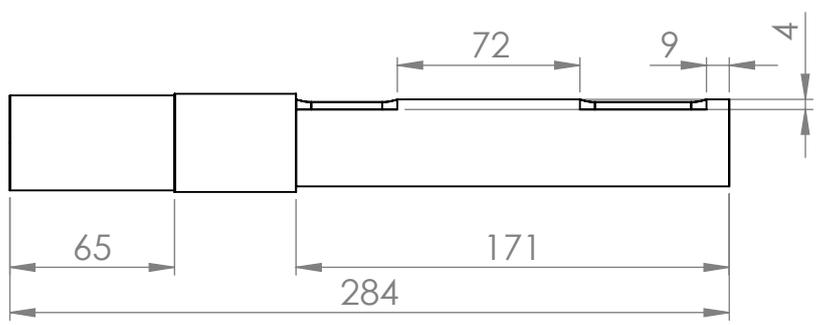
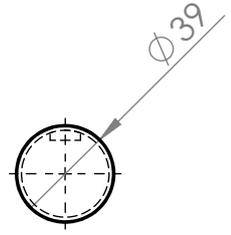
3

2

1

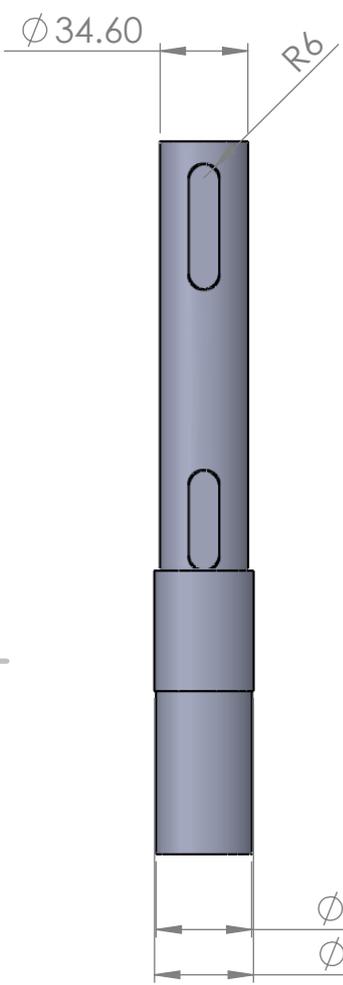
F

F



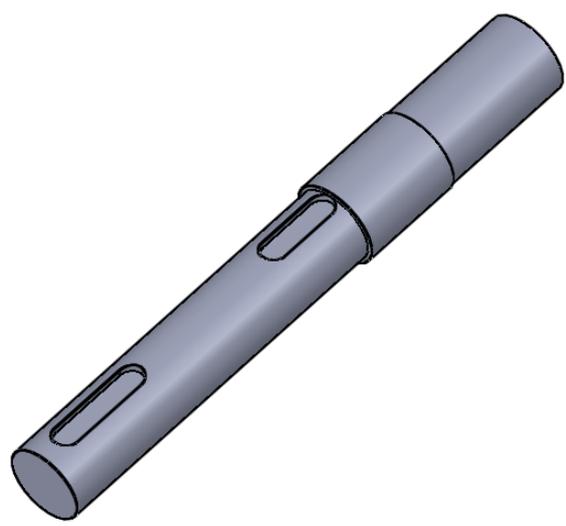
E

E



D

D



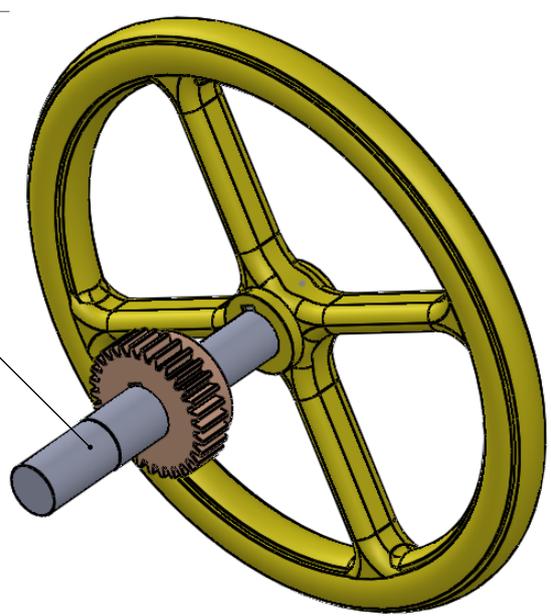
C

C

B

B

Eje accionador



A

A

Plano esquemático C 3

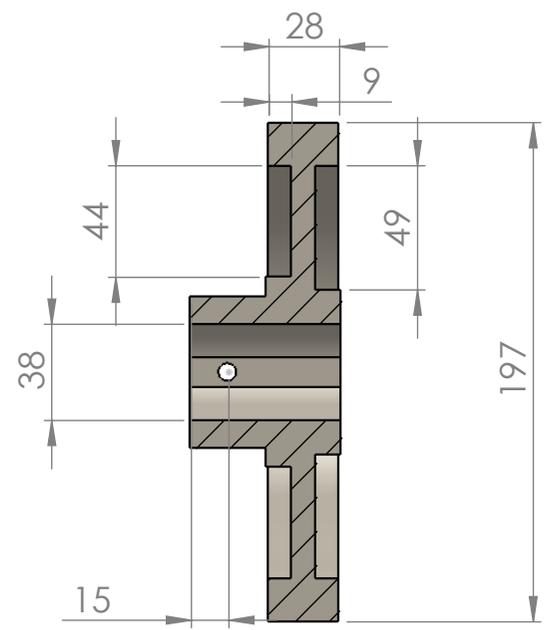
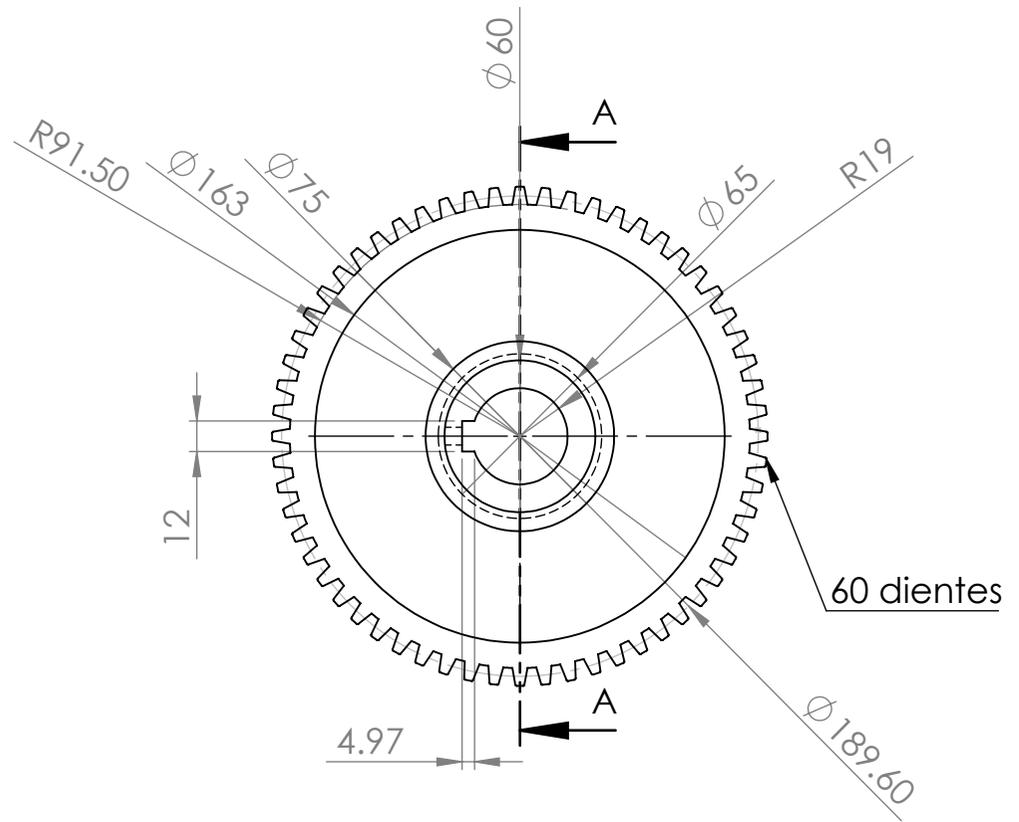
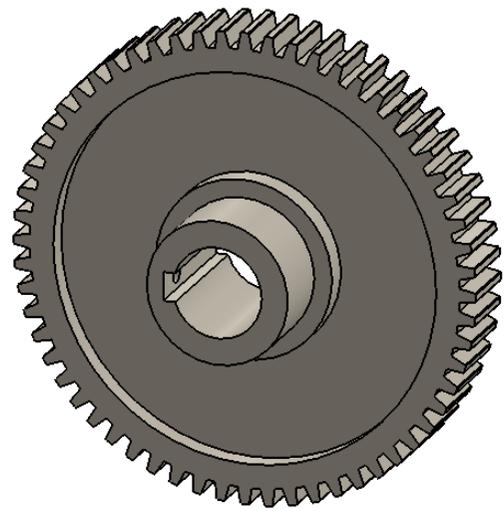
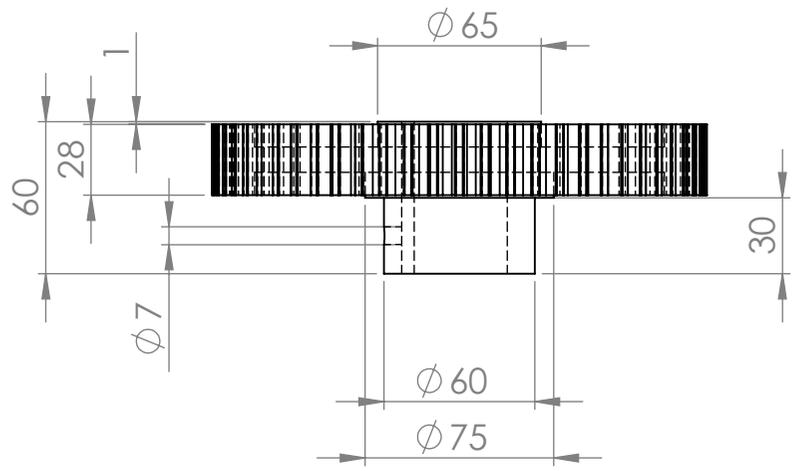
TITLE:	Eje accionador	A4
SCALE:1:5	Unit:mm	

