

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de un horno para fundición para el Laboratorio de Procesos de
Manufactura”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Juan José Álvarez Cornejo

Danny Geovanny Quimí Borbor

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

A Dios, por todo, siempre.

A mí padre Juan Álvarez y mi madre Blanca Cornejo, cuyo amor, esfuerzo y apoyo incondicional fueron el motor para poder alcanzar esta meta.

A mi hermano y amigo Sebastián Álvarez, cuyo ejemplo de superación se convirtió en una fuente de admiración y motivación.

Juan José Álvarez Cornejo.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento al PhD. Clotario Tapia por depositar su confianza para la elaboración de este proyecto, por su aporte de conocimiento y paciencia al momento de su desarrollo.

A la PhD. Emérita Delgado quien a pesar de la distancia supo guiar este y, estoy seguro, otros proyectos de la mejor forma posible.

Y al resto de profesores, en general, que compartieron su conocimiento e hicieron posible mi formación académica.

Juan José Álvarez Cornejo.

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, hermanos por haberme brindado su apoyo y sacrificio, a mis profesores en general que en el transcurso de mi carrera universitaria siempre brindaron lo mejor de sus enseñanzas.

Danny Geovanny Quimí Borbor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por mantenerme siempre en buen estado de salud.

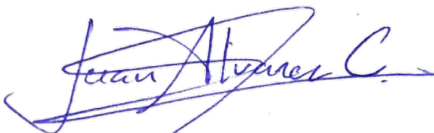
A mis padres Alcides Quimí, Teresa Borbor por todo su sacrificio que dieron para que yo culmine esta meta y por ser mi motivación en este largo camino.

A los PhD Clotario Tapia y PhD Emérita Delgado que, pese a la emergencia sanitaria, que se está viviendo, siempre dieron lo mejor de sí para llegar a cabo la finalización de este proyecto.

Danny Geovanny Quimí Borbor.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Juan José Álvarez Cornejo y Danny Geovanny Quimí Borbor* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Juan José Álvarez Cornejo



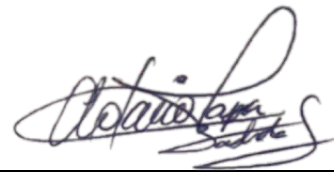
Danny Geovanny Quimí Borbor

EVALUADORES



PhD. Emérita Alexandra Delgado Plaza

PROFESORA DE LA MATERIA



PhD. Clotario Vladimir Tapia Bastidas

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en el diseño de un horno para fundición para el laboratorio de procesos de manufactura de la FIMCP, debido a la carencia de un horno en condiciones para el desarrollo de prácticas académicas relacionadas con el proceso de fundición.

Se diseñó un horno de fundición cilíndrico de tipo móvil aprovechando un crisol de carburo de silicio y grafito disponible por el laboratorio para realizar la fusión de 2.7 Kg de aluminio, utilizando como fuente de energía la combustión de GLP producida en un quemador de gas marca Brensler BRG80 con caudal mínimo de 1.04 m³/h. Como materiales conformantes de las paredes del horno se seleccionó cemento refractario de marca KAST-O-LITE® 26 LI PLUS, manta cerámica de marca ZIBO con densidad de 128 Kg/m³ y acero AISI 304.

Los resultados del dimensionamiento del horno arrojaron un diámetro exterior de 0.709 metros con una altura de 0.586 metros. Se reportaron temperaturas internas de 1193°K, mientras en el exterior se obtuvieron temperaturas de 324°K, las cuales produjeron pérdidas de 670 vatios a través de las paredes. El consumo total de combustible GLP para el proceso se estableció en 0.83 m³/h.

De acuerdo al quemador de gas seleccionado se estima que el tiempo del proceso de fundición para un litro de aluminio dura aproximadamente 48 minutos y que el uso de un cilindro de 45 Kg de GLP proporciona una autonomía de 19.65 horas.

Palabras Clave: horno de fundición, crisol, quemador de gas, cemento refractario, manta cerámica.

ABSTRACT

This document presents the design of a casting furnace for the FIMCP Manufacturing Process Laboratory, due to the lack of such a furnace in suitable conditions for the development of experimental academic practices.

The design consisted of a cylindrical casting furnace using a silicon carbide and graphite crucible available in the laboratory to melt 2.7 Kg of aluminum, additionally, LPG was used as an energy source for the combustion via a Brensler BRG80 gas burner with a minimum flow rate of 1.04 m³ / h. The materials used in the design the furnace walls were KAST-O-LITE® 26 LI PLUS refractory cement, ZIBO ceramic blanket with a density of 128 Kg / m³ and AISI 304 steel.

The sizing of the furnace resulted on an outer diameter of 0.709 meters and a height of 0.586 meters. Internal temperatures of 1193 ° K were calculated while outside the furnace temperatures of 324 ° K were obtained, which consequently produced heat losses of 670 Watts through the walls. The total consumption of LPG for the process was estimated as 0.83 m³ / h.

According to the selected gas burner, it is estimated that the casting process time for one litre of aluminum lasts approximately 48 minutes and that the use of a 45 kg cylinder of LPG provides an autonomy of 19.65 hours.

Keywords: casting furnace, crucible, gas burner, refractory cement, ceramic blanket.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Proceso de Fundición	3
1.4.2 Tipos de hornos	4
1.4.3 Metales no ferrosos	7
1.4.4 Suministro de calor	8
1.4.5 Conservación de calor	10
1.4.6 Materiales refractarios	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología	12
2.1 Consideraciones y alternativas de diseño	12

2.2	Selección de alternativas de diseño	15
2.2.1	Metal a fundir	15
2.2.2	Tipo de horno.....	15
2.2.3	Alimentación	15
2.2.4	Combustible.....	15
2.2.5	Forma del horno.....	16
2.2.6	Materiales	16
2.2.7	Evacuación de gases de combustión.....	17
2.2.8	Tapa de cierre.....	17
2.2.9	Diseño de forma.....	18
2.3	Cálculos térmicos	18
2.3.1	Parámetros de diseño.....	19
2.3.2	Pérdidas de energía y dimensionamiento del horno	20
2.3.3	Energía almacenada.....	37
2.3.4	Energía del quemador	41
2.4	Instalación de acometidas para abastecimiento de combustible	42
2.5	Análisis del sistema de evacuación de gases de combustión	43
CAPÍTULO 3.....		46
3.	Resultados Y ANÁLISIS	46
3.1	Resultados de pérdidas de energía y dimensionamiento del horno	46
3.1.1	Resultados y análisis de la pared cilíndrica	46
3.1.2	Resultados y análisis de la tapa.....	48
3.1.3	Resultados y análisis de la base.....	51
3.1.4	Energía de la carga.....	54
3.1.5	Energía almacenada en la pared cilíndrica.....	55
3.1.6	Energía almacenada en la tapa	55
3.1.7	Energía almacenada en la base	55

3.1.8	Requerimientos del quemador.....	56
3.1.9	Resultados del análisis del sistema de evacuación de gases.....	57
3.2	Análisis de costos.....	58
CAPÍTULO 4.....		60
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
4.1	Conclusiones.....	60
4.2	Recomendaciones.....	61
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
AISI	American Iron and Steel Institute
GLP	Gas Licuado de Petróleo
INEM	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MPOP	Máxima Presión de Operación Permisible

SIMBOLOGÍA

Kg	Kilogramo
µg	microgramo
m	Metro
mm	Milímetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
s	Segundo
h	Hora
J	Joule
W	Watt
KPa	Kilopascal
mbar	milibar
°K	Grado kelvin
°C	Grado centígrado

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Horno de crisol y sus principales componentes. (Calvo, 2016)	5
Figura 1.2 Diferentes tipos de hornos de crisol: a) crisol móvil, b) crisol fijo, c) crisol basculante. (Groover, 2007).....	5
Figura 1.3 Horno de arco eléctrico y sus componentes. (Groover, 2007)	6
Figura 1.4 Horno de inducción y sus componentes. (Groover, 2007).....	7
Figura 2.1 Crisol de grafito y carburo de silicio. (Autores, 2020)	12
Figura 2.2 Diagrama de alternativas del horno para fundición. (Autores, 2020).....	14
Figura 2.3 Diseño de forma del horno de fundición. (Autores, 2020)	17
Figura 2.4 Diseño de forma del horno. (Autores, 2020).....	18
Figura 2.5 Proceso energético del horno de fundición. (Autores, 2020).....	19
Figura 2.6 Elementos que conforman el cuerpo del horno. (Autores, 2020).....	21
Figura 2.7 Vista en sección de la pared cilíndrica del horno. (Autores, 2020)	22
Figura 2.8 Circuito de resistencia térmica de la pared del horno. (Autores, 2020)	24
Figura 2.9 Balance de energía en la capa de acero. (Autores, 2020)	25
Figura 2.10 Vista frontal de la tapa del horno. (Autores, 2020)	31
Figura 2.11 Circuito de resistencia tapa del horno. (Autores, 2020).....	32
Figura 2.12 Balance de energía en la superficie externa del acero. (Autores, 2020)	33
Figura 2.13 Diagrama de calor vs temperatura. (Autores, 2020).....	38
Figura 2.14 Sistema detector de humo. (Autores, 2020)	43
Figura 2.15 Sistema de evacuación de gases del laboratorio. (Autores, 2020).....	43
Figura 2.16 Ductos de salida del sistema de evacuación de gases. (Autores, 2020)	44
Figura 3.1 Perfil de temperaturas de la pared cilíndrica del horno. (Autores, 2020).....	48
Figura 3.2 Perfil de temperaturas de la tapa del horno. (Autores, 2020)	51
Figura 3.3 Perfil de temperaturas de la base del horno. (Autores, 2020)	53
Figura 3.4 Perfil de temperaturas del horno para fundición. (Autores, 2020)	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación energética de algunos combustibles derivados del petróleo. (Cengel & Boles, 2012).....	8
Tabla 1.2 Temperaturas de ignición mínimas aproximadas para algunas sustancias. (Cengel & Boles, 2012).....	9
Tabla 2.1 Dimensiones y material del crisol. (Autores, 2020).....	12
Tabla 2.2 Tabla de ponderación para selección de combustible. (Autores, 2020)	16
Tabla 2.3 Propiedades térmicas de metales no ferrosos. (Incropera & DeWitt, 1999) ..	19
Tabla 2.4 Propiedades térmicas del crisol. (Incropera & DeWitt, 1999).....	20
Tabla 2.5 Condiciones de operación. (Autores, 2020).....	20
Tabla 2.6 Propiedades térmicas del cemento refractario. (JJMedina, 2020)	23
Tabla 2.7 Propiedades térmicas de la manta cerámica. (JJMedina, 2020)	23
Tabla 2.8 Propiedades térmicas del acero AISI 304. (Incropera, 2020)	23
Tabla 2.9 Propiedades del aire a presión atmosférica. (Incropera & DeWitt, 1999)	27
Tabla 2.10 Propiedades del GLP. (Auces & Rodríguez, 2003).....	37
Tabla 2.11 Máxima presiones de operación permisible (NTE INEN – 2260).....	42
Tabla 3.1 Pérdida de energía y dimensiones de pared cilíndrica. (Autores, 2020).....	46
Tabla 3.2 Pérdida de energía y dimensiones de pared cilíndrica. (Autores, 2020).....	47
Tabla 3.3 Pérdida de energía y dimensiones de la tapa. (Autores, 2020)	49
Tabla 3.4 Pérdida de energía y dimensiones de la tapa. (Autores, 2020)	50
Tabla 3.5 Pérdida de energía y dimensiones de base. (Autores, 2020)	52
Tabla 3.6 Pérdida de energía y dimensiones de base. (Autores, 2020)	52
Tabla 3.7 Energía requerida por la carga. (Autores, 2020).....	54
Tabla 3.8 Energía almacenada en la pared cilíndrica del horno. (Autores, 2020)	55
Tabla 3.9 Energía almacenada en la tapa del horno. (Autores, 2020)	55
Tabla 3.10 Energía almacenada en la base del horno. (Autores, 2020).....	56
Tabla 3.11 Requerimientos del quemador. (Autores, 2020)	56
Tabla 3.12 Ficha técnica de quemadores a gas. (Brensler, Tecnovapor 2020).....	57
Tabla 3.13 Concentración de emisiones del horno. (Autores, 2020)	57
Tabla 3.14 Materiales requeridos para la fabricación del horno. (Autores, 2020).....	58

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Actualmente las instalaciones de la FIMCP no cuentan con un horno para realizar procesos de fundición de metales, siendo este horno necesario para los procesos de prácticas académicas de las carreras de Ingeniería Mecánica e Industrial y en un futuro para la carrera de Ingeniería en Materiales. La carencia de este tipo de horno impide a los estudiantes de dichas carreras adquirir una experiencia didáctica adecuada y útil para el desarrollo de sus futuras carreras profesionales.

Este proyecto afronta varias problemáticas debido a la naturaleza de los factores involucrados en el proceso de fundición, las cuales deben ser solucionadas o minimizadas para garantizar el correcto uso del equipo tanto para el cliente como para la sociedad.

Durante el proceso de fundición se presentan riesgos de seguridad y salud causados por el manejo de materiales a altas temperaturas, uso de materiales inflamables y generación de gases nocivos. Por estos motivos se requiere que el proyecto aplique consideraciones de diseño para mitigar el riesgo de quemaduras e intoxicación por gases nocivos, y aplique normas necesarias para instalación y manejo de materiales inflamables.

La emisión de gases nocivos comprende también problemas de carácter ambiental, por lo cual es necesario encontrar y seleccionar la alternativa de combustible con distribución local que genere un menor impacto negativo en el medio ambiente.

Debido a la actual crisis global y siendo el horno para fundición de carácter didáctico, el factor económico juega un papel importante en su diseño, por lo que se requiere presentar un presupuesto que satisfaga al cliente sin descuidar los puntos antes mencionados.

Finalmente, cabe destacar que este proyecto no abarca aspectos culturales y sociales debido a su poca o nula influencia dentro del desarrollo del diseño y construcción del horno para fundición, así como del proceso de fundición en sí.

1.2 Justificación del problema

Desde el punto de vista académico, los estudiantes de ingeniería en mecánica en proceso de graduación cuentan con las habilidades para diseñar sistemas térmicos y de termofluidos. Es por este motivo que el trabajo se centra en la definición de los parámetros geométricos y térmicos del hogar del horno, y los aspectos derivados al modo de transmisión de calor involucrados hacia el crisol y, paralelamente, los limitantes de conducción para encontrar los espesores específicos para las paredes del mismo. Asimismo, se incluye el proceso de selección de materiales y proceso de construcción idóneo para el horno, pasando por el costeo para poder realizar la construcción a posteriori. Finalmente, los estudiantes deberán evaluar las mejores opciones para la alimentación de combustible más apropiado para los fines requeridos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un horno para fundición de metales aplicando criterios de transferencia de calor y seguridad industrial, con el fin del desarrollo de actividades académicas seguras y adecuadas en el Laboratorio de Procesos de Manufactura de FIMCP.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir los parámetros geométricos y térmicos del hogar del horno de acuerdo al espacio destinado para estas prácticas.
- Calcular los modos de transferencia de calor en el horno.
- Seleccionar la fuente de alimentación para la combustión del horno tomando en consideración las diferentes alternativas disponibles en el mercado local.
- Seleccionar los procesos y materiales adecuados para la fabricación del horno para garantizar la mayor eficiencia y durabilidad.
- Presentar el presupuesto de costos requeridos para la fabricación del horno con el fin de evaluar la conveniencia de materializar el proyecto.

1.4 Marco teórico

En el presente capítulo se introduce brevemente al lector los conceptos fundamentales del proceso de fundición de metales y los hornos de fundición, sus tipos, los materiales utilizados y conceptos que hacen posible su funcionamiento.

1.4.1 Proceso de Fundición

El proceso de fundición es un proceso de conformación de metales por solidificación, en el cual se eleva la temperatura del metal por encima de su punto de fusión en hornos especializados para este propósito, para luego verter dicho metal en la cavidad de un molde donde se solidifica y adquiere la forma geométrica de éste. (Groover, 2007)

Los moldes pueden ser de un solo uso en cuyo caso son llamados moldes desechables, los cuales deben ser destruidos para obtener la pieza metálica. Generalmente son fabricados a partir de materiales como arena, yeso o materiales parecidos, manteniendo su forma gracias a la ayuda de aglutinantes. (Groover, 2007)

Los moldes que permiten un uso reiterado son conocidos como moldes permanentes y consisten en dos o más secciones separables permitiendo extraer la pieza terminada. Son construidos a partir de materiales resistentes a altas temperaturas como metales o cerámicos refractarios y son herramientas claves dentro de la producción en serie de piezas. (Groover, 2007)

Entre las ventajas que presenta el empleo de este proceso se encuentran:

- Obtener piezas de formas complejas.
- Crear piezas netas, las cuales no necesitan operaciones posteriores para alcanzar formas y dimensiones requeridas.
- Lograr piezas de gran tamaño, superiores a las 100 toneladas.
- Producir piezas en masa.
- Fabricar piezas a partir de cualquier metal que pueda llevarse hasta su estado líquido.

Algunas de las limitaciones asociadas a este tipo de proceso son:

- Posibilidad de presentar porosidades en el cuerpo de la pieza debido a gases atrapados en el líquido.
- Precisión dimensional de los componentes limitada debido a la contracción del metal durante la solidificación.
- Imperfecciones en el acabado superficial.

1.4.2 Tipos de hornos

Los hornos son los equipos en donde se realiza el calentamiento y fusión del metal. Pueden variar de acuerdo al metal a fundir, en el caso de aleaciones ferrosas y no ferrosas. Según su capacidad pueden procesar desde pocos kilogramos hasta toneladas de metal, por su diseño pueden ser móviles o estacionarios, y debido a su fuente de suministro de energía pueden utilizar combustibles o energía eléctrica. (Calvo, 2016)

A continuación, se presentan algunos tipos de hornos utilizados en la industria de la fundición.

1.4.2.1 Horno de crisol

Este tipo de horno es uno de los más utilizados a lo largo de la historia y actualmente se continúa empleando debido a su sencillez y costo inicial barato. En la figura 1.1 se aprecia un horno de crisol y sus principales componentes. Los hornos de crisol se emplean frecuentemente para fundir aleaciones no ferrosas basadas en aluminio, zinc y cobre. Estos hornos poseen la característica de fundir el metal sin que exista contacto directo entre éste y la mezcla de combustible. El metal se deposita en un contenedor llamado crisol, el cual se calienta y trasfiere el calor necesario para fundir el metal. Los crisoles se fabrican con materiales refractarios como mezclas de arena y grafito, o aleaciones de acero de alta resistencia térmica con el fin de mantener el calor. (Calvo, 2016)

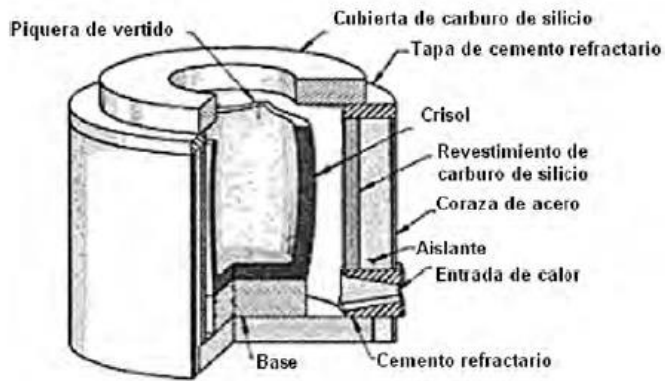


Figura 1.1 Horno de crisol y sus principales componentes. (Calvo, 2016)

Dependiendo de la configuración del crisol y su procedimiento para verter el fundido se pueden distinguir tres tipos de hornos como se muestra en la figura 1.2: *a)* móvil, *b)* fijo o estacionario y *c)* basculante o de volteo. Los hornos de crisol móvil consisten en un crisol extraíble dentro del horno, para una vez obtenida la fundición poder realizar el vertido en el molde. En casos de crisoles grandes es necesario un mecanismo de elevación para retirarlos del horno, para casos de crisoles pequeños pueden ser extraídos por medio de tenazas por uno o dos hombres. Los hornos de crisol fijo o estacionario se caracterizan por mantener el crisol integrado al horno y utilizan un cucharón para retirar el metal fundido. Por último, los hornos de crisol basculante o de volteo son similares a los de crisol fijo con la diferencia de contar con mecanismo de inclinación para verter la fundición y son utilizados para procesar grandes cantidades de metal. (Groover, 2007)

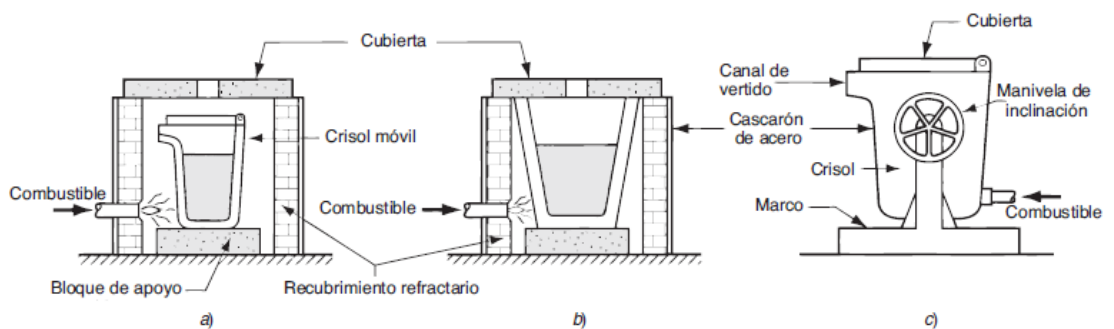


Figura 1.2 Diferentes tipos de hornos de crisol: a) crisol móvil, b) crisol fijo, c) crisol basculante. (Groover, 2007)

1.4.2.2 Horno de arco eléctrico

Son utilizados para la fundición de aleaciones ferrosas debido a las altas temperaturas que manejan, llegando a alcanzar los 3500°C. Son diseñados para procesar grandes cantidades de metal (23 000 a 45 000 kg/h, o 25 a 50 ton/h) exigiendo un gran consumo de energía eléctrica, utilizados principalmente por plantas siderúrgicas y fundidoras. En su mayoría son de tipo basculante debido a su gran capacidad. El proceso de fundición ocurre por el calor generado por un arco eléctrico formado por tres electrodos de carbón o grafito con la masa de fusión como se ilustra en la figura 1.3, (Groover, 2007)

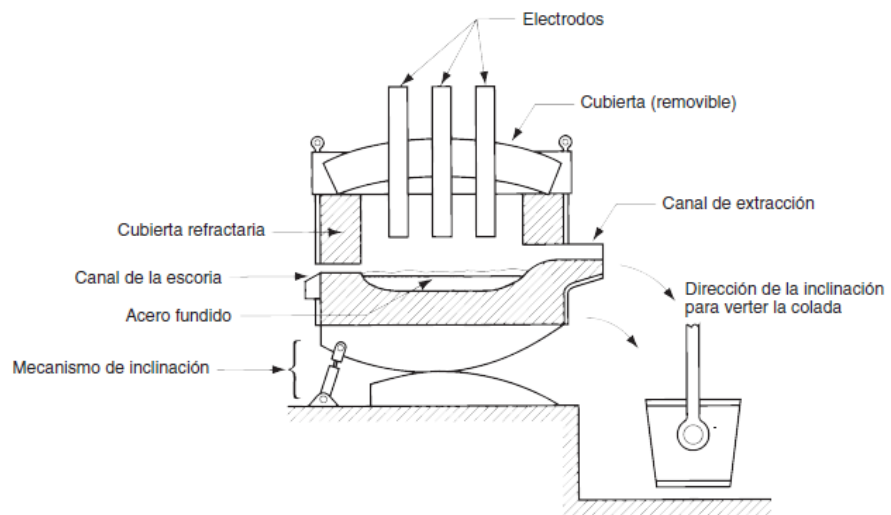


Figura 1.3 Horno de arco eléctrico y sus componentes. (Groover, 2007)

1.4.2.3 Horno de inducción

Este tipo de horno utiliza la circulación de corriente alterna a través de bobinas alrededor del material refractario del horno como se muestra en La figura 1.4. El resultado de la circulación de esta corriente es la generación de un campo magnético y una corriente inducida en el metal la cual es responsable del calentamiento del mismo.

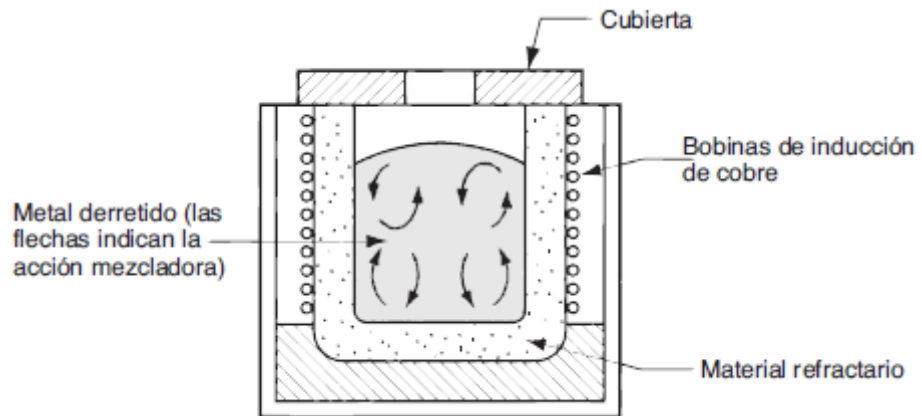


Figura 1.4 Horno de inducción y sus componentes. (Groover, 2007)

Además, debido a la fuerza electromagnética se produce un movimiento del metal líquido resultando en la mezcla del mismo. Los resultados de las producciones en este tipo de hornos son de un excelente control metalúrgico y purezas altas, empleándose especialmente para aleaciones de acero, hierro y aluminio con requerimientos de alta calidad. (Groover, 2007)

1.4.3 Metales no ferrosos

Los metales no ferrosos se denominan a los elementos y aleaciones que no están basados en el hierro. Las aleaciones se designan según su componente mayoritario. A continuación, se presentan algunas aleaciones basadas en aluminio y zinc como metales bases.

1.4.3.1 Aluminio y sus aleaciones

El aluminio es un elemento abundante en la tierra extraído del mineral bauxita. Entre las principales características del aluminio y sus aleaciones destaca su densidad relativamente baja en comparación con el acero, buena conductividad térmica y eléctrica, gran ductilidad y resistencia a la corrosión lo que lo hace ideal en algunas aplicaciones de la ingeniería. (Callister, 2009)

1.4.3.2 El zinc y sus aleaciones

El zinc es un metal atractivo para los procesos de fundición debido a su bajo punto de fusión. Al ser más activo que el hierro se utiliza como material

de recubrimiento para protección contra la corrosión en el acero, dando origen al acero galvanizado. (Callister, 2009)

1.4.4 Suministro de calor

El suministro de energía en forma de calor es el factor crítico dentro de los hornos de fundición debido a que hace posible alcanzar las temperaturas deseadas para la fusión del metal.

