

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE -QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDICIÓN
DE ALUMINIO CON UNA CAPACIDAD DE 15 KG/H A UNA TEMPERATURA DE
800 °C UTILIZANDO GLP.

AUTORES: - SUNTAXI LOACHAMIN
EDISON EDUARDO.
- TORRES RIASCOS
CARLOS DAVID.

DIRECTOR: ING. MILTON JAMI.

Quito, Octubre del 2014.

DECLARACIÓN

Nosotros, Edison Eduardo Suintaxi Loachamin y Carlos David Torres Riascos declaramos que el presente proyecto de tesis, aquí descrito es de nuestra autoría ya que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones, son de nuestra exclusiva responsabilidad y ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que consta al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

La Universidad Politécnica Salesiana, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y por la normativa institucional vigente.

QUITO, Octubre del 2014.

Edison Eduardo Suintaxi Loachamin

CI: 1719435784

Carlos David Torres Riascos

CI: 1714354360

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edison Eduardo Suntaxi Loachamin y Carlos David Torres Riascos , bajo mi supervisión.

Ing. Milton Jami.

DIRECTOR DEL PROYECTO.

AGRADECIMIENTO.

- Al Ing. Milton Jami por su apoyo y comprensión en la dirección de este proyecto de tesis.
- A todos los profesores y las secretarias de la Carrera de Ingeniería Mecánica por su amistad y colaboración para con nosotros.

DEDICATORIA

Al culminar esta etapa de mi vida quisiera dedicar esta tesis a mis padres Victoriano Suntaxi y Biviana Loachamin ya que con su apoyo y confianza contribuyeron para el cumplimiento de mis metas planteadas.

A todas las personas que me brindaron su amistad y confianza, ya que de una u otra manera, fueron partícipes para poder cristalizar mis sueños de ser Ingeniero Mecánico.

Edison

A mis padres Carlos Torres y Mercedes Riascos, que con su apoyo y esfuerzo depositado en mí, hacen posible el cumplimiento de mis metas para llegar a ser un profesional.

A mis hermanos, familiares y amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado, brindándome su aliento y confianza para que no decaiga en mis aspiraciones profesionales y salga adelante.

Carlos.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.....	XIII
PRESENTACIÓN.....	XIV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVI
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
ALCANCE.....	XVIII

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.	Fundición.....	1
1.1.1.	Breve reseña histórica.....	2
1.1.2.	Estado de la industria fundidora en el país.....	2
1.1.3.	Características.....	4
1.2.	Importancia de la fundición.....	5
1.3.	Situación actual de la fundición en el país.....	6
1.3.1.	Volumen de producción.....	6
1.4.	Tipos de fundición.....	7
1.4.1.	Piezas simples.....	7
1.4.2.	Piezas poco complejas.....	8
1.4.3.	Piezas de media complejidad.....	9
1.4.4.	Piezas complejas.....	9
1.4.5.	Piezas muy complejas.....	10
1.5.	Principales etapas en el proceso de fundición.....	11
1.5.1.	Modelaje.....	11
1.5.2.	Preparación de arenas.....	11
1.5.3.	Moldeo.....	12
1.5.4.	Confección de machos o noyos.....	13
1.5.5.	Acabado del molde.....	13
1.5.6.	Fusión.....	13
1.5.7.	Colada.....	14
1.5.8.	Desmolde.....	15
1.5.9.	Rebarba o acabado.....	15
1.5.10.	Tratamiento térmico.....	16
1.6.	Solidificación y Enfriamiento.....	16
1.6.1.	Solidificación de los metales.....	16
1.6.2.	Metales puros.....	16
1.7.	Contracción.....	18
1.8.	Defectos del proceso de fundición.....	20

CAPÍTULO II

2.	HORNOS DE FUNDICIÓN.....	22
2.1.	Tipos de hornos.....	22
2.1.1.	Horno de crisol.....	22
2.2.	Tipos de hornos de crisol.....	23

2.2.1.	Hornos pozo.....	23
2.2.2.	Hornos Bale-Out.....	24
2.2.3.	Hornos Basculantes.....	25
2.2.4.	Horno de crisol inmerso.....	25
2.2.5.	Horno rotativo de crisol.....	26
2.3.	Formas de calentamiento de un horno de crisol.....	26
2.4.	Cualidades técnicas y económicas.....	27
2.4.1.	Cualidades de orden técnico.....	28
2.4.2.	Condiciones para mejorar la productividad.....	28
2.4.3.	Condiciones económicas.....	28
2.4.4.	Condiciones de operatividad.....	29
2.5.	Aleaciones no ferrosas.....	29
2.5.1.	Metales ultraligeros.....	29
2.5.2.	Metales ligeros.....	29
2.5.3.	Metales pesados.....	29
2.6.	Aluminio.....	29
2.6.1.	Constantes Físicas del Aluminio.....	30
2.6.2.	Características mecánicas.....	30
2.6.3.	Características físicas.....	31
2.7.	Aplicaciones y usos.....	31
2.7.1.	Utilización del aluminio en construcción.....	31
2.7.2.	Utilización del aluminio en la industria.....	32
2.8.	Proceso de fundición de aluminio a partir del material reciclado.....	32
2.8.1.	Reciclaje de aluminio	32
2.9.	Fusión del aluminio.....	34
2.10.	Requerimientos básicos para fundición de aluminio.....	35

CAPÍTULO III

3.	ANÁLISIS TÉRMICO.....	36
3.1.	Formulación de parámetros.....	36
3.2.	Esquema de elementos internos principales del horno.....	37
3.3.	Energía necesaria para el proceso de fundición del metal.....	38
3.3.1.	Calor necesario para elevar la temperatura de 0 °C a 660 °C.....	39
3.3.2.	Calor necesario para promover un cambio de fase.....	39
3.3.3.	Calor necesario para llegar a la temperatura de fusión del material.....	40
3.3.4.	Determinación del calor absorbido por el crisol.....	41
3.3.5.	Calor total requerido para la fusión.....	42
3.4.	Determinación del peso a calentar.....	42
3.4.1.	Área a calentar.....	42
3.4.2.	Determinación de la cantidad de energía por kilogramo.....	43
3.4.3.	Determinación de la capacidad de calentamiento.....	43
3.4.4.	Determinación del flujo de calor por unidad de área.....	44
3.4.5.	Condición de trunks.....	44
3.5.	Dimensionamiento de la cámara de combustión.....	45
3.5.1.	Volumen de la cámara de combustión.....	45
3.5.1.1.	Volumen de la cámara interior del horno.....	46