4

3

2

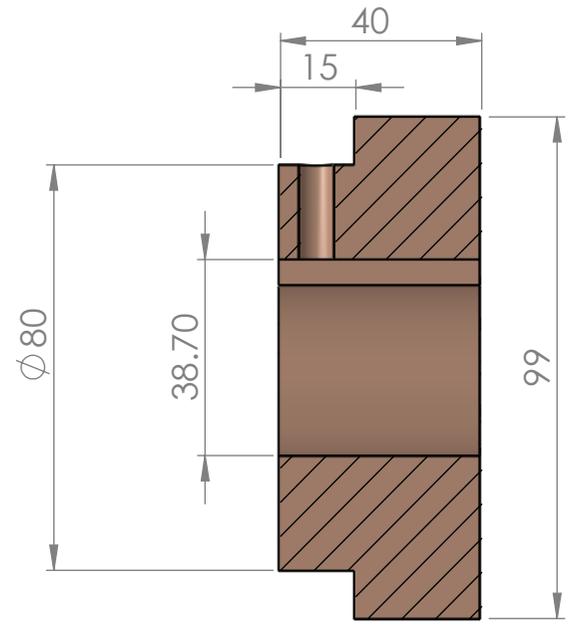
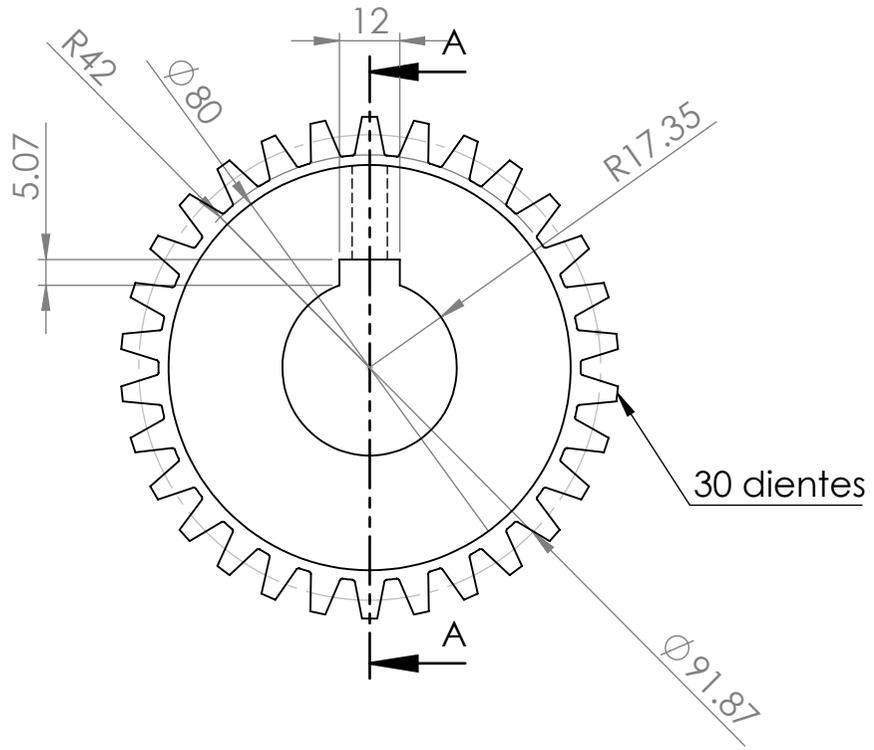
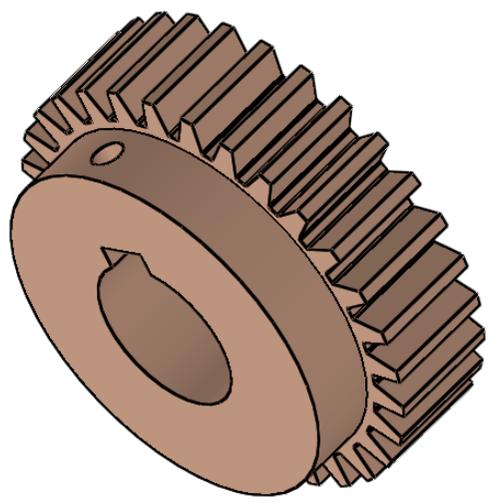
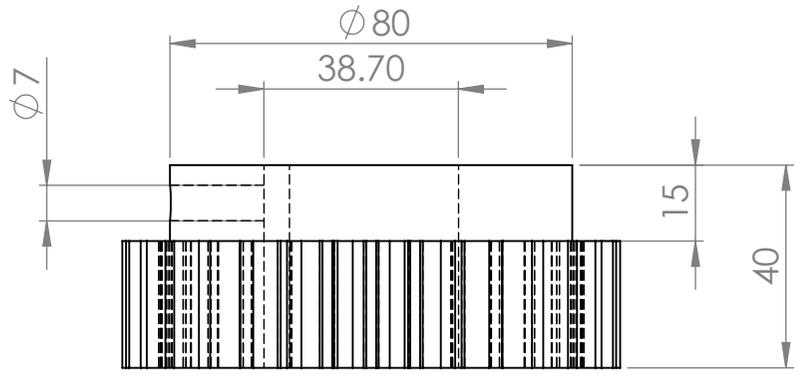
1



Plano Esquemático C4

SECTION A-A
SCALE 1 : 3

TITLE:	Engrane	A4
SCALE: 1:3	Unit: mm	



SECTION A-A
SCALE 1 : 1.5

Plano Esquemático C4

TITLE:	Piñon	A4
SCALE: 1:1.5	Unit: mm	

4

3

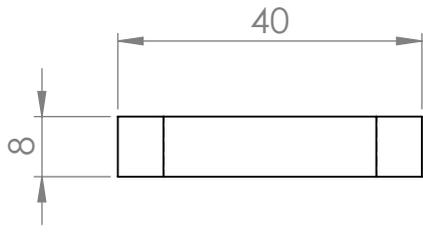
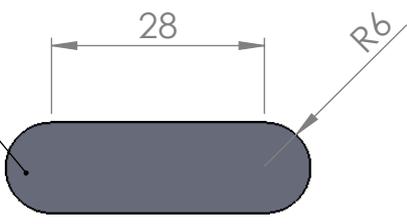
2

1

F

F

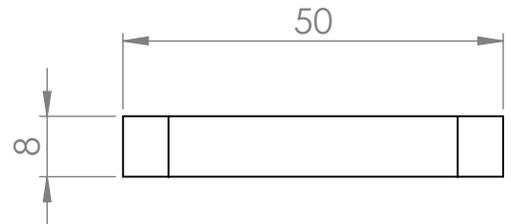
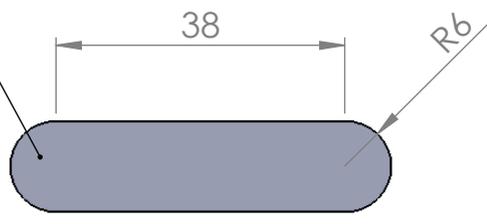
Chaveta Piñon-Eje accionador



E

E

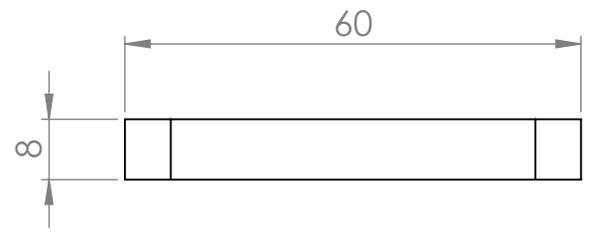
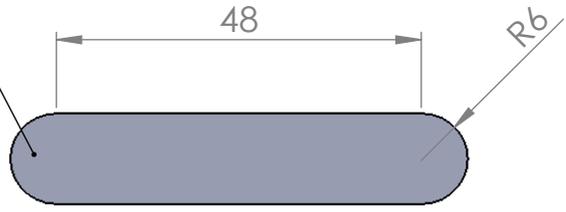
Chaveta Volante-Eje accionador