1.4.4.1 Combustión

Los hornos pueden ser suministrados de calor por medio de la energía liberada en reacciones químicas entre elementos o compuestos con el oxígeno, denominadas combustión. Durante la combustión los materiales que se queman o arden son llamados combustibles y en su mayoría están compuestos por hidrogeno y carbono, también conocidos como hidrocarburos. Algunos ejemplos de hidrocarburos son el carbón, gasolina y gas natural. En la tabla 1.1 se ilustra una tabla comparativa de algunos combustibles y sus respectivos contenidos energéticos por litro de combustible. (Cengel & Boles, 2012)

Tabla 1.1 Comparación energética de algunos combustibles derivados del petróleo. (Cengel & Boles, 2012)

Combustible	Contenido energético kJ/L	Equivalencia en gasolina L/L de gasolina
Gasolina	31850	1
Diesel Ligero	33170	0.96
Diesel pesado	35800	0.89
GLP (gas licuado de petróleo)	23410	1.36
Etanol	29420	1.08
Metanol	18210	1.75
GNC (gas natural comprimido, principalmente metano a 200 atm.)	8080	3.94
GNL (gas natural licuado, principalmente metano)	20490	1.55

Por otro lado, el oxidante más común es el aire debido a su abundancia. Sin embargo, el oxígeno puro también es utilizado en aplicaciones que requieren ciertas especificaciones como lo son la soldadura y el corte. Cabe destacar que mantener el combustible en contacto con el oxidante no basta para empezar la combustión. Para lograr la combustión es necesario elevar la temperatura del combustible hasta su temperatura de ignición. En la tabla 1.2 se muestran algunos ejemplos de temperaturas de ignición para algunas sustancias de la que destaca la gasolina por su relativo bajo punto de ignición. (Cengel & Boles, 2012)

Tabla 1.2 Temperaturas de ignición mínimas aproximadas para algunas sustancias. (Cengel & Boles, 2012)

Sustancia	Temperatura de ignición °C
Gasolina	260
Carbón	400
Metano	630

Otro factor de importancia en una combustión es las proporciones de aire y combustible. Se denomina combustión completa si todos los componentes inflamables del combustible se queman por completo, en caso contrario se denomina combustión incompleta. (Çengel & Ghajar, 2011)

1.4.4.2 El quemador

El quemador es un dispositivo en el que se realiza la mezcla de oxígeno y combustible necesaria para llevar a cabo la combustión. Funciona inyectando combustible a través de una boquilla y aire del exterior por medio de un ventilador hacia el tubo de mezcla, donde ocurre la combustión para luego pasar a un difusor para ampliar la llama. (Flores & Orellana, 2014)

1.4.5 Conservación de calor

El suministro de energía en forma de calor en un horno de fundición hace posible la fusión del metal como se definió en la sección anterior, no obstante, es necesario concentrar y mantener este calor dentro del horno con el fin de aumentar su eficiencia, ahorrando tiempo y combustible en el proceso.

Se debe mencionar que la transferencia de calor ocurre al someter un cuerpo a un diferencial de temperaturas y que, esta transferencia ocurre desde el punto con mayor temperatura hacia el de menor temperatura. En el caso del horno de fundición es deseable elevar su temperatura por encima del punto de fusión del metal a fundir, sin embargo, no es posible o al menos es no deseable elevar la temperatura ambiente o externa al horno por obvias razones. Esta diferencia de temperaturas entre el horno y sus alrededores resulta en una transferencia de calor del horno hacia el ambiente y se considera como pérdidas de calor para este caso. Para evitar pérdidas de calor el horno debe ser capaz de separar su entorno externo del interno creando una barrera aislante entre ellos, siendo posible gracias al uso de materiales aislantes y refractarios. (Incropera & DeWitt, 1999)

1.4.6 Materiales refractarios

Los materiales que poseen características como elevado punto de fusión, capacidad para almacenar calor, capacidad aislante y resistencia a reaccionar químicamente con otros materiales son ideales para procesos que involucran altas temperaturas como la fundición. Estos materiales son conocidos como materiales refractarios y pueden ser metálicos o cerámicos. (Callister, 2009)

Las cerámicas refractarias a menudo son aplicables para revestimientos de hornos, elaboración de vidrio y tratamientos térmicos. Pueden ser de arcilla, básicos, ácidos o de sílice y especiales. Son comúnmente comercializados en forma de ladrillos en los cuales no es raro distinguir dos capas en su superficie, siendo la exterior más porosa con el fin de aumentar su aislamiento. (Callister, 2009)

Los metales refractarios soportan elevadas temperaturas y entre los elementos más destacados se encuentra el molibdeno utilizado en los troqueles de fundición y el tungsteno utilizado comúnmente como filamento de focos incandescentes con un punto de fusión de 3400°C, el más alto de los metales. (Groover, 2007)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se debe remarcar que el uso de este horno tiene como propósito fines didácticos para estudiantes de las diferentes carreras de la FIMCP y que el Laboratorio de Manufactura posee un crisol para para tales propósitos, siendo éste un punto de referencia para el diseño del horno.

2.1 Consideraciones y alternativas de diseño

Al momento de realizar este proyecto el Laboratorio de Manufactura poseía un crisol para fundición como se observa en la figura 2.1.



Figura 2.1 Crisol de grafito y carburo de silicio. (Autores, 2020)

La tabla 2.1 muestra las dimensiones aproximadas del crisol, permitiendo tomar este elemento como punto de referencia para el diseño del horno.

Tabla 2.1 Dimensiones y material del crisol. (Autores, 2020)

Altura (mm)	250
Diámetro superior (mm)	200
Diámetro inferior (mm)	127
Capacidad (ml)	1000
Material	Grafito y carburo de silicio

De este modo se pueden considerar las siguientes asunciones preliminares:

- El radio interior del horno debe tener una holgura con respecto al crisol con el fin de poder introducirlo y poder retirarlo sin complicaciones. Por esto se asume un radio interno del horno de 150 mm.
- La altura interior del horno debe ser superior a la altura del crisol en un rango entre 50 mm y 100 mm.
- Se debe considerar una base de apoyo para el crisol.
- La entrada del quemador debe ser en la parte inferior del horno y tangente a la base de apoyo del crisol.

Luego de tomar estas consideraciones fue necesario identificar otras variables de diseño que influyen en el funcionamiento del horno como: el metal a fundir, el tipo de horno, la alimentación, forma y materiales, para luego escoger las alternativas más convenientes en cada caso. A continuación, en la figura 2.2 se presenta un diagrama de flujo con las alternativas consideradas para el diseño del horno para fundición.

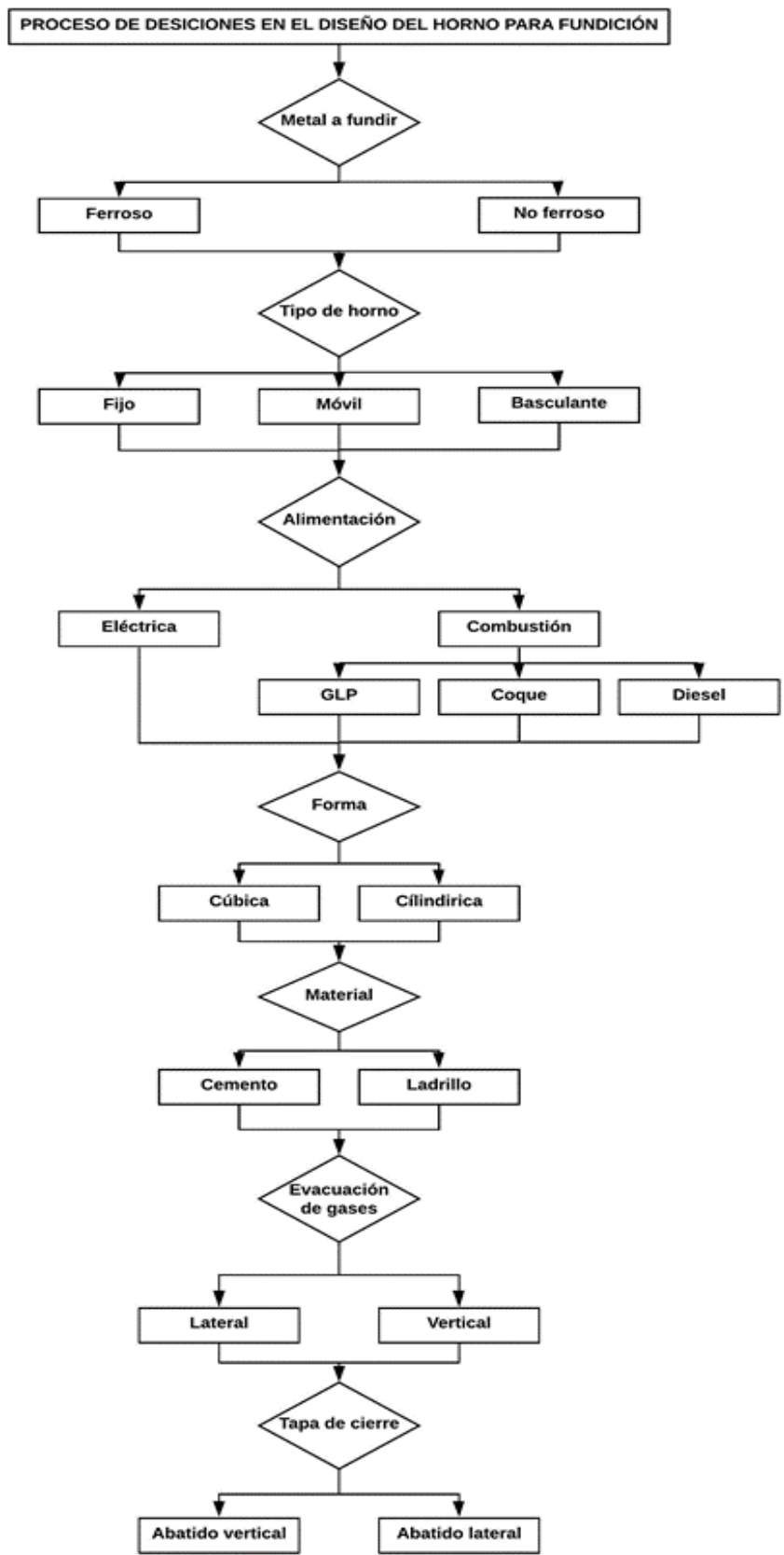


Figura 2.2 Diagrama de alternativas del horno para fundición. (Autores, 2020)

2.2 Selección de alternativas de diseño

En los siguientes apartados se realiza una breve descripción de las alternativas consideradas y la justificación de la alternativa seleccionada.

2.2.1 Metal a fundir

El Laboratorio de Manufactura al momento del desarrollo de este proyecto se encontraba en el estudio de adquirir un horno de fundición para aleaciones no ferrosas con fines académicos, por lo cual se realizó el diseño de un horno para fundir metales no ferrosos.

2.2.2 Tipo de horno

Las alternativas a este tipo de variable de diseño son: horno fijo, móvil o basculante como se definieron en el capítulo anterior. Debido a que el Laboratorio de Manufactura contaba con un crisol independiente cuando se realizaba este proyecto se optó por el diseño de un horno móvil.

2.2.3 Alimentación

Durante la ejecución del proyecto el Laboratorio de Materiales poseía un horno de resistencias eléctricas, por lo cual se escoge implementar un horno de combustión que permita el desarrollo normal de las actividades en caso de indisponibilidad del primero.

2.2.4 Combustible

En esta sección se analizaron las alternativas de combustible por medio de una tabla de ponderación, con el fin de distinguir la alternativa más conveniente según criterios seleccionados. Se asignó a cada criterio un peso de importancia en una escala del 1 al 10, siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta. Así mismo se calificó cada alternativa en esta misma escala. A continuación, se describe brevemente cada criterio de selección.

- Almacenamiento: considera si el combustible necesita de un medio para poder ser almacenado.
- Costo: considera el precio del mercado del combustible.

- Contaminación: considera efectos negativos hacia el ambiente que ocasiona el combustible durante y después de la operación.
- Eficiencia: considera la rapidez con la cual puede llevar a cabo el proceso
- Instalación: considera la necesidad de implementar otros dispositivos para su funcionamiento.
- Seguridad: considera los riesgos de utilizar estos combustibles.

Como se puede apreciar en la tabla 2.2 la alternativa más conveniente a utilizar es GLP.

Tabla 2.2 Tabla de ponderación para selección de combustible. (Autores, 2020)

Criterios de selección		Alternativas		
Descripción	Peso	GLP	Coque	Diesel
Almacenamiento	6	8	8	5
Costo	7	7	9	9
Contaminación	9	7	4	7
Eficiencia	8	8	3	8
Instalación	8	7	10	5
Seguridad	10	7	9	7
Puntaje Total	48	350	341	330
Porcentaje		72.92	71.04	68.75

2.2.5 Forma del horno

Para esta variable los factores considerados fueron la construcción y eficiencia. Si bien la construcción de un horno cúbico es más sencilla, debido a su forma geométrica produce mayores espacios fríos, mientras la forma cilíndrica proporciona una mayor eficiencia al concentrar el calor de forma radial.

2.2.6 Materiales

Para esta variable se escogió emplear como materiales al cemento refractario y manta cerámica como principales elementos de construcción, debido a su adaptabilidad a la forma cilíndrica del horno.

2.2.7 Evacuación de gases de combustión

En este apartado se busca evacuar los gases emitidos por la combustión de forma segura y también aliviar la presión dentro del horno. Una alternativa considerada consistía en evacuar los gases de forma lateral, esto supone realizar un orificio en la pared del horno y conectar una tobera para la salida de gases. La otra alternativa consistía en evacuar los gases por la parte superior realizando un orificio en su tapa y agregando una chimenea retirable que permita direccionar los gases hacia una zona segura. Debido a que los gases calientes tienden a subir, se concluyó que la segunda alternativa aprovecha mejor este fenómeno y por lo tanto es la más apropiada.

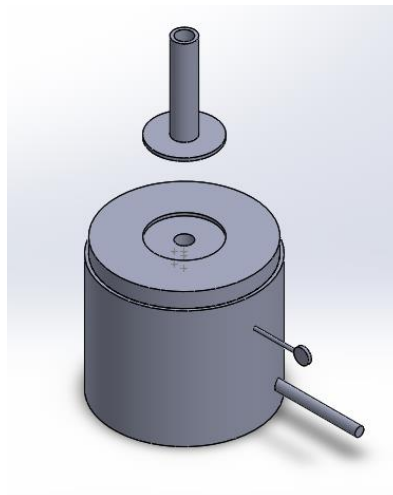


Figura 2.3 Diseño de forma del horno de fundición. (Autores, 2020)

2.2.8 Tapa de cierre

Se plantearon dos alternativas, la primera con un cierre de abatido vertical y otra con un cierre de abatido horizontal, de las cuales se escogió la primera. La razón de peso por la cual se seleccionó esta alternativa es debido a que el laboratorio posee un área de trabajo limitada, por lo que un abatido lateral puede verse afectado por esta razón, mientras un abatido vertical cuenta con un mayor espacio de movimiento.

2.2.9 Diseño de forma

Se muestra en la figura 2.4 el diseño de forma luego de seleccionar las alternativas para cada variable de diseño.

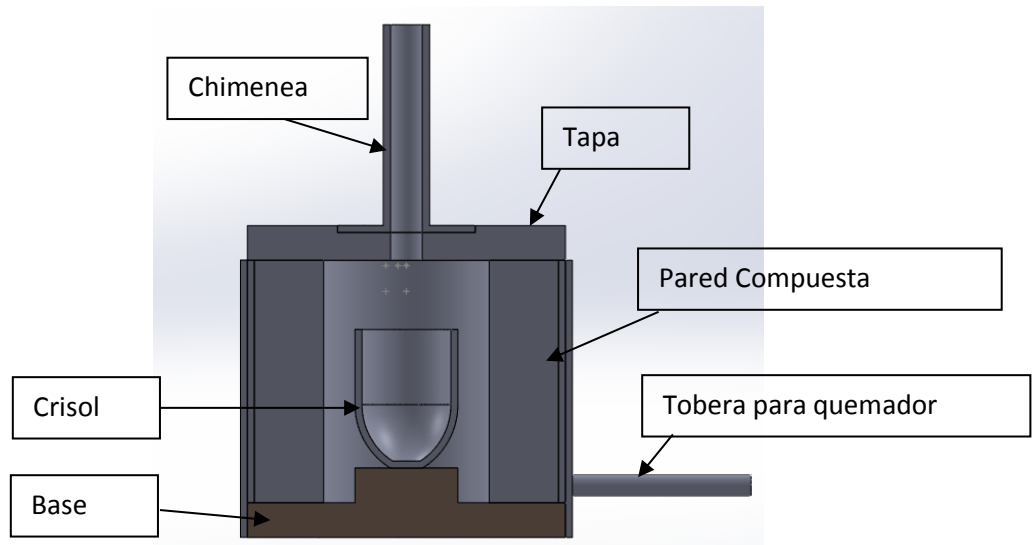


Figura 2.4 Diseño de forma del horno. (Autores, 2020)

2.3 Cálculos térmicos

Es necesario comprender que los procesos térmicos, como lo es el proceso de fundición, están ligados profundamente con la aplicación de energía al sistema. De este modo es fundamental establecer cuanta energía es requerida para llevar a cabo dicho proceso, de lo cual pueden surgir las siguientes interrogantes tales como: ¿Cuánta energía es necesaria para fundir un metal? ¿Cuánta energía se almacena en el horno? y ¿Cuánta energía se pierde en el proceso de fundición? En esta sección se presentan los cálculos necesarios para poder responder a estas preguntas y así poder dimensionar correctamente el horno de fundición. Por el momento es posible describir el proceso energético por medio de la figura 2.5.

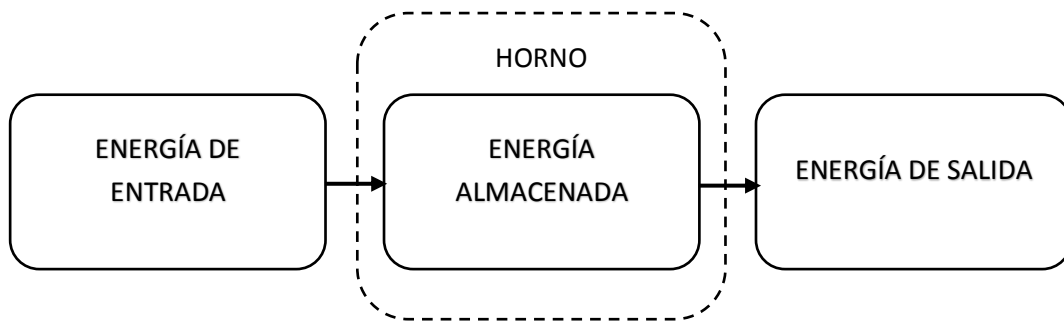


Figura 2.5 Proceso energético del horno de fundición. (Autores, 2020)

El concepto de la figura 2.5 puede plantearse en forma de ecuación como:

$$\text{Energía de entrada} = \text{energía almacenada} + \text{energía de salida} \quad (2.1)$$

De esta ecuación es posible asociar a la energía de entrada con la energía proporcionada por el quemador al horno, a la energía almacenada con la energía de la carga o metal a fundir más la energía almacenada en las paredes del horno, y a la energía de salida como las pérdidas de energía hacia el ambiente.

2.3.1 Parámetros de diseño

Al considerar metales no ferrosos comúnmente utilizados en prácticas de fundición, destaca el aluminio como metal de prueba para el diseño del horno debido a su punto de fusión relativamente alto como se muestra en la tabla 2.3, mientras la tabla 2.4 muestra las propiedades térmicas del crisol.

Tabla 2.3 Propiedades térmicas de metales no ferrosos. (Incropera & DeWitt, 1999)

Propiedades	Aluminio	Zinc	Estaño
Densidad (Kg/m ³)	2702	7140	7310
Punto de fusión (°K)	933	693	505
Calor específico (KJ/Kg-°K)	0.903	0.389	0.227
Calor latente (KJ/Kg)	397	111	59

Tabla 2.4 Propiedades térmicas del crisol. (Incropera & DeWitt, 1999)

Material	Grafito	Carburo de silicio	Crisol
Densidad (Kg/m ³)	2210	3160	2685
Punto de fusión (°K)	2273	3100	2687
Calor específico (KJ/Kg-°K)	709	675	692

Para realizar los cálculos térmicos se deben establecer las condiciones deseadas de operación del horno, las cuales se describen en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Condiciones de operación. (Autores, 2020)

Material a fundir	Temperatura ambiente (°K)	Temperatura interna (°K)
Aluminio	300	1200

2.3.2 Pérdidas de energía y dimensionamiento del horno

Las pérdidas de calor son un problema a mitigar durante el diseño de un horno para fundición por lo cual es necesario identificar y cuantificar estas pérdidas. Bajo condiciones estables las pérdidas de calor pueden proporcionar información de cuanto combustible es necesario consumir para llevar a cabo el proceso.

Para el análisis de esta sección se consideró al horno como un cuerpo formado por tres elementos: tapa, pared cilíndrica y base, como se aprecia en la figura 2.6 con el objetivo de determinar las pérdidas relacionadas a cada elemento.

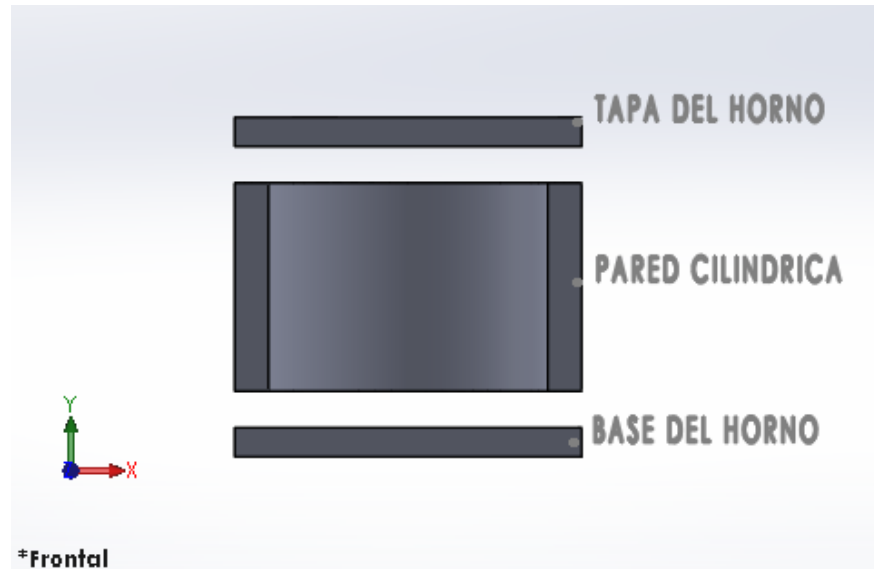


Figura 2.6 Elementos que conforman el cuerpo del horno. (Autores, 2020)

Entonces las pérdidas totales de energía en las paredes del horno se expresan como:

$$q_{pp} = q_{pared} + q_{tapa} + q_{base} \quad (2.2)$$

2.3.2.1 Pérdida de energía en la pared cilíndrica del horno

Estas pérdidas se ven asociadas al flujo de calor del interior del horno hacia el exterior por medio de mecanismos de transferencia de calor como lo son la conducción térmica en las paredes y la convección con el ambiente. Debido a la forma del horno, las paredes forman un cilindro hueco de pared compuesta. La figura 2.7 muestra una vista en corte en el plano XY de la pared cilíndrica en donde se distinguen los materiales que la conforman, los cuales deben poseer una alta resistencia térmica con el fin de impedir el flujo de calor hacia el exterior.

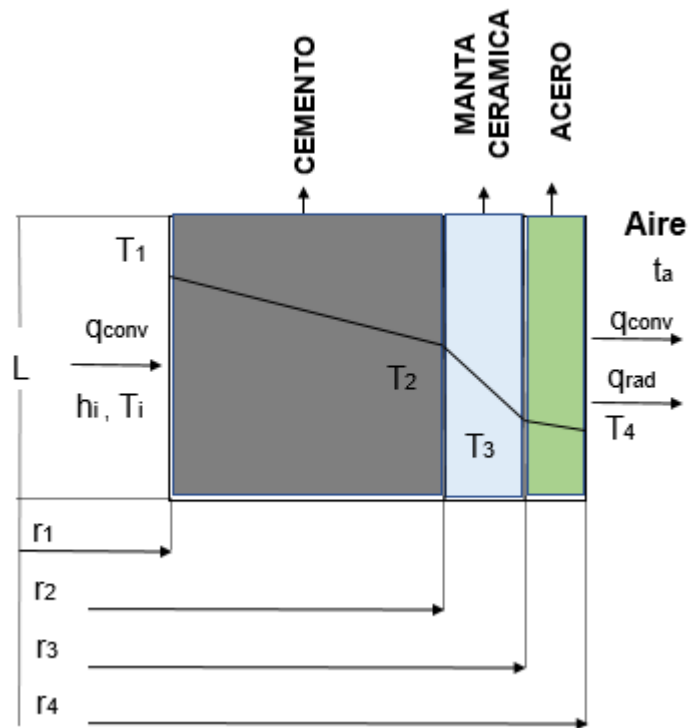


Figura 2.7 Vista en sección de la pared cilíndrica del horno. (Autores, 2020)

Donde:

T_i es la temperatura interna de los gases de combustión ($^{\circ}\text{K}$)

h_i es el coeficiente de convección interno de los gases de combustión ($\text{W}/\text{m}^2\text{-}^{\circ}\text{K}$)

T_1 es la temperatura de la pared interna ($^{\circ}\text{K}$)

T_2 es la temperatura en la interfase de cemento y manta cerámica ($^{\circ}\text{K}$)

T_3 es la temperatura en la interfase de la manta cerámica el acero ($^{\circ}\text{K}$)

T_4 es la temperatura exterior de la capa de acero ($^{\circ}\text{K}$).

T_a es la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{K}$)

L es la altura de las paredes del horno.

r_1 es el radio interior del horno (m)

r_2 es el radio en donde termina la capa de cemento refractario (m)

r_3 es el radio en donde termina la manta cerámica (m)

r_4 es el radio externo del horno (m)

Las propiedades térmicas de los materiales conformantes de la pared cilíndrica se tabulan en las tablas 2.6, 2.7 y 2.8.

Tabla 2.6 Propiedades térmicas del cemento refractario. (JJMedina, 2020)

Marca	KAST-O-LITE 26 LI PLUS
Sílice (%)	39.1
Alúmina (%)	46.3
Densidad después de los 815°C (g/m ³)	[1.38 -1.54]
Temperatura máxima de servicio (°C)	1425
Conductividad térmica después de 1095°C (W/m-°C)	0.58
Calor específico (KJ/Kg-°C)	960
Cantidad por saco (Kg)	25

Tabla 2.7 Propiedades térmicas de la manta cerámica. (JJMedina, 2020)

Marca	ZIBo International
Densidad (Kg/m ³)	128
Temperatura máxima de servicio (°C)	1100
Conductividad térmica (W/m-°C)	0.091
Calor específico (KJ/Kg-°C)	1225
Espesor disponible (pulgada)	1

Tabla 2.8 Propiedades térmicas del acero AISI 304. (Incropera, 2020)

Densidad (Kg/m ³)	7900
Temperatura fusión (°K)	1670
Conductividad térmica (W/m-°K)	16
Calor específico (J/Kg-°C)	477
Espesor (m)	0.003

Para el interior del horno se consideró una temperatura interna de los gases de 1200 °K con un coeficiente de convección promedio de 50 W/m²-°K. (Trujillo, 2005). Se establecieron las siguientes condiciones deseadas para el cálculo de las pérdidas de energía en las paredes del horno:

- La temperatura de la pared externa del horno T_4 no sobrepasa los 400 °K.
- Se consideraron condiciones de estado estable con transferencia unidimensional en dirección radial.