3.5.1.2.	Volumen del crisol.....	46
3.5.1.3.	Volumen físico de la cámara.....	47
3.6.	Dimensionamiento de espesores de materiales en el horno.....	48
3.6.1.	Principales formas de transferencia de calor.....	48
3.6.1.1.	Conducción.....	48
3.6.1.2.	Convección.....	50
3.6.1.3.	Radiación.....	51
3.7.	Perfil de temperaturas.....	52
3.7.1.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.....	55
3.7.2.	Coeficiente de transferencia en la tapa inferior (base).....	58
3.7.3.	Coeficiente de transferencia en la tapa superior.....	59
3.8.	Determinación de las pérdidas de calor.....	60
3.8.1.	Pérdidas de calor en las paredes del cilindro.....	61
3.8.2.	Pérdidas de calor total en las paredes del cilindro.....	62
3.8.3.	Pérdidas de calor en la base del horno.....	63
3.8.4.	Pérdidas de calor total en la base del horno.....	64
3.8.5.	Pérdidas de calor en la tapa del horno.....	64
3.8.6.	Pérdidas de calor total en la tapa del horno.....	65
3.8.7.	Pérdidas de calor total en el horno.....	65
3.9.	Cálculo de energía total en el proceso de fundición del horno.....	66
3.10.	Espesor de las paredes cilíndricas del horno.....	66
3.11.	Altura del horno.....	67
3.12.	Dimensionamiento del quemador.....	67
3.13.	Consumo de combustible.....	68
3.14.	Determinación del volumen de combustible requerido.....	69
3.15.	Relación de aire combustible.....	69
3.16.	Cálculo del contenido energético de la mezcla.....	70
3.17.	Consumo de cilindros de gas.....	70
3.18.	Determinación de la cantidad de aire.....	71
3.19.	Cálculo del rendimiento del horno.....	72
3.20.	Cálculo de la potencia del horno.....	72
3.21.	Cálculo de la estructura del horno.....	72
3.21.1.	Base del horno.....	73
3.21.2.	Cuerpo del horno.....	74
3.21.3.	Tapa del horno.....	74
3.21.4.	Palanca móvil de la tapa.....	74
3.21.5.	Base del crisol.....	75
3.21.6.	Crisol.....	75
3.21.7.	Carga a fundir.....	75
3.21.8.	Venterol.....	75
3.22.	Peso total del hornol.....	75
3.23.	Diseño de la estructura para base del horno.....	76
3.24.	Diseño de la soldadura.....	79
3.24.1.	Tipos de juntas.....	79
3.24.2.	Tipos de soldaduras.....	79

CAPÍTULO IV

4	COMBUSTIBLES	84
4.1.	Combustión.....	84
4.1.1.	Combustión industrial.....	84
4.2.	Clases de reacciones de combustión.....	85
4.2.1.	Combustión neutra.....	85
4.2.2.	Combustión incompleta.....	85
4.2.3.	Combustión completa.....	86
4.3.	Características de la mezcla aire/combustible.....	86
4.4.	Combustibles.....	87
4.4.1.	Combustibles gaseosos.....	87
4.4.2.	Ventajas de los combustibles gaseosos.....	88
4.5.	Gas licuado de petróleo.....	88
4.5.1.	Características del Glp.....	89
4.6.	Selección de materiales para la construcción del horno.....	89
4.6.1.	Característica del crisol.....	89
4.6.2.	Selección del crisol.....	90
4.7.	Material refractario.....	90
4.7.1.	Ladrillo refractario.....	90
4.7.1.1.	Clasificación.....	91
4.7.1.1.1.	Ladrillo silícico.....	91
4.7.1.1.2.	Ladrillo aluminoso.....	91
4.7.1.1.3.	Ladrillo arcilloso.....	92
4.7.2.	Concreto refractario.....	93
4.8.	Manta cerámica.....	95
4.9.	Chapa metálica.....	96
4.10.	Quemador.....	97
4.10.1.	Quemadores a GLP.....	98
4.10.1.1.	Ventajas.....	99
4.10.1.2.	Desventajas.....	99
4.11.	Termocupla e indicador de temperatura.....	99

CAPÍTULO V

5	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	101
5.1.	Operaciones utilizadas en la construcción.....	101
5.1.1.	Barolado.....	101
5.1.2.	Soldadura Mig.....	102
5.1.3.	Descripción del proceso de construcción.....	103
5.1.4.	Etapas de construcción.....	103
5.1.4.1.	Construcción de la base portahorno.....	103
5.1.4.2.	Construcción del cilindro metálico.....	104
5.1.5.	Construcción de la tapa.....	104
5.1.5.1.	Construcción del eje para elevar la tapa.....	104
5.1.5.2.	Construcción de los bocines para sistema de elevación de tapa.....	105
5.1.5.3.	Construcción de placas para sistema de elevación de tapa.....	105

5.1.5.4.	Construcción de base porta venterol.....	106
5.1.5.5.	Construcción de palancas para elevar tapa.....	106
5.2.	Montaje del Horno Crisol.....	107
5.2.1.	Montaje de la base y bóveda refractaria.....	107
5.2.2.	Montaje de la manta de cerámica.....	108
5.2.3.	Montaje de la tapa del horno.....	108
5.2.4.	Montaje de la centralina.....	109
5.3.	Requerimientos para la construcción.....	110
5.3.1.	Maquinaria y equipos utilizados en la construcción.....	110
5.3.2.	Construcción del horno.....	110
5.3.3.	Instrumentos de medición y verificación.....	110
5.3.4.	Listado de elementos a construir.....	111

CAPÍTULO VI

6.	COSTOS	112
6.1.	Introducción.....	112
6.2.	Análisis de costos directos.....	112
6.2.1.	Costos de materiales.....	112
6.2.2.	Mano de obra directa.....	114
6.3.	Costo de Maquinado.....	114
6.4.	Costo de Montaje.....	115
6.5.	Análisis de costos indirectos.....	115
6.5.1.	Costos Administrativos.....	115
6.5.2.	Costo Total Indirecto.....	116
6.6.	Costo Total del Horno.....	116

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
Conclusiones.....	118
Recomendaciones.....	119
Bibliografía.....	120
Glosario de términos.....	122

ANEXOS

Anexo I	Tipos de hornos según la capacidad en kilogramos.....	127
Anexo II	Cuadro de límites permisibles de contaminantes emitidos desde fuentes fijas de combustión.....	129
Anexo III	Tablas de equipos y materiales.....	131
Anexo IV	Tablas de valores seleccionados en cálculos.....	139
Anexo V	Protocolo de Pruebas.....	145
Anexo VI	Mangueras, válvulas y ventiladores.....	150
Anexo VII	Tablas unificadas para soldaduras.....	154
Anexo VIII	Manual de operación.....	157
Anexo IX	Planos.....	161

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Contracción volumétrica para diferentes metales de fundición.....	20
Tabla 2.1 .	Principales tipos de combustible en la operacion de hornos de crisol.	27
Tabla 2.2.	Constantes físicas del aluminio	30
Tabla 3.1.	Propiedades del aluminio	37
Tabla 3.2.	Dimensiones de la camara de combustion con respecto al tamaño del crisol.....	47
Tabla 3.3.	Propiedades del aire	56
Tabla 3.4.	Selección de perfil para estructuras.	78
Tabla 3.5.	Características del espesor de la placa o perfil a soldar..	80
Tabla 3.6.	Características de electrodos revestidos.	80
Tabla 4.1.	Propiedades del ladrillo refractario.....	93
Tabla 4.2.	Propiedades del concreto refractario.....	94
Tabla 4.3.	Propiedades de la manta de ceramica.....	96
Tabla 4.4.	Propiedades dela chapa metalica.....	97
Tabla 4.5.	Datos técnicos venterol.....	98
Tabla 4.6.	Datos técnicos controlador de temperatura.....	100
Tabla 6.1.	Materiales directos.....	112
Tabla 6.2.	Materia prima directa.....	113
Tabla 6.3.	Mano de obra directa.....	114
Tabla 6.4.	Costo hora maquina.....	114
Tabla 6.5.	Costo de maquinado.....	115
Tabla 6.6.	Costo de montaje.....	115
Tabla 6.7.	Costo de ingenieria.....	116
Tabla 6.8.	Costos indirectos.....	116
Tabla 6.9.	Costos totales.....	116