D

D

Chaveta Engrane-Eje principal



C

C

B

B

A

A

Plano Esquemático C5

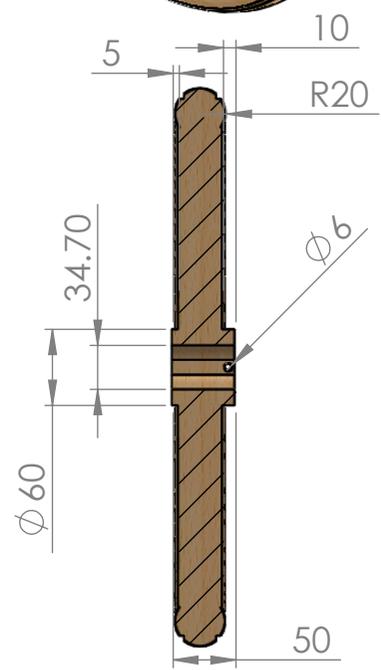
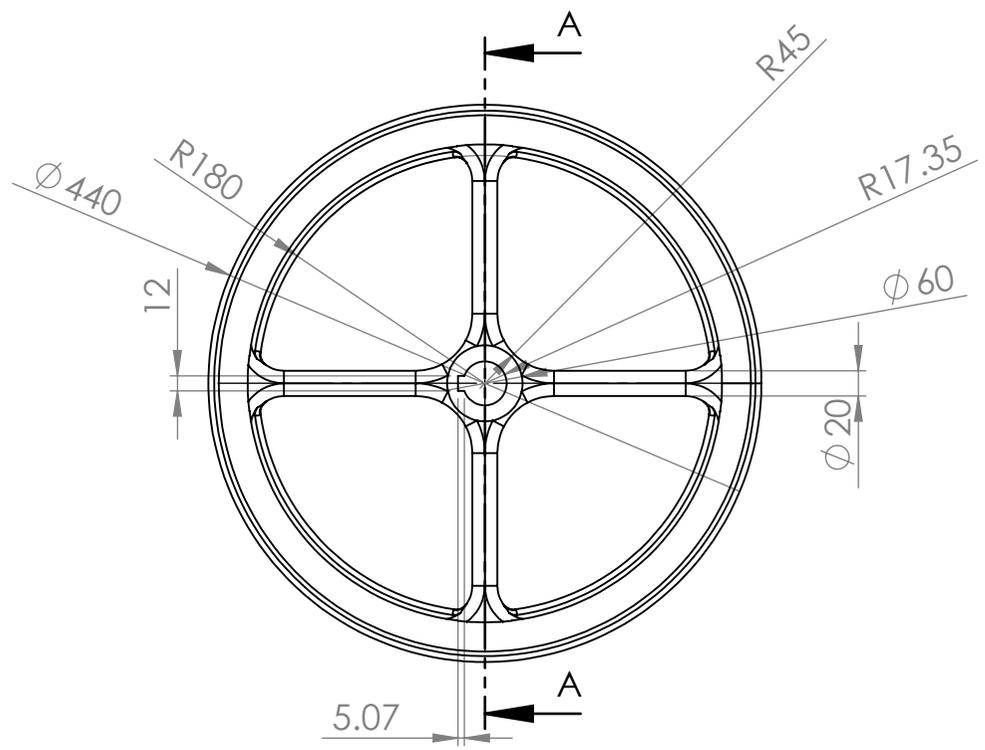
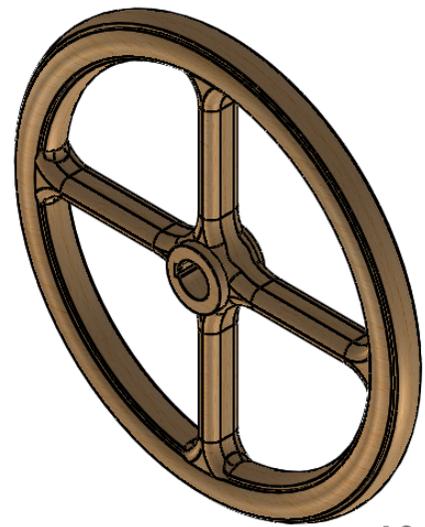
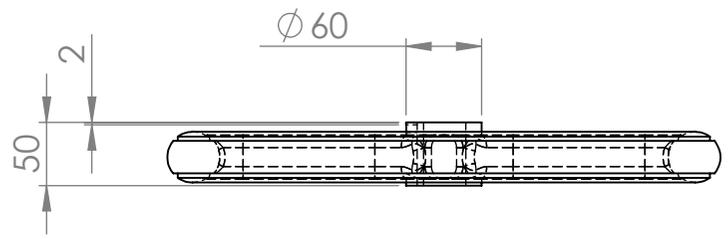
TITLE:	Chavetas	A4
SCALE: 1:1	Unit: mm	