El análisis de este elemento se puede asociar por analogía con una red eléctrica, como se observa en la figura 2.8, donde las resistencias térmicas de las paredes del cilindro pueden analizarse como resistencias eléctricas en serie y paralelo, el flujo de calor puede compararse como la corriente en el circuito y la diferencia de temperaturas como el voltaje del circuito.

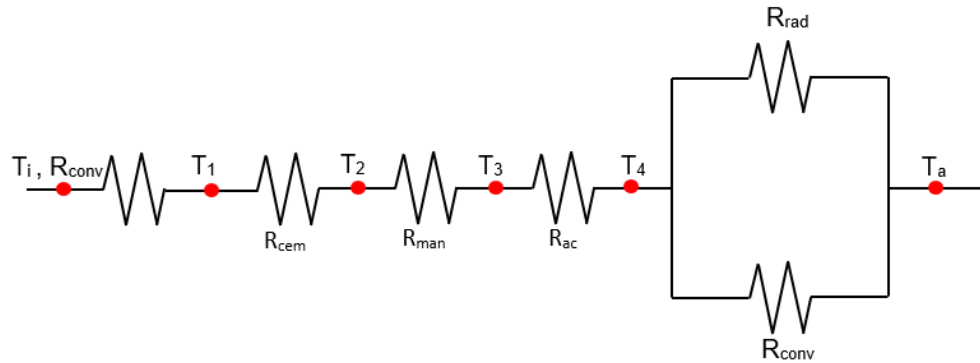


Figura 2.8 Circuito de resistencia térmica de la pared del horno. (Autores, 2020)

Donde:

R_c representa la resistencia de conducción térmica del cemento refractario.

R_m representa la resistencia de conducción térmica de la manta cerámica.

R_a representa la resistencia de conducción térmica del acero.

R_{rad} representa la resistencia por radiación.

R_{conv} representa la resistencia por convección.

Tomando como ejemplo la capa de cemento, se define la resistencia de conducción térmica en una pared cilíndrica como:

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_c} \quad (2.3)$$

De la cual k_c representa la conductividad térmica del cemento.

Para determinar la conducción de calor a través de la capa de cemento se tiene:

$$q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cond}} \quad (2.4)$$

Para el caso de convección y tomando como ejemplo la convección en la pared interna, la resistencia térmica se expresa como:

$$R_{conv, i} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_i} \quad (2.5)$$

Entonces la transferencia de calor por convección en la pared interna se determina por medio de:

$$q_{conv, i} = \frac{T_i - T_1}{R_{conv, i}}$$

Para el caso de radiación la resistencia térmica se expresa como:

$$R_{rad} = \frac{1}{2\pi r_4 L h_{rad}} \quad (2.6)$$

Entonces la transferencia de calor por radiación se determina por:

$$q_{rad} = \frac{T_4 - T_a}{R_{rad}} \quad (2.7)$$

Al realizar un balance de energía en la superficie exterior de la capa de acero como se observa en la figura 2.9 se tiene que:

$$q_{pared} = q_{conv} + q_{rad} \quad (2.8)$$

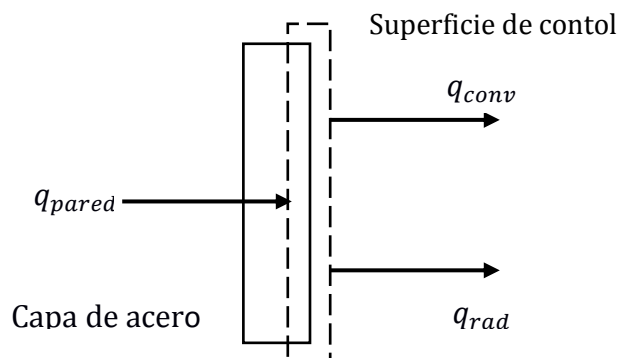


Figura 2.9 Balance de energía en la capa de acero. (Autores, 2020)

Donde la transferencia de calor a través de la pared q_{pared} en la pared se expresa mediante:

$$q_{pared} = \frac{T_i - T_4}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_i} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L k_c} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L k_m} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi L k_a}} \quad (2.9)$$

Donde:

k_m es la conductividad térmica de la manta cerámica.

k_a es la conductividad térmica del acero.

La transferencia de calor por convección q_{conv} se obtiene por medio de:

$$q_{conv} = \frac{1}{2\pi r_4 L h_{conv}} \quad (2.10)$$

Para determinar el coeficiente de convección h_{conv} es necesario calcular otros parámetros como se describe a continuación.

La pared del cilindro puede considerarse como una placa vertical cuando se cumple la siguiente condición:

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr^{\frac{1}{4}}} \quad (2.11)$$

Donde D es el diámetro del cilindro y L la altura. Esta condición se verifica luego de obtener los espesores de pared y así el diámetro del horno.

El número de Grashof Gr se encuentra por medio de la ecuación:

$$Gr = \frac{g\beta(T_4 - T_a)L^3}{\nu^2} \quad (2.12)$$

Para determinar las propiedades del aire β , ν , Pr se utiliza la tabla 2.9 evaluada a la temperatura de película T_p donde:

$$T_p = \frac{T_a + T_4}{2} \quad (2.13)$$

Tabla 2.9 Propiedades del aire a presión atmosférica. (Incropera & DeWitt, 1999)

T (°K)	β (1/°K)	C_p (KJ/Kg · °K)	ν (m ² /s)	Pr	k (W/m · °K)
300	0.003333333	1.007	0.00001589	0.707	0.0263
350	0.00285714	1.009	0.00002092	0.7	0.0300
400	0.0025000	1.014	0.00002641	0.69	0.0338
450	0.00222222	1.021	0.00003239	0.686	0.0373
500	0.00200000	1.030	0.00003879	0.684	0.0407
550	0.00181818	1.040	0.00004557	0.683	0.0439
600	0.00166667	1.051	0.00005269	0.685	0.0469
650	0.001538462	1.063	0.00006021	0.69	0.0497
700	0.001428571	1.075	0.00006810	0.695	0.0524
750	0.001333333	1.087	0.00007637	0.702	0.0549
800	0.001250000	1.099	0.00008493	0.709	0.0573
850	0.001176471	1.110	0.00009380	0.716	0.0596
900	0.001111111	1.121	0.00010290	0.72	0.0620

El número de Rayleigh Ra se obtiene con la ecuación:

$$Ra = Gr_L Pr \quad (2.14)$$

El número de Nusselt, para una placa vertical se calcula por la ecuación:

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.15)$$

Por último, el coeficiente de convección se determina con la ecuación:

$$h_{conv} = \frac{k_{aire}Nu}{L} \quad (2.16)$$

La transferencia de calor por radiación al ambiente se puede calcular con la siguiente expresión:

$$q_{rad} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{2\pi r_4 L h_{rad}}} \quad (2.17)$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación h_{rad} determina mediante:

$$h_{rad} = \varepsilon\sigma(T_4 + T_a)(T_4^2 - T_a^2) \quad (2.18)$$

Donde ε es la emisividad de la capa de acero del horno y σ es la constante de Boltzmann. Reemplazando las ecuaciones (2.9), (2.10) y (2.17) en la ecuación (2.8) se obtiene:

$$\frac{T_i - T_4}{\frac{1}{2\pi r_1 h_i} + \frac{\ln r_2/r_1}{2\pi L k_c} + \frac{\ln r_3/r_2}{2\pi L k_m} + \frac{\ln r_4/r_3}{2\pi L k_a}} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{2\pi r_4 L (h_{conv} + h_{rad})}} \quad (2.19)$$

Las pérdidas de energía en las paredes del horno corresponden a la transferencia de calor hacia el ambiente y pueden ser calculadas por cualquiera de los extremos de la ecuación(2.19). Sin embargo, no se conocen aún los espesores de pared por lo cual se proceden a calcularlos en la siguiente sección.

2.3.2.2 Dimensionamiento de espesor de la pared cilíndrica del horno

De acuerdo a las consideraciones de diseño se estableció que debe existir una holgura de 0.05 m entre el crisol y la pared interna del horno. Además, de la tabla 2.1 se obtiene que el mayor radio del crisol es de 0.1 m por lo cual se puede definir al radio interno del horno r_1 como la suma de esta holgura y el radio mayor del crisol, obteniendo:

$$r_1 = 0.05 + 0.1 = 0.15 \quad (2.20)$$

De la figura 2.7 se puede deducir que el espesor del cemento t_c es:

$$t_c = r_2 - r_1 = r_2 - 0.15 \quad (2.21)$$

Entonces:

$$r_2 = t_c + 0.15 \quad (2.22)$$

El espesor de la manta cerámica t_m es:

$$t_m = r_3 - r_2 \quad (2.23)$$

Por lo tanto:

$$r_3 = r_2 + t_m \quad (2.24)$$

El espesor del acero t_a es:

$$t_a = r_4 - r_3 \quad (2.25)$$

Luego:

$$r_4 = r_3 + t_a = r_2 + t_m + t_a \quad (2.26)$$

Reemplazando las ecuaciones (2.22), (2.24) y (2.26) en la ecuación (2.19) se obtuvo la siguiente expresión:

$$\frac{T_i - T_4}{\frac{1}{2\pi r_1 h_i} + \frac{\ln \frac{r_2}{0.15}}{2\pi L k_c} + \frac{\ln \frac{r_2 + t_m}{r_2}}{2\pi L k_m} + \frac{\ln \frac{r_2 + t_m + t_a}{r_2 + t_m}}{2\pi L k_a}} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{2\pi(r_2 + t_m + t_a)L(h_{conv} + h_{rad})}} \quad (2.27)$$

Reacomodando la ecuación se puede obtener una expresión en función de r_2 :

$$r_2 = \frac{T_i - T_4}{\left(\frac{1}{2\pi r_1 h_i} + \frac{\ln \frac{r_2}{0.15}}{k_c} + \frac{\ln \frac{r_2 + t_m}{r_2}}{k_m} + \frac{\ln \frac{r_2 + t_m + t_a}{r_2 + t_m}}{k_a}\right)((h_{conv} + h_{rad})(T_4 - T_a))} - t_m - t_a - 0.15 \quad (2.28)$$

De esta ecuación los espesores de la manta cerámica t_m y el acero t_a son valores conocidos según especificaciones del proveedor como se tabulan en las tablas 2.7 y 2.8. Para obtener el valor de r_2 es necesario realizar cálculos iterativos variando el espesor de la manta cerámica con el fin de seleccionar la configuración más óptima. Una vez determinado el valor de r_2 es posible calcular el espesor del cemento t_c , los radios r_3, r_4 y evaluar cualquier extremo de la ecuación (2.19) para obtener las pérdidas de energía en la pared cilíndrica del horno.

2.3.2.3 Pérdida de energía en la tapa del horno

Esta parte del horno posee una forma de disco, compuesto por capas de material aislante como se muestra la figura 2.10.

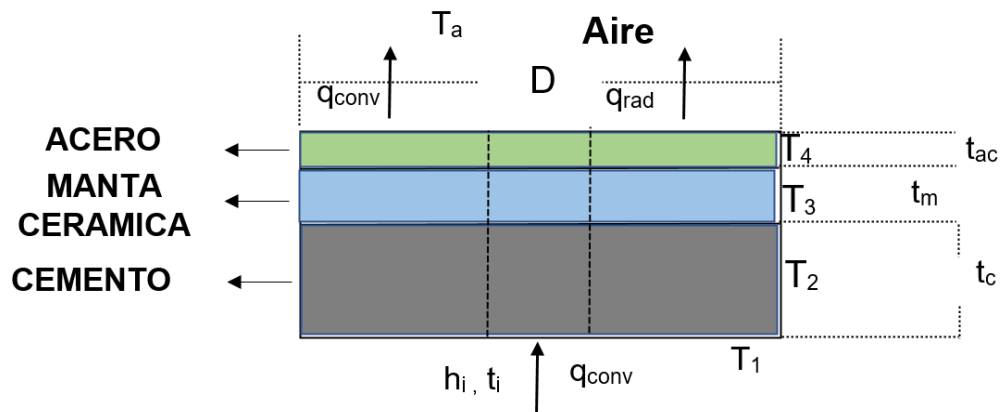


Figura 2.10 Vista frontal de la tapa del horno. (Autores, 2020)

Donde:

D diámetro de la tapa del horno (m).

T_i temperatura de los gases de combustión ($^{\circ}\text{K}$).

h_i coeficiente de convección interno de los gases de combustión ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

T_1 temperatura en la pared interna de la tapa ($^{\circ}\text{K}$).

T_2 temperatura entre el cemento refractario y la manta cerámica ($^{\circ}\text{K}$).

T_3 temperatura entre la manta cerámica y el acero ($^{\circ}\text{K}$).

T_4 temperatura exterior de la tapa ($^{\circ}\text{K}$).

t_c espesor de la capa de cemento refractario de la tapa (m).

t_m espesor de la capa de manta cerámica de la tapa (m).

t_a espesor de la capa de acero de la tapa (m).

Se establecen las siguientes condiciones para el cálculo de las pérdidas de energía en la tapa del horno:

- La temperatura de la pared externa de la tapa T_4 no sobrepasa los 400 $^{\circ}\text{K}$.
- Se consideraron condiciones de estado estable con transferencia unidimensional en dirección longitudinal de la tapa.

Por analogía con una red eléctrica las resistencias térmicas de la tapa del horno pueden analizarse como resistencias eléctricas en serie y paralelo como se muestra en la figura 2.11.

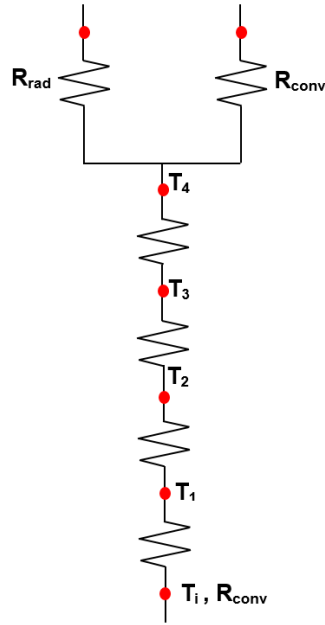


Figura 2.11 Circuito de resistencia tapa del horno. (Autores, 2020)

La resistencia térmica para una pared plana se expresa como:

$$R_{conducción} = \frac{t}{Ak} \quad (2.29)$$

Donde:

t es el espesor de la pared plana (m).

A es el área de la pared plana (m²).

k es la conductividad térmica (W/m°K).

Entonces la transferencia de calor por conducción en una pared plana se obtiene por:

$$q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{conducción}}$$

Realizando un balance de energía en la superficie exterior de la capa de acero como se observa en la figura 2.12 se llega a la ecuación:

$$q_{tapa} = q_{conv} + q_{rad} \quad (2.30)$$

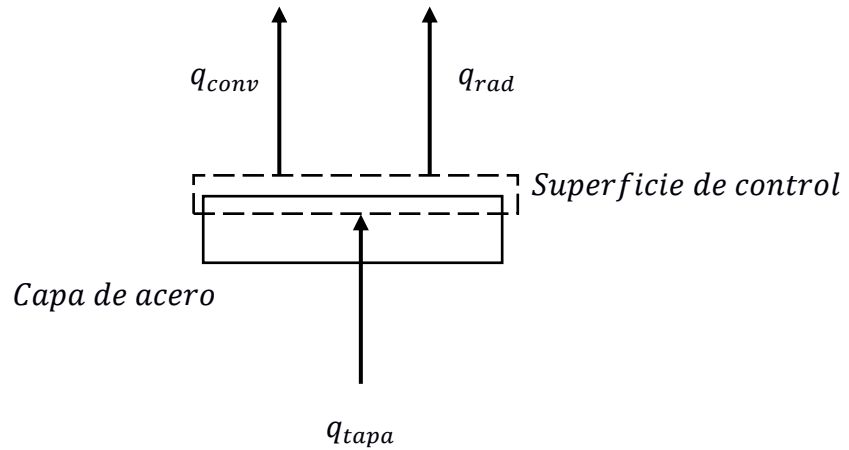


Figura 2.12 Balance de energía en la superficie externa del acero. (Autores, 2020)

La transferencia de calor en la tapa q_{tapa} se expresa mediante:

$$q_{tapa} = \frac{T_i - T_a}{\frac{1}{Ah_i} + \frac{t_c}{Ak_c} + \frac{t_m}{Ak_m} + \frac{t_a}{Ak_a}} \quad (2.31)$$

Donde:

A es el área caliente interior del horno.

k_c es la conductividad térmica del cemento refractario.

k_m es la conductividad térmica de la manta cerámica.

k_{ac} es la conductividad térmica del acero.

La transferencia de calor por convección q_{Conv} se obtiene por medio de:

$$q_{Conv} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{Ah_{conv}}} \quad (2.32)$$

El coeficiente de convección h_{conv} se determina a continuación.

Se considera a la tapa como una placa horizontal, donde su longitud característica L_c se define como:

$$L_c = \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi}{4}(D^2)}{\pi D} \quad (2.33)$$

En donde P es el perímetro del área interna caliente de la tapa del horno.

El número de Grashof Gr se calcula por medio de:

$$Gr = \frac{g\beta(T_4 - T_a)L_c^3}{\nu^2} \quad (2.34)$$

Para determinar las propiedades del aire β , ν , Pr se utiliza la tabla 2.9 evaluada a la temperatura de película T_p la cual se obtiene por la ecuación (2.13)

El número de Rayleigh R_a se obtiene por medio de la ecuación(2.14)

El número de Nusselt N_u se obtiene para la condición de superficie inferior de placa caliente o superficie superior de placa fría:

$$N_u = 0.27 R_a^{1/4} \quad ; \quad 10^5 \leq R_a \leq 10^{10} \quad (2.35)$$

Finalmente, el coeficiente de convección h_{conv} se determina por a la ecuación:

$$h_{conv} = \frac{k_{aire} N_u}{L_c} \quad (2.36)$$

La transferencia de calor por radiación al ambiente se encuentra por la ecuación:

$$q_{rad} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{Ah_{rad}}} \quad (2.37)$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación h_{rad} puede calcularse por medio de la ecuación (2.18).

Sustituyendo las ecuaciones (2.31), (2.32) y (2.37) en la ecuación (2.8) se obtiene:

$$\frac{T_i - T_4}{\frac{t_c}{Ak_c} + \frac{t_m}{Ak_m} + \frac{t_a}{Ak_a}} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{A(h_{conv} + h_{rad})}} \quad (2.38)$$

Las pérdidas de energía en la tapa del horno pueden calcularse evaluando el extremo derecho de la ecuación (2.38) correspondiente a la convección y radiación de la tapa del horno.

2.3.2.4 Dimensionamiento de la tapa del horno

Para calcular el espesor de la capa del cemento refractario se acomoda la ecuación (2.38) para obtener:

$$t_c = k_c \left[\frac{T_i - T_4}{(h_{conv} + h_{rad})(t_4 - t_a)} - \frac{t_m}{k_m} - \frac{t_a}{k_a} \right] \quad (2.39)$$

De forma similar a la pared cilíndrica del horno, se evalúa la ecuación (2.39) con los espesores y conductividades térmicas de las tablas 2.6, 2.7 y 2.8 respectivamente.

2.3.2.5 Pérdida de energía en la base del horno

El análisis de pérdidas de energía en la base del horno se realiza de forma similar al de la tapa del horno, con la variación de que ahora el número de Nusselt responde a la siguiente ecuación debido a la orientación de la cara caliente de la tapa.

$$N_u = 0.54 R_a^{1/4} \quad ; \quad 10^4 \leq R_a \leq 10^7 \quad (2.40)$$

2.3.2.6 Dimensionamiento de la base del horno

El dimensionamiento de la base responde de forma equivalente al análisis realizado para la tapa del horno, utilizando la ecuación (2.39) para determinar el espesor del cemento.

2.3.2.7 Pérdida de energía en los gases de escape

Este tipo de pérdidas representa el mayor porcentaje de energía perdida durante la operación del horno (Cruzado et al., 2004). Es conveniente expresar las pérdidas de energía en los gases de salida Q_{gs} respecto a la energía del combustible en forma porcentual por medio de la ecuación:

$$Q_{gs} = \frac{AC' C_{p_{aire}} (T_{gs} - T_a)}{PCI_{GLP}} \times 100\% \quad (2.41)$$

Donde:

PCI_{GLP} es el poder calorífico inferior del GLP.

$C_{p_{aire}}$ es el calor específico del aire a la temperatura de los gases de salida T_{gs} .

Nótese que la energía de los gases de escape está ligada a la temperatura de salida de los mismos, de aquí que para un cálculo conservador se fija en 1000 °K

AC' es la relación estequiométrica aire/combustible más un 10% de aire adicional para asegurar una combustión completa y se calcula por la ecuación:

$$AC' = AC + 0.1AC \quad (2.42)$$

De la cual AC es la relación estequiométrica del aire/GLP, la misma que indica los kilogramos necesarios de aire consumidos para la combustión de un kilogramo de GLP. El GLP está compuesto principalmente por un 70% de propano y un 30% butano. La tabla 2.10 muestra algunas propiedades termo físicas del GLP. (Auces & Rodríguez, 2003)

Tabla 2.10 Propiedades del GLP. (Auces & Rodríguez, 2003)

PCI (KJ/Kg)	AC	Densidad (Kg/m ³)
46120	15.63	2.201

Evaluando la ecuación (2.41) con los valores de las propiedades del GLP de la tabla 2.10 y las propiedades del aire de la tabla 2.9 se obtiene:

$$Q_{gs} = 29.77\%$$

Este valor se traduce como el porcentaje de energía perdida hacia el ambiente por cada kilogramo de combustible, de modo que la eficiencia del combustible se obtiene mediante:

$$\eta_{GLP} = 100\% - 29.77\% = 70.23\% \quad (2.43)$$

2.3.3 Energía almacenada

Se considera aquella energía que se mantiene dentro de las fronteras del horno, para este caso se distinguen la energía de la carga o metal a fundir y la energía almacenada en las paredes del horno.

2.3.3.1 Energía de la carga

Para llevar un metal al estado líquido es necesario aplicar energía hasta alcanzar su punto de fusión, sin embargo, en la práctica se debe sobrecalentar el metal con el fin de proporcionar tiempo al operador para poder retirar el crisol y realizar el vertido en el molde sin que exista solidificación, lo que conlleva aplicar más energía. La figura 2.13 muestra un diagrama calor vs temperatura, en la cual se puede distinguir que es necesario aplicar un calor de fusión Q_f para elevar la temperatura del metal desde la temperatura ambiente T_a hasta la temperatura de fusión T_f , luego se debe aplicar calor latente Q_L donde no existe cambio de temperatura y finalmente se aplica un calor de sobrecalentamiento Q_{sc} para alcanzar la temperatura de sobrecalentamiento T_{sc} .

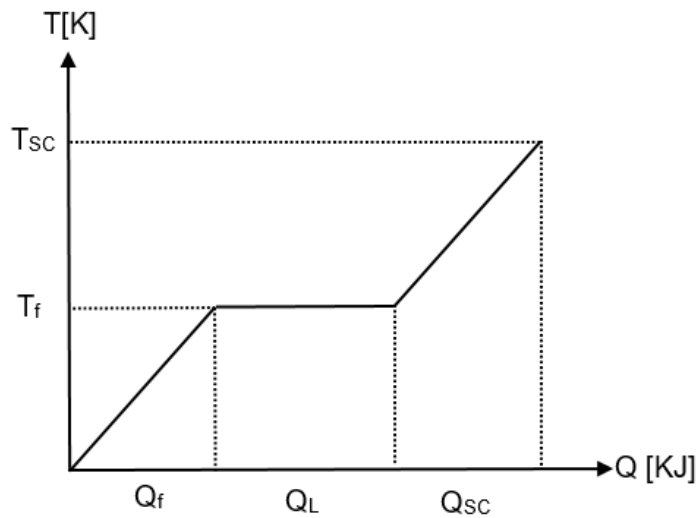


Figura 2.13 Diagrama de calor vs temperatura. (Autores, 2020)

El calor de fusión Q_f puede ser descrito como:

$$Q_f = m_{metal} C p_{carga} (T_a - T_f) \quad (2.44)$$

$$Q_f = \rho_{metal} V_{metal} C p_{metal} (T_a - T_f) \quad (2.45)$$

Donde:

m_{metal} es la masa del metal a fundir (Kg)

$C p_{metal}$ es el calor específico del metal a fundir (KJ/Kg °K).

ρ_{metal} es la densidad del metal a fundir (Kg/m³).

V_{metal} es el volumen del metal a fundir (m³).

El calor latente Q_L se puede expresar por las ecuaciones:

$$Q_L = m_{metal} L_f \quad (2.46)$$

$$Q_L = \rho_{metal} V_{metal} L_f \quad (2.47)$$

Donde:

L_f es el calor latente del metal a fundir (KJ/Kg)

El calor de sobrecalentamiento Q_{sc} puede escribirse como:

$$Q_{sc} = m_{metal} C_{p_{metal}} (T_f - T_{sc}) \quad (2.48)$$

$$Q_{sc} = \rho_{metal} V_{metal} C_{p_{metal}} (T_f - T_{sc}) \quad (2.49)$$

Además del metal a fundir se debe considerar al crisol Q_{crisol} como otra carga para el horno, el cual al poseer un punto de fusión mayor que las temperaturas alcanzadas por el horno no sufrirá cambio de estado. La expresión para obtener la energía almacenada por el crisol se define como:

$$Q_{crisol} = \rho_{crisol} V_{crisol} C_{p_{crisol}} (T_a - T_{sc}) \quad (2.50)$$

De esta manera es posible plantear la energía de la carga Q_{carga} como:

$$Q_{carga} = Q_f + Q_L + Q_{sc} + Q_{crisol} \quad (2.51)$$

2.3.3.2 Energía almacenada en las paredes del horno

La energía almacenada en las paredes $Q_{almacenado}$ se calcula como la suma de las energías almacenadas por cada capa de las paredes del horno:

$$Q_{almacenada} = Q_{apc} + Q_{at} + Q_{ab} \quad (2.52)$$

Donde:

Q_{apc} es la energía almacenada en la pared cilíndrica (KJ).

Q_{at} es la energía almacenada en la tapa (KJ).

Q_{ab} es la energía almacenada en la base (KJ).

2.3.3.2.1 Energía almacenada en la pared cilíndrica del horno.

La energía almacenada en las paredes cilíndricas Q_{apc} se puede calcular como:

$$Q_{apc} = Q_c + Q_m + Q_a \quad (2.53)$$

Donde:

Q_c Es la energía almacenada en la capa de cemento y se puede determinar por:

$$Q_c = \rho_c V_c C p_c (T_1 - T_2) \quad (2.54)$$

Q_m Es la energía almacenada en la capa de manta cerámica y se calcula por:

$$Q_m = \rho_m V_m C p_m (T_2 - T_3) \quad (2.55)$$

Q_a Es la energía almacenada en la capa de acero y se establece mediante:

$$Q_a = \rho_a V_a C p_a (T_3 - T_4) \quad (2.56)$$

T_1, T_2, T_3, T_4 pueden calcularse evaluando la ecuación (2.19) para cada capa de la pared cilíndrica.

2.3.3.2.2 Energía almacenada en la tapa del horno

La energía almacenada en la tapa del horno Q_{at} se puede calcular como:

$$Q_{at} = Q_c + Q_m + Q_a \quad (2.57)$$

La energía almacenada en las capas de cemento Q_c , manta cerámica Q_m y acero Q_a pueden calcularse con las ecuaciones (2.54), (2.55) y

(2.56) respectivamente, evaluadas con el volumen correspondiente a capa de material y las temperaturas T_1, T_2, T_3, T_4 pueden calcularse con la ecuación (2.38) para cada capa de material.