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1.	Esquema de flujo del proceso de fundición de piezas.....	6
Figura 1.2.	Piezas simples en fundición.	8
Figura 1.3.	Piezas poco complejas de fundición con maquinado.	8
Figura 1.4.	Piezas de media complejidad en fundición.	9
Figura 1.5.	Piezas complejas para fundición.....	10
Figura 1.6.	Piezas muy complejas en fundición.....	10
Figura 1.7.	Taller de Modelaje.....	11
Figura 1.8.	Vista parcial de una sección de Preparación de Arenas.....	12
Figura 1.9.	Operación de Moldeo.....	12
Figura 1.10.	Confección de machos o noyos.....	13
Figura 1.11.	Colocación de noyos.....	13
Figura 1.12.	Proceso de fusión.....	14
Figura 1.13.	Colada de moldes.....	14
Figura 1.14.	Proceso de desmolde manual.....	15
Figura 1.15.	Proceso de Rebarba y acabado.....	15
Figura 1.16.	Horno de tratamientos térmicos.....	16
Figura 1.17.	Temperatura como función del tiempo de solidificación	17
Figura 1.18.	Esquema de tres estructuras de metales fundidos solidificados.....	18
Figura 1.19.	Contracción de una fundición cilíndrica durante la solidificación y enfriamiento.....	19
Figura 2.1.	Horno crisol.....	23
Figura 2.2.	Esquema de horno crisol pozo.....	24
Figura 2.3.	Esquema de horno crisol Bale-out.....	24
Figura 2.4.	Esquema de horno crisol Basculante.....	25
Figura 2.5.	Esquema de Horno rotativo de crisol.....	26
Figura 3.1.	Elementos internos del Horno.....	37
Figura 3.2.	Área a calentar.....	42
Figura 3.3.	Dimensionamiento de la cámara de combustión.....	45
Figura 3.4.	Volumen del Crisol.....	46
Figura 3.5.	Comportamiento molecular en la transferencia de calor por conducción.....	49
Figura 3.6.	Ley de Fourier.....	49
Figura 3.7.	Transferencia de Calor por Convección.....	50
Figura 3.8.	Perfil de temperaturas en el interior del Horno.....	53
Figura 3.9.	Esquema de resistencias analógicas para el horno.....	54
Figura 3.10.	División de pérdidas de Calor.....	61
Figura 3.11.	Pesos de los materiales del horno.....	73
Figura 3.12.	Estructura de la base del horno	75
Figura 3.13.	Diseño de la estructura para base del horno.	76
Figura 3.14.	Tipos de juntas.....	79
Figura 3.15.	Tipos de soldaduras.....	79
Figura 4.1.	Ladrillo refractario.....	92
Figura 4.2.	Concreto refractario.....	94
Figura 4.3.	Manta de cerámica.....	95
Figura 4.4.	Propiedades de la chapa metálica.....	96

Figura 4.5.	Quemador.....	98
Figura 4.6.	Termocupla.....	100
Figura 5.1.	Esquema de la deformación elástica en el barolado.....	101
Figura 5.2.	Baroladora de tres rodillos.....	102
Figura 5.3.	Soldadura manual de metal por arco con electrodo revestido.....	103
Figura 5.4.	Construcción de base porta venterol.....	103
Figura 5.5.	Construccion del cilindro metalico.....	104
Figura 5.6.	Construcción del eje para elevar la tapa.....	104
Figura 5.7.	Construcción de bocines para el sistema de elevación de tapa.....	105
Figura 5.8.	Construcción de placas para sistema de elevación de tapa.....	105
Figura 5.9.	Construcción de base porta venterol.....	106
Figura 5.10.	Construcción de palancas para sistema de elevación de tapa.....	106
Figura 5.11.	Montaje de la boveda y base refractaria del Horno.....	107
Figura 5.12.	Montaje de la Manta de Ceramica.....	108
Figura 5.13.	Montaje de la Tapa del Horno.....	109
Figura 5.14.	Montaje de la Centralina.....	109

RESUMEN

El presente proyecto de titulación que tiene como objetivo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDICIÓN DE ALUMINIO CON UNA CAPACIDAD DE 15 KG/H A UNA TEMPERATURA DE 800 °C UTILIZANDO GLP”

Utilizando un hogar y crisol de grafito calentados mediante un sistema de combustión con GLP impulsados por un flujo de aire. Para el desarrollo de esta tesis de grado se ha utilizado los conocimientos aprendidos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Mecánica poniendo énfasis en los que respecta a diseño y transferencia de calor. El primer paso fue investigar la situación actual del país en relación a la fundición de aluminio, en su mayoría reciclado, seguidamente se lleva una consulta para evaluar qué tipo de horno es el más empleado para fundir dicho material, así como que tipo de combustible es el más adecuado, cumpliendo con las normas de emisión de gases para el medio ambiente vigentes actualmente y así aportar conclusiones de las experiencias obtenidas de los modelos anteriores, para determinar los cambios. Técnicamente el horno que se construirá sigue determinados procesos dentro de su diseño tales como, investigación de los materiales disponibles con sus propiedades para llevar a cabo la construcción, se realiza el pre diseño de la cámara de combustión empleando investigaciones de anteriores equipos conjuntamente con la experiencia del personal vinculado a esta área. Se ejecutará una adecuada selección del quemador, determinando su consumo de combustible, el flujo de aire y el diámetro de la boquilla por donde circulará el gas. Por último se realiza un levantamiento de planos, diseños, cálculos y prácticas de operación, finalmente se redacta el proceso constructivo más acorde para el equipo, facilitando de esta manera la construcción del mismo.

ABSTRACT

This graduation project that aims to "DESIGN AND CONSTRUCTION OF A POT FURNACE FOR MELTING ALUMINUM WITH A CAPACITY OF 15 KG / h at 800 ° C USING GLP"

This equipment uses a graphite crucible and hearth heated by a GLP combustion system driven by airflow. For the development of this thesis there has been used the knowledge learned in the course of Mechanical Engineering degree with an emphasis in regard to design and heat transfer. The first step was to investigate the current situation of the country in relation to aluminum smelting, mostly recycled, then a query takes place to assess what type of furnace is the most used to melt the material, and what fuel is the most appropriate, in compliance with emission standards for the environment currently in place and provide conclusions and lessons learned from previous models, to determine changes. Technically the oven to be built follows certain processes in its design, such as research materials available with their properties to carry out the construction; pre design combustion chamber is made using previous teams research, combined with the experience of the staff linked to this area. A proper selection of the burner will be made, determining fuel consumption, air flow and the diameter of the nozzle through which gas will flow. Afterwards, a survey of drawings, designs, calculations and practices is done. Finally, the more adequate construction process for the equipment is writed, thus facilitating the construction of it.

PRESENTACIÓN

En el Ecuador uno de los problemas para el sector artesanal dedicado a la fundición de aluminio es la falta de desarrollo tecnológico hacia su parte productiva, esta investigación está destinada a desarrollar un mejor equipo que ayuden a la tecnología, cumpliendo con normas, como son el reciclaje y rehusó de materiales, manejo adecuado de residuos de metal, control de la contaminación ambiental, la seguridad industrial logrando satisfacer las investigaciones que a este tema se refieren, para poder mejorar la calidad del producto final y el bienestar de todo el personal que incursiona en este campo.