4

3

2

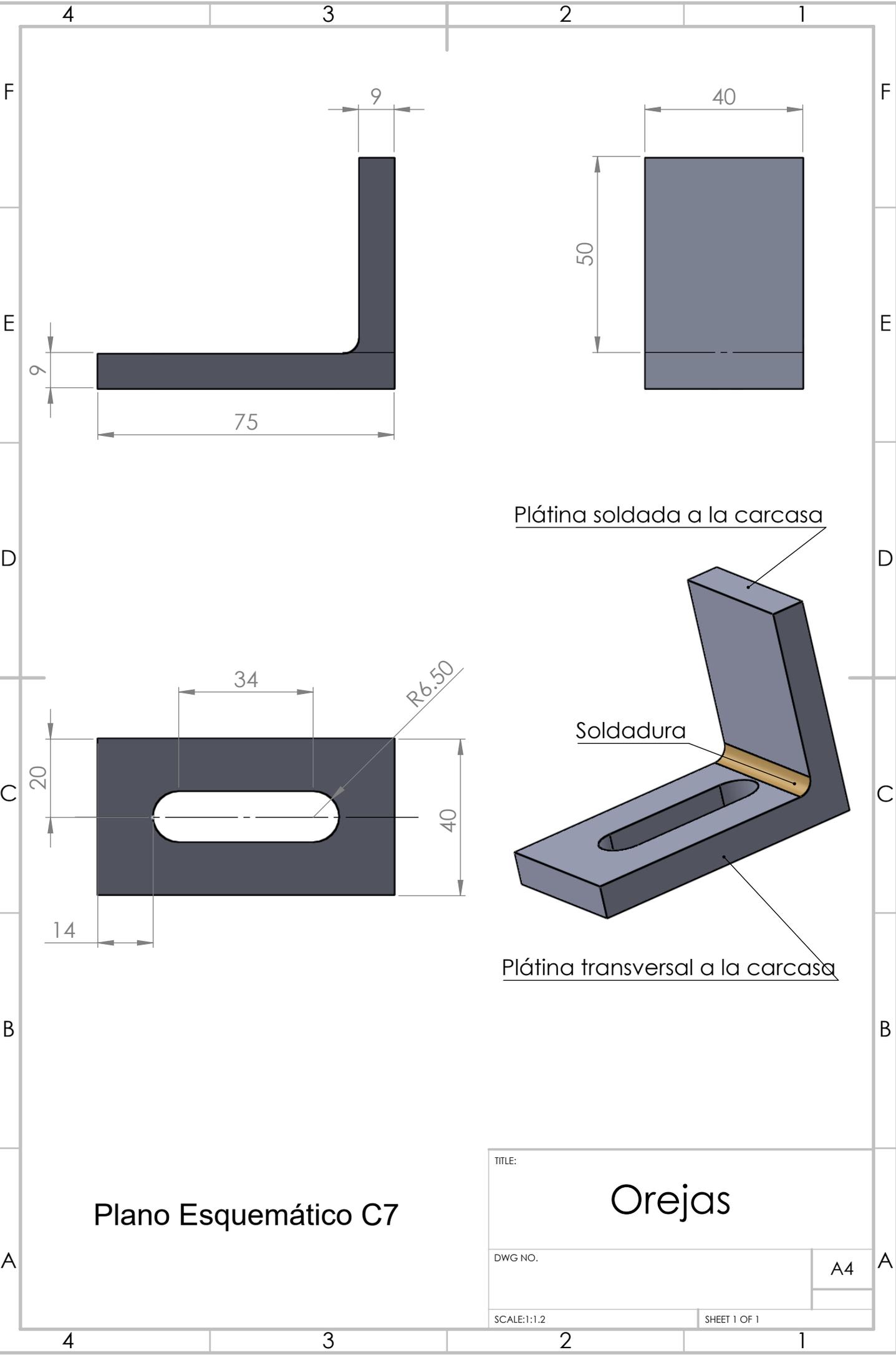
1



SECTION A-A
SCALE 1 : 6

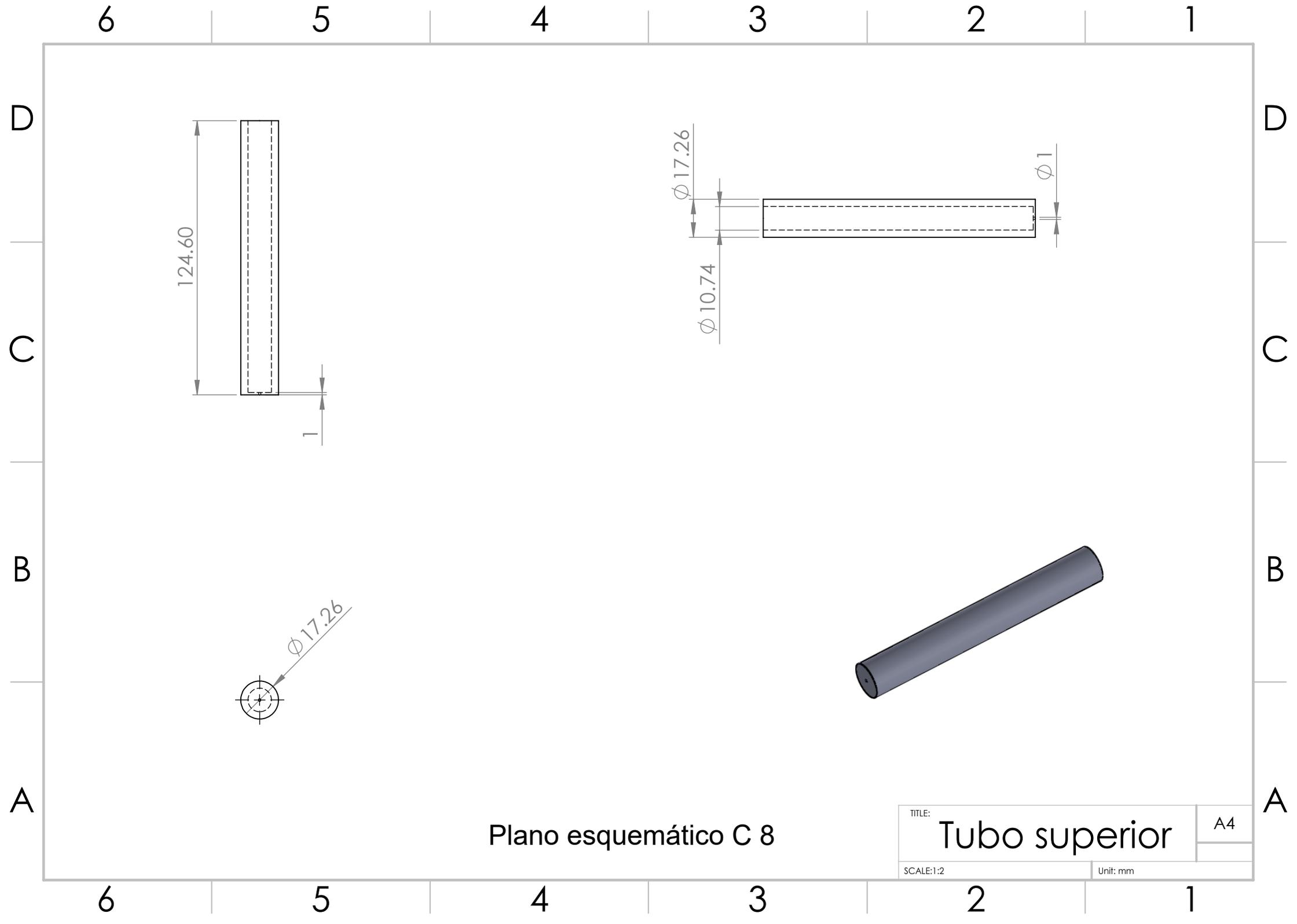
Plano Esquemático C6

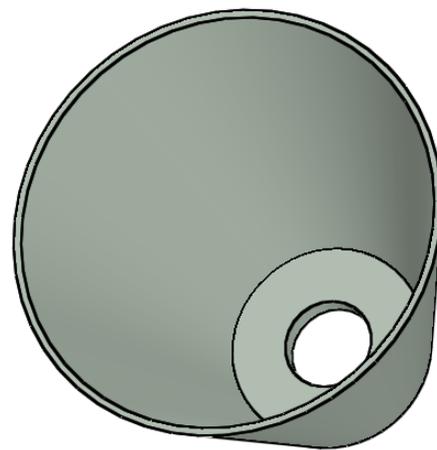
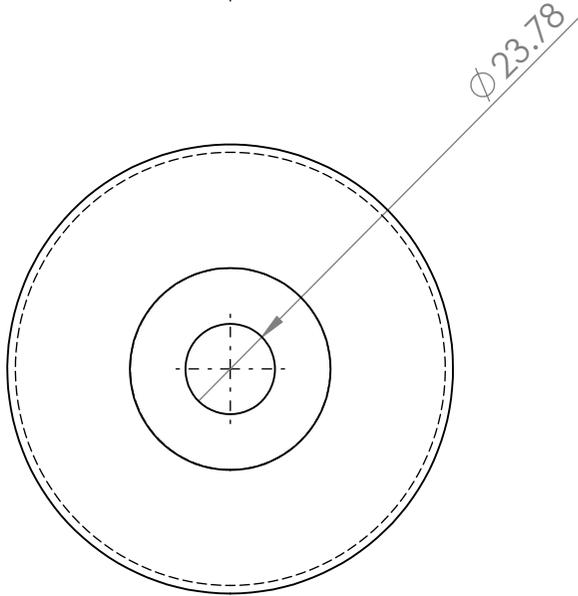
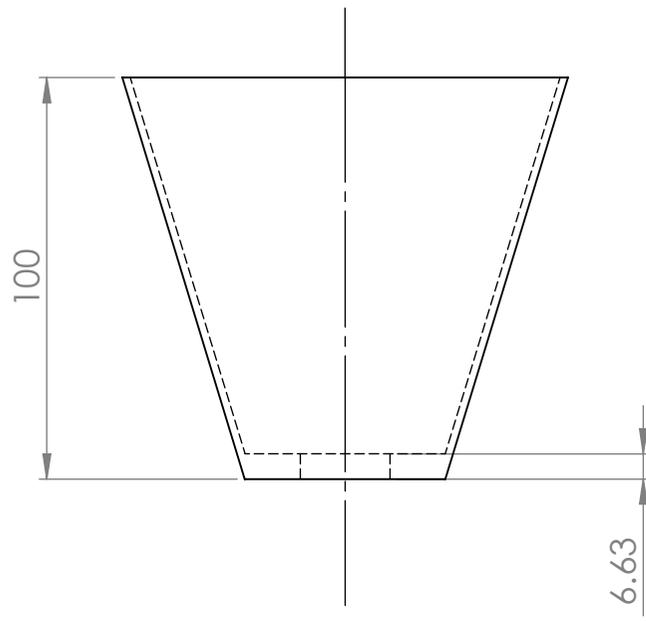
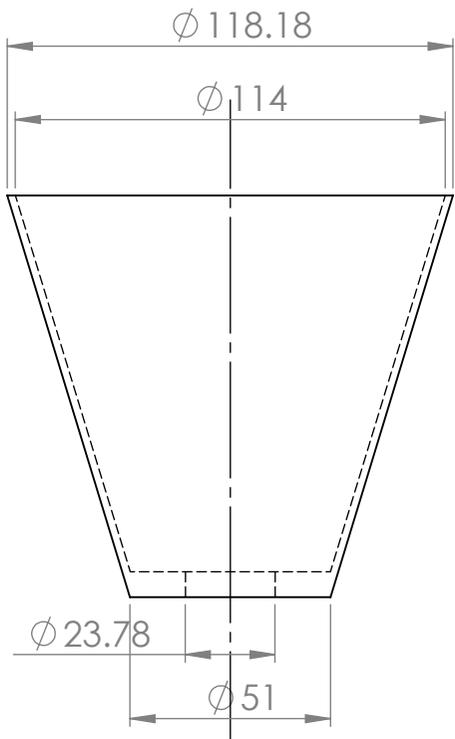
TITLE:	Volante	A4
SCALE: 1:6	Unit: mm	



Plano Esquemático C7

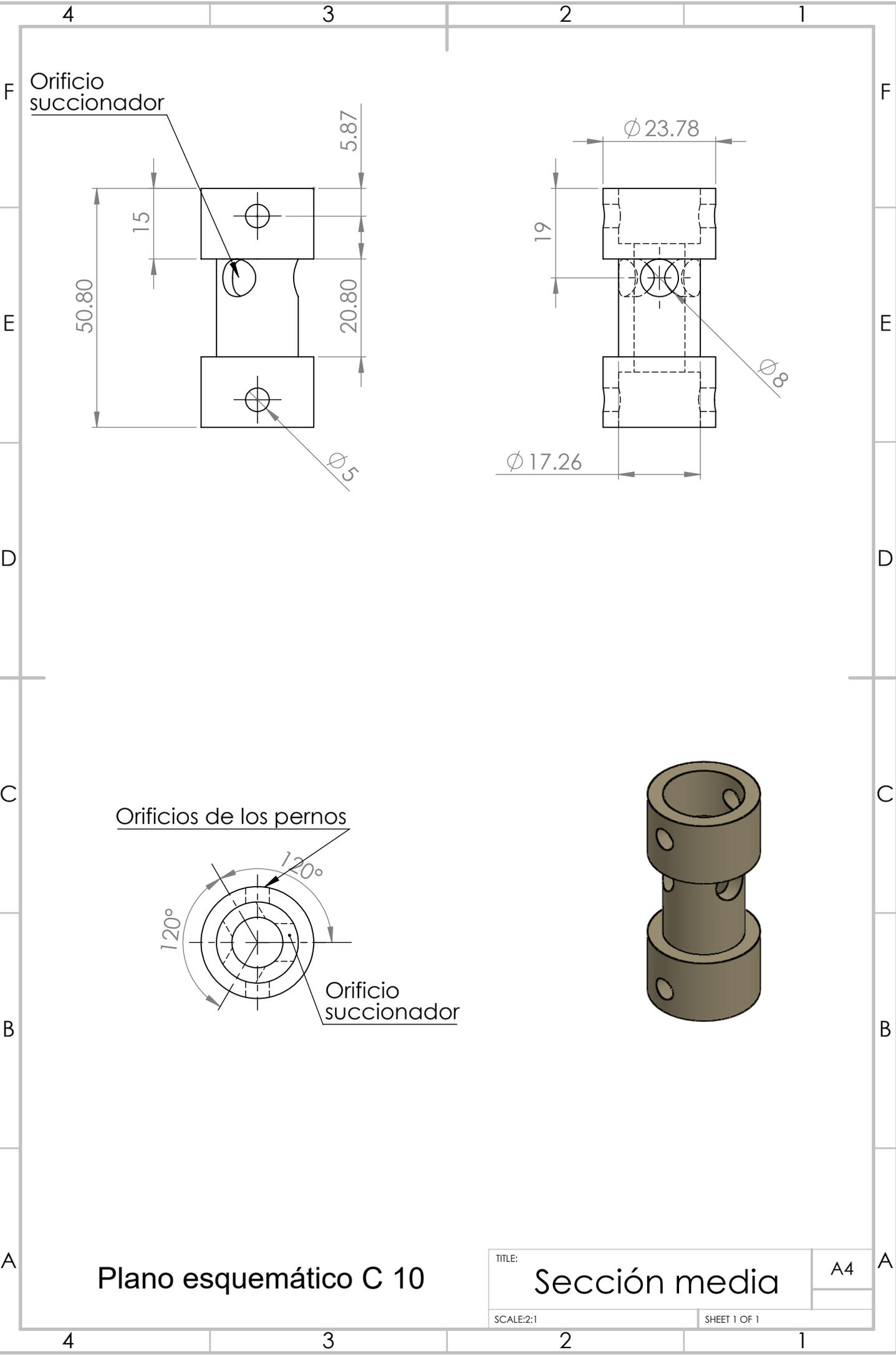
TITLE:		<h1>Orejas</h1>	
DWG NO.		A4	
SCALE:1:1.2		SHEET 1 OF 1	