2.3.3.2.3 Energía almacenada en la base del horno

La energía almacenada en la tapa del horno Q_{ab} se puede calcular como:

$$Q_{ab} = Q_c + Q_m + Q_a \quad (2.58)$$

La energía almacenada en las capas de cemento Q_c , manta cerámica Q_m y acero Q_a pueden calcularse con las ecuaciones (2.54), (2.55) y (2.56) correspondientemente, mientras las temperaturas T_1, T_2, T_3, T_4 pueden calcularse con la ecuación (2.38) individualmente para cada capa de material.

2.3.4 Energía del quemador

La energía de entrada es proporcionada por la combustión realizada en el quemador y debe afrontar el total de las pérdidas de energía más la energía almacenada en las paredes del horno.

Si se desea fundir el metal en un tiempo t y se considera un factor de seguridad FS, entonces se pueden calcular el flujo de energía del quemador como:

$$q_{quemador} = FS \frac{q_{pared} + q_{tapa} + q_{base} + \frac{Q_{almacenada}}{t} + \frac{Q_{carga}}{t}}{\eta_{GLP}} \quad (2.59)$$

Generalmente los proveedores suelen catalogar este tipo de equipos en base a su requerimiento de flujo másico o caudal por hora. Así el flujo másico del quemador $\dot{m}_{quemador}$ se puede calcular como:

$$\dot{m}_{quemador} = FS \frac{3600(q_{pared} + q_{tapa} + q_{base}) + \frac{Q_{almacenada}}{hora} + \frac{Q_{carga}}{hora}}{\eta_{GLP} PCI_{GLP}} \quad (2.60)$$

Mientras el caudal del quemador $C_{quemador}$ se puede determinar utilizando la densidad del combustible con la expresión:

$$C_{quemador} = \frac{\dot{m}_{quemador}}{\rho_{GLP}} \quad (2.61)$$

2.4 Instalación de acometidas para abastecimiento de combustible

Para implementar instalaciones donde se utilice el gas licuado de petróleo (GLP) como combustible, rige la norma ecuatoriana INEN 2260, definiendo así los lineamientos mínimos de seguridad que implica este tipo de instalaciones.

Tabla 2.11 Máxima presiones de operación permisible (NTE INEN – 2260) la cual nos indica los valores máximos de operación permisible, MPOP para sistemas de tuberías para gas usado como combustible, en este caso los valores no deben superar los 500 KPa para acometidas de media presión. (NTE-INEN, 2010)

Tabla 2.11 Máxima presiones de operación permisible (NTE INEN – 2260)

Clases de sistema de tubería y clase de usuario	Gas Natural		GLP	
	Kpa	bar	Kpa	bar
Alta presión: $P > 500$ Kpa [$P > 5$ bar]	Kpa	bar	Kpa	bar
Líneas de transporte.	Véase nota 4		N. A	N. A
Líneas primarias.	1900	19	N. A	N. A
Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, derivadas de líneas de transporte o líneas primarias	-	2	N. A	N. A
Media presión 14 Kpa [140 mbar] $< P=500$ Kpa [5 bar]	Kpa	mbar	Kpa	mbar
Líneas secundarias, líneas de acometida y líneas matrices exteriores a la edificación.	500	5000	200	2000
Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, derivadas de líneas secundarias.	-	2	200	2000
Líneas matrices interiores en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales y comerciales	35	350	35	350
Líneas individuales en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos comerciales.	35	350	35	350

En la figura 2.14 se puede observar un sistema detector de humo y extintores instalados en el laboratorio donde se realizará el proceso de fundición recalcando de esta manera la seguridad para los practicantes.

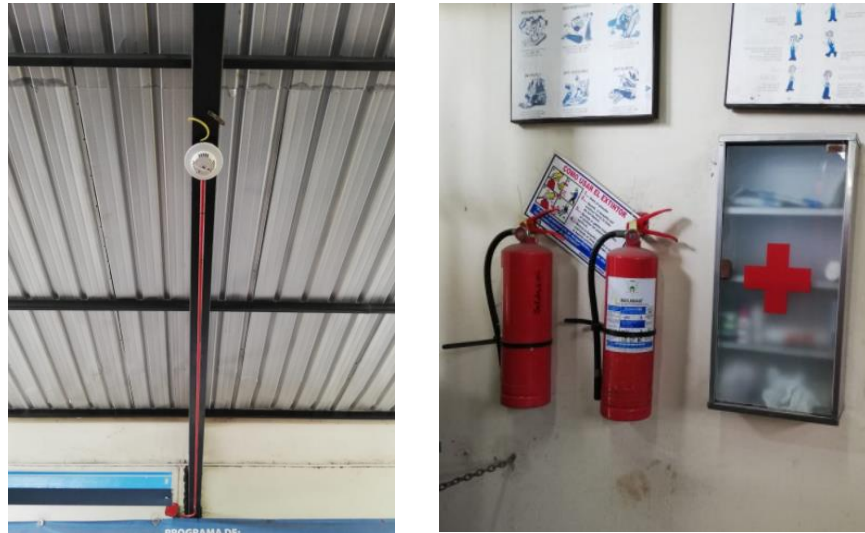


Figura 2.14 Sistema detector de humo. (Autores, 2020)

2.5 Análisis del sistema de evacuación de gases de combustión

Durante el proceso de fundición se producen gases de combustión, los cuales deben ser evacuados de forma segura, de modo que no perjudiquen al personal en el interior como el exterior del laboratorio. Al momento de realizar este proyecto el laboratorio de manufactura cuenta con un sistema de evacuación de gases por medios de dos ductos ventilados hacia el exterior como se observa en las figuras 2.15 y 2.16.



Figura 2.15 Sistema de evacuación de gases del laboratorio. (Autores, 2020)



Figura 2.16 Ductos de salida del sistema de evacuación de gases. (Autores, 2020)

Los puntos de salida de los ductos de la 6 se direccionan hacia el parqueadero de la FIMCP y FIEC, reduciendo el riesgo de contaminación hacia el personal estudiantil o administrativo. Sin embargo, se desea determinar la concentración de gases emitidos utilizando un método de distribución Gaussiana. (Figuroa et al., 2009)

La concentración de emisiones se expresa como:

$$C(x, y, z) = \frac{q}{2\pi U \sigma_z \sigma_y} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2.62)$$

Donde:

q es la emisión de gases en [g/s].

x, y, z son las coordenadas relativas a la posición de la chimenea en [m].

U es la velocidad del viento en [m/s], a la altura efectiva de la chimenea H en [m]

σ son las desviaciones estándar de la distribución de Gauss.

Para determinar la concentración de emisiones al nivel del suelo y en dirección de la salida de los ductos de escape del laboratorio, se tiene ($y=0$) y ($z=0$).

Para condiciones de ambiente urbano se tienen las siguientes desviaciones:

$$\sigma_y = 0.22X(1 + 0.0004X)^{-1/2} \quad (2.63)$$

$$\sigma_z = 0.20X \quad (2.64)$$

Debido a que se desconocen las velocidades de salida de los ductos de escape, se utilizaron velocidades de 8, 10 y 12m/s recomendadas para ductos de vapores, gases y humos de combustión. (Goberna, 1992)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados de pérdidas de energía y dimensionamiento del horno

3.1.1 Resultados y análisis de la pared cilíndrica

Los resultados mostrados en la tabla 3.1 fueron determinados bajo temperaturas T_i , T_4 y T_a , con las cuales se obtuvieron coeficientes de convección $h_{conv,p}$ y de radiación $h_{rad,p}$ por medio de las ecuaciones (2.16) y (2.18) respectivamente. Presenta además los resultados de los espesores de la capa del cemento t_{cp} obtenidos por medio de las ecuaciones (2.21) y (2.28) para distintos espesores de manta cerámica t_{mp} y conductividades térmicas k_{ap} , k_{mp} , y k_{cp} descritas en las tablas 2.6, 2.7 y 2.8, así como el diámetro del horno resultante para cada uno de estos espesores mencionados. Por último, se tabulan también las pérdidas de energía q_{pared} obtenidas por la ecuación (2.9), asociadas a cada espesor t_{cp} .

Tabla 3.1 Pérdida de energía y dimensiones de pared cilíndrica. (Autores, 2020)

Temperaturas de operación			Coeficientes de transferencia de calor			Longitud del cilindro	
T_i (°K)	T_4 (°K)	T_a (°K)	$h_{conv,p} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$	$h_{rad,p} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$	L (m)		
1200	360	300	5.61	7.40	0.35		
Espesores de pared			Conductividades térmicas			Diámetro del horno	Pérdida de energía
t_{ap} (m)	t_{mp} (m)	t_{cp} (m)	$k_{ap} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	$k_{mp} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	$k_{cp} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	D(m)	q_{pared} (W)
0.003	0.0254	0.251	16	0.091	0.58	0.859	737.49
	0.0508	0.149				0.706	606.11
	0.0762	0.006				0.471	404.47

Se analizaron los tres espesores de cemento t_{cp} siendo el primero de 0.251 m, el cual no es deseable debido al uso excesivo de material refractario, además de poseer la mayor pérdida de energía con 737.49 W. El segundo corresponde a 0.149 m, el cual es más óptimo que el primero debido a la

reducción significativa de material refractario y pérdidas de energía de 606.11 W. Por último, el tercer espesor de cemento obtenido corresponde a 0.006 m, el cual es inviable debido a la fragilidad que conllevaría construir una pared de espesor tan delgado. De este modo se seleccionó momentáneamente el segundo espesor de 0.149 m.

En la tabla 3.2 se presentan los resultados de las variables analizadas en la tabla 3.1 evaluadas para una temperatura T_4 de 350°K.

Tabla 3.2 Pérdida de energía y dimensiones de pared cilíndrica. (Autores, 2020)

Temperaturas de operación			Coeficientes de transferencia de calor			Longitud del cilindro	
T_i (°K)	T_4 (°K)	T_a (°K)	$h_{conv,p} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$	$h_{rad,p} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$	L (m)		
1200	350	300	5.36	7.05	0.35		
Espesores de pared			Conductividades térmicas			Diámetro del horno	Pérdida de energía
t_{ap} (m)	t_{mp} (m)	t_{cp} (m)	$k_{ap} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	$k_{mp} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	$k_{cp} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	D(m)	q_{pared} (W)
0.003	0.0254	0.329	16	0.091	0.58	1.014	691.66
	0.0508	0.235				0.878	598.88
	0.0762	0.125				0.709	483.51

Se obtuvieron tres espesores de cemento t_{cp} , de los cuales el primero corresponde a 0.329 m, el segundo de 0.235 m y el tercero a 0.125 m, siendo este último el más óptimo debido a su menor consumo de material y pérdidas de 483.51 W.

Comparando ambos espesores de cemento t_{cp} seleccionados de cada tabla, es evidente que el espesor de 0.125 m es el óptimo para el diseño de las paredes del horno debido a su menor espesor, menores pérdidas, y a que su configuración con el resto de materiales resultan en un diámetro de 0.709 m con una temperatura externa T_4 de 350°K.

Cabe mencionar que a medida que se reduce la temperatura T_4 los espesores de cemento t_{cp} aumentan significativamente como se evidencia en ambas tablas, de modo que la reducción de esta temperatura no justifica el uso de material refractario. Como ejemplo, al fijar una temperatura T_4 de 340°K con espesor de manta cerámica t_{mp} de 3 pulgadas se obtuvo un espesor de cemento t_{cp} de 0.259 m.

Por último, la figura 3.1 muestra a modo de comprobación y visualización el resultado del perfil de temperaturas, por medio del software ANSYS Fluent, de las paredes cilíndricas dimensionadas bajo las condiciones seleccionadas de la tabla 3.2. La temperatura externa de la tapa alcanzó los 345°K , mientras la temperatura de la pared interna llegó a los 1171°K . Por motivos de visualización se presenta una vista seccionada de las paredes y por simetría las temperaturas son iguales en el resto de la pared.

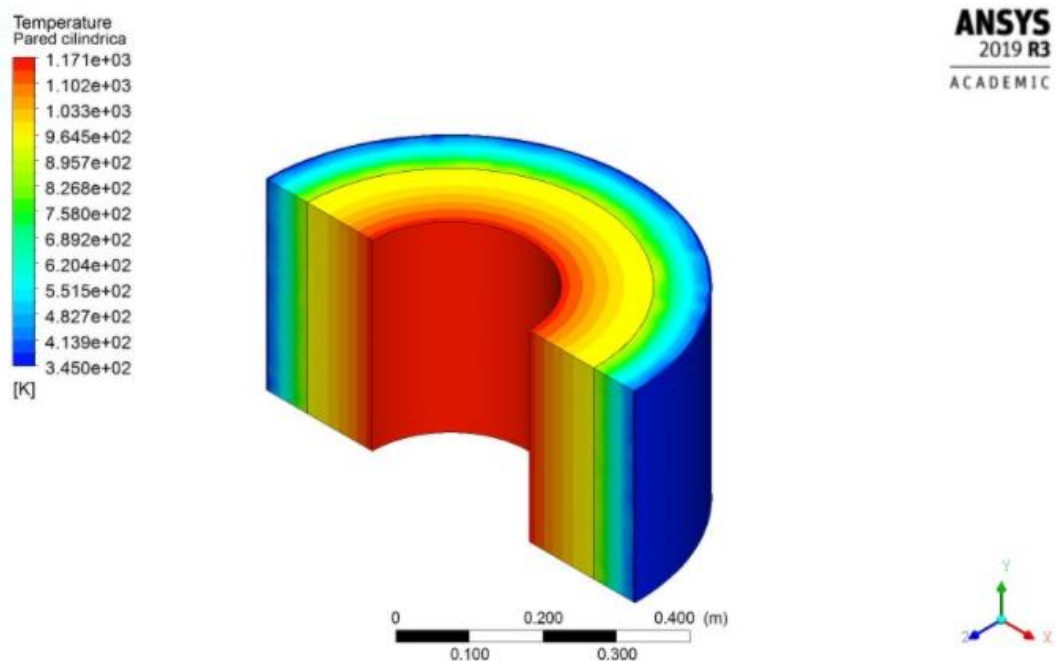


Figura 3.1 Perfil de temperaturas de la pared cilíndrica del horno. (Autores, 2020)

3.1.2 Resultados y análisis de la tapa

En la tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos con temperaturas T_i , T_4 y T_a , bajo las cuales se obtuvieron coeficientes de convección $h_{conv,t}$ y radiación $h_{rad,t}$ por medio de las ecuaciones (2.36) y (2.18) respectivamente.

Se presentan también los resultados de los espesores de la capa del cemento t_{ct} alcanzados por medio de la ecuación (2.39), la cual fue evaluada con distintos espesores de manta cerámica t_{mt} y conductividades térmicas k_{at} , k_{mt} y k_{ct} . Además, muestra la altura de la tapa del horno correspondiente a cada uno de estos espesores mencionados. Por último, se tabulan también las pérdidas de energía q_{tapa} obtenidas por la ecuación(2.31), correspondientes a cada espesor t_{ct} .

Tabla 3.3 Pérdida de energía y dimensiones de la tapa. (Autores, 2020)

Temperaturas de operación			Coeficientes de transferencia de calor			Área de la tapa	
T_i (°K)	T_4 (°K)	T_a (°K)	$h_{conv,t} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$	$h_{rad,t} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$	A (m ²)		
1200	379	300	3.80	8.10	0.070		
Espesores de pared			Conductividades térmicas			Altura de la tapa	Pérdidas de Energía
t_{at} (m)	t_{mt} (m)	t_{ct} (m)	$k_{at} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	$k_{mt} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	$k_{ct} \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$	H(m)	q_{tapa} (W)
0.003	0.0254	0.333	16.0	0.091	0.58	0.361	66.45
	0.0508	0.171				0.222	66.45
	0.0762	0.009				0.088	66.45

Los resultados muestran tres espesores de cemento t_{ct} a analizar. El primero de ellos con un espesor de 0.333 m el cual se descartó debido al excesivo peso que representaría para la tapa, dificultando su apertura. El segundo espesor obtenido de 0.171 m presentó el mismo inconveniente que el resultado anterior por lo cual no se consideró. El tercer espesor de 0.009 m presenta el inconveniente de ser frágil y por lo tanto susceptible a fracturas.

En la tabla 3.4 se muestran los resultados de las variables de la tabla 3.3, evaluadas a una temperatura T_4 de 377°K.

Tabla 3.4 Pérdida de energía y dimensiones de la tapa. (Autores, 2020)

Temperaturas de operación			Coeficientes de transferencia de calor			Área de la tapa	
$T_i(^{\circ}\text{K})$	$T_4(^{\circ}\text{K})$	$T_a(^{\circ}\text{K})$	$h_{\text{conv,t}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$h_{\text{rad,t}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right)$	A (m ²)		
1200	377	300	3.78	8.02	0.070		
Espesores de pared			Conductividades térmicas			Altura de la tapa	Pérdidas de Energía
$t_{\text{at}}(\text{m})$	$t_{\text{mt}}(\text{m})$	$t_{\text{ct}}(\text{m})$	$k_{\text{at}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$k_{\text{mt}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$k_{\text{ct}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	H(m)	$q_{\text{tapa}}(\text{W})$
0.003	0.0254	0.352	16.0	0.091	0.58	0.380	64.24
	0.0508	0.190				0.241	64.24
	0.0762	0.028				0.107	64.24

Se presentan tres espesores de cemento t_{ct} para su análisis. El primer y segundo de 0.352 m y 0.190 m respectivamente, se descartaron por ser excesivamente grandes.

El tercer resultado muestra un espesor de 0.028 m el cual se seleccionó debido a su bajo espesor y a que la configuración con el resto de materiales resulta en una altura de tapa de 0.107 m con pérdidas de 64.24 W.

En la figura 3.2 se muestra el perfil de temperaturas para la tapa del horno bajo las dimensiones seleccionadas, obtenido por medio del software ANSYS Fluent, en donde se evidencia que la temperatura exterior de la tapa alcanza los 376.8 °K, mientras la temperatura de la pared interna alcanza los 1182 °K.

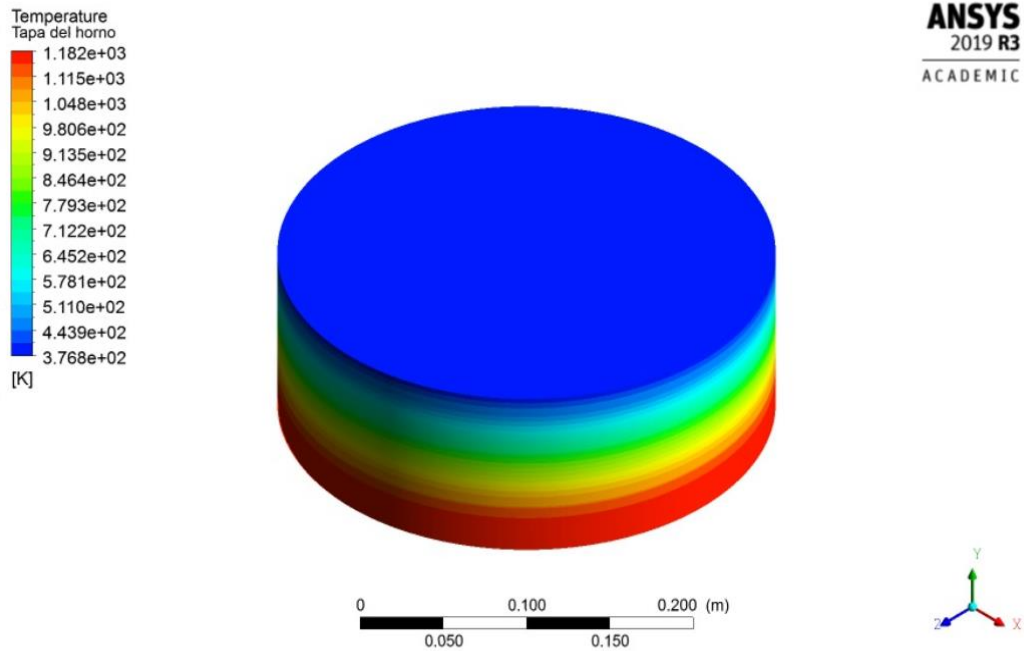


Figura 3.2 Perfil de temperaturas de la tapa del horno. (Autores, 2020)

3.1.3 Resultados y análisis de la base

Para el análisis de la base se tomó en cuenta que ésta debe proporcionar además de aislamiento estabilidad al horno, por lo cual se consideró que sea conformado mayormente por cemento refractario. De este modo se fijó el espesor de la manta cerámica en 0.0254 m.

Los resultados mostrados en la tabla 3.5 fueron determinados bajo las temperaturas T_i , T_4 y T_a , con las cuales se obtuvieron coeficientes de convección $h_{conv,b}$ y $h_{rad,b}$ por medio de las ecuaciones (2.36) y (2.18) respectivamente. Presenta el resultado del espesor del cemento t_{cb} obtenido por medio de la ecuación (2.39) para un espesor de manta cerámica t_{mb} y conductividades térmicas k_{ab} , k_{mb} , y k_{cb} , así como la altura de la base correspondiente a los espesores mencionados. Por último, se muestran las pérdidas de energía q_{base} obtenidas por la ecuación(2.31).

Tabla 3.5 Pérdida de energía y dimensiones de base. (Autores, 2020)

Temperaturas de operación			Coeficientes de transferencia de calor			Área de la base	
$T_i(^{\circ}\text{K})$	$T_4(^{\circ}\text{K})$	$T_a(^{\circ}\text{K})$	$h_{\text{conv},b} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$h_{\text{rad},b} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$A \text{ (m}^2\text{)}$		
1200	400	300	8.01	8.93	0.071		
Espesores de pared			Conductividades térmicas			Altura de la base	Pérdidas de calor
$t_{ab} \text{ (m)}$	$t_{mb} \text{ (m)}$	$t_{cb} \text{ (m)}$	$k_{ab} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$k_{mb} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$k_{cb} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$H \text{ (m)}$	$q_{\text{base}} \text{ (W)}$
0.003	0.0254	0.100	16.0	0.091	0.58	0.129	119.73

Se obtuvo como resultado un espesor de cemento t_{cb} de 0.10 m con pérdidas de 119.73 W.

La tabla 3.6 muestra los resultados antes analizados, ahora evaluados para una temperatura T_4 de 390°K, de donde se obtuvo un espesor de cemento t_{cb} de 0.146 m y pérdidas de 104.03 W.

Tabla 3.6 Pérdida de energía y dimensiones de base. (Autores, 2020)

Temperaturas de operación			Coeficientes de transferencia de calor			Área de la base	
$T_i \text{ (K)}$	$T_4 \text{ (K)}$	$T_a \text{ (K)}$	$h_{\text{conv},b} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$h_{\text{rad},b} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$A \text{ (m}^2\text{)}$		
1200	390	300	7.83	8.52	0.071		
Espesores de pared			Conductividades térmicas			Altura de la base	Pérdidas de calor
$t_{ab} \text{ (m)}$	$t_{mb} \text{ (m)}$	$t_{cb} \text{ (m)}$	$k_{ab} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$k_{mb} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$k_{cb} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} - ^{\circ}\text{K}} \right)$	$H \text{ (m)}$	$q_{\text{base}} \text{ (W)}$
0.003	0.0254	0.146	16.0	0.091	0.58	0.174	104.03

Comparando los dos espesores de cemento obtenidos se seleccionó el espesor de cemento de 0,10 m; ya que una reducción de 10°K no se consideró justificativo para el aumento de espesor correspondiente, además se tomó en cuenta la altura de la base y su aportación a la altura total del horno, la cual se desea sea la menor posible para un retiro más cómodo del crisol.

La figura 3.3 muestra el perfil de temperaturas determinado por medio del software ANSYS Fluent, para la base del horno dimensionada con los resultados seleccionados, en donde se observa que la temperatura externa de la base llegó a los 400°K establecida como condición de diseño. Además, se muestra la temperatura interna de la base, la cual alcanzó los 1166 °K.

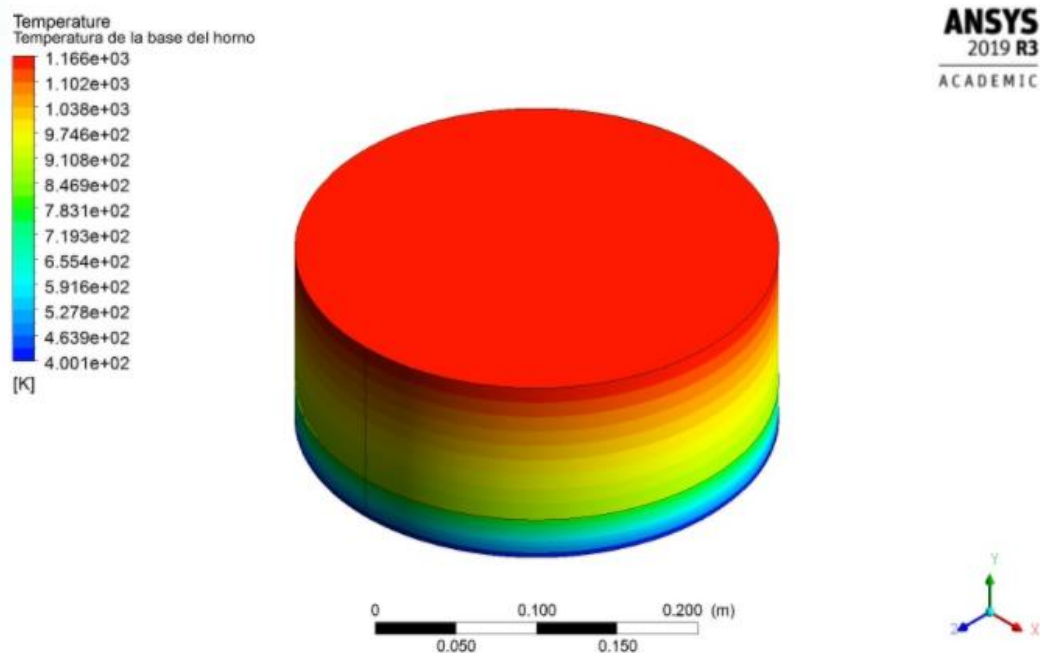


Figura 3.3 Perfil de temperaturas de la base del horno. (Autores, 2020)

La figura 3.4 muestra las temperaturas en conjunto de los tres elementos conformantes del horno, donde se aprecia una temperatura máxima en el interior del horno de 1192°K, la que se estima alcanzar con la combustión del GLP suficiente para fundir aluminio. Mientras las temperaturas mínimas se muestran en el exterior, alcanzando los 323°K, principalmente en dirección de las esquinas del horno.