Por tal razón se plantea el diseño y construcción de este equipo con el fin de resolver todos los inconvenientes detectados en la empresa, bajando costos de producción, subiendo rentabilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se habla de aluminio que es un elemento químico y un metal no ferroso. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad y su alta resistencia a la corrosión. Es buen conductor de la electricidad y del calor, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato.

En la microempresa mecánica de precisión “GUERRERO SOCIEDAD ANÓNIMA”, que está ubicada en el sector de Amaguaña en Quito Ecuador, que realiza trabajos de precisión y servicios de fundiciones, cooperando en proyectos para todo el sector dedicado a la mecánica industrial. Actualmente esta microempresa tiene alta demanda en lo que respecta a fundiciones de aluminio, para luego ser maquinadas al gusto del cliente, ya que debido a que en el área donde se realiza fundiciones de aluminio, lo están realizando de forma muy artesanal y poco tecnológico, y a su vez convirtiéndose en un problema para obtener un producto de calidad.

OBJETIVO GENERAL

- Diseño y construcción de un horno crisol para fundición de aluminio con una temperatura de 800°C utilizando combustible GLP.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar planos para el diseño del horno crisol.
- Realizar planos de fabricación del horno crisol.
- Seleccionar los materiales para la construcción del horno.
- Aplicar los conocimientos de diseño, transferencia de calor, mecanismos y proyectos en la construcción.
- Montaje del horno, protocolo de pruebas y puesto en funcionamiento.

JUSTIFICACIÓN

Al momento en la microempresa mecánica de precisión “GUERRERO SOCIEDAD ANÓNIMA” es de necesidad básica la implementación de un equipo para fundir aluminio, ya que en un futuro muy cercano tiene como objetivo crecer como empresa.

Y luego de realizar algunas visitas a la empresa en mención se ha detectado que el área donde se realiza fundiciones de aluminio, lo están realizando de forma muy artesanal, por lo que se ha visto en la necesidad de construir un horno crisol para fundir aluminio con una capacidad de 15 kg por carga, considerando carga hora, con este proyecto se superara todos los inconvenientes que se ha detectado en la empresa, y lo más importante bajando costos de producción, subiendo rentabilidad y siendo más competitivos.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA.

- Diseñar y construir un horno crisol para una carga de 15 kg/h, que cumpla con los siguientes requerimientos; sencilla construcción, fácil operatividad, factible montaje, alto rendimiento, eficiente y de bajo costo.

ALCANCE

- Análisis de alternativas.
- Selección de la alternativa idónea.
- Elaborar planos generales.
- Elaborar planos de fabricación.
- Seleccionar materiales y mecanizar piezas.
- Análisis de transferencia de calor.
- Desarrollo del marco teórico.
- Construcción, fabricación y montaje.
- Protocolo de pruebas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. Fundición.

Definición.

"La Fundición, es la obtención de piezas, por colada y solidificación en un molde, de un metal o de una aleación metalúrgica llevada previamente al estado líquido por calentamiento en los hornos".¹

Las piezas de fundición, cuya fabricación difiere totalmente de los procedimientos de forja, deben reunir un cierto número de cualidades:

➤ **Adaptarse a la forma y a las dimensiones requeridas para su utilización:**

La conveniente precisión del modelo o del utillaje, un moldeo correcto, el conocimiento de las propiedades generales de la aleación, y en particular su contracción, concurre a la obtención de este primer resultado.

➤ **Poseer las características indispensables para un buen rendimiento:** Resistencia mecánica, resistencia a la fatiga, al roce, a los choques, a las corrosiones químicas y a la oxidación.

La acertada elección de la aleación metálica, el estudio de sus cualidades y del modo de fusión y colada, permiten satisfacer este segundo punto.

➤ **No presentar defectos aparentes u ocultos:**

Para eliminar las causas de estos defectos múltiples y extremadamente variados, resulta indispensable la colaboración constante del constructor, del utilizador, modelista, moldeador, machero y fundidor.

¹ HONORE. C, “Curso elemental de fundición”, editorial Bruguera, segunda edición, España 1964,

1.1.1. Breve reseña histórica.

Entre las creaciones humanas, en lo más remoto de los siglos, la utilización de los metales, marca en la historia de nuestro planeta, una de las etapas tan decisiva como los más sensacionales descubrimientos científicos del mundo entero. Ella es la piedra angular de todas las realizaciones actuales. Su importancia es tal, que los sabios no han encontrado nada mejor para definir las eras y las edades, inmensos espacios de vida, verdaderas fronteras temporales de la prehistoria, que ligarlas a las palabras "piedra" y "bronce".

El abandono del uso de la piedra (elemento natural) por la utilización de los metales y aleaciones, lo que exige operaciones infinitamente complejas, debió constituir la consagración indiscutible de la evolución del espíritu humano y de su lenta y paciente dominación sobre la materia, a la cual, a lo largo de los siglos, se iba a arrancar, paso a paso, sus más impenetrables secretos.

"El trabajo de los metales, por los hombres de entonces, respondía a una necesidad primaria: debían defenderse contra la fauna todopoderosa, de proporciones gigantescas, a la cual no habían opuesto hasta aquel momento más que armas groseras".² Estas fueron primero, después de vencer múltiples dificultades, talladas en piedra. El descubrimiento de los metales (hierro, cobre, estaño, oro, plata) y, sobre todo, la posibilidad de adoptarlos y fundirlos, prepararon desde el final de la edad de piedra, el reinado de la metalurgia.

Si bien se ignora la fecha exacta de la utilización de los metales, todo hace suponer que el hierro fue descubierto por el emperador chino Fou-Hi, tres mil años antes de Jesucristo, aproximadamente.

1.1.2. Estado de la industria fundidora en el país.

La Industria fundidora en el país ha tenido poco desarrollo, son pocas las empresas que han optado por procesos eficientes e innovadores con tecnología de punta, ampliando sus servicios y mejorado la calidad de sus productos, la mayor parte de las empresas que la constituyen, realizan productos de baja o mediana complejidad, sin mayor desarrollo tecnológico ni optimización de los procesos, pocas empresas lideran la industria de la

² PÉREZ, G. Y MARTÍNEZ, R., "*Tecnología de la fundición*", editorial Ispjae, segunda edición, Cuba, La Habana, pág. 31-35.

fundición en el Ecuador, las cuales cuenta con maquinaria moderna, una amplia experiencia en la rama, pero ninguna cuenta con laboratorio de análisis de estructura de materiales, y aunque cumplen normas nacionales, no es un régimen, ya que dichas empresas no cuentan con un control de calidad en sus productos, o un proceso de mejoramiento continuo, lo que no garantiza que todas las piezas ahí fabricadas cumplan o estén bajo la norma indicada. La industria del acero en el Ecuador, ha provocado un conflicto social y ambiental, un claro ejemplo de esto es la industria más representativa del acero en el país ADELCA S.A. ubicada en las Parroquias de Aloag y el Rosal, cantón Mejía de la provincia de Pichincha en el Ecuador. Estas comunidades son reconocidas como zonas agrícolas y ganaderas, que contribuyen con el 20% de la leche y más del 50% de verduras y gramíneas que se consume en la región, esta empresa durante su funcionamiento ha generado pasivos ambientales en gran magnitud en los alrededores de la planta tal como lo ha demostrado la inspección realizada por la Defensoría del Pueblo.