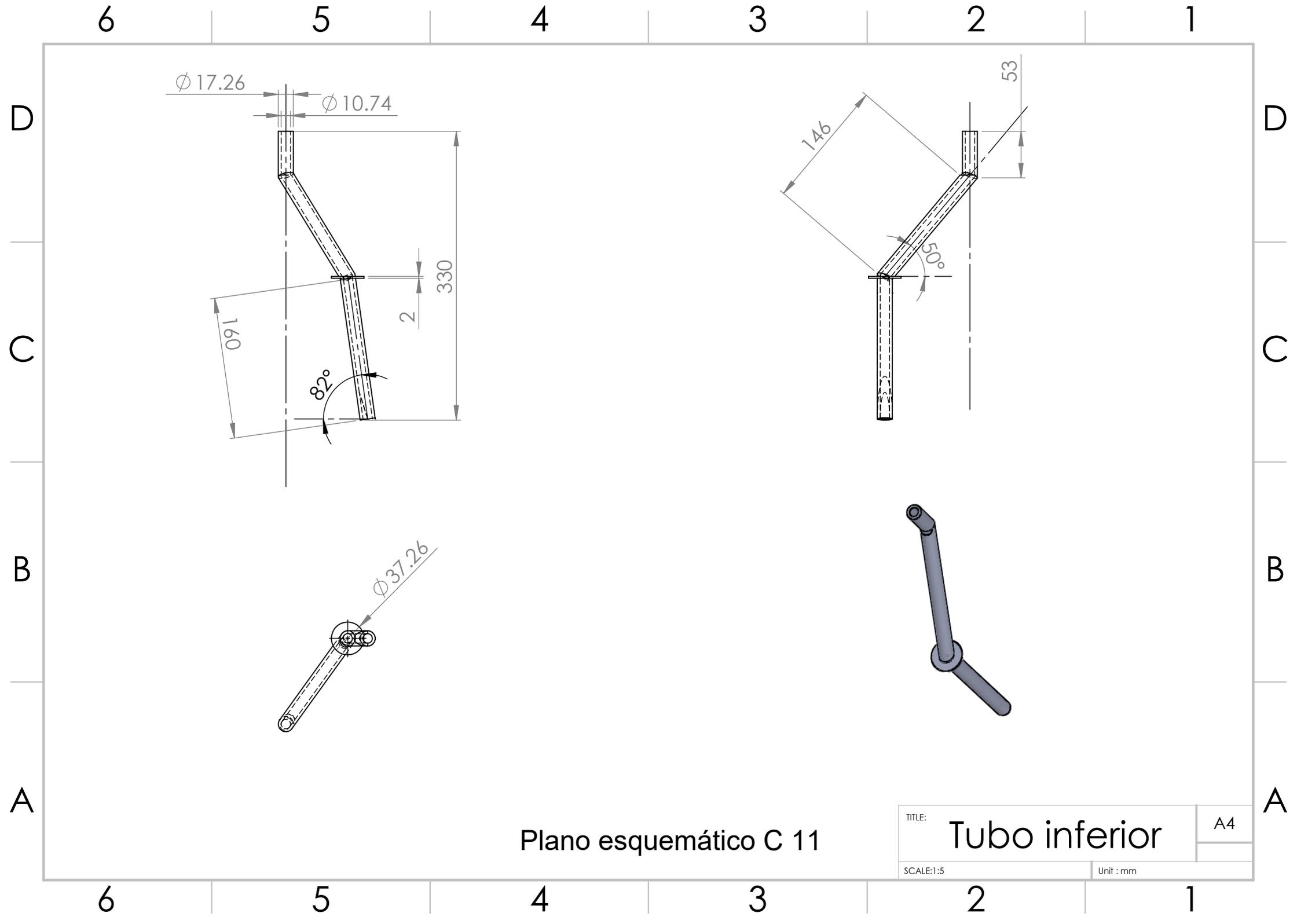
Plano Esquemático C9

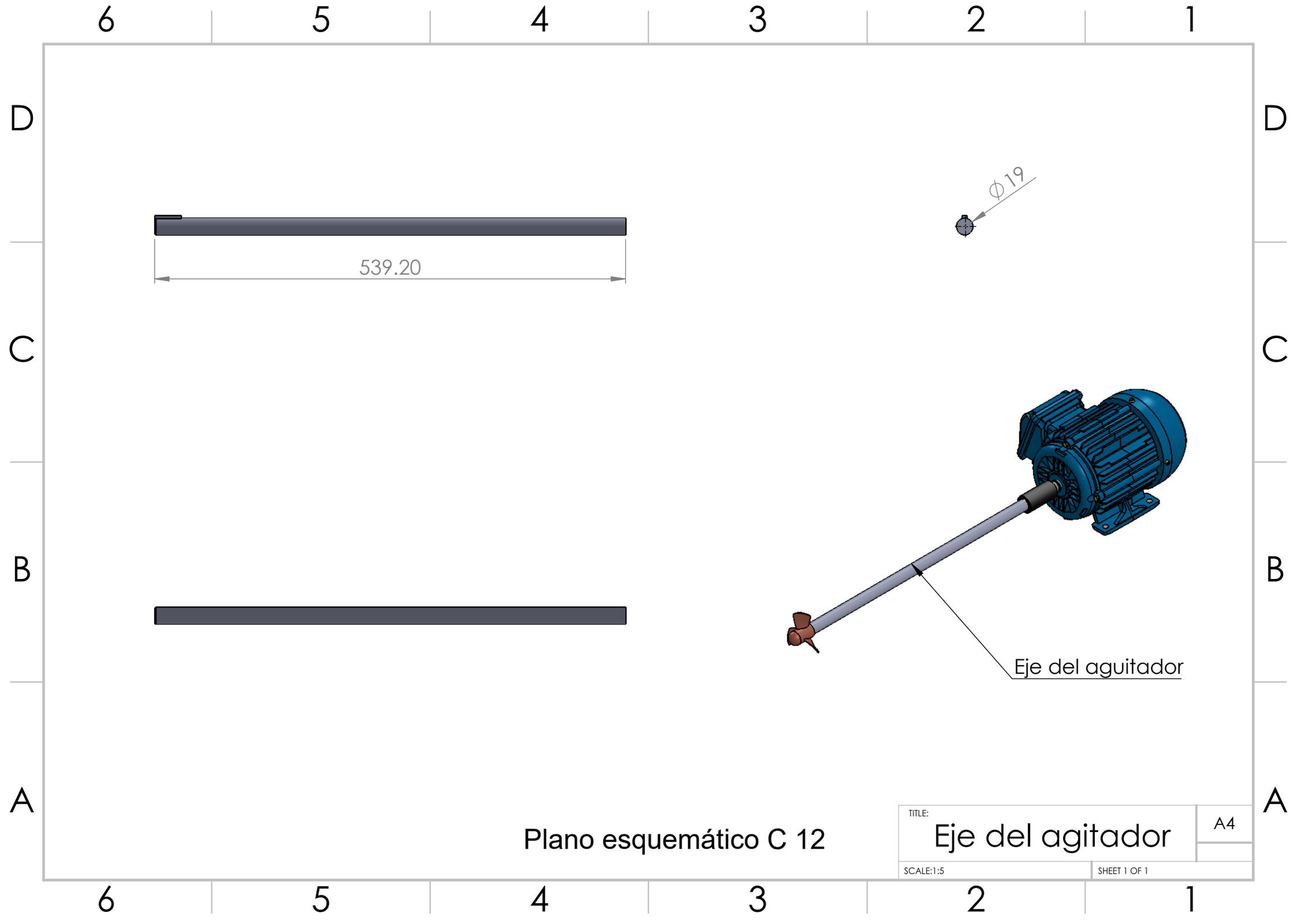
TITLE:	Alimentador de partículas	A4
SCALE:1:2	Unit : mm	

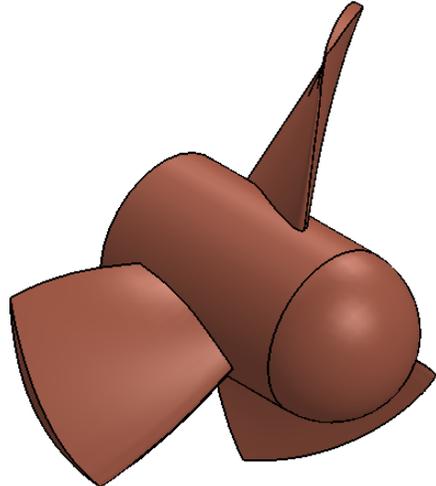
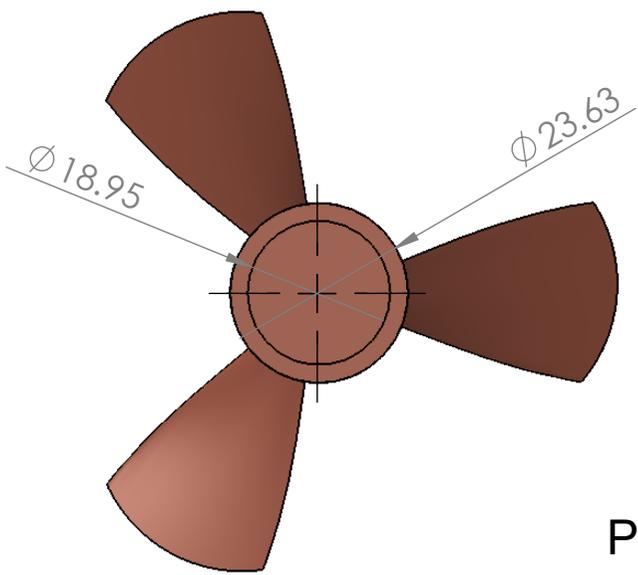
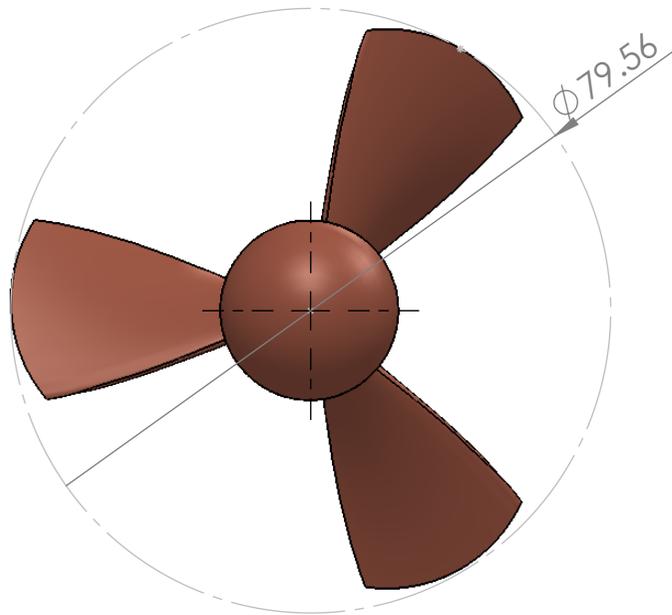
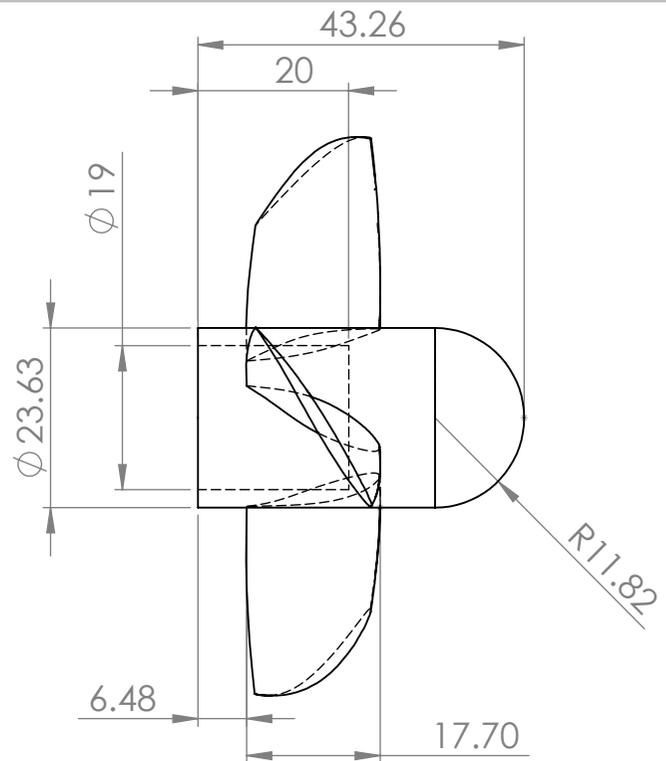