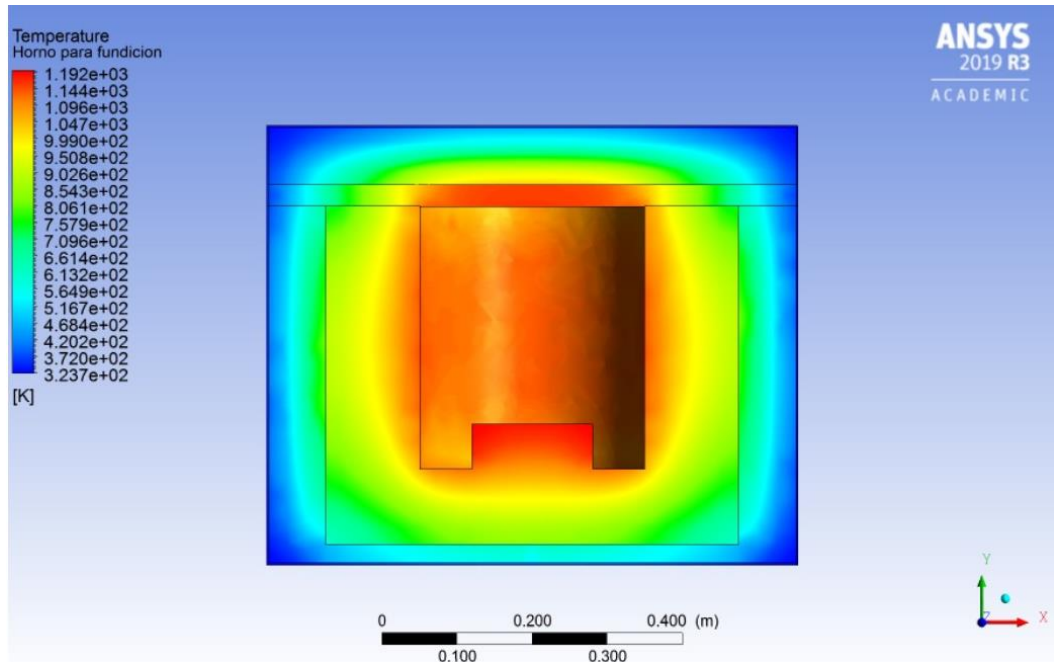


Figura 3.4 Perfil de temperaturas del horno para fundición. (Autores, 2020)

3.1.4 Energía de la carga

En la tabla 3.7 se muestra el calor de fusión Q_f del aluminio obtenido por medio de la ecuación(2.45), el calor latente del aluminio Q_L determinado con la ecuación (2.47), el calor de sobrecalentamiento Q_{sc} calculado con la ecuación (2.49) y el calor almacenado por el crisol Q_{crisol} encontrado por la ecuación (2.50). Los resultados mostraron que el crisol requiere mayor energía que el metal, esto debido a poseer un volumen mayor que el del aluminio analizado.

Tabla 3.7 Energía requerida por la carga. (Autores, 2020)

Material	Q_f (KJ)	Q_L (KJ)	Q_{sc} (KJ)	Q_{total} (KJ)
Aluminio	1544.46	1072.69	651.45	3268.61
Crisol	-	-	4340.60	4340.60
			Q_{carga} (KJ)	7609.21

3.1.5 Energía almacenada en la pared cilíndrica

La tabla 3.8 muestra propiedades y volumen de cada material que compone a la pared cilíndrica. Por medio de la estos datos y la ecuación fue posible determinar la energía total almacenada en la pared cilíndrica.

Tabla 3.8 Energía almacenada en la pared cilíndrica del horno. (Autores, 2020)

Material	Densidad (Kg/ m ³)	Volumen (m ³)	Cp (KJ/Kg-°K)	Q (KJ)
Cemento	1540	0.059	0.96	19930.53
Manta	128	0.053	1.225	4861.50
Acero	7900	0.002	0.477	1.02
			Q _{apc} (KJ)	24793.05

3.1.6 Energía almacenada en la tapa

La tabla 3.9 presenta la cantidad de energía almacenada para cada material componente de la tapa del horno, así como el total de energía almacenada en la ésta.

Tabla 3.9 Energía almacenada en la tapa del horno. (Autores, 2020)

Material	Densidad (Kg/ m ³)	Volumen (m ³)	Cp (KJ/Kg-°K)	Q (KJ)
Cemento	1540	0.0020	0.96	180..03
Manta	128	0.0054	1.225	642.71
Acero	7900	0.0002	0.477	1.26
			Q _{at} (KJ)	824.01

3.1.7 Energía almacenada en la base

La tabla 3.10 muestra la energía almacenada para cada capa de material que componen a la base, así como la energía total almacenada en la misma.

Tabla 3.10 Energía almacenada en la base del horno. (Autores, 2020)

Material	Densidad (Kg/ m ³)	Volumen (m ³)	Cp (KJ/Kg-°K)	Q (KJ)	
Cemento	560	0.0047	0.96	3427.56	
Manta	64	0.0035	1.225	133.10	
Acero	7832	0.00028	434	0.25	
				Q _{ab} (KJ)	3560.91

Por medio de la ecuación (2.52) se obtuvo una energía almacenada en las paredes del horno $Q_{almacenada}$ de 29177.98 KJ.

3.1.8 Requerimientos del quemador

La tabla 3.11 resume los resultados obtenidos de pérdidas de energía en la pared cilíndrica q_{pared} , en la tapa q_{tapa} y en la base q_{base} , así como también la energía de carga Q_{carga} y la energía almacenada en las paredes del horno $Q_{almacenada}$, con el fin de presentar los resultados bajo éstas demandas energéticas del flujo másico del quemador $\dot{m}_{quemador}$ y caudal del quemador $C_{quemador}$ obtenidos por las ecuaciones (2.60) y (2.61) respectivamente.

Tabla 3.11 Requerimientos del quemador. (Autores, 2020)

$q_{pared} \left(\frac{KJ}{h}\right)$	$q_{tapa} \left(\frac{KJ}{h}\right)$	$q_{base} \left(\frac{KJ}{h}\right)$	$Q_{carga} \left(\frac{KJ}{h}\right)$	$Q_{almacenada} \left(\frac{KJ}{h}\right)$	F.S.	$\dot{m}_{quemador} \left(\frac{Kg}{h}\right)$	$C_{quemador} \left(\frac{m^3}{h}\right)$
1740.64	231.26	431.03	7609.21	29177.98	1.5	1.821	0.827

En base al resultado obtenido del caudal requerido del quemador, correspondiente a 0.827 m³, es posible seleccionar de la tabla 3.12 el quemador de gas “Marca Brensler – Modelo BRG-80”, el cual presenta un caudal mínimo de operación de 1.04 m³/h, suficiente para abastecer las necesidades energéticas del horno.

Tabla 3.12 Ficha técnica de quemadores a gas. (Brensler, Tecnovapor 2020)

Modelo del Quemador	Capacidad						Suministro de Electricidad	Motor KW	Presión de Entrada (mbar)
	KW		Kcal/h		m ³ /h				
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.			
BRG 80	18	80	8.600	64.500	1.04	7.82	50 Hz - 230 V	0.25	21 - 300
BRG 140	18	120	15.480	103.200	1.88	12.51	50 Hz - 230 V	0.25	21 - 300
BRG 180	50	180	43.000	154.800	5.21	18.76	50 Hz - 230 V	0.25	21 - 300
BRG 280	80	280	68.800	240.800	8.34	29.19	50 Hz - 230 V	0.37	21 - 300
BRG 350	100	350	86.000	309.600	10.42	37.53	50 Hz - 230 V	0.37	21 - 300
BRG 500	110	500	94.600	430.000	11,47	52,12	50 Hz - 230 V	0,55	21 - 300

Para condición de operación mínima del quemador, el consumo de combustible corresponde a 2.29 Kg/h según la ecuación (2.61), de modo que el uso de un cilindro de 45 Kg de GLP proporciona una autonomía de 19.65 horas, y acorde a la ecuación (2.60) el tiempo del proceso de fundición se ve acortado de una hora a aproximadamente 48 minutos.

3.1.9 Resultados del análisis del sistema de evacuación de gases

La tabla 3.13 muestra la concentración de las emisiones del horno calculadas por medio de la ecuación (2.62), utilizando una tasa de emisión correspondiente al total del consumo del combustible requerido a la capacidad mínima del quemador. Los resultados reflejan muy bajas concentraciones, ninguna por encima de lo permitido por las regulaciones ambientales, según la norma ecuatoriana de calidad de aire.

Tabla 3.13 Concentración de emisiones del horno. (Autores, 2020)

H = 5 (m)	Concentración (µg/m ³)		
X (m)	V = 8 [m/s]	V = 10 [m/s]	V = 12 [m/s]
5	4.28e-8	3.42e-8	2.85e-8
10	0.000126	0.000101	0.000084
20	0.000329	0.000263	0.000219
30	0.000226	0.000181	0.000151
40	0.000148	0.000119	0.000099
50	0.000102	0.000081	0.000068

3.2 Análisis de costos

Los costos de materiales para la fabricación del horno son analizados según cotizaciones conseguidas en el medio local durante los meses de julio y agosto del presente año.

La tabla 3.14 hace referencia a los costos de los materiales con un costo total de \$1967,60 sin incluir IVA, además cabe recalcar que la tabla solo nos indica los costos de materiales sin incluir la mano de obra.

Tabla 3.14 Materiales requeridos para la fabricación del horno. (Autores, 2020)

Descripción	Proveedor	Can	Und	Valor unit.	Valor tot.
Crisol grafito "Capacidad 1 litro"	ESPOL-FIMCP "Guayaquil - Campus Gustavo Galindo Velasco – Km 30.5 Vía Perimetral"	1	UND	\$ -	\$ -
Saco de concreto aislante KAT O LITE 26 LI PLUS (25 KG)	JJMEDINA "Guayaquil - Av. Francisco de Orellana C.C Gran Manzana Loc#73"	2	UND	\$ 95,00	\$ 190,00
Rollo de fibra cerámica 2"X24"X150" M3 HP-8-2 ZIBO	JJMEDINA "Guayaquil - Av. Francisco de Orellana C.C Gran Manzana Loc#73"	1	UND	\$ 95,00	\$ 95,00
Rollo de fibra cerámica 1"X24"X300" M3 HP-8-2 ZIBO	JJMEDINA "Guayaquil - Av. Francisco de Orellana C.C Gran Manzana Loc#73"	1	UND	\$ 95,00	\$ 95,00
Plancha acero inoxidable MATE 304 2B	IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA "Quito - N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de Selis"	1	UND	\$ 190,39	\$ 190,39
Tubo cuadrado inoxidable 50 X 2 [mm]	IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA "Quito - N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de Selis"	6	Mt	\$ 71,28	\$ 71,28
Correa en G 80 X 45 X 15 X 3 [mm]	IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA "Quito - N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de Selis"	6	Mt	\$ 21.62	\$ 21,62
Electrodo 308L 3/32	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A "Guayaquil - Vía a Daule 6 1/2 Av. Principal"	2	KG	\$ 12,50	\$ 25,00

Manómetro Glicerina/Inox 1/4 NPT - [0 - 100] PSI	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A "Guayaquil - Vía a Daule 6 1/2 Av. Principal"	1	UND	\$ 47,78	\$ 47,78
Quemador a gas industrial Brensler BRG 80	TECNOVAPOR "Quito – Calle E9 N67-43 y Los Arupos – Urbanización Cristianía"	1	UND	\$ 625,00	\$ 625,00
Regulador de presión	TECNOVAPOR "Quito – Calle E9 N67-43 y Los Arupos – Urbanización Cristianía"	1	UND	\$ 23,50	\$ 23,50
Válvula de seguridad	TECNOVAPOR "Quito – Calle E9 N67-43 y Los Arupos – Urbanización Cristianía"	1	UND	\$ 17,50	\$ 17,50
Cilindro de gas	ENI ECUADOR "Quito - Av. Patria y amazonas, Edificio Cofiec Pisos 8 y 9	2	UND	\$ 60,00	\$ 120,00
Recarga de gas	ENI ECUADOR "Quito - Av. Patria y amazonas, Edificio Cofiec Pisos 8 y 9	90	KG	\$ 0,73	\$ 65,70
Sensor de temperatura digital Prosens 600 – modelo QM621	Termocupla tipo K modelo KHXL-18G-RSC-12 [0 – 1336°C]	1	UND	\$ 270,00	\$ 2700,00
Termocupla tipo K modelo KHXL-18G-RSC-12 [0 – 1336°C]	Termocupla tipo K modelo KHXL-18G-RSC-12 [0 – 1336°C]	1	UND	80,00	80,00
Válvula de bola 1/2"	TECNOVAPOR "Quito – Calle E9 N67-43 y Los Arupos – Urbanización Cristianía"	4	UND	\$ 7,50	\$ 30,00
				TOTAL	\$ 1967.60

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Al finalizar el presente proyecto se pudo alcanzar el objetivo de diseñar un horno de crisol para fundición de metales no ferrosos, de forma cilíndrica y alimentado por combustión de GLP, utilizando como metal de prueba 2.7 Kg de aluminio debido al propósito de ser usado con fines académicos para el desarrollo formativo de los estudiantes de la FIMCP.
- En base al análisis térmico del horno fue posible identificar y cuantificar los requerimientos térmicos del horno y así seleccionar los materiales más idóneos para su conformación, de los cuales la manta cerámica tuvo un papel primordial en la reducción de temperaturas de acuerdo a los resultados obtenidos. Por otro lado, el cemento refractario supuso reducciones de temperaturas más modestas y finalmente como era de esperarse el aporte del acero cumple más una función de protección que de aislante térmico. Bajo estas consideraciones se logró dimensionar geométricamente al horno obteniendo como resultados un diámetro de 0.709m y una altura de 0.586m valores cercanos a los obtenidos en otros proyectos de similares características a éste.
- Con respecto al equipo quemador seleccionado marca Brensler modelo BRG80, se determinó que, bajo condiciones de operación mínimas, el tiempo del proceso de fundición para 2.7 Kg de aluminio dura aproximadamente 48 minutos y que el uso de un cilindro de 45 Kg de GLP proporciona una autonomía de 19.65 horas. En miras al futuro este equipo puede considerarse como una inversión y ser utilizado para proyectos de mayor escala.
- De acuerdo al análisis del sistema de evacuación de gases del laboratorio se determinó que la concentración de los gases no representa una amenaza, además se evidenció que los ductos de escape direccionan los gases hacia una zona poco concurrida de personas como lo es normalmente el parqueadero de la FIMCP el cual se encuentra situado a una distancia entre 15 a 20 metros del laboratorio.

- Debido a la funcionalidad del equipo para elevar temperaturas en un entorno cerrado, aparte de la fundición, puede ser utilizado en otras aplicaciones o procesos en los que se requiera dicha función, tal es el ejemplo de tratamientos térmicos en general, dada la versatilidad del equipo.

4.2 Recomendaciones

- En el caso de que este proyecto se materialice se deben considerar aspectos de seguridad durante la operación del equipo como:
 - El manejo del equipo debe estar a cargo de al menos dos personas supervisadas por un tercero adiestrado en el tema.
 - Uso obligatorio de equipos de protección personal como botas, guantes, mandil y gafas o máscara protectora.
 - Marcar en los alrededores del horno las líneas límites de seguridad con el fin de evitar algún accidente durante una práctica con estudiantes.
- Durante la operación del equipo se recomienda no alcanzar temperaturas cercanas a la de servicio del cemento refractario de 1425°C.
- Asegurarse de que el regulador de gas GLP tenga incluido un mecanismo de alivio con el fin de controlar o evacuar la sobrepresión a la salida del regulador. En el caso de que no tenga incluido un sistema de alivio integrado el regulador, se instale una válvula de alivio adicional continuo al regulador.
- En el caso de usar gas GLP como combustible debe existir un regulador de presión a la salida del tanque donde pueda existir una o varias etapas de regulación.
- Instalar extintores de preferencia de polvo químico seco con una capacidad mínima de 9 Kilogramos en la parte externa del cuarto de gases y en los interiores del laboratorio de manufactura.
- Aplicar un sistema de protección contra la corrosión a las tuberías, tanques y demás componentes que conforma este tipo de instalaciones según las normas técnicas aplicables.
- Realizar mantenimientos planificados al equipo con el fin de alargar su vida útil, a las instalaciones y tuberías de gas como al cuarto de almacenamiento.

- Planificar horarios para uso del equipo con el fin de no coincidir con otros equipos que emitan gases y producir una mayor concentración hacia el exterior.

BIBLIOGRAFÍA

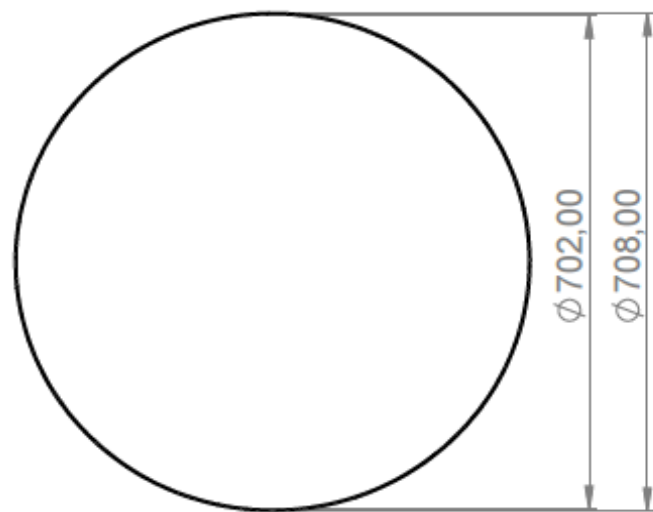
- Auces, E., & Rodríguez, J. (2003). Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 24(3), 3–6.
- Callister, W. (2009). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. In *Editorial Reverté* (3rd ed.). <https://doi.org/10:0-8400-5444-0>
- Calvo, C. S. (2016). Hornos utilizados en la fabricación de aleaciones ferrosas y no ferrosas. *Scientia*, 17(17), 143–160. <https://doi.org/10.31381/scientia.v17i17.388>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (7ma. ed.). McGrawHill.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones. In *The McGraw-Hill Companies, Inc.*
- Cruzado, J., Cbuquivilva, R., & Díaz, I. (2004). Cálculo del consumo óptimo del gas natural en hornos de fundición de vidrio. *Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú, Vol. 1 N°2*, 13–21. http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/I+D/2,2004/art_002.pdf
- Data, P. (2000). *KAST-O-LITE_26_LI_PLUS Product Data*. JJMedina. <https://www.jjmedina.com.ec/mantas/>
- Figueroa, V., Aroca, P., & Rivera, B. (2009). Influencia que Tienen las Condiciones Meteorológicas y los Parámetros de Diseño de Chimeneas en la Dispersión de Contaminantes en el Aire. *ESPOL*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4763>
- Flores, Y., & Orellana, R. (2014). *Diseño Y Construcción De Un Horno De Crisol Para Aleaciones No Ferrosas*. Universidad del Salvador.
- Goberna, R. (1992). *Ventilación Industrial* (1era ed.). Generalitat Valenciana.
- Groover, M. P. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. In *McGrawHill* (Tercera ed.). McGrawHill.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. In *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (4ta ed). Pearson. <https://doi.org/536.2/l36f.4>
- NTE-INEN. (2010). *INSTALACIONES DE GASES COMBUSTIBLES PARA USO RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL REQUISITOS*. (Vol. 2260).
- Trujillo, S. (2005). *Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural*. San Francisco de Quito.

APÉNDICES

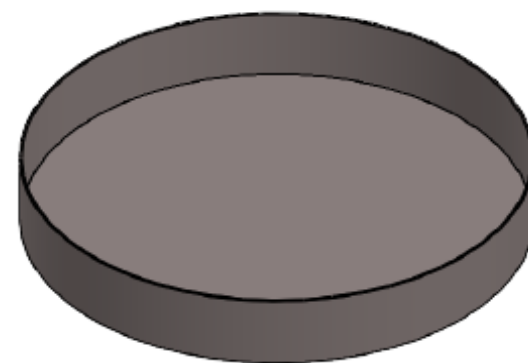
APÉNDICE A

PLANOS

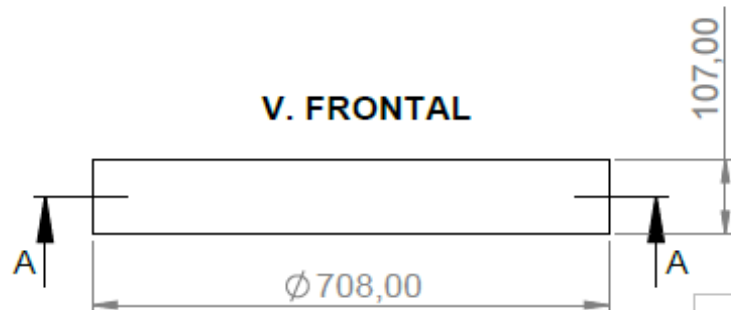
SECCIÓN A-A



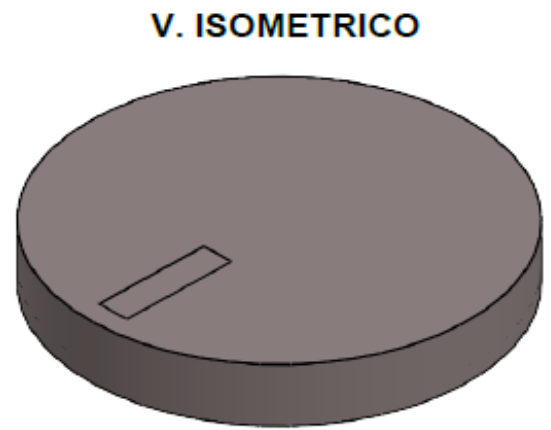
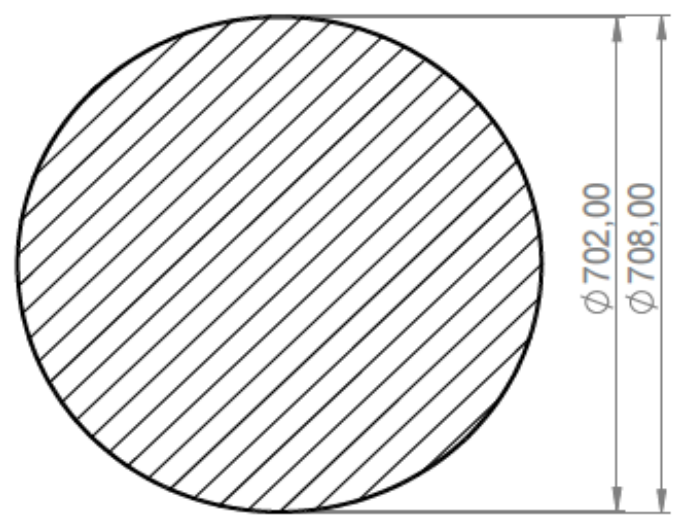
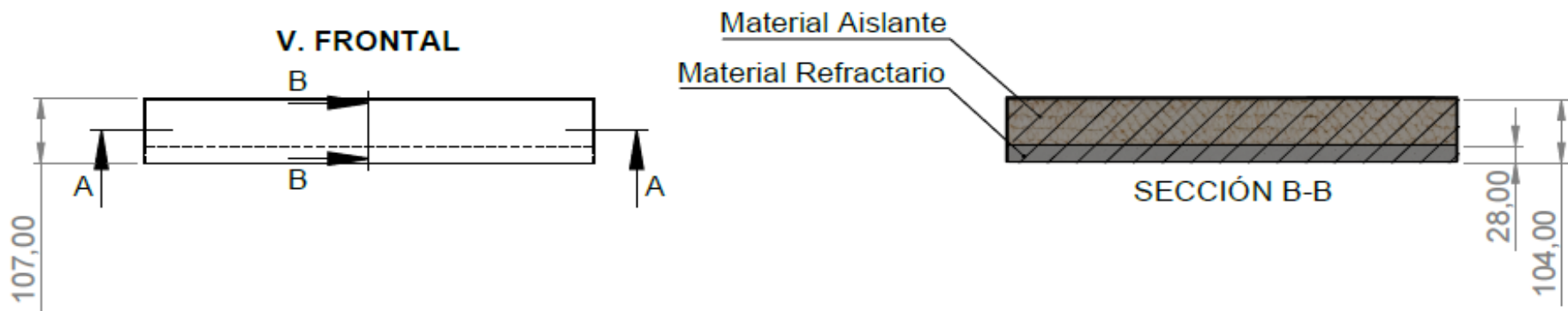
V. ISOMETRICO



V. FRONTAL



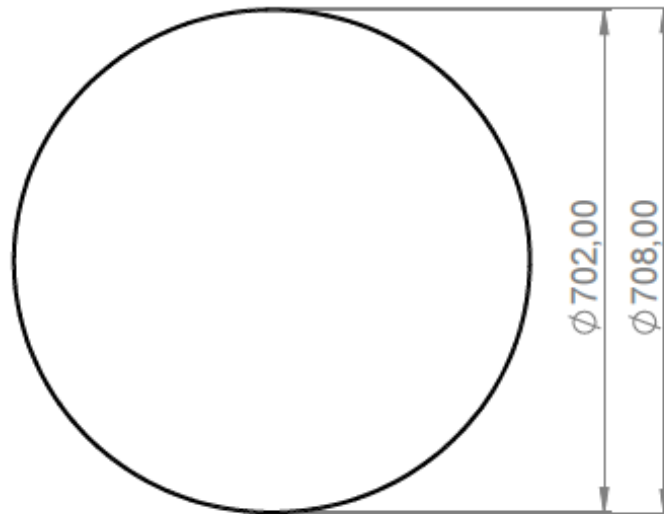
	NOMBRE	FECHA	TITULO	
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN	
VERIF.			Nº DIBUJO	A4
APRO.			ESTRUCTURA ACERO - TAPA	
MAT.	ACERO INOX 340		ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1



SECCIÓN A-A

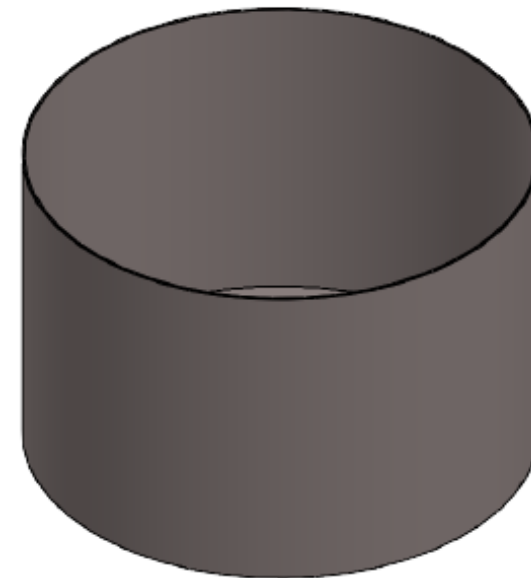
	NOMBRE	FECHA	TITULO	
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN	
VERIF.				
APRO.			Nº DIBUJO	A4
MAT.			ENSAMBLAJE - TAPA	
			ESCALA: 1:10	HOJA 2 DE 12

V. SUPERIOR



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

V. ISOMETRICO

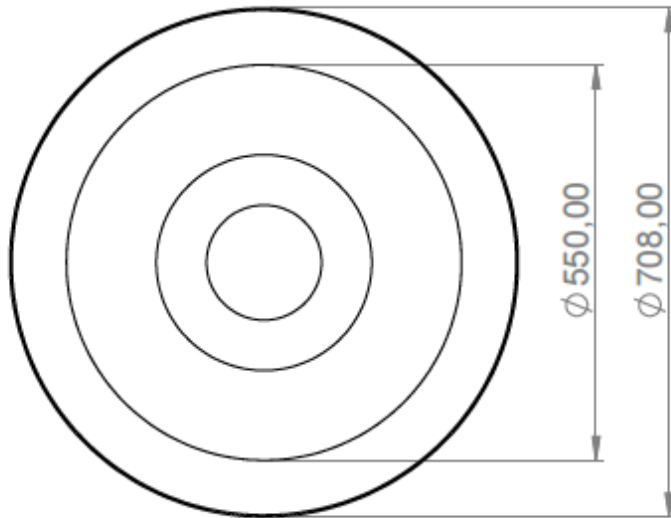


V. FRONTAL

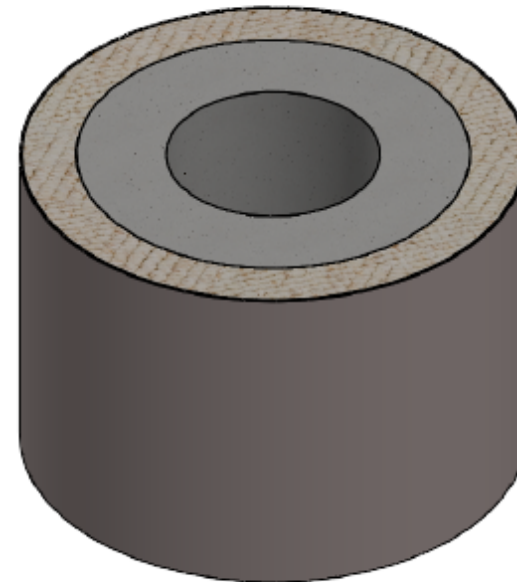


	NOMBRE	FECHA	TITULO	
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN	
VERIF.				
APRO.			Nº DIBUJO	ESTRUCTURA METÁLICA
MAT.	ACERO INOX 304			
			ESCALA: 1 : 10	A4
				HOJA 3 DE 12