Por lo cual los gobiernos seccionales deben tomar en cuenta la ubicación de plantas futuras, para emitir sus permisos de funcionamiento.

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó un estudio, a una muestra de empresas a lo largo de la ciudad, para obtener resultados fiables y actualizados ya que los organismos reguladores de las empresas no poseen datos tan específicos, y estos llevan varios años sin actualizarse.

Las empresas más representativas en el presente estudio fueron las siguientes:

➤ **Fundiec S.A.**

Alfonso Moncayo 455 y Panamericana Norte 10½

Sra. María Rivera (Gerente) (022424675-6)

Fax 022424682

➤ **Fundipartes S.A.**

José de la Rea OE-1 178 y Francisco García Panamericana Norte

Ing. Joel Muela León (022800366 o 022474092)

vymasa@impsat.net.ec

➤ **FORJAN Forjadora Nacional Cía. Ltda.**

De las Avellanas E1-169 y Panamericana Norte Km 5½

Ing. José Luis Hernández (022477827 o 022473816)

forjan@uio.satnet.net www.forjan.net

➤ **Fundición Técnica Industrial**

Andrade Dueñas lote 134 y Av. Eloy Alfaro

Sr. Ricardo Cajas (022395912)

➤ **FUNDIVALLE**

Av. Luis Cordero No. 1072-1076 Sangolquí

Sr. Eduardo Vallejo Díaz (022330878)

Fax 022331115

Del grupo de empresas en estudio se ha logrado identificar que la Industria fundidora local, necesita capacitación, asesoramiento e inversión para poder desarrollarse de manera exitosa y volverse competitiva a nivel nacional, ya que el mercado de la fundición es tan amplio, pero la mayoría de productos que se encuentran en el país son exportados.

1.1.3. Características.

La mayoría de las empresas se han dedicado a la producción y comercialización de piezas de aceros, hierros y aleaciones de aluminio, se han vuelto recicladores locales, lo cual aporta en gran parte en la conservación del medio ambiente.

Pocas son las empresas que han optado por mejorar sus productos y un ejemplo de esta es Fundireciclar una empresa líder a nivel nacional en la aplicación de sistema de moldeo con resinas, que garantizan excelente calidad del acabado superficial, precisión, limpieza y alta

productividad. Este sistema permite optimizar mano de obra e insumos lo que refleja en la disminución de los costos de producción.

1.2. Importancia de la fundición.

El proceso para obtener piezas por fundición es hoy día de suma importancia en la construcción de maquinaria. La aplicación fundamental de este proceso es en aquellas piezas de complejidad tal, que dificultan grandemente su obtención por otros métodos de mayor simplicidad como la forja o al maquinado entre otros.

"La fundición es la base de casi todas las industrias: la mayoría de objetos y máquinas exigen para su fabricación piezas moldeadas y fundidas en hierro, acero, bronce, aluminio, etc. Esto explica el desarrollo considerable de la fundición y demuestra, asimismo, su gran influencia en todas las demás actividades".³

De ciertas industrias depende, o está en juego incluso, la vida humana; automovilismo, aviación, navegación, ferrocarriles, etc. La mayoría de las piezas que componen las máquinas fabricadas por tales industrias tienen una gran importancia y deben reunir las mejores cualidades para garantizar la seguridad deseada.

Otras industrias exigen piezas fundidas cuyos pesos pueden alcanzar y aun sobrepasar las cincuenta o sesenta toneladas. Dichas fabricaciones necesitan largas semanas de trabajo y alcanzan precios considerables.

El proceso de fundición presenta la característica de estar compuesto por dos flujos paralelos de producción:

- Producción del molde
- Preparación del metal

Al final del proceso ambos flujos se encuentran para dar lugar a la pieza como se aprecia en la figura 1.1.

³ PÉREZ, G. Y MARTÍNEZ, R, "*Tecnología de la fundición*", editorial Ispjae, segunda edición, Cuba, La Habana, pág. 31-35.

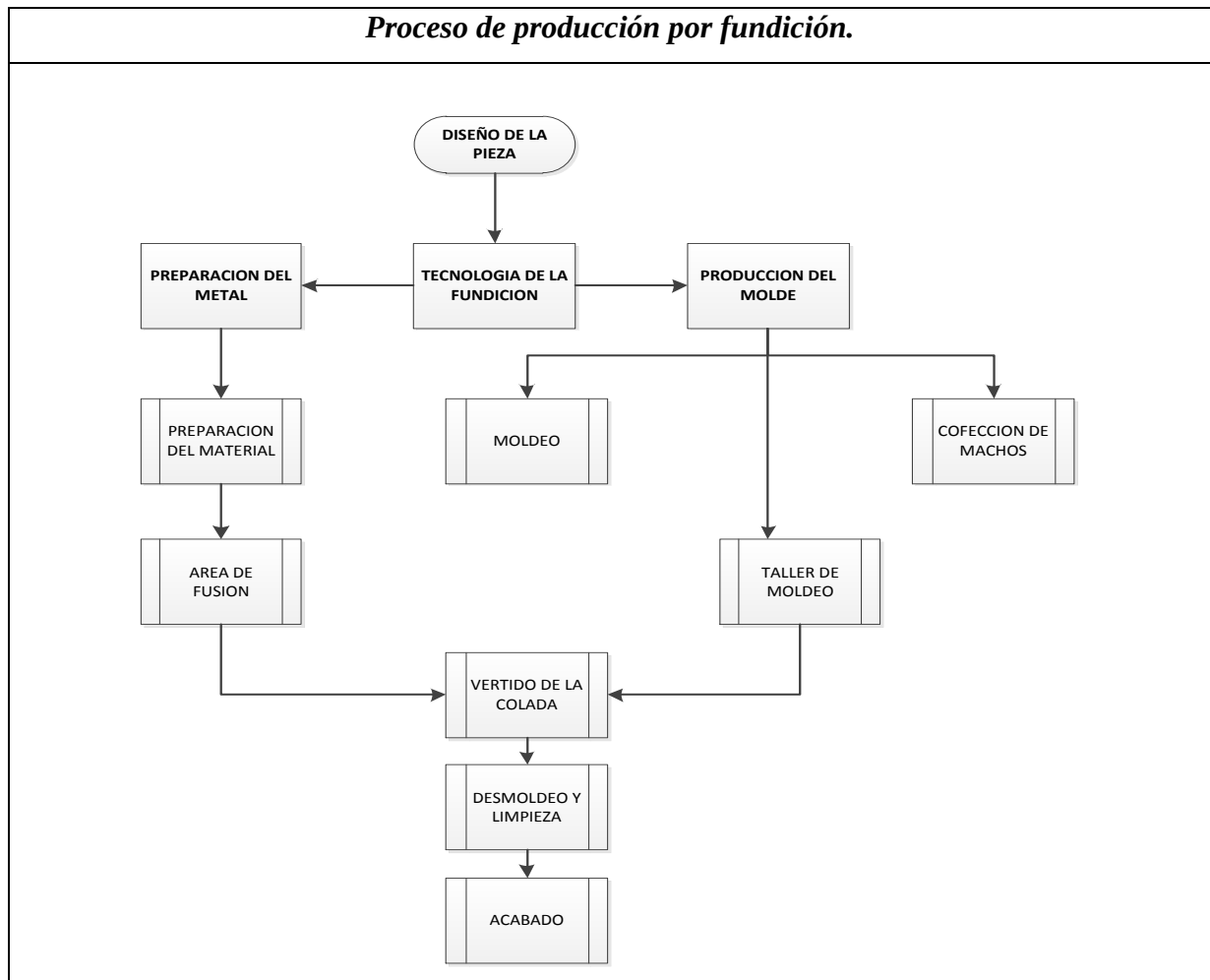


Figura 1.1 Esquema de flujo del proceso de fundición de piezas.