Plano esquemático C 10

TITLE:	Sección media	A4
SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1	







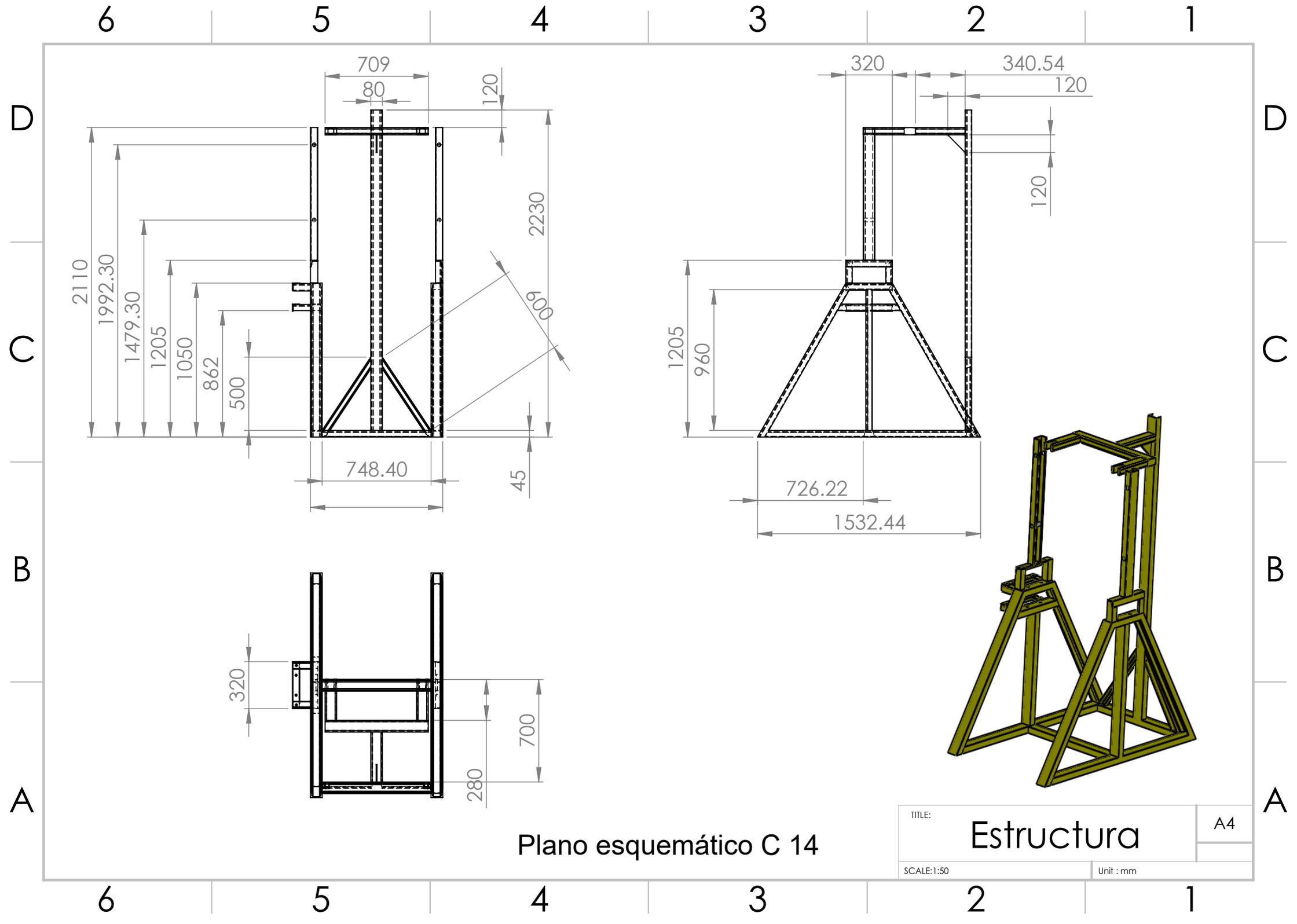
Plano esquemático C 13

TITLE:
Helice del agitador

A4

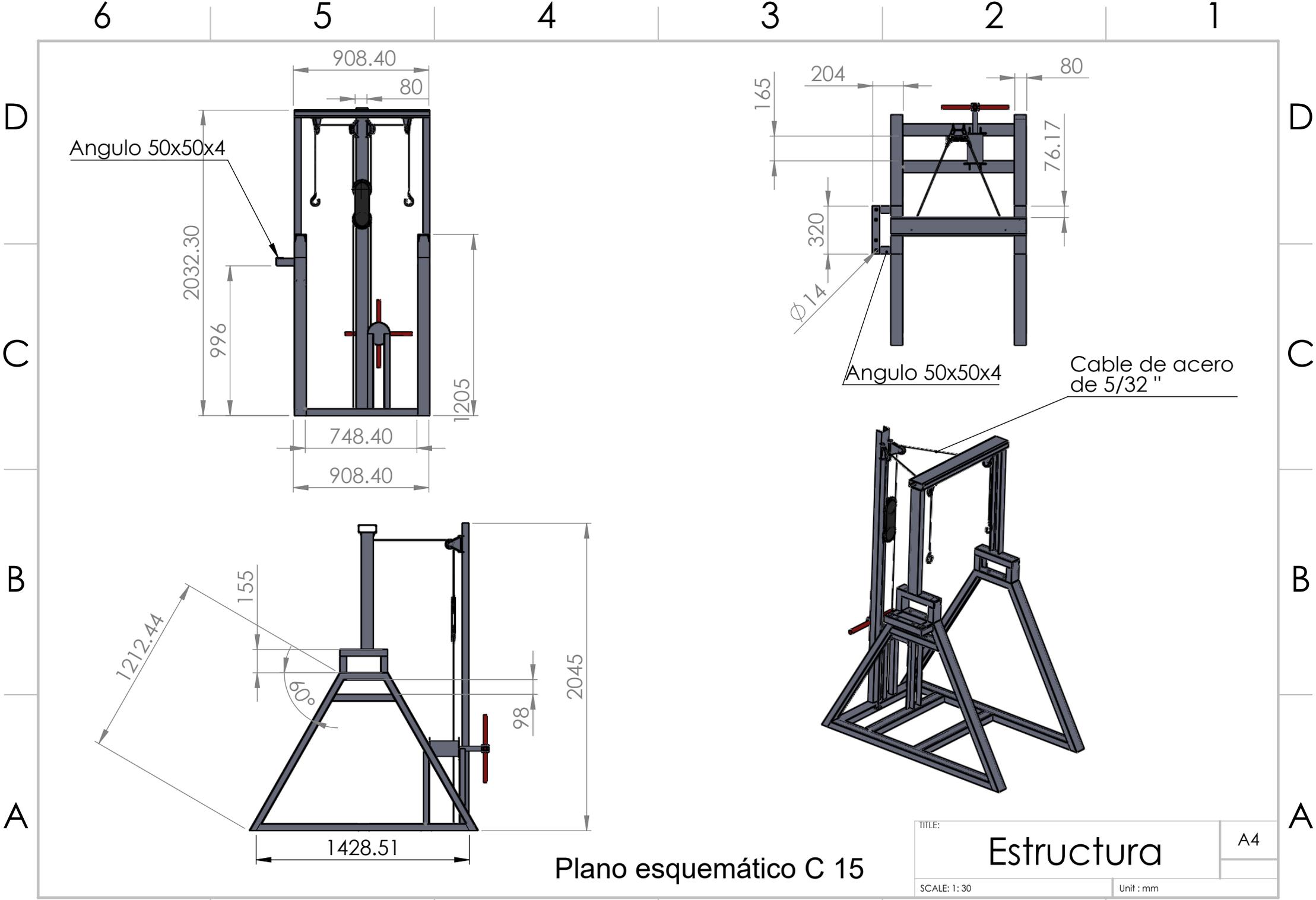
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