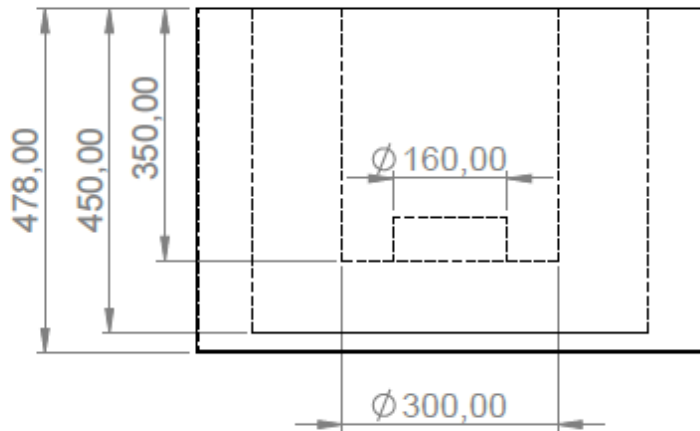
V. SUPERIOR



V. ISOMETRICO

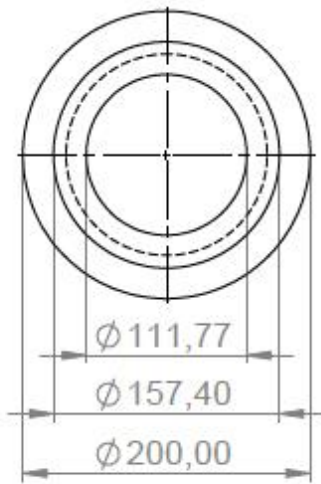


V. SUPERIOR

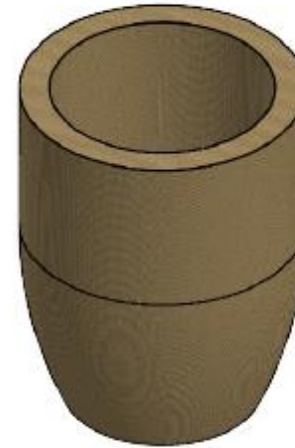


	NOMBRE	FECHA	TITULO
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN
VERIF.			
APRO.			N° DIBUJO ENSAMBLAJE - CUERPO HORNO
MAT.			A4
			ESCALA: 1:10
			HOJA 4 DE 12

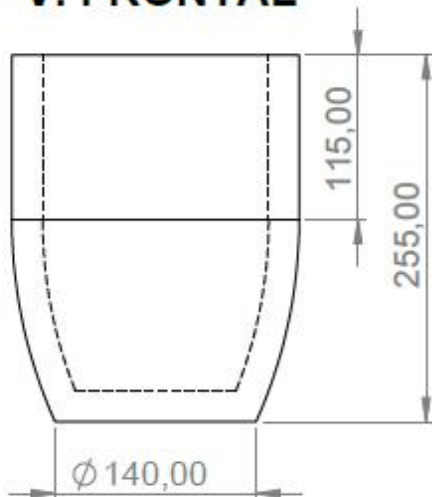
V. SUPERIOR



V. ISOMETRICO

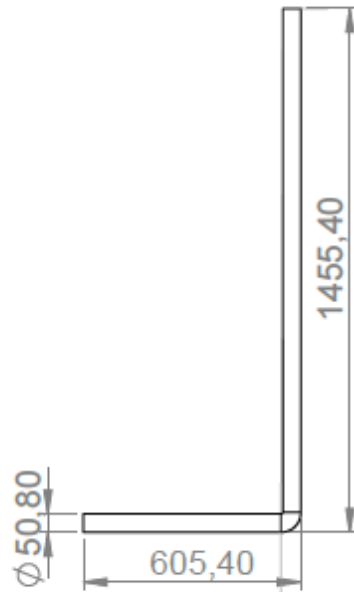


V. FRONTAL



	NOMBRE	FECHA	TITULO
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN
VERIF.	PhD. CLOTARIO T.		
APROB.			N° DIBUJO
MAT.	GRAFITO		CRISOL
			A4
			ESCALA:
			HOJA 5 DE 12

V. LATERAL

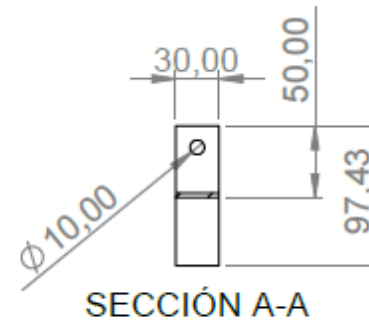
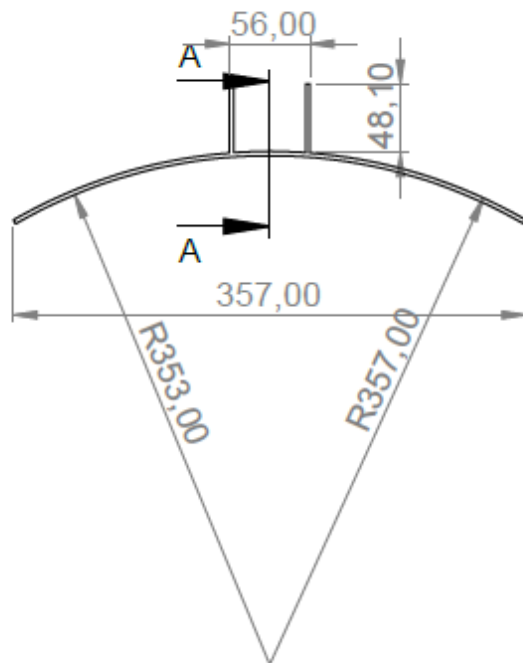


V. ISOMETRICO

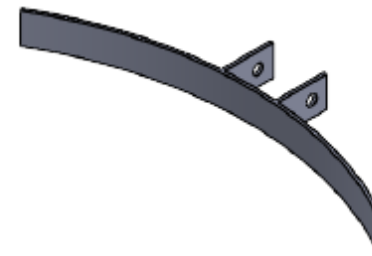


	NOMBRE	FECHA	TITULO	
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN	
VERIF.				N° DIBUJO
APRO.			CHIMENEA	
MAT.	ACERO INOX.		ESCALA: 1:20	HOJA 6 DE 12

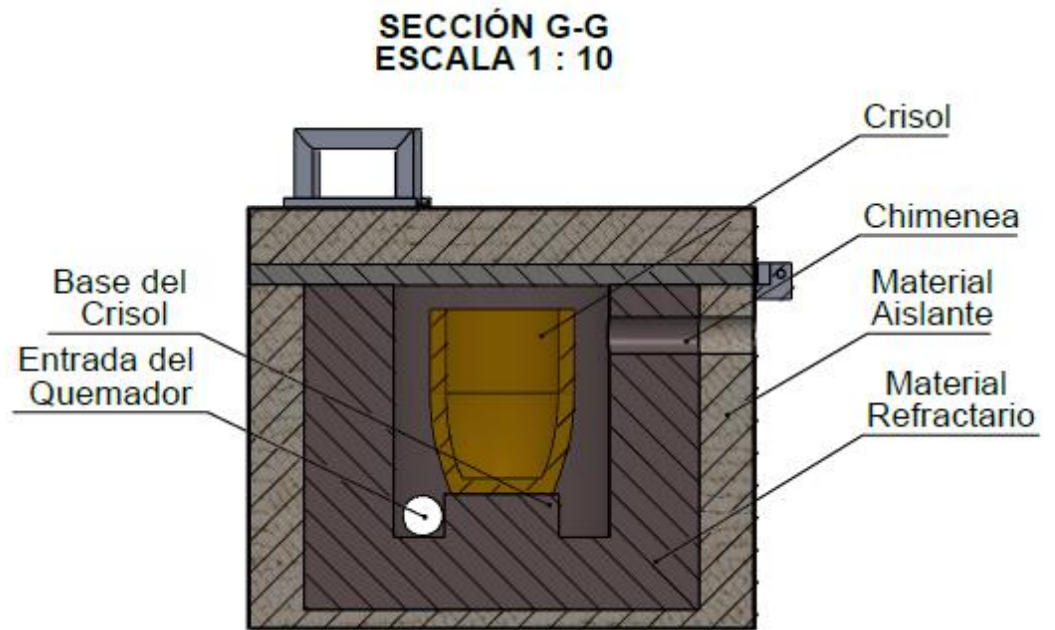
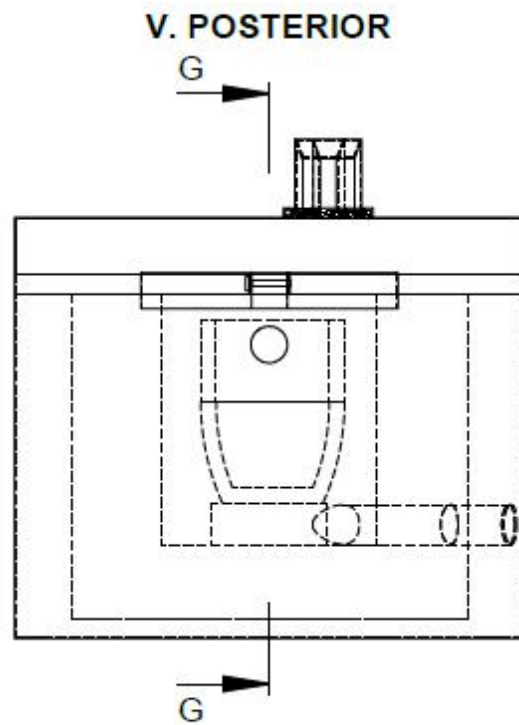
V. SUPERIOR



V. ISOMETRICO

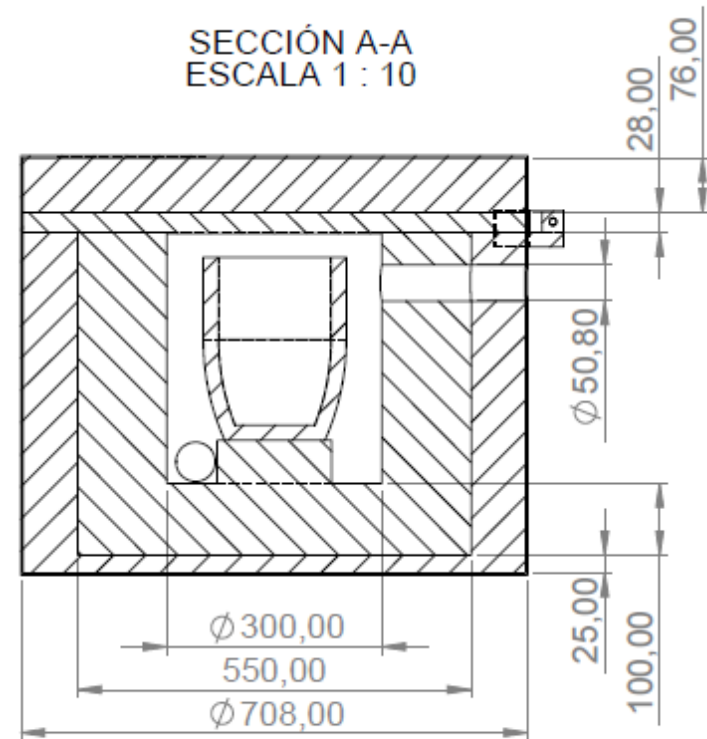
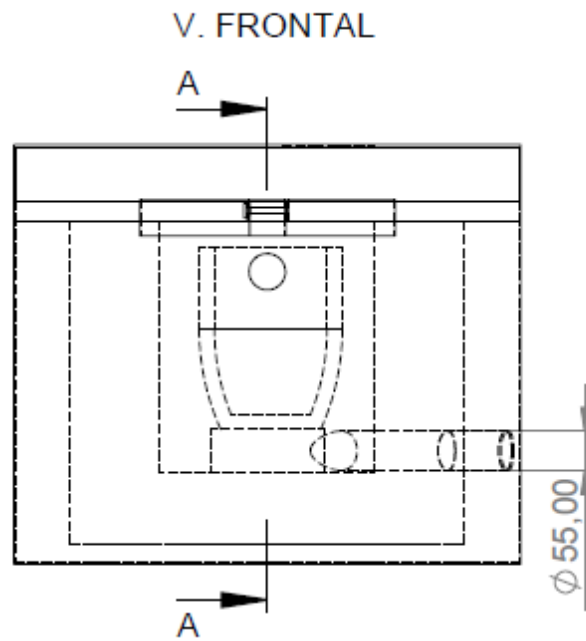


	NOMBRE	FECHA	TITULO	
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN	
VERIF.				N° DIBUJO
APRO.			BISAGRA	A4
MAT.	ACERO INOX 304			
			ESCALA: 1:5	HOJA 7 DE 12



	NOMBRE	FECHA	TITULO
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN
VERIF.			
APRO.			N° DIBUJO
MAT.			PARTES DEL HORNO
			ESCALA: 1:10
			HOJA 8 DE 12

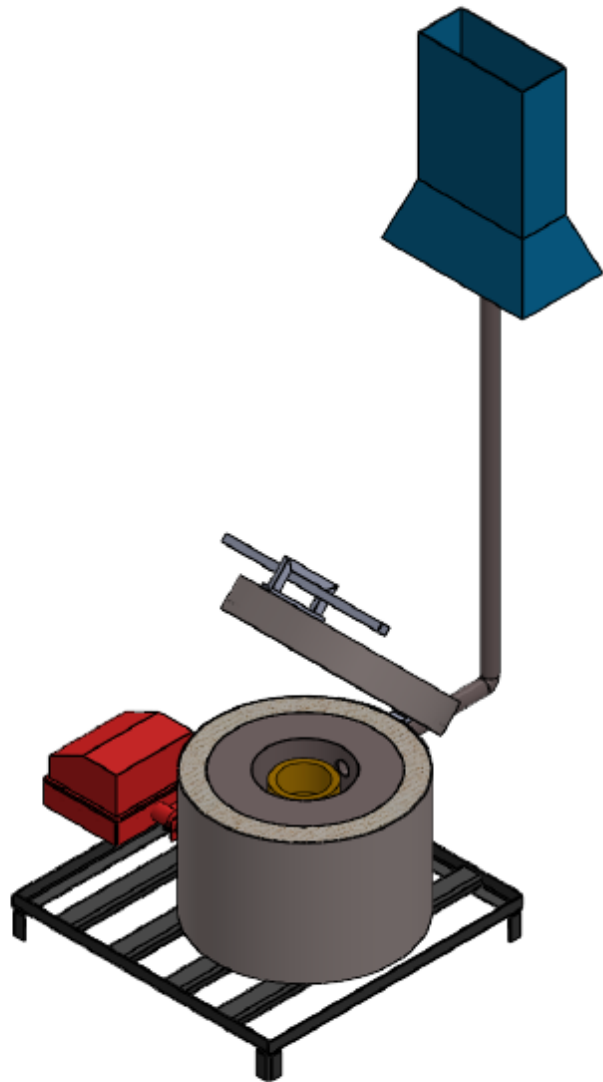
A4



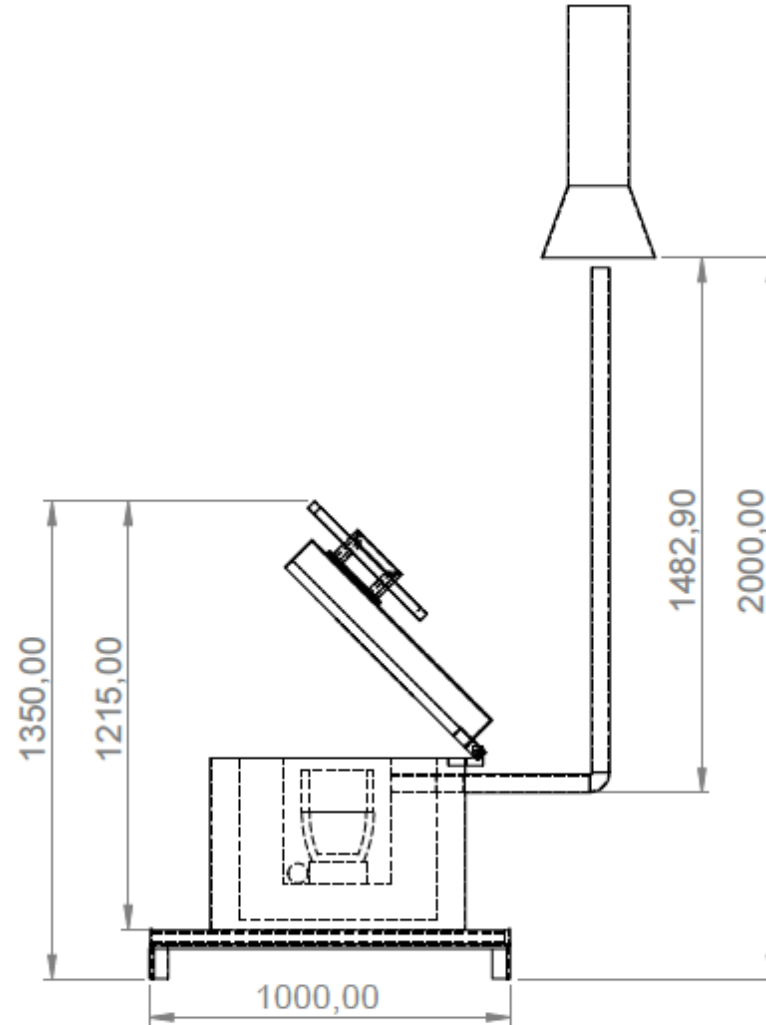
	NOMBRE	FECHA	TITULO
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN
VERIF.			
APRO.			N° DIBUJO
MAT.			PARTES DEL HORNO
			ESCALA: 1:10
			HOJA 9 DE 12

A4

V. ISOMETRICO

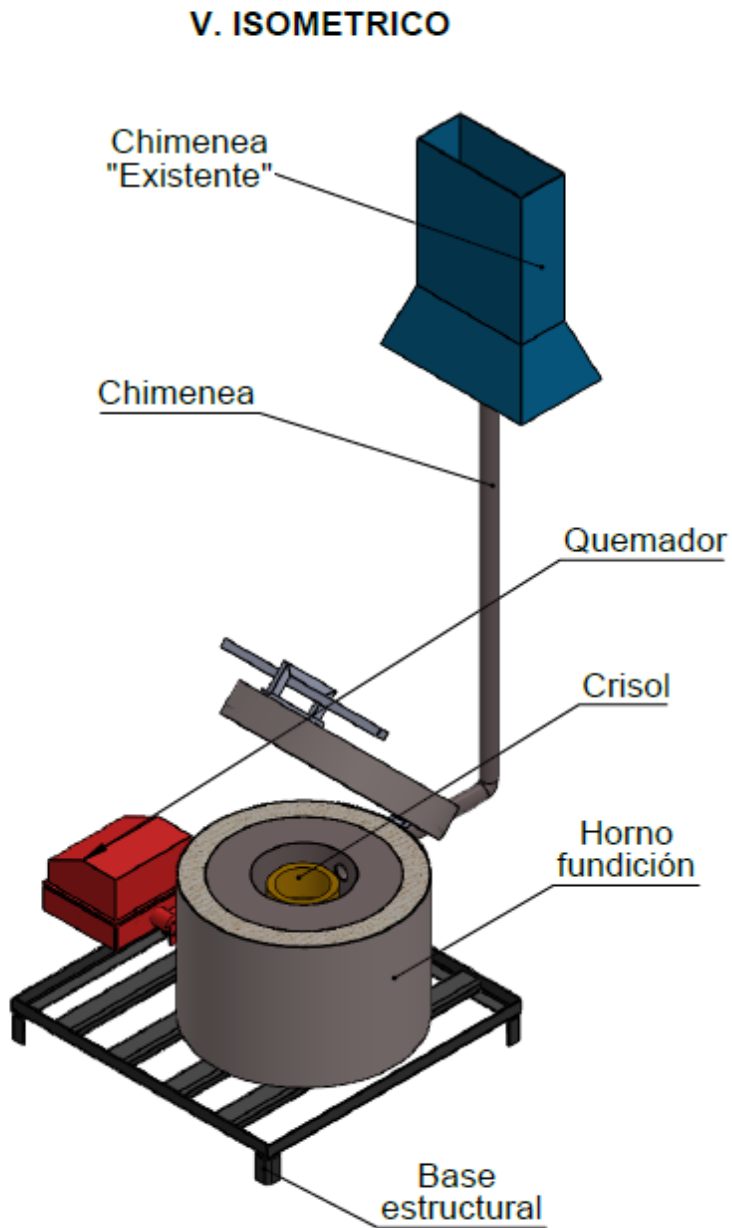


V. LATERAL

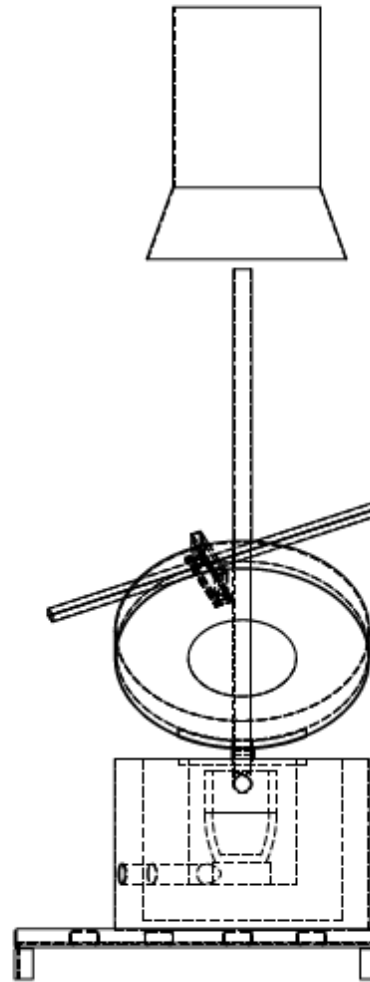


	NOMBRE	FECHA	TITULO
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN
VERIF.			
APRO.			N° DIBUJO
MAT.			ENSAMBLAJE DEL HORNO
			ESCALA: 1:20
			HOJA 10 DE 11

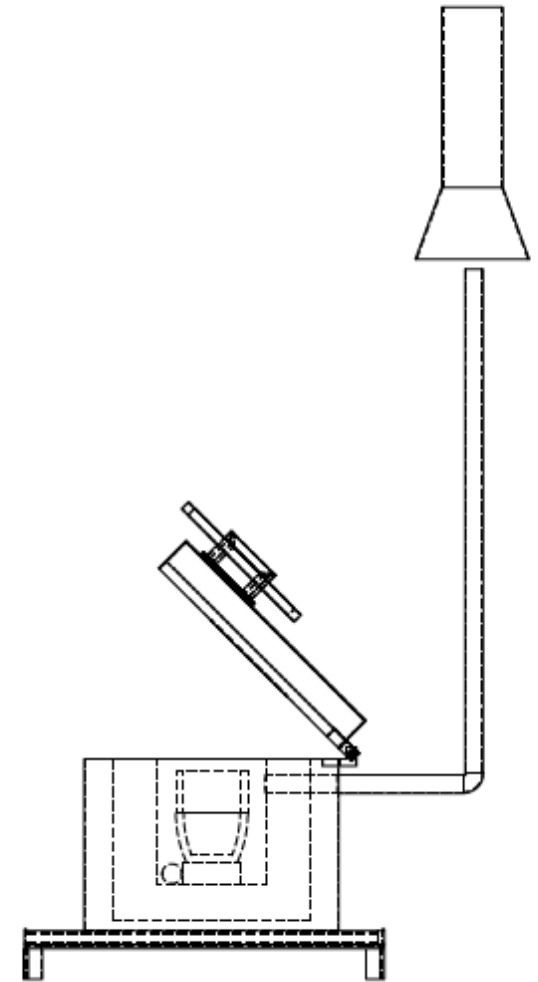
A4



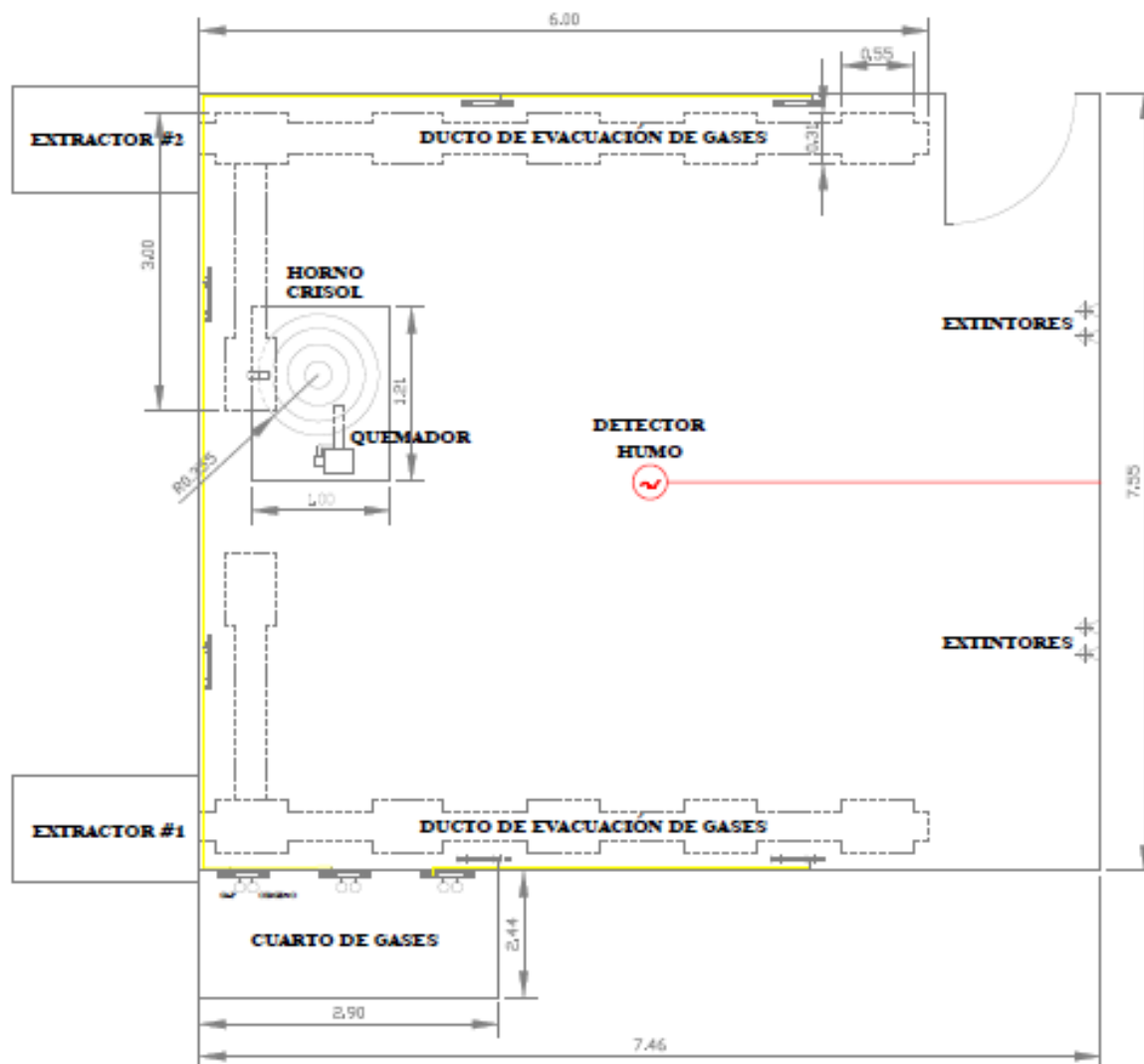
V. FRONTAL



V. LATERAL



	NOMBRE	FECHA	TITULO	
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN	
VERIF.				
APRO.			N° DIBUJO	A4
MAT.			ENSAMBLAJE DEL HORNO	
			ESCALA: 1:20	HOJA 11 DE 11



CÓDIGO: LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN CUARTO DE GASES	ÁREA: LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA				ESCALA: 1/1
PROYECTO ARQUITECTÓNICO: _____	RESPONSABILIDAD TÉCNICA: ING. CUSTODIO TAPIA	PROYECTADO: ESPOL	CONSULTA: _____	LINDA: 1/1	_____
Fecha: ABRIL 2020	Dibujo: _____	Depto: DARY O. JUAN A.	Proyecto: _____	_____	



Cuarto de gases “vista frontal”



Cuarto de gases “Líneas de tuberías”



Laboratorio Manufactura



Laboratorio Manufactura

APÉNDICE B

OPERACIÓN DEL EQUIPO

Operación del equipo

Se presenta el procedimiento para el uso del equipo, el cual se recomienda sea operado por mínimo 3 personas.