Fuente: Autores

1.3. Situación actual de la fundición en el país.

1.3.1. Volumen de producción.

La fundición presenta una incidencia notable en la industria mecánica de cualquier país dado que por este proceso tecnológico se fabrican la casi totalidad de las bancadas y carcasas de máquinas, así, como numerosas piezas y semiproductos. De ahí que el costo de la producción por fundición se, refleje fuertemente en el costo total de la pieza o máquina.

Los índices fundamentales que se contemplan para medir la productividad y rentabilidad del taller son:

- Volumen de producción (t/año)
- Producción realizada por obrero [t/(obrero-h)]
- Producción por área del taller (t./m)
- Costo de la producción (\$/t)
- Producción por peso invertido (\$/\$)

En el aumento de la productividad inciden numerosos factores técnicos que debe tener en cuenta y estas son:

- Aprovechamiento de la capacidad instalada.
- Aprovechamiento de la mano de obra.
- Aprovechamiento de las materias primas.

El aprovechamiento de la capacidad instalada puede incrementar previendo la continuidad del flujo tecnológico. Es importante prever qué las distintas secciones del taller tengan una salida de producción, continua, a la vez que no se presente la situación de que una sección del taller tenga que esperar por la producción de otra.

De forma similar ocurre con la mano de obra. Cada operario debe tener los insumos necesarios para producir, y su producción ha de estar en concordancia con su calificación.

Debe procurarse que el molde sea el adecuado para la pieza a fin de evitar desperdicio de mezcla y tiempo de confección del molde. Este criterio es aplicable también a los machos.

1.4. Tipos de fundición.

De forma general las piezas fundidas pueden clasificarse atendiendo a su complejidad, peso y dimensiones. De acuerdo con su complejidad se pueden dividir en 5 tipos de grupos:

1.4.1. Piezas simples.

Son de poca importancia, con superficies planas, pocos nervios, detalles en general. No presentan orificio complicados. Llevan poco maquinado como se observa en la figura 1.2.

Son típicas en este grupo las palancas, tapas, manillas y ruedas.



Figura 1.2. Piezas simples en fundición.

Fuente: Fundamentos de la Fundición de Metales. (Serope Kalpajian, Steven Schmidt, 2002)

1.4.2. Piezas poco complejas.

Presentan forma de caja con las cavidades inferiores simples en un solo plano, la superficie puede ser curvada y con refuerzos. Llevan maquinando en superficies ligadas entre sí por relaciones posicionales que deben ser garantizadas como se observa en la figura 1.3. Ejemplos de este grupo pueden ser: cilindros, volantes con rayos, bastidores simples y cuerpos de reductores.



Figura 1.3. Piezas poco complejas de fundición con maquinado.

Fuente: Fundamentos de la Fundición de Metales. (Serope Kalpajian, Steven Schmidt, 2002)

1.4.3. Piezas de media complejidad.

Presentan forma de caja, pero las cavidades interiores son complejas.

La superficie exterior presenta nervios, salientes y otros detalles al igual que la superficie de la cavidades internas como se observa en la figura 1.4.

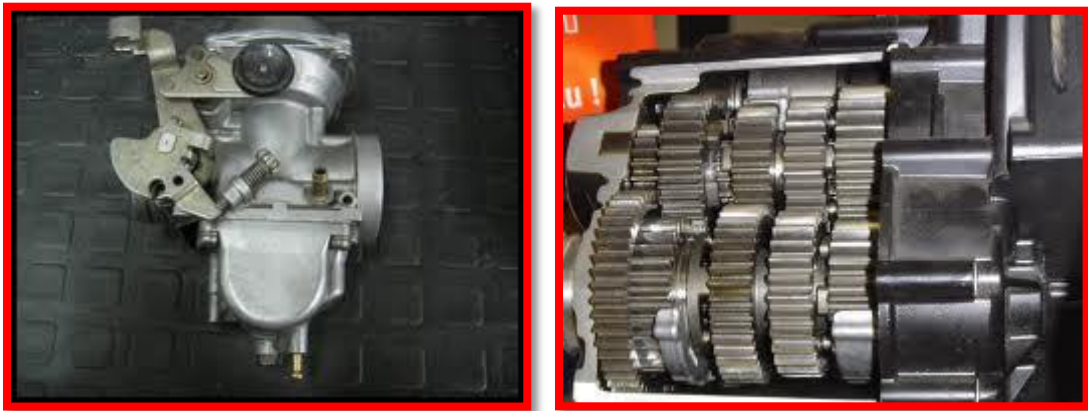


Figura 1.4. Piezas de media complejidad en fundición.

Fuente: Tecnología de los metales y procesos de manufactura. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Norma Pazos Peinado, 2005)

Lleva maquinado de varias superficies y orificios ligados entre sí por relaciones posicionales con tolerancias estrechas. Trabajan a presión atmosférica.

Se encuentra en este grupo ruedas dentadas con dientes fundidos, bancadas de máquinas herramientas, cuerpos de bombas, cuerpo de reductores de gran tamaño y conectores.

1.4.4. Piezas complejas.

Tienen forma de cajas abiertas o no. Son piezas importantes con salientes de forma compleja y situados en planos diferentes al de salida de plantilla. Llevan maquinado en superficies relacionadas posicionalmente y orificios múltiples como se observa en la figura 1.5. Son típicas, las válvulas de distribución, bloques de motores, partes de turbinas, cuerpos de bombas y bancadas de máquinas herramientas.

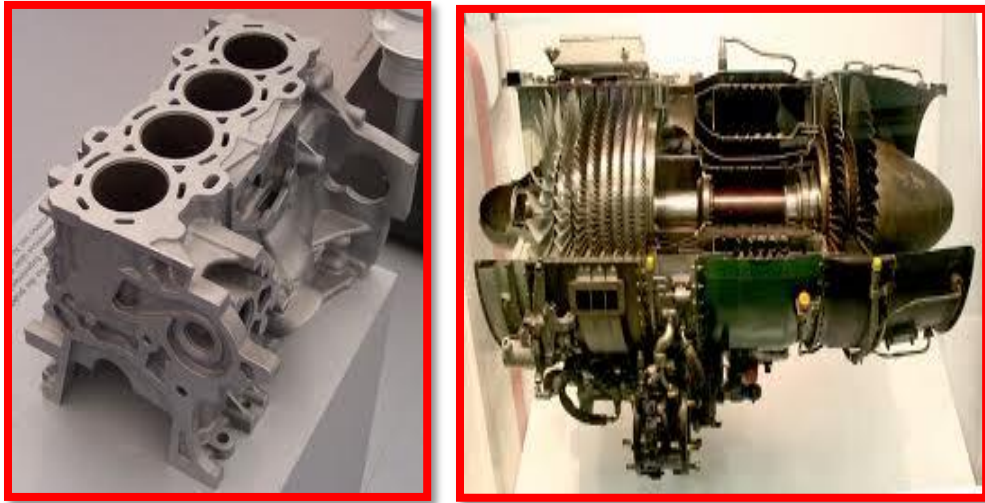


Figura 1.5. Piezas complejas para fundición.