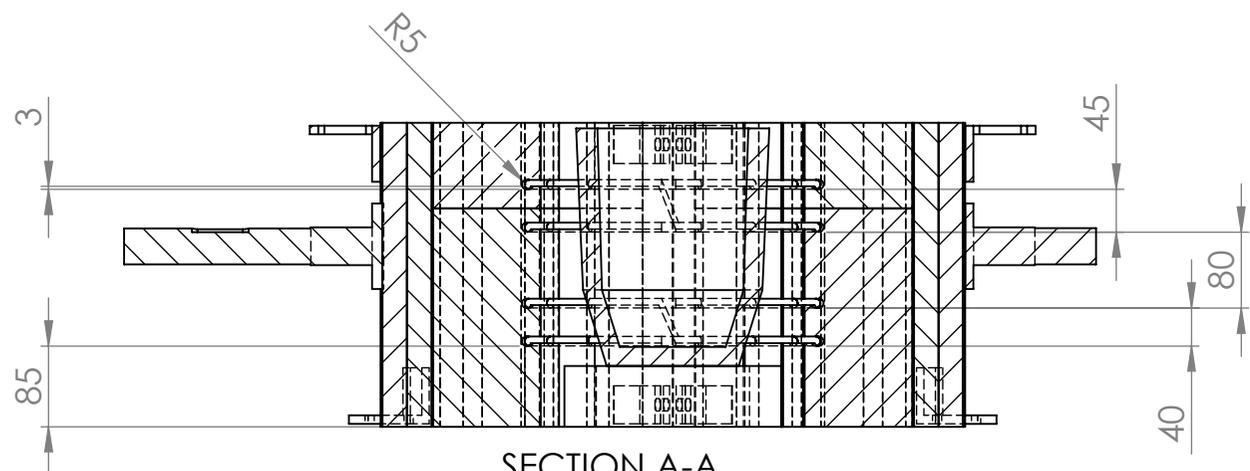
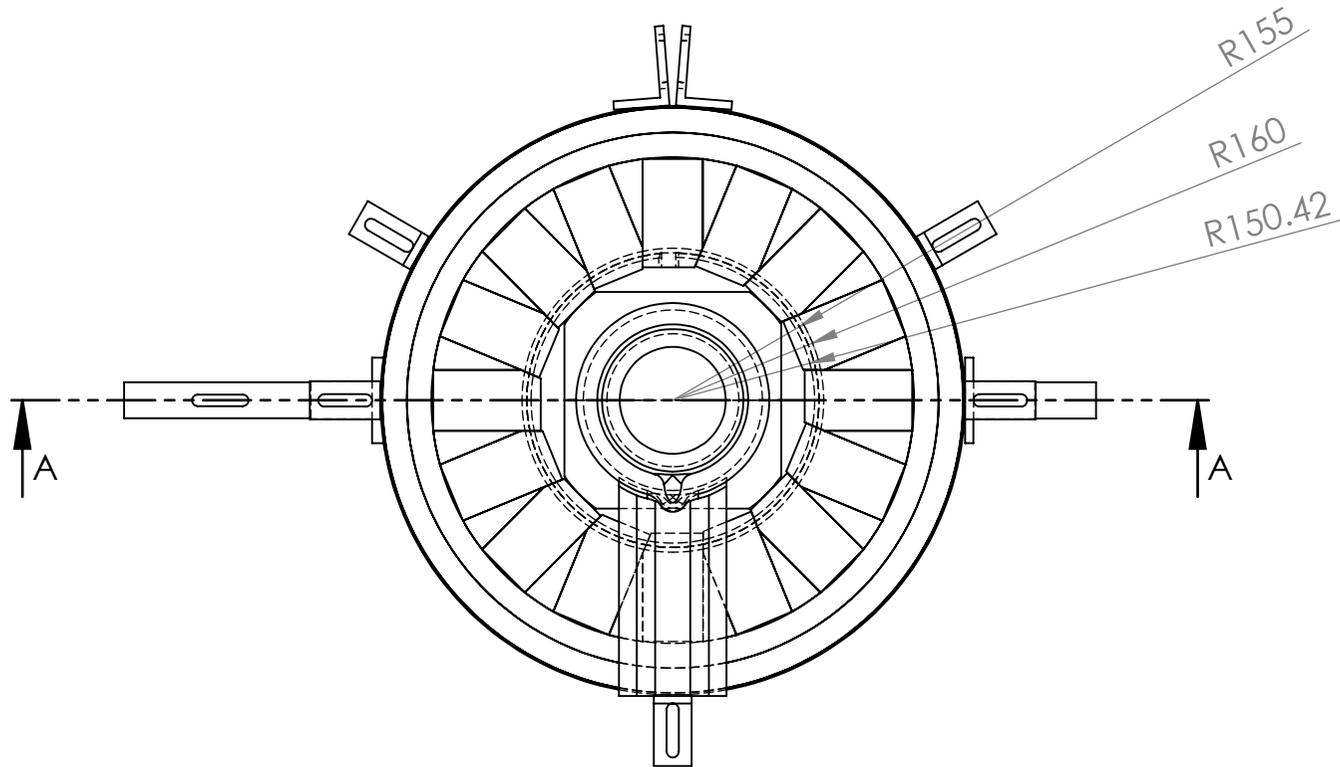
Plano esquemático C 14

TITLE:	Estructura	A4
SCALE:1:50	Unit : mm	



Plano esquemático C 15

TITLE:	Estructura		A4
SCALE: 1: 30	Unit : mm		



SECTION A-A
SCALE 1 : 8

Plano esquemático C 16

TITLE: Canales de resistencia

A4

SCALE:1:20

SHEET 1 OF 1

APÉNDICE D

Hojas técnicas de empresas locales

Hoja técnica E 1: Crisoles de grafito

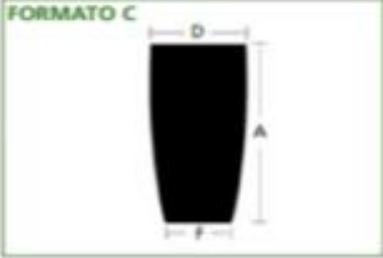
SALAMANDER GF
CADINHOS DE GRAFITE LIGADO A CARBONO



FORMATO A



FORMATO C



FORMATO A Capacidade aprox.

Referencia	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Fundo (mm)	Vol. (L)
AGF1	97	78	53	0.1
AGF2	114	106	75	0.25
AGF3	135	105	75	0.35
AGF4	145	125	85	0.45
AGF5	153	125	86	0.6
AGF6	172	143	99	0.75
AGF8	186	142	99	0.9
AGF10	196	170	116	1.3
AGF13	223	170	115	1.55
AGF16	234	205	144	2.15
AGF20	249	200	140	2.5
AGF25	249	225	154	3.5
AGF30	300	230	155	4.6
AGF40	326	260	178	6.2
AGF50	343	256	176	7
AGF60	362	290	200	10
AGF70	388	290	201	10.8

Referencia	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Fundo (mm)	Vol. (L)
AGF80	391	324	232	14
AGF100	426	326	235	15.8
AGF120	435	362	253	22
AGF150	487	365	255	25
AGF200	532	420	295	34
AGF250	590	420	293	40
AGF300	584	456	327	47
AGF400	667	505	300	61
AGF500	671	534	338	70
AGF600	733	534	340	80
AGF1000	837	615	425	133

FORMATO C

Referencia	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Fundo (mm)	Vol. (L)
CGF200	627	379	275	33
CGF300	685	432	290	47
CGF400	784	435	295	60
CGF500	954	440	290	72
CGF800	987	555	370	126

* AGF 1 até AGF130 são fornecidas com pequeno bico
 * 300F para revestimento pelo tipo em formas isométricas
 * 300F cadinhos com bico para formas isométricas
 * Capacidade 90% em litro

MORGANITE BRASIL LTDA
 Avenida do Saldado, nº. 3205 - Saldado - L.S.C. - SP - Brasil - CEP 09056-000 • Fones.: (11) 4076 9400 / 4176 1999 • www.morganmms.com



Fuente: (MorganMMS)

Hoja técnica E 2: Controlador de temperatura digital

www.eeinsa.com/popsp/EE1501.htm

Control de Temperatura Digital



Agregar a Lista de Cotización

EE1501 / MXTE-818

Características	
EE1501 / MXTE-818	<ul style="list-style-type: none"> • Display: 4 Dígitos • Tipos de Entrada: Termocuplas:K, J, E, S RTD: Pt - 100, CU50 • Modos de control: ON-OFF, FUZZY PID • Salida de Control: Rele • Alarmas: 1 • Funciones: Autosintonizado Manual / Automatico • Alimentacion: 85-242 VAC • Tamaño: 96 X 48 mm
EE1502 / MXTD-818	<ul style="list-style-type: none"> • Display: 4 Dígitos • Tipos de Entrada: Termocuplas:K, J, E, S RTD: Pt - 100, CU50 • Modos de control: ON-OFF, FUZZY PID • Salida de Control: Rele • Alarmas: 1 • Funciones: Autosintonizado Manual / Automatico • Alimentacion: 85-242 VAC • Tamaño: 72 X 72 mm
EE1503 / MXTG-818	<ul style="list-style-type: none"> • Display: 4 Dígitos • Tipos de Entrada: Termocuplas:K, J, E, S RTD: Pt - 100, CU50 • Modos de control: ON-OFF, FUZZY PID • Salida de Control: Rele • Alarmas: 1 • Funciones: Autosintonizado Manual / Automatico • Alimentacion: 85-242 VAC • Tamaño: 48 X 48 mm
EE1504 / MXTA-818	<ul style="list-style-type: none"> • Display: 4 Dígitos • Tipos de Entrada: Termocuplas:K, J, E, S RTD: Pt - 100, CU50 • Modos de control: ON-OFF, FUZZY PID • Salida de Control: Rele • Alarmas: 1 • Funciones: Autosintonizado Manual / Automatico • Alimentacion: 85-242 VAC • Tamaño: 96 X 96 mm

Fuente: (Eeinsa, 1999)

APÉNDICE E

Proformas y facturas de materiales del Sistema de Fundición

Proforma F 1: Crisol de grafito AGF20

IMPORTCRUZ		IMPORTCRUZ		
CDLA LA GARROTA 1ERA ETAPA M23 V13, Telef. 042627188		IMPORTADORA CRUZ Y ASOCIADOS S.A.		
GUAYAQUIL - ECUADOR		La casa de las Bombas Neumáticas		
RUC: 0990785635001				
		PROFORMA		No. PR-00001699
Cliente: VARIOS		Ced/RUC:	Fecha: 3/May/2017	
Dirección:		Ref:	Vendedor: VENDEDOR	
Ciudad:		Código: 0001	Teléfono:	
CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P.V.P	PARCIAL
050-CRIS-020-BR	CRISOL 20 AGF BRASILERO	1.00 UNI	61.1100	61.11
		Total Cant:	1.00	Suman: 61.11
Son: SESENTA Y DOS 70/100 Dólares			- Descto: 10.00%	6.11
Condiciones de Pago: EFECTIVO			Subtotal:	54.99
Nota:			+ IVA	7.66
			+ Flete:	0.00
			TOTAL	68.76
Email:				
Elaborado por CACM		Recibido		
3/May/2017 14:52:44				

Proforma F 2: Controlador de temperatura digital AX74



EEINSA
EQUIPAMIENTO ELECTRICO INDUSTRIAL S.A

R.U.C.: 0992106573001
 Direcc.: Km. 7 1/2 via a Daule , C.C. Aranjuez, Loc 4 - 5
 Telefax: 2651973/ 2651975/ 2255554
 E-mail: ventas@eeinsa.com / tecnico@eeinsa.com
 Web: www.eeinsa.com

COTIZACION No. 1850

Cliente.: CONSUMIDOR FINAL
 Atención: SPOL
 Dirección: VENTAS EN OFICINA
 Teléfono.: Ciudad.-

Fecha: 04/05/2017
 Forma de pago: CONTADO
 Validez de la oferta: 8 DIAS
 Tiempo de entrega: INMEDIATA