Antes del uso del equipo

Se recomienda realizar una breve inspección de fugas las cuales se pueden detectar por el olor característico del GLP especialmente en las cercanías de las válvulas y tuberías de suministro.

Se recuerda además que parte del mantenimiento planificado de los equipos debe realizar una inspección más minuciosa de las líneas de suministro.

Apertura y cerrado de la tapa del horno

La manipulación de este elemento del horno se realiza de forma manual entre dos personas. Para minimizar el riesgo de quemaduras a los operadores se dispuso que no exista contacto directo con el horno utilizando una barra metálica para levantar la tapa.

Se debe mencionar que la tapa tiene una masa aproximada de 5.4 Kg, valor que no debería representar impedimento para poder ser levantada por dos estudiantes. La altura máxima que se debe levantar la barra para elevar la tapa es aproximadamente de 1.4 metro medida desde la base del horno.

A continuación, muestra el proceso de apertura y cerrado de la tapa del horno:

- a) Una persona introduce la barra en el agujero de la agarradera.
- b) Otra persona la sostiene por el extremo opuesto.
- c) Entre ambas personas levantan la tapa cuidadosamente hasta alcanzar aproximadamente los 90°.
- d) Una tercera persona, preferiblemente con experiencia previa realiza el retiro del crisol.
- e) Luego de que haber sido retirado el crisol cerrar la tapa con la precaución de no dejarla caer.
- f) Retirar la barra metálica.

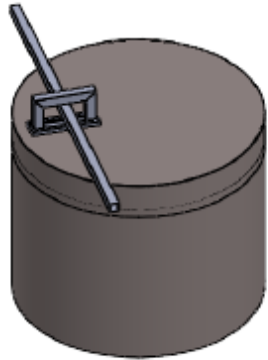
Encendido del equipo

- Encargar a dos personas para la apertura de la tapa del horno.
- La tercera persona ingresar el crisol al hogar del horno, posicionándolo lo más centrado posible y luego añadir el metal a fundir dentro del crisol.
- Cerrar la tapa con precaución de no dejarla caer.
- Abrir la válvula reguladora de presión hasta alcanzar 14 Kpa (140 mbar)
- Abrir la válvula de paso.
- Encender el quemador.

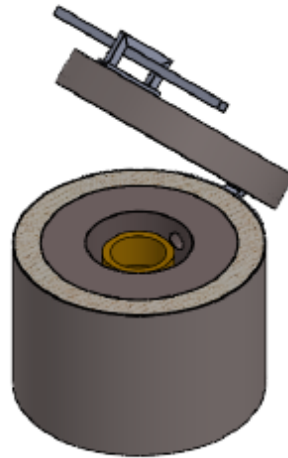
Apagado del equipo

- Apagar el quemador
- Cerrar válvula de paso
- Cerrar la válvula reguladora de presión.
- Entre dos personas abrir la tapa.
- La tercera persona retirar el crisol con la ayuda de la pinza de crisol.
- Cerrar la tapa.
- Verter el metal fundido.

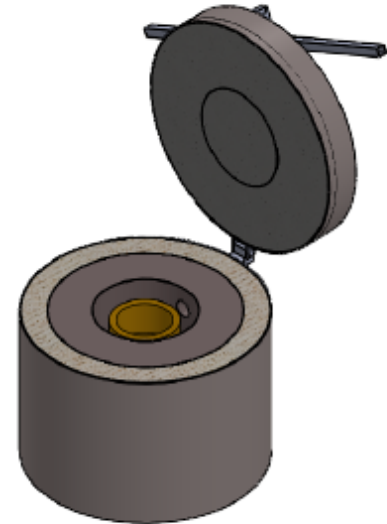
APERTURA DE TAPA POSICIÓN I



APERTURA DE TAPA - POSICIÓN II



APERTURA DE TAPA - POSICIÓN III



	NOMBRE	FECHA	TITULO
DIB.	DANNY QUIMI B. JUAN ALVAREZ C.		DISEÑO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN
VERIF.			
APRO.			N° DIBUJO
MAT.			HORNO PARA FUNDICIÓN - APERTURA DE TAPA
			ESCALA: 1:20
			HOJA 1 DE 1

A4

APÉNDICE C

COTIZACIONES



PROFORMA

PARA: TRANSAMARINA
 ATENCION: DANNY QUIMÍ
 RUC:
 FECHA: 21 de agosto, 2020
 PROF. # GYE-JS-2020-0821

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
2	ud	SACO DE CONCRETO AISLANTE KAT O LITE 26 LI PLUS(25KG) HWI	\$ 95.00	\$ 190.00
4	ud	ROLLO DE FIBRA CERÁMICA 2"X24"X150" DENS. 128KG/M3 HP-8-2 ZIBO	\$ 95.00	\$ 380.00
4	ud	ROLLO DE FIBRA CERÁMICA 1"X24"X300" DENS. 128KG/M3 HPS-8-1 ZIBO	\$ 95.00	\$ 380.00

SUMAN	\$ 950.00
Descuento 10%	\$ 95.00
SUB TOTAL	\$ 855.00
IVA 12%	\$ 102.60
TOTAL	\$ 957.60

TÉRMINOS Y CONDICIONES	
Validez de la Oferta:	5 días laborables
Forma de Pago:	Contado
Tiempo de Entrega:	Inmediata


Para pagos depositar en la Cuenta Corriente #0050203158 Banco Guayaquil *o* #5043907 Banco Bolivariano de Comercial Importadora J. J. Medina Cia. Ltda y enviarnos el pago al mail para coordinar el envío de su pedido.

Para transferencias los mismos datos, nuestro RUC 0990021805001

ASESOR: JUAN SÁNCHEZ

CEL. 0994073147 / 0990120392

juan.sanchez@jjmedina.com.ec

 TECNOVAPOR S.A.S.	Fabricación de calderas - Instalaciones auxiliares para calderas, condensadores, recalentadores, acumulador de vapor - recuperadores de gases sacabarros	Cot: Quito-TEC00525
		Telefax: 022250219
		RUC: 17068566790001
		info@tecnovapor.com.ec
		19 - Aug -2020

Cliente: Danny Quimi

RUC:

Teléfono:

Dirección

Tecnovapor se complace en presentar la siguiente cotización

CANT	UND	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	VALOR U.	VALOR T.
1	UND	TEC Q-065	Quemador de gas BRENSLER / BRG 80	\$ 625,00	\$ 625,00
1	UND	TEC VR-085	Reguladora Presión	\$ 23,50	\$ 23,50
1	UND	TEC RP-010	Válvula de seguridad	\$ 17,50	\$ 17,50
4	UND	TEC VP-005	Válvula de bola 1/2"	\$ 7,50	\$ 30,00

TÉRMINOS Y CONDICIONES

	Sub Total \$	696,00
Los productos de importación indicados en esta propuesta requieren un anticipo del 30%. En caso de cancelación de la Orden de Compra. TECNOVAPOR se quedará con el valor del anticipo por gastos operativos y penalidades del fabricante.	Dscto 0%	
	Sub Total \$	696,00
	IVA 12% \$	83,52
	Total \$	779,52

INFORMACIÓN ADICIONAL

Validez de la oferta: 15 Díaz

Aceptamos: Visa, MasterCard, Diners, American Express, Transferencia bancarias y/o depósitos a las cuentas corriente de la empresa.

Atentamente
ANDRES MEJÍA PALACIO
 ameja@tecnovapor.com.ec
 0967029755
 Asesor (a) comercial



MAQUINARIAS HENRIQUES C.A.

"La Perfección es nuestra meta. La excelencia se tolera"

Somos Contribuyentes Especiales
Resolución No. 8925

20 DE AGOSTO DE 2020

Cotización No.: COT-00391881-1
Condiciones de pago : CR30

Estimados Señores:
TRANSMARINA C.A.

Atencion:

Tenemos el agrado de presentar a ustedes nuestra cotización de mercaderías de acuerdo a sus requerimientos:

<u>CODIGO</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNIT.</u>	<u>% DESC.</u>	<u>TOTAL</u>
CIDIU003-V	CRISOL A-8 DE 6.1/4"	1.00	UND 52.560	10.00	47.30
MTVEU002	CONCRETO REFRACT CERCAST 2900 25KG (1594°C)/LEA10214P0025	2.00	SAC 59.500	10.00	107.10
MTSMU00053	MANTA F/CERAM 1" 1260°C 7620X610MM (BLB/P3)	1.00	CAJ 125.200	10.00	112.68
MNWIU00000433	PFQ169 MAN 0/100 PSI DIA2.5" R1/4" GLICERINA/INOX	1.00	UND 47.780	10.00	43.00

SUBTOTAL \$	310.08
% IVA	37.21
TOTAL USD \$	347.29

Observaciones :

Plazo Entrega : Inmediato salvo venta previa, una vez recibida su orden de compra
Validez de la Oferta: 7 días calendario.

Atentamente,
NELSON ZURITA
nzurita@maquinarias-henriques.com
Guayaquil: (04) 5010070 - 6000700 Quito: (02) 6001200 - 3598930

Transporte a ciudades fuera de Guayaquil y Quito corren por cuenta del Cliente. MHCA se hará responsable de la mercadería hasta entregarla al transportista, en lo posterior será responsabilidad del cliente.

VENDEDOR :ZN01 DIGITADOR :krosa

Los ítems descritos han sido validados por el cliente bajo su responsabilidad al momento de la compra.
Todos los productos están sujetos a los términos de garantía limitada publicados en nuestra página web :
www.maquinarias-henriques.com





**IMPORT ACEROS INDUSTRIA
METALMECANICA**

RUC: 1792628431001
Dirección: N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de
Selis
Celular: 0997 800 636 099 126 7562
www.importaceros.com
info@importaceros.com.ec

Cliente: Danny Quimi
R.U.C.:
Dirección:
Telefonos: /

Cotización

CT00034631

PBX: 2 486 287

Fecha: 10-09-2020

Descripción	Cantidad	P.V.P	% Dcto	Valor Neto	Valor Total
TUBO CUADRADO INOXIDABLE 50*2 (2*2)	1.00	71.28	0.00	71.28	71.28
CORREA G 80*40*15*3	1.00	21.62	0.00	21.62	21.62

Peso Total Kgs : 42.01 Peso Total QQ : 0.92

Favor girar cheque cruzado a nombre de IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA

Not: **Ciento Cuatro Con 5/100**

SubTotal: 92.90
Descuentos: 0.00
Valor Neto.: 92.90
I.V.A.: 11.14

*****104.04

APROBADO:



IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA

RUC: 1792628431001
Dirección: N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de
Selis
Celular: 0997 800 636 099 126 7562
www.importaceros.com
info@importaceros.com.ec

Cotización

CT00033264

PBX: 2 486 287

Cliente: DANNY KIMMY
R.U.C.:
Dirección:
Telefonos: /

Fecha: 21-08-2020

Descripción	Cantidad	P.V.P	% Dcto	Valor Neto	Valor Total
ACERO INOXIDABLE MATE 304 2B 3MM	1.00	190.39	0.00	190.39	190.39
ACERO INOXIDABLE 430 2B BRILLANTE 3.0 1.22*2.44 MT	1.00	114.29	0.00	114.29	114.29

Peso Total Kgs : 140.22 Peso Total QQ : 3.08

Favor girar cheque cruzado a nombre de IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA

son: "Trescientos Cuarenta Y Uno Con 24/100"

SubTotal:	304.68
Descuentos:	0.00
Valor Neto:	304.68
I.V.A.:	36.56
(=) Total Cotizado:	*****341.24

APROBADO:

APÉNDICE D

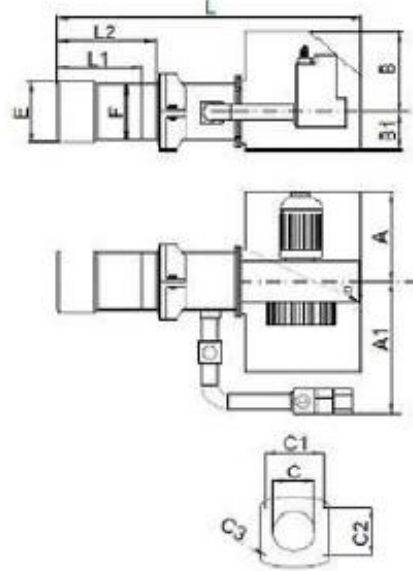
FICHAS TÉCNICAS

BRENSLER TEK KADEMELİ GAZ BRÜLÖRLERİ (BRG SERİSİ)

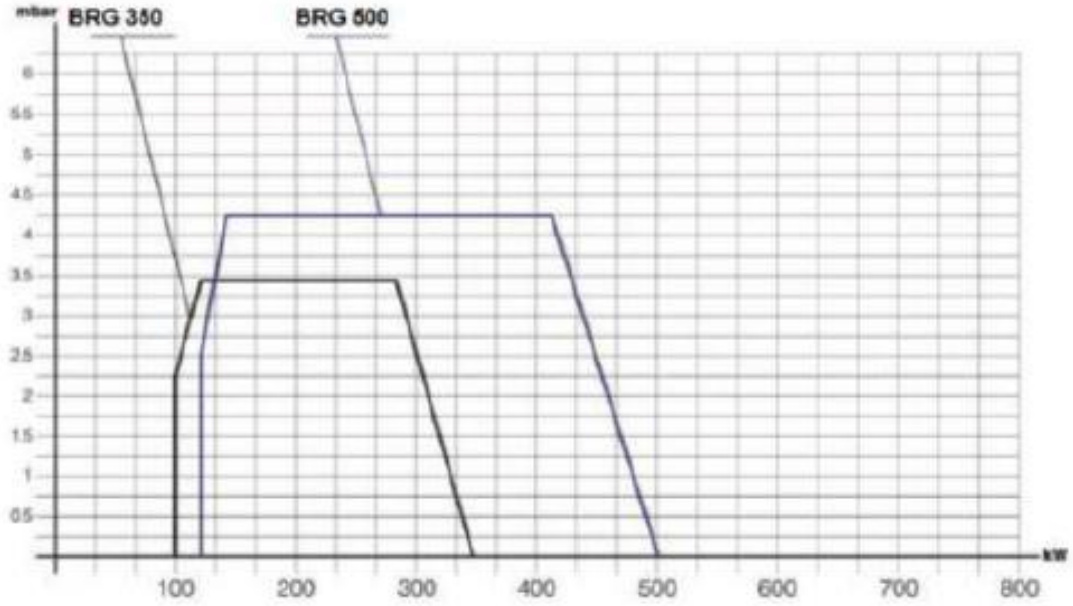
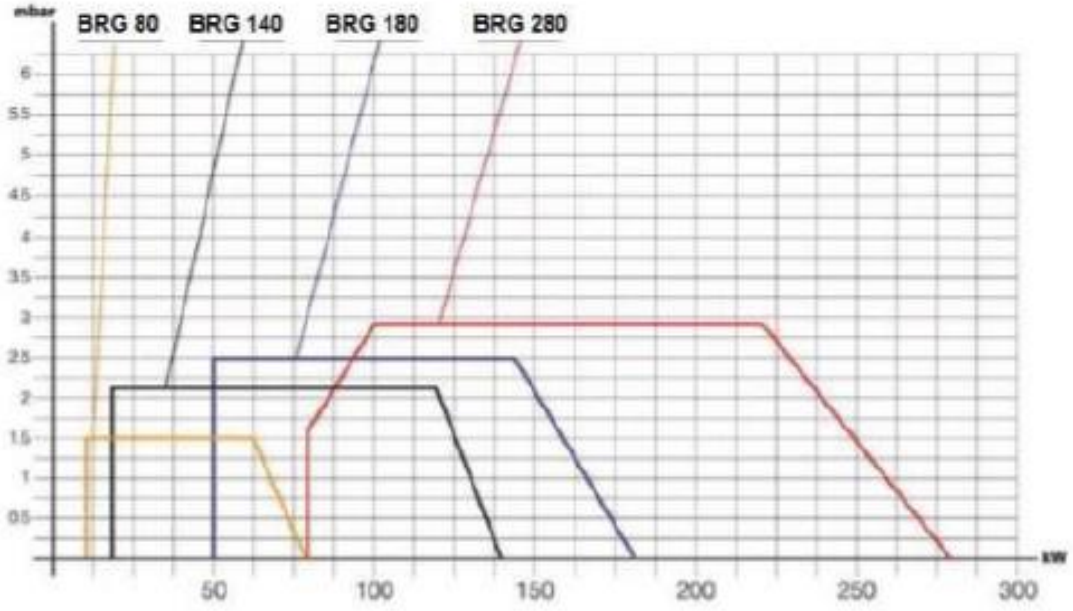


Teknik Özellikler

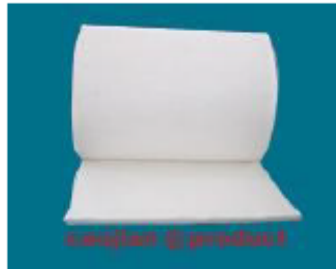
- 80 – 500 kW/h arası kapasitelerde modeller mevcuttur.
- Tek kademeli çalışabilme özelliğine sahiptir.
- Farklı yanma odalarında uyumlu çalışabilme özelliğine sahiptir.
- Özel tasarım karıştırıcı grubu sayesinde, optimum hava yakıt karışımı elde ederek başta azotoksit (NOx) gazları olmak üzere emisyon gaz miktarlarını minimize etmektedir.
- Hava oranını hava girişinde ve yanma başlığında manuel olarak optimum ayarlama özelliğine sahiptir.
- Brülörün ateşleme grubu (türbülötör, elektrod, gaz silindiri), brülörü prosesten ayırmadan kolay servis imkanı sağlamaktadır.
- Kompakt ölçüleri sayesinde dar alanlarda kolay montaj ve işletme şartları sağlamaktadır.
- Yüksek basınçlı fanı sayesinde, yüksek yanma odası ve baca direnci karşısında verimli çalışabilme özelliğine sahiptir.



MODEL	A	A1	B	B1	C	C1	C2	C3	D	E	F	L	L1	L2	NET AĞIRLIK
BRG 80	150	190	200	65	105	115	105	M6	R320	75	90	415	65	125	11 kg
BRG 140	180	170	210	70	105	115	105	M6	R340	90	90	490	80	150	14 kg
BRG 180	180	170	210	70	130	135	125	M8	R340	114	114	560	100	190	18 kg
BRG 280	280	300	240	90	130	135	125	M10	R460	114	114	670	100	190	26 kg
BRG 350	280	300	240	90	160	160	150	M12	R460	145	140	690	110	210	30 kg
BRG 500	280	320	290	110	160	160	150	M12	R570	155	140	940	170	390	40 kg



BRÜLÖR MODELİ	KAPASİTE						ELEKTRİK BESLEMESİ	MOTOR kW	GAZ GİRİŞ BASINCI mbar
	kW		kcal / h		m ³ / h				
	min.	max.	min.	max.	min.	max.			
BRG 80	18	80	8.600	64.500	1,04	7,82	1N - 50 Hz - 230 V	0,25	21 - 300
BRG 140	18	120	15.480	103.200	1,88	12,51	1N - 50 Hz - 230 V	0,25	21 - 300
BRG 180	50	180	43.000	154.800	5,21	18,76	1N - 50 Hz - 230 V	0,25	21 - 300
BRG 280	80	280	68.800	240.800	8,34	29,19	1N - 50 Hz - 230 V	0,37	21 - 300
BRG 350	100	350	86.000	309.600	10,42	37,53	1N - 50 Hz - 230 V	0,37	21 - 300
BRG 500	110	500	94.600	430.000	11,47	52,12	1N - 50 Hz - 230 V	0,55	21 - 300



CERAMIC FIBER BLANKET

*Ceramic Fiber Spun Blanket (Double-needled)

Product Characteristic:

1. Low thermal conductivity, low heat loss.
2. Low density, low heat storage.
3. Double-needled, with excellent elasticity
4. Excellent elasticity and tensile strength.
5. Excellent high temperature resistance.
6. Wide and easy to install.
7. Excellent sound-absorb capability.

Application Range:

1. Insulation materials of tubes and heat equipment in the industry of Metallurgy and Petrochemical.
2. Insulation materials of furnace, machine and tubes in the industry of electric power.
3. The insulation and seal materials of furnace expanded gaps, furnace door, furnace top lid, etc.
4. Back-lining and paper lining material high- temperature furnace with complete ceramic fiber structure.
5. Insulation materials in the production of shipping.

KAST-O-LITE® 26 LI PLUS



Product Data

109: 5866

Description: 2600°F Low-Iron Insulating Castable.

- Features:
- Meets the demands of severe furnace environments.
 - Low iron content minimizes destructive CO disintegration attack by reducing furnace atmospheres.
 - High strengths reduce cracking from mechanical abuse or steel shell flexing.
 - High alumina content improves maximum service temperature.
 - Lower water content for placement reduces internal steam pressure during initial heatup.
- Uses:
- Reheat furnace floor backup and aluminum furnace roof backup.
 - Boilers, petrochemical oil heaters, and air heaters.
 - Furnace stacks and flues.

Chemical Analysis: Approximate (Calcined Basis)

Silica (SiO ₂)	39.1%
Alumina (Al ₂ O ₃)	46.3%
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	1.3%
Titania (TiO ₂)	2.0%
Lime (CaO)	9.9%
Magnesia (MgO)	0.4%
Alkalies (Na ₂ O+K ₂ O)	1.0%

Physical Data (Typical)

	Conventional Cast/Poured
Maximum Service Temperature	2600°F (1425°C)
Material Required	86 lb/ft ³ (1.38 g/cm ³)
Bulk Density	lb/ft ³ (g/cm ³)
After 220°F (105°C)	90 to 100 (1.44 to 1.60)
After 1500°F (815°C)	86 to 96 (1.38 to 1.54)
Modulus of Rupture	lb/in. ² (MPa)
After 220°F (105°C)	700 (4.8)
After 1500°F (815°C)	300 (2.1)
After 2000°F (1095°C)	350 (2.4)
Cold Crushing Strength	lb/in. ² (MPa)
After 220°F (105°C)	2,500 to 3,500 (17.2 to 24.1)
After 1500°F (815°C)	1,100 to 2,100 (7.6 to 14.5)
After 2000°F (1095°C)	1,500 to (10.3)
Permanent Linear Change	
After 220°F (105°C)	None
After 1500°F (815°C)	0.0 to -0.3%
After 2000°F (1095°C)	-0.4%
After 2500°F (1370°C)	+1.1%
Thermal Conductivity	Btu-in/hr-ft ² -°F (W/m-°C)
At 400°F (205°C)	3.6 (0.52)
At 800°F (425°C)	3.4 (0.49)
At 1200°F (650°C)	3.5 (0.50)
At 1600°F (870°C)	3.7 (0.53)
At 2000°F (1095°C)	4.0 (0.58)

KAST-O-LITE® 26 LI PLUS



Product Data

Particle Size

Maximum Grain Size 4 Mesh (Tyler)

Less than 1%

Note: The test data shown are based on average results on production samples and are subject to normal variation on individual tests. The test data cannot be taken as minimum or maximum values for specification purposes. ASTM test procedures used when applicable.

Mixing and Using Information (Water calculated at 8.337 lb/gallon)	55 lb bag	1000 lb bag	1500 lb bag
Water Required—Hand Casting/Pouring (Weight 20.0%)			
Pounds	11.0	200.0	300.0
Gallons	1.3	24.0	36.0
Liters	5.0	90.6	135.9

Working Time 20 minutes

For detailed mixing and using instructions, contact your HWI representative or visit www.thinkHWI.com.

Heatup/Dryout Schedule

See HWI Dryout Schedule 4—PLUS Rated Lightweight Castables and Gunning Castables.

Installation Guidelines

See HWI Installation Guidelines IC-1—Insulating Castables—Standard.