Fuente: Tecnología de los metales y procesos de manufactura. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Norma Pazos Peinado, 2005)

1.4.5. Piezas muy complejas.

Tienen forma de cajas cerradas y son de gran responsabilidad. Tienen numerosos detalles situados en planos diferentes al de salida. Prácticamente la totalidad de las superficies son maquinadas, guardan relaciones posicionales entre sí. Aparecen en este grupo los bloques de motores grandes, cigüeñales, cajas hidráulicas, bombas complejas, carcasas y bancadas de máquinas grandes.



Figura 1.6. Piezas muy complejas en fundición.

Fuente: Tecnología de los metales y procesos de manufactura. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Norma Pazos Peinado, 2005)

1.5. Principales etapas en el proceso de fundición.

La obtención de una pieza fundida requiere numerosas y varias operaciones

1.5.1. Modelaje.

La primera de estas operaciones es la ejecución del modelo de la pieza, y en su caso, si ésta lo exige, de las cajas de noyos; dicha operación se denomina modelaje como se muestra en la figura 1.7.



Figura 1.7. Taller de Modelaje

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.2. Preparación de arenas.

Los materiales necesarios para la ejecución del molde son la arena y las tierras. Una fundición comprende, en general como se muestra en la siguiente figura 1.8, dos tipos básicos de preparación:

1. Arenas y tierras de moldeo.
2. Arenas para noyos.



Figura 1.8. Vista parcial de una sección de Preparación de Arenas.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.3. Moldeo.

"El moldeo consiste, concretamente, en la realización, y en su caso el secado, de moldes, obtenidos sirviéndose de modelos y arenas o tierras preparadas".⁴ Se denomina Sección de Moldeo como se ve en la figura 1.9, es la parte del taller en la que se ejecutan los moldes.



Figura 1.9. Operación de Moldeo.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

⁴ PÉREZ, G, Y, MARTÍNEZ, R, "*Tecnología de la fundición*", editorial Ispjae, segunda edición, Cuba, La Habana, pág. 35-40.

1.5.4. Confección de machos o noyos.

Comprende el conjunto de operaciones que permiten obtener los machos destinados como se muestra en la figura 1.10, a ser colocados en los moldes, utilizando cajas de noyos, arenas, armaduras, etc.



Figura 1.10. Confección de machos o noyos.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.5. Acabado del molde.

Esta operación, llevada a cabo a menudo en la sección de moldeo como se puede observar en la figura 1.11, tiene por objeto preparar el molde ya ejecutado, para ponerlo en disposición a recibir el metal líquido; engloba la colocación de noyos, la extracción de aires, el cierre del molde, la carga, etc.



Figura 1.11. Colocación de noyos.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.6. Fusión.

Esta etapa consiste en preparar el metal con la composición y la temperatura adecuada. Una vez que el metal es calentado a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo

completamente al estado líquido, se vierte directamente en la cavidad del molde, como se observa en la figura 1.12.



Figura 1.12. Proceso de fusión.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.7. Colada.

Vertido del material fundido. La entrada del metal fundido hacia la cavidad del molde se realiza a través de la copa o bebedero de colada y varios canales de alimentación. También se toma en cuenta la temperatura del metal fundido al momento de su introducción en el molde. Lo importante aquí es la diferencia entre la temperatura de vaciado y la temperatura a la que empieza la solidificación (el punto de fusión para un metal puro, o la temperatura líquida para una aleación). A esta diferencia de temperaturas se le llama algunas veces sobrecalentamiento, como se observa en la figura 1.13.



Figura 1.13. Colada de moldes.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945).

1.5.8. Desmolde.

Se llama así la operación que consiste en abrir el molde para sacar la pieza como se puede observar en la figura 1.14, una vez enfriado el metal colado.



Figura 1.14. Proceso de desmolde manual.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.9. Rebarba o acabado.

La pieza necesita ser limpiada, liberada de la arena adherida y de las coladas y barbas; son las operaciones llamadas rebarba y limpieza, como se observa en la figura 1.15.



Figura 1.15. Proceso de Rebarba y acabado.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945)

1.5.10. Tratamiento térmico.

"En algunos casos, una aleación debe someterse a un tratamiento térmico que le conferirá las propiedades mecánicas requeridas".⁵ Estos tratamientos se aplican corrientemente al acero moldeado y a algunas aleaciones ligeras y cuprosas como observamos en la figura 1.16, las fundiciones maleables se obtienen mediante recocido de las piezas coladas en fundición blanca.



Figura 1.16. Horno de tratamientos térmicos.

Fuente: Fundición y moldeo. (Categoría: Ingeniería Metalúrgica. Tomas d. west, 1945).

1.6. Solidificación y enfriamiento.

Después de vaciar el metal fundido en el molde, éste se enfría y solidifica. Los aspectos asociados con la solidificación incluyen el tiempo de enfriamiento del metal, la contracción, la solidificación direccional y el diseño de las mazarotas.

1.6.1. Solidificación de los metales

La solidificación involucra el regreso del metal fundido al estado sólido. El proceso de solidificación difiere, dependiendo de si el metal es un elemento puro o una aleación.

1.6.2. Metales Puros.

Debido a que un metal puro tiene un punto de fusión (o de solidificación) claramente definido, se solidifica a una temperatura constante, como se muestra en la figura 1.17. "Por ejemplo, el aluminio puro se solidifica a 660 °C (1220 °F), el hierro a 1537 °C (2798 °F), y

⁵ PÉREZ, G, Y, MARTÍNEZ, R, "*Tecnología de la fundición*", Ispjae, segunda edición, Cuba, La Habana, pág. 31-35.

el tungsteno a 3410 °C (6170 °F).⁶ Luego que la temperatura del metal fundido desciende a su punto de solidificación, permanece constante mientras se disipa su calor latente de fusión.

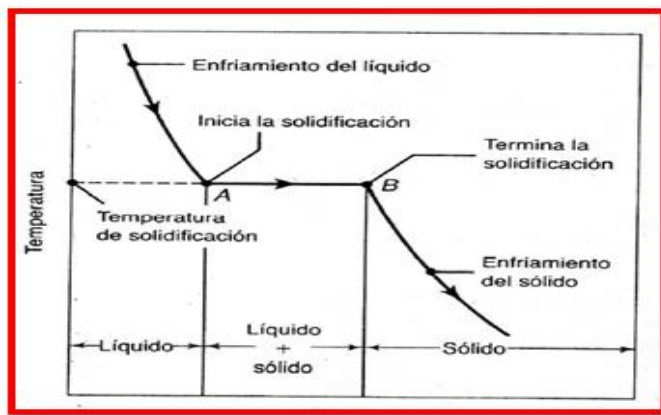


Figura 1.17. Temperatura como función del tiempo de solidificación de los metales puros. Observe que la solidificación ocurre a temperatura constante.