CODIGO	DESCRIPCION	CANT	V. UNIT.	DESC.	UNIT.	TOTAL
AX74	Control temperatura, 96x96 , out rele. REF. 58010 /XTM-808 SERIE AX74	1	75.09	15%	63.83	63.83
SUB-TOTAL						63.83
14 % IVA						8.94
TOTAL						72.77

Atentamente: **VENTA TARIFA 0%**
VENTA TARIFA 14 % 63.83

[Signature]

Vendedor: OFICINA - EEINSA
 Cel.: MOV. 087760945

Proforma F 3: Factura de pagó de ladrillos aislantes

 MAQUINARIAS HENRIQUES C.A.		R.U.C.: 0990010870001 FACTURA No. 001-005-000023193 NÚMERO DE AUTORIZACIÓN 1207201701200100500002319309900108708 FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN 12/07/2017 11:55:46 AMBIENTE: Producción EMISIÓN: Normal CLAVE DE ACCESO  1207201701099001087000120010050000231935714263810							
MAQUINARIAS HENRIQUES CA Dirección Matriz: KM 6.5 VIA A DAULE Dirección Sucursal: KM 6.5 VIA A DAULE Contribuyente especial Nro. 6925 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI									
Razón Social / Nombres y Apellidos: ESPOL-TECH E.P. RUC / CI: 0968592010001 Fecha Emisión: 12/07/2017 Gula de Remisión:									
Código Principal	Código Auxiliar	Cantidad	Descripción	Detalle Adicional N1	Detalle Adicional N2	Detalle Adicional N3	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
MTSMU00000069	MTSMU00000069	16,00	LADRILLO AISLANTE LIVIANO 230X114X64MM 1350°C	* UND			\$ 4,87	\$ 3,90	\$ 74,02
Forma de Pago									
Forma de Pago		Total	Plazo	Unidad de Tiempo					
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO		\$ 82,90	0	dias					
Información Adicional									
Email : besamani@espol.edu.ec/ Condicion pago : CONTADO Vendedor : AP01 Vencimiento : 12/07/2017 Direccion : PROSPERINA KM 30.5 VIA PERIMETRAL 100, CAMPUS "GUSTAVO GALINDO VELASCO" - GUAYAQUIL Telefono : 042269269 Transporte : DIRECTO									
							SUBTOTAL 12% \$ 74,02 SUBTOTAL 0% \$ 0,00 SUBTOTAL No objeto Iva \$ 0,00 SUBTOTAL SIN IMPUESTOS \$ 74,02 SUBTOTAL Exento de IVA \$ 0,00 TOTAL Descuento \$ 3,90 ICE \$ 0,00 IVA 12% \$ 6,88 IRBPNR \$ 0,00 PROPINA 0,00 VALOR TOTAL \$ 82,90		



ESPOL
"Impulsando la sociedad del conocimiento"



Bryan Erasmo Samaniego Andrade



Edison Paul Tierra Tierra

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA FABRICACIÓN DE ALEACIONES NO FERROSAS REFORZADAS CON PARTÍCULAS CERÁMICAS NANOMÉTRICAS

Besamani@espol.edu.ec

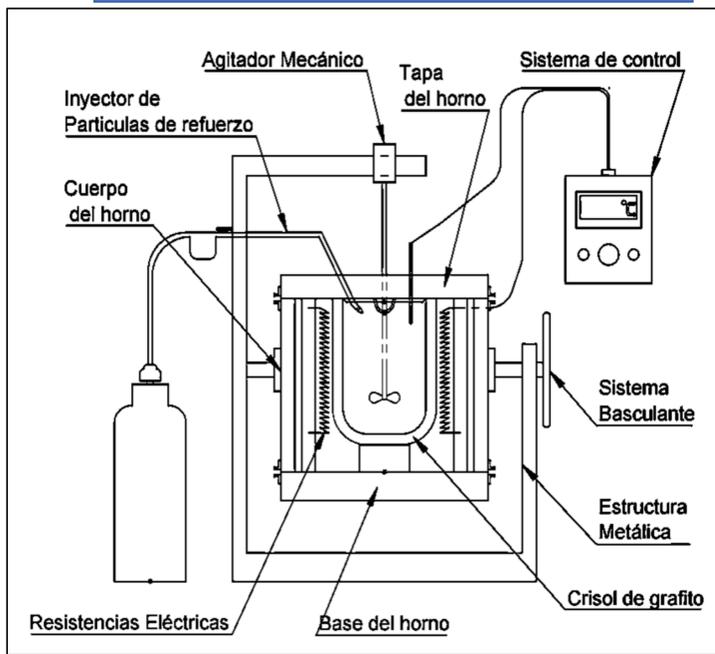
Ediptier@espol.edu.ec

Se realizó el diseño de un sistema compuesto por un horno de resistencias eléctricas tipo basculante usando un crisol de grafito como recipiente para fundir una aleación de aluminio. Al sistema lo integran además, un inyector de partículas de refuerzo, un agitador mecánico de baño para la distribución de la fase de refuerzo en la matriz, y también la estructura metálica de soporte donde se instalarán los 3 componentes mencionados.

METODOLOGÍA

- ANÁLISIS DE ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS
- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
- DESARROLLO DEL DISEÑO CONCEPTUAL
- DESARROLLO DEL DISEÑO DETALLADO
- ELABORACIÓN DE LOS PLANOS DE CONSTRUCCIÓN
- ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE COSTOS
- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN

ESQUEMA DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN



INTRODUCCIÓN

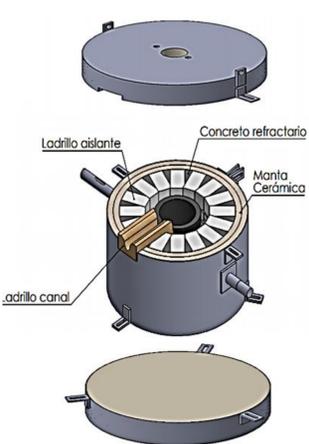
El proyecto se origina por la insuficiencia de equipos de fundición en la FIMCP destinados a la fabricación de aleaciones, y tiene como propósito el diseño y construcción de un sistema para la elaboración de un material compuesto de una aleación de Al-Si reforzada con partículas cerámicas. Adicionalmente, el sistema tiene capacidad para utilizarlo en la fabricación de otras aleaciones no ferrosas y para laboratorios de docencia que involucren tratamientos térmicos.

CARACTERÍSTICAS Y CAPACIDADES

El horno diseñado es de tipo basculante de 60 cm de alto y 61 cm de diámetro. Opera a una temperatura de hasta de 1200°C, y dispone de un sistema de inyección de partículas, impulsadas a presión mediante un gas inerte y cuenta además, con un sistema de agitación de hasta 500 revoluciones por minuto, para lograr una distribución homogénea de partículas en el baño metálico. Tiene una capacidad para la fundición de 6kg de aleación de aluminio, y su uso se hace extensivo a otras aleaciones no ferrosas cuyas temperaturas de fusión estén por debajo de los 1100°C. Para lograr los 1200°C se requiere suministrar una energía total de 8650watts. El aislamiento del horno se efectuó mediante el uso de ladrillos y mantas refractarias, con lo cual se logra mantener la temperatura en la superficie a una temperatura máxima de 100°C a la máxima temperatura de operación de 1200°C.

DISEÑO DEL SISTEMA

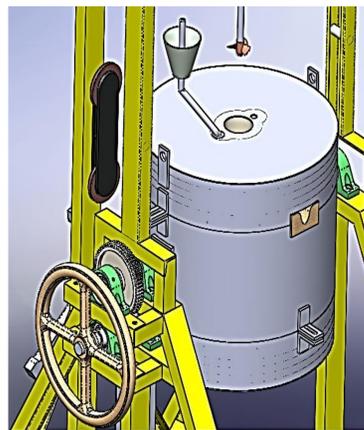
Cuerpo y tapas del horno



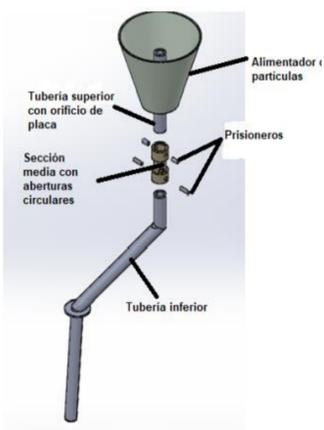
Estructura metálica



Sistema basculante



Inyector de partículas



Agitador de partículas



CONSTRUCCIÓN HORNO Y CARCASA METÁLICA



ENSAMBLE COMPLETO



CONCLUSIONES

- Se logró un correcto diseño del sistema de fundición, teniendo en cuenta siempre la variable costo que fue vital para lograr ahorros significativos, comparando con el costo de un sistema similar distribuido en el mercado.
- La realización del presente proyecto permitió poner en práctica una combinación de conocimientos de ingeniería mecánica, eléctrica y de materiales, cuyos resultados se concretaron en el diseño de un sistema. Este proyecto aporta a la dotación de laboratorios con equipos construidos en la propia institución, para el desarrollo de investigación, en aleaciones metálicas reforzadas con partículas cerámicas nanométricas. Adicionalmente, contribuirá a la docencia para la realización de prácticas de laboratorio de estudiantes de Ingeniería Mecánica, de Ingeniería en Materiales e Ingeniería industrial, entre otras.

RECOMENDACIONES

- ✓ Calentar el crisol alrededor de los 100 °C antes de iniciar cualquier proceso de fundición para así evaporar la humedad dentro de su superficie y evitar posibles fracturas en sus paredes.
- ✓ Mantener siempre el cuerpo del horno unido a la base ya que esta es la que soporta todo el peso de la matriz de ladrillos.
- ✓ Asegurar que al momento de realizar el vaciado del metal líquido la tapa del horno este bien ajustada, para evitar posibles desplazamientos del crisol y derrames internos que puedan dañar las resistencias eléctricas.

INGENIERÍA MECÁNICA

REFERENCIAS

- Kreith, F (2001). Principios de transferencia de calor.
- Norton, R.L. (2011). Diseño de máquinas.
- Rangwala, A.S. (2011). Naturally Entraining Solid Particle Injector. Scientific.Net, 1-12
- Niroumand, M. G. (2008). Compcasting of an Al-Si-SiCp Composite Using Powder Injection Method. Scientific.Net, 141-143