Shelf Life (Under Proper Storage Conditions) 365 days

TECHNICAL INDEX:

Item Product		COM	ST	HP	HZA	HZ
Specification Tem(°C/°F)		983/1800	1260/2300	1260/2300	1350/2400	1430/2600
Working Tem(°C)		950	1050	1100	1200	1350
Color		white	white	white	white	white
Fiber diameter:(μm)		2-4	2-3.5	2.5-3.5	2.5-3.5	2.5-3.5
Melting Point(°C/°F) :		1648/3000	1760/3200	1760/3200	1760/3200	1760/3200
Thermal Conductivity(W/m.k) (128kg/m ³)	200 °C	0.045-0.060	0.045-0.060	0.045-0.060	0.051-0.070	0.052-0.070
	400 °C	0.085-0.110	0.085-0.110	0.085-0.110	0.095-0.120	0.095-0.120
	600 °C	0.152-0.20	0.152-0.20	0.152-0.20	0.164-0.210	0.164-0.210
24 hours, the Shrinkage On Heating(°C \leq 3%)		950°C	1000°C	1100°C	1200°C	1350°C
Leach able Chlorides		-	<10 ppm	<10 ppm	<10 ppm	<10 ppm
Chemical composi-tion (%)	Al ₂ O ₃	41-44%	43-46%	46-49%	46-45%	39-31%
	SiO ₂	52-55%	53-57%	53-57%	45-48%	53-55%
	ZrO ₂	—	—	—	8-10%	15-17%
	Fe ₂ O ₃	1.2	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
	Other	<1.5%	<0.5%	<0.5%	<0.5%	<0.5%
Shot content (%)		≤ 15				
Tensile strength(MPa)		≥ 0.04 (Double-needled Blanket , density 96/128kg/m ³ , tensile strength ≥ 0.06 MPa)				
Specific Heat@1000°C (2000°F)		1130J/kg°C(0.27Btu/lb°F)				
Density/kg/m ³ (lb/ft ³)		64.9d,128,160(4, 8,3,10lb)				
Size		7200(3600) \times d10 \times 13/20/25/50mm The size creates according to the demand of the customer				

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		304	316	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm³)	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm²)	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10⁻⁶ C⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm²)	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A₅) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCVL / KVL	(J/cm²)	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ₁/10³/t (N/mm²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

* Son aceptables tolerancias de un 1%

PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304

APLICACIONES

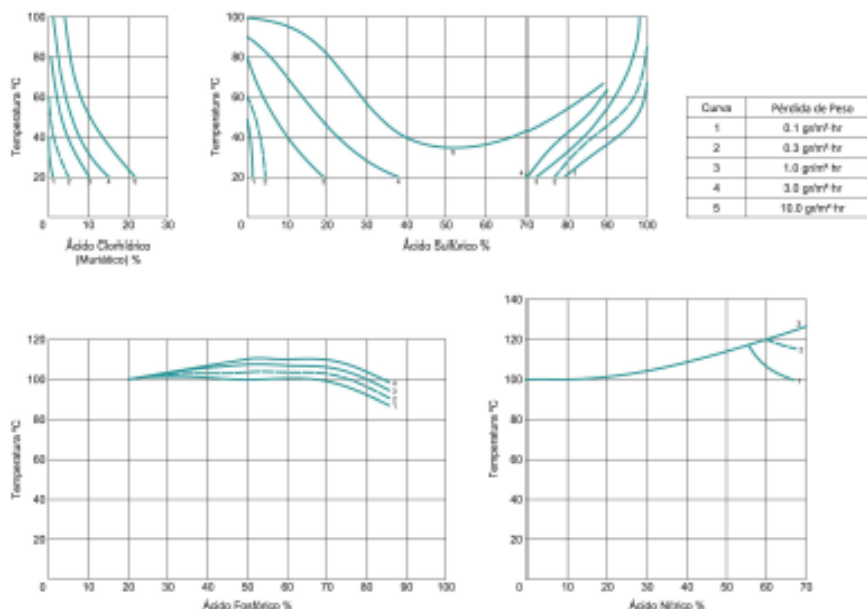
Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para arquitectura, industria automotriz y para la fabricación de utensilios domésticos. Además es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de alimentación y para la industria química de producción del nitrógeno.

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 304

Acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.) Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.

Resistencia a la corrosión

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0 gr/m²-hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m²-hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.





Job Name:	
Job Location:	
Engineer:	
Contractor:	
Tag:	
PO#:	
Rep:	
Wholesale Dist.:	

DESCRIPTION

The Apollo International™ 94ALF-A Lead Free* Forged Brass Ball Valve combines reliable operation with maximum economy. Featuring multi-agency approvals, the 94ALF-A is ideal for gas, fuels, fire protection and general plumbing and HVAC applications including potable water. Valves are ANSI 3rd party lead free* certified.

FEATURES

- EZ Solder™ Lead Free Materials**
- Distinctive White "Lead Free" Handle Grip
- 2-Piece, Full Port Design
- Blowout-Proof Stem
- 100% Factory Testing
- Adjustable Stem Packing Nut
- Multiple Agency Approvals
- Stem Seal O-Ring (Solder Version 1/2" - 2")

PERFORMANCE RATING

- 600 CWP - 1/4" to 2"
- 400 CWP - 2-1/2" to 4"
- Temperature Range: 0°F to 400°F

APPROVALS

- MSS SP-110 - Ball Valves
- NSF/ANSI 61 Water Quality
- NSF/ANSI 372 Lead Free
- IAPMO IGC 157 (cUPC)

CSA LISTED

- (File # Z26234) per the following standards:
- ANSI Z21.15 (1/2 psi) (CSA 9.1) (1/4" - 2")
- ASME B16.44 (5 psi) (CR91-002) (1/4" - 2")
- ASME B16.33 (125 psi) (CGA 3.16) (1/4" - 2")

UL LISTED

- Guides YQNZ, YRBX, YRPV, YSDT and MHKZ (1/4" - 4" NPT only)
- UL 258 - VQGU Fire Protection Trim & Drain 175psi max (1/4" - 2")

FM LISTED

- FM 140 Fire Protection Quick Opening Valves

*Gas approvals apply to NPT models only

STANDARD MATERIALS LIST

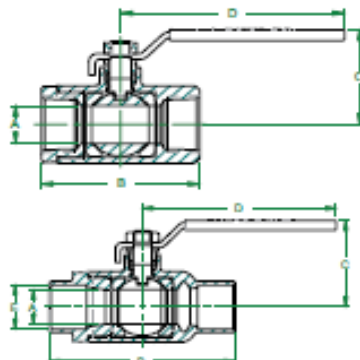
BODY	Lead Free Brass (DZR)
RETAINER	Lead Free Brass (DZR)
BALL 1/4" - 1"	Lead Free Brass (DZR), Chr. Plated
BALL 1-1/4" - 4"	SS Type 316
STEM	Brass C36000
STEM SEAL O-RING	EPDM
SEATS	PTFE
STEM PACKING	PTFE
GLAND NUT	Brass, C37700
SEAL	PTFE
HANDLE	Steel, Plated (with PVC grip)
HANDLE NUT	Steel, Plated

**94ALF-2xx intended for soft solder installation using solders with melting temperature < 500°F.

DIMENSIONS

PART NUMBER	SIZE (IN.)	DIMENSIONS (IN.)					WT. (LB.)	KIT OPTIONS	
		A	B	C	D	E		2-1/4" STEM EX. POSITION + HANDLE 3/16"	REPLAC. RIGHT LEVER HANDLE
NPT									
94ALF-101-01A	1/4"	0.39	1.76	1.73	3.54	-	0.3	78217101	W234700
94ALF-102-01A	3/8"	0.39	1.76	1.73	3.54	-	0.3		
94ALF-103-01A	1/2"	0.58	2.05	2.04	3.54	-	0.4	78217201	W234800
94ALF-104-01A	3/4"	0.75	2.36	2.26	3.78	-	0.7	78217301	W234900
94ALF-105-01A	1"	0.95	2.76	2.58	4.53	-	1.1	78217401	W235000
94ALF-106-01A	1-1/4"	1.26	3.31	3.05	4.53	-	1.6	78217501	W235100
94ALF-107-01A	1-1/2"	1.58	3.66	3.37	5.51	-	2.4	78217601	W235200
94ALF-108-01A	2"	1.97	4.18	3.70	6.30	-	3.4		W283000
94ALF-109-01A	2-1/2"	2.52	5.38	4.65	8.66	-	7.6	78217701	W235300
94ALF-100-01A	3"	2.95	6.04	4.97	8.66	-	9.3		
94ALF-104-01A	4"	3.95	7.39	6.13	11.02	-	16.9	78217801	W273800
SOLDER									
94ALF-203-01A	1/2"	0.58	2.05	1.84	3.54	0.63	0.4	78217201	W234800
94ALF-204-01A	3/4"	0.75	2.75	2.14	3.78	0.88	0.7	78217301	W234900
94ALF-205-01A	1"	0.95	3.31	2.45	4.53	1.13	1.1	78217401	W235000
94ALF-206-01A	1-1/4"	1.26	3.82	3.04	4.53	1.38	1.4	78217501	W235100
94ALF-207-01A	1-1/2"	1.58	4.43	3.17	5.51	1.63	2.2	78217601	W235200
94ALF-208-01A	2"	1.97	5.38	3.49	6.30	2.13	3.0		W283000
94ALF-209-01A	2-1/2"	2.52	6.28	4.66	8.66	2.63	6.4	78217701	W235300
94ALF-200-01A	3"	2.95	7.15	4.87	8.66	3.13	8.5		
94ALF-20A-01A	4"	3.95	9.28	5.87	11.02	4.13	15.8	78217801	W273800

*LEAD FREE: The wetted surfaces of this product shall contain no more than 0.25% lead by weighted average. Complies with Federal Public Law 111-350. ANSI 3rd party approved and listed.



Technical data

ProSens



Line	ProSens 100		ProSens 200		ProSens 400		ProSens 600	
Model	QM-100	QM-211	QM-212	QM-213	QM-421 / QM-422	QM-612	QM-621 / QM-622	
Power supply	24V DC (11 + 36V DC), power consumption: 2.5 W max.							
Display	none or graphic LCD, 128 x 64 points, with backlight							
Type of probe	none	radial integrated, length 40 mm, \varnothing 18 mm, stainless steel 316L, PTFE filter cap	radial integrated, length 90 mm, \varnothing 18 mm, stainless steel 316L, PTFE filter cap	radial integrated, length 145 mm, \varnothing 18 mm, stainless steel 316L, PTFE filter cap	axial integrated, L=200 or 300 mm, \varnothing 12 mm, stainless steel 316L probe and filter cap	cable probe L=90 mm, \varnothing 18 mm, stainless steel 316L, PTFE filter cap	cable probe L=200 or 300 mm, \varnothing 12 mm, stainless steel 316L probe and filter cap	
Probe parameters	none	temp.: measuring range -30 + 80°C, typ.err. \pm 0.5°C @ -10 + 80°C temp. & humidity: measuring range -30 + 80°C, typ.err. \pm 0.2°C @ 10 + 60°C (\pm 0.4°C @ -30°C; \pm 0.7°C @ 120°C); 0 + 100% RH; typ.err. \pm 1.8% RH (10 + 90% @ 25°C)	temp.: measuring range -30 + 105°C, typ.err. \pm 0.5°C @ -10 + 85°C temp. & humidity: measuring range -30 + 105°C, typ.err. \pm 0.2°C @ 10 + 60°C (\pm 0.4°C @ -30°C; \pm 0.7°C @ 120°C); 0 + 100% RH; typ.err. \pm 1.8% RH (10 + 90% @ 25°C)	temp.: measuring range -50 + 120°C, typ.err. \pm 0.5°C @ -10 + 85°C temp. & humidity: measuring range -40 + 120°C, typ.err. \pm 0.2°C @ 10 + 60°C (\pm 0.4°C @ -30°C; \pm 0.7°C @ 120°C); 0 + 100% RH; typ.err. \pm 1.8% RH (10 + 90% @ 25°C)	temp.: measuring range -50 + 120°C, typ.err. \pm 0.5°C @ -10 + 80°C temp. & humidity: temp. measuring range -40 + 120°C, typ.err. \pm 0.2°C @ 10 + 60°C (\pm 0.4°C @ -30°C; \pm 0.7°C @ 120°C); humidity measuring range 0 + 100% RH; typ.err. \pm 1.8% RH (10 + 90% @ 25°C)			
Connector & cable type	none			gland or 4 pin M 12 connector, cable, PUR or TPU covered (operating temp. -30 + +80°C) or TPE covered (operating temp. -30 + +120°C)			gland, cable 3m max., PUR covered, operating temp. -30 + +80°C or TPE covered, operating temp. -30 + +120°C	
Number of inputs	1 or 2 universal		0 or 1 universal					
Type of universal inputs	current: 0/4-20 mA; voltage: 0/1.5 V, 0/2-10V, 0-60 mV, 0-75 mV, 0-100 mV, 0-150 mV; RTD: Pt100, Pt500, Pt1000, measuring range: -100°C + 600°C thermocouple: type K, S, J, T, N, R, B, E; measuring ranges: -200°C + +1370°C (K); -50°C + +176.8°C (S); -2.10°C + +1200°C (J); -200°C + +400°C (T); -200°C + +1300°C (N); 5.0°C + +176.8°C (R); -250°C + +1820°C (B); -200°C + +1000°C (E) accuracy: 0.1% @ 25°C \pm one digit (inputs: current, voltage, millivoltage, thermistance, thermocouple K, J, E); 0.2% @ 25°C (thermocouple N), 0.5% @ 25°C (thermocouple S, T, R, B)							
Binary outputs	0, 1 or 2 electronic NO relays, 24V AC/35V DC, max. 200 mA							
Analogue outputs	0, 1 or 2: active current: operating range 0/4-20 mA (0-24 mA max.); passive current: isolated, operating range 4-20 mA (2.8-24 mA max.); active voltage: operating range 0/1-5V, 0/2-10V (0-11V max.)							
Communication interface	RS-485, 8N1 and 8N2, 1200 bit/s + 115200 bit/s, Modbus RTU, not galvanically isolated							
Operating temperature	-30°C + +80°C, case with electronics (out of range -20 + +70°C LCD and IR receiver turn off)							
Protection class	IP 67 (version without display); IP 65 (version with display)							
Case	wall mounted, 120 x 90 x 50 mm, material: ASA LURAN + polycarbonate							

Data presentation



No display version,
LED signaling



One measurement
display mode



Two measurements
display mode



Four measurements
display mode



Menu display mode



Device status information



ENVIRONMENTAL MONITORING & CONTROL

ProSens



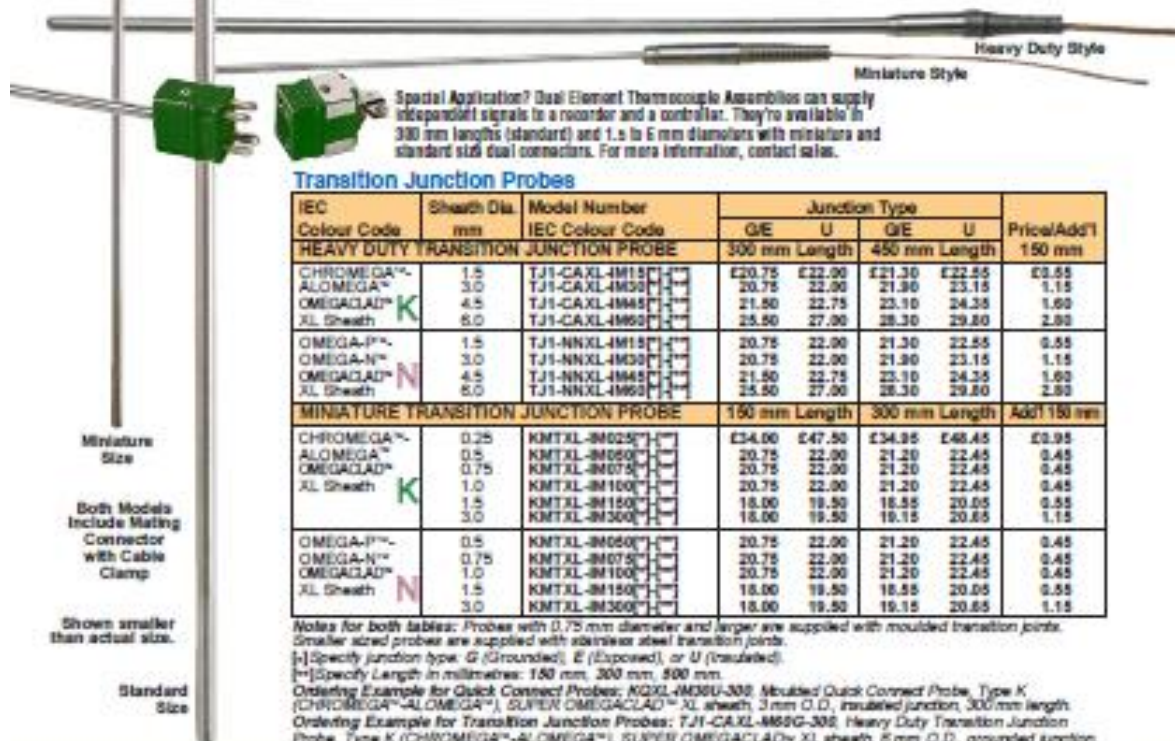
Measure,
Control and Log Data



Super OMEGACLAD™ XL Probes

Very Low Drift at High Temperatures

Meets Class 1 Specs! Super Accurate, Super Stable, Super Value!



- ✓ For Use Up to 1335°C
- ✓ 1150°C Continuous Use
- ✓ Excellent Long Term Stability at High Temperatures

- ✓ Probes Individually Pressure and Insulation Tested
- ✓ Excellent oxidation, Carburisation and Chlorination Resistance

Quick Connect Probes

ALL MODELS AVAILABLE FOR FAST DELIVERY!

IEC Colour Code	Sheath Dia. mm	Model Number IEC Colour Code	Junction Type				Price/Add'l 150 mm
			300 mm Length		450 mm Length		
STANDARD CONNECTOR			G/E	U	G/E	U	
CHROMEGLA™	1.5	KQXL-IM15	£17.50	£20.00	£18.05	£20.55	£3.55
ALOMEGA™	3.0	KQXL-IM30	18.00	20.00	19.15	20.15	1.15
OMEGACLAD™	4.5	KQXL-IM45	19.50	20.75	21.10	22.35	1.60
XL Sheath	8.0	KQXL-IM80	20.00	22.75	22.80	25.55	2.80
OMEGA-P™	1.5	NQXL-IM15	17.50	20.00	18.05	20.55	0.55
OMEGA-N™	3.0	NQXL-IM30	18.00	20.00	19.15	20.15	1.15
OMEGACLAD™	4.5	NQXL-IM45	19.50	20.75	21.10	22.35	1.60
XL Sheath	8.0	NQXL-IM80	20.00	22.75	22.80	25.80	2.80
MINIATURE CONNECTOR			150 mm Length		300 mm Length		Add'l 150 mm
CHROMEGLA™	0.25	KMQXL-IM025	£34.00	£47.50	£34.95	£46.45	£3.95
ALOMEGA™	0.5	KMQXL-IM050	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
OMEGACLAD™	0.75	KMQXL-IM075	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
XL Sheath	1.0	KMQXL-IM100	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
	1.5	KMQXL-IM150	18.00	19.50	18.55	20.05	0.55
	3.0	KMQXL-IM300	18.00	19.50	19.15	20.65	1.15
OMEGA-P™	0.5	NMQXL-IM050	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
OMEGA-N™	0.75	NMQXL-IM075	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
OMEGACLAD™	1.0	NMQXL-IM100	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
XL Sheath	1.5	NMQXL-IM150	18.00	19.50	18.55	20.05	0.55
	3.0	NMQXL-IM300	18.00	19.50	19.15	20.65	1.15

Spatial Application? Dual Element Thermocouple Assemblies can supply independent signals to a recorder and a controller. They're available in 300 mm lengths (standard) and 1.5 to 6 mm diameters with miniature and standard size dual connectors. For more information, contact sales.

Transition Junction Probes

IEC Colour Code	Sheath Dia. mm	Model Number IEC Colour Code	Junction Type				Price/Add'l 150 mm
			300 mm Length		450 mm Length		
HEAVY DUTY TRANSITION JUNCTION PROBE			G/E	U	G/E	U	
CHROMEGLA™	1.5	TJ1-CAXL-IM15	£20.75	£22.00	£21.30	£22.55	£3.55
ALOMEGA™	3.0	TJ1-CAXL-IM30	20.75	22.00	21.80	23.15	1.15
OMEGACLAD™	4.5	TJ1-CAXL-IM45	21.50	22.75	23.10	24.35	1.60
XL Sheath	8.0	TJ1-CAXL-IM80	25.50	27.00	28.30	29.80	2.80
OMEGA-P™	1.5	TJ1-NNXL-IM15	20.75	22.00	21.30	22.55	0.55
OMEGA-N™	3.0	TJ1-NNXL-IM30	20.75	22.00	21.80	23.15	1.15
OMEGACLAD™	4.5	TJ1-NNXL-IM45	21.50	22.75	23.10	24.35	1.60
XL Sheath	8.0	TJ1-NNXL-IM80	25.50	27.00	28.30	29.80	2.80
MINIATURE TRANSITION JUNCTION PROBE			150 mm Length		300 mm Length		Add'l 150 mm
CHROMEGLA™	0.25	KMTXL-IM025	£34.00	£47.50	£34.95	£46.45	£3.95
ALOMEGA™	0.5	KMTXL-IM050	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
OMEGACLAD™	0.75	KMTXL-IM075	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
XL Sheath	1.0	KMTXL-IM100	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
	1.5	KMTXL-IM150	18.00	19.50	18.55	20.05	0.55
	3.0	KMTXL-IM300	18.00	19.50	19.15	20.65	1.15
OMEGA-P™	0.5	KMTXL-IM050	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
OMEGA-N™	0.75	KMTXL-IM075	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
OMEGACLAD™	1.0	KMTXL-IM100	20.75	22.00	21.20	22.45	0.45
XL Sheath	1.5	KMTXL-IM150	18.00	19.50	18.55	20.05	0.55
	3.0	KMTXL-IM300	18.00	19.50	19.15	20.65	1.15

Notes for both tables: Probes with 0.75 mm diameter and larger are supplied with moulded transition joints. Smaller sized probes are supplied with stainless steel transition joints.

[J] Specify junction type: G (Grounded), E (Exposed), or U (Insulated).

[L] Specify Length in millimetres: 150 mm, 300 mm, 450 mm.

Ordering Example for Quick Connect Probe: KQXL-IM30U-300, Moulded Quick Connect Probe, Type K (CHROMEGLA™-ALOMEGA™), SUPER OMEGACLAD™ XL sheath, 3 mm O.D., insulated junction, 300 mm length.

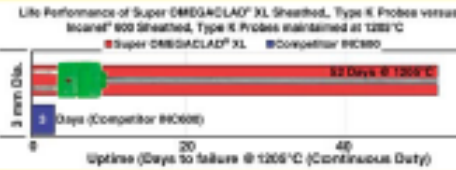
Ordering Example for Transition Junction Probe: TJ1-CAXL-IM50G-300, Heavy Duty Transition Junction Probe, Type K (CHROMEGLA™-ALOMEGA™), SUPER OMEGACLAD™ XL sheath, 6 mm O.D., grounded junction, 300 mm length.

Super OMEGA CLAD™ XL Probes

Lower your maintenance costs with Off-the-Shelf long-life Thermocouple Probes



THERMOCOUPLES



Long Life, Low Maintenance!

If your application operates at the punishing temperature of 1200°C, changing out failed thermocouples costs money in excessive maintenance, slows or cuts production, and can cause inconsistent product quality.

In head-to-head tests, Super OMEGA CLAD™ XL Thermocouple probes consistently achieve the best performance results. Our innovative temperature sensors last over 10 times longer when compared to competitors' Inconel® 600 sheathed probes of equal or larger diameters. Let OMEGA's leading edge products help engineer your next innovation!



1200°C? Replace 17 of theirs in 62 days or just one of ours!

In life-cycle lab testing, the Super OMEGA CLAD™ XL Sheathed, 3 mm Type K Probe operated continuously for 52 days at 1200°C while competitor's 3 mm Inconel® 600 Sheathed, Type K Probes lasted 3 days.*

*Results will vary on application and operating environment.

Super OMEGA CLAD™ XL probes are also available in a four-wire construction (two thermocouple junctions) with bare leads. These quality probes pass stringent insulation resistance (IR) checks and pressurized leak tests at 25 Bar.

NB12 Industrial head in Aluminium with IP67 rating. The head includes internal terminal block, M20 cable gland, and standard 1/4 inch BSPT process thread. (Shown smaller than actual size.)

Ordering Example for Dual Probes, multiply price by 1.75. TJ1-CAXL-IM60U-500-DUAL, Dual Super OMEGA CLAD™ XL heavy-duty transition junction probe, 3 mm Dia., Insulated, 500 mm: £23.15 x 1.75 = £40.50

Industrial Head Probes

IEC Colour Code	Sheath Dia. mm	Model Number IEC Colour Code	300 mm Length		600 mm Length		Price/Add'l 300mm
			G/E	U	G/E	U	
CHROMEGA™	1.5	NB11-CAXL-4M15 ^[1] - ^[2]	£30.00	£31.50	£31.15	£32.65	£1.15
ALOMEGA™	3.0	NB11-CAXL-4M30 ^[1] - ^[2]	30.00	31.50	32.30	33.80	2.30
OMEGA CLAD™	4.5	NB11-CAXL-4M45 ^[1] - ^[2]	31.00	32.00	34.20	35.20	3.20
XL Sheath	6.0	NB11-CAXL-4M60 ^[1] - ^[2]	33.50	35.00	39.10	40.60	5.60
OMEGA-P™	1.5	NB11-NNXL-4M15 ^[1] - ^[2]	30.00	31.50	£31.15	£32.65	£1.15
OMEGA-N™	3.0	NB11-NNXL-4M30 ^[1] - ^[2]	30.00	31.50	32.30	33.80	2.30
OMEGA CLAD™	4.5	NB11-NNXL-4M45 ^[1] - ^[2]	31.00	32.00	34.20	35.20	3.20
XL Sheath	6.0	NB11-NNXL-4M60 ^[1] - ^[2]	33.50	35.00	39.10	40.60	5.60

[1] Specify Head Style: 11 (NB11, Dimensions of C = 62 mm, H = 67 mm), 12 (NB12, Dim. of C = 82 mm, H = 87 mm).
 [2] Specify junction type: G (Grounded), E (Exposed), U (Insulated).
 [3] Specify Length in millimetres: 150 mm, 300 mm, or 600 mm.
 Ordering Example: NB11-CAXL-IM60G-300 Industrial Head Probe, NB11 Style Head, Type K (CHROMEGA™-ALOMEGA™) SUPER OMEGA CLAD™ XL sheath, 6 mm O.D., grounded junction, 300 mm length. Price: £33.50.



Utility Handle Probes

IEC Colour Code	Sheath Dia. mm	Model Number IEC Colour Code	Junction Types		Price/Add'l 300mm		
			300 mm Length	600 mm Length			
			G/E	U	G/E	U	
CHROMEGA™	1.5	KHXL-4M15 ^[1] -RSC ^[2]	£24.00	£29.00	£25.15	£30.15	£1.15
ALOMEGA™	3.0	KHXL-4M30 ^[1] -RSC ^[2]	24.75	29.50	27.05	31.80	2.30
OMEGA CLAD™	4.5	KHXL-4M45 ^[1] -RSC ^[2]	26.00	28.00	29.20	31.20	3.20
XL Sheath	6.0	KHXL-4M60 ^[1] -RSC ^[2]	27.50	29.00	33.10	34.60	5.60
OMEGA-P™	1.5	NHXL-4M15 ^[1] -RSC ^[2]	24.00	29.00	£25.15	£30.15	£1.15
OMEGA-N™	3.0	NHXL-4M30 ^[1] -RSC ^[2]	24.75	29.50	27.05	31.80	2.30
OMEGA CLAD™	4.5	NHXL-4M45 ^[1] -RSC ^[2]	26.00	28.00	29.20	31.20	3.20
XL Sheath	6.0	NHXL-4M60 ^[1] -RSC ^[2]	27.50	29.00	33.10	34.60	5.60

Junction Types



† 150 mm probes are also available at the same price of 300 mm probes.
 [1] Specify junction type: G (Grounded), E (Exposed), or U (Insulated).
 [2] Specify Length in millimetres: 150 mm, 300 mm, or 600 mm.
 Ordering Example: KHXL-IM60G-RSC-300, Utility Handle Probe, Type K (CHROMEGA™-ALOMEGA™), SUPER OMEGA CLAD™ XL sheath, 6 mm O.D., grounded junction, 300 mm length, supplied with a miniature thermocouple plug. £27.50.
 Inconel® is a registered trademark of Huntington Alloys Canada Ltd