Fuente: Fundamentos de la Fundición de Metales (Serope Kalpakjian, Steven Schmid, 2002)

El frente de solidificación (interfaz solido-líquido) se mueve a través del metal fundido de las paredes del molde hacia el centro. El metal solidificado, llamado fundición, se saca del molde y se enfría a la temperatura ambiente. En la figura 1.18 se muestra la estructura del grano de la fundición de un metal puro en un molde cuadrado. En las paredes del molde, que se encuentran a la temperatura ambiente, a al menos mucho más frías que el metal fundido, el metal se enfría con rapidez y produce una capa superficial solidificada, o cascara de finos granos equiaxiales. Estos crecen en dirección opuesta a la de la transferencia de calor a través del molde; los que tienen una orientación favorable crecen de manera preferencial y se les llama granos columna como se ve en la figura 1.18. Conforme la fuerza impulsora de la transferencia de calor se reduce, alejándose de las paredes, los granos se vuelven equiaxiales y gruesos; los que tienen orientaciones sustancialmente diferentes ven bloqueado su crecimiento posterior. A tal desarrollo de los granos se le conoce como nucleación homogénea, lo que significa que los granos crecen sobre sí mismos, a partir de la pared del molde.

⁶ KALPAKJIAN, S, Y, SCHMIDT, S, “Fundamentos de la fundición de los metales”, Pearson, México 2008, Quinta edición, pág. 262-263.

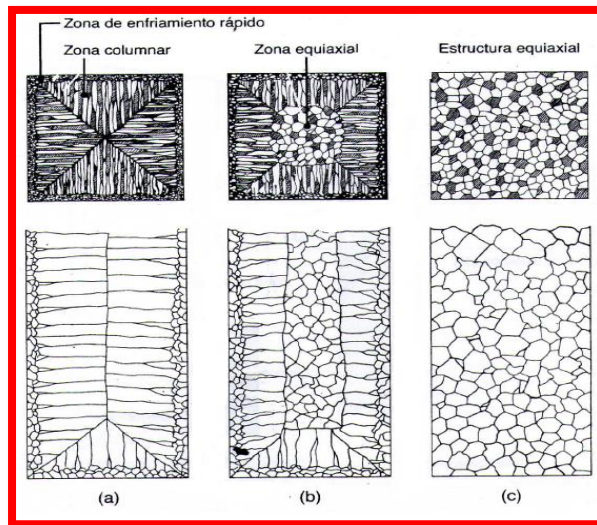


Figura 1.18. Esquema de tres estructuras de metales fundidos solidificados en un molde cuadrado: (a) metales puros, (b) aleaciones de solidificación sólida; y (c) estructura de agentes nucleantes.

Fuente: Fundamentos de la Fundición de Metales (Serope Kalpajian, Steven Schmid, 2002).

1.7. Contracción.

El análisis de la solidificación ha omitido el impacto de la contracción que ocurre durante el enfriamiento y a la solidificación. La contracción ocurre en tres pasos:

- Contracción líquida durante el enfriamiento anterior a la solidificación;
- Contracción durante el cambio de fase de líquido a sólido, llamada contracción de solidificación,
- Contracción térmica de la fundición solidificada durante el enfriamiento hasta la temperatura ambiente.

Los tres pasos pueden explicarse con referencia a una fundición cilíndrica hipotética hecha en un molde abierto, como se muestra en la figura 1.19. El metal fundido inmediatamente después de vaciado se muestra en la parte (0) de la serie. La contracción del metal líquido durante el enfriamiento, desde la temperatura de vaciado hasta la temperatura de solidificación, causa que la altura de líquido se reduzca desde el nivel inicial como en (1).

La cantidad de esta concentración líquida es generalmente alrededor de 0,5%. la contracción de solidificación que se observa en la parte (2) tiene dos defectos. Primero, la

contracción causa una reducción posterior en la altura de la fundición. Segundo, la cantidad de metal líquido disponible para alimentar la porción superior del centro de la fundición se restringe. Esta es usualmente la última región en solidificar, la ausencia de metal crea un vacío en este lugar de la fundición. “Esta cavidad de encogimiento es llamada por los fundidores rechupe.”⁷ Una vez solidificada, la fundición experimenta una contracción posterior en altura y diámetro mientras se enfría en (3), esta contracción se determina por el coeficiente de expansión térmica del metal sólido, que en este caso se aplica a la inversa para determinar la contracción.

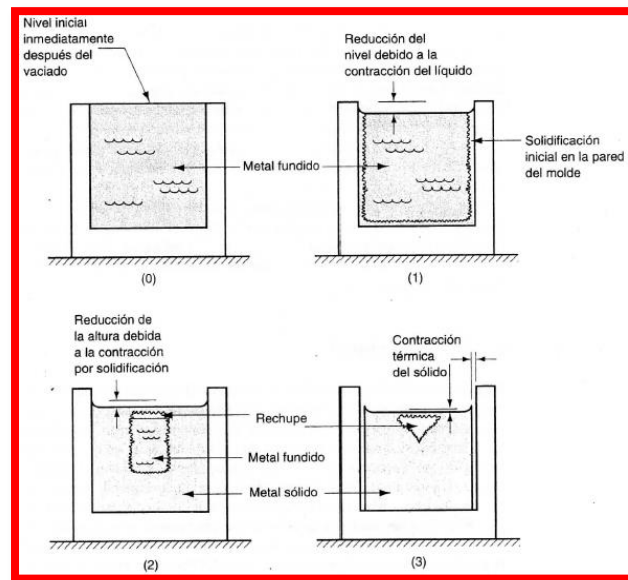


Figura 1.19. Contracción de una fundición cilíndrica durante la solidificación y enfriamiento: (0) niveles iniciales del metal fundido inmediatamente después del vaciado; (1) reducción del nivel causada por la contracción del líquido durante el enfriamiento; (2) reducción de la altura y formación de la bolsa de contracción causada por la contracción por solidificación; y (3) reducción posterior de la altura y diámetro debida a la contracción térmica durante el enfriado del metal sólido.

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna (Mikell P. Groover, año 2000)

En la tabla 1.1 se presenta algunos valores típicos de la contracción volumétrica para diferentes metales de fundición debidos a la contracción por solidificación y a la

⁷ GROOVER, M, “Fundamentos de manufactura moderna”, México 2000, Primera edición, pág. 252-253.

contracción sólida, pasos (2) y (3). La contracción por solidificación ocurre casi en todos los metales porque la fase sólida tiene una mayor densidad que la fase líquida. La transformación de fase que acompaña la solidificación causa una reducción en el volumen por unidad de peso del metal. La excepción en la tabla 1.1 es el hierro fundido con un contenido alto de carbono, cuya solidificación se complica por un periodo de gravitación durante las etapas finales de enfriamiento, que provoca una expansión tendiente a contrarrestar el decrecimiento volumétrico asociado con el cambio de fase.

Metal	Contracción volumétrica debida a:	
	Contracción por solidificación %	Contracción térmica del sólido %
Aluminio	7.0	5.6
Aleación de aluminio (típica)	7.0	5.0
Fundición de hierro gris	1.8	3.0
Fundición de hierro gris al alto carbono	0	3.0
Fundición de acero al bajo carbono.	3.0	7.2
Cobre	4.5	7.5
Bronce (CuSn)	5.5	6.0

Tabla 1.1. Contracción volumétrica para diferentes metales de fundición debida a la contracción por solidificación y contracción del sólido.

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna (Mikell P. Groover, Año 2000).

1.8. Defectos del proceso de fundición.

Durante el proceso de fundición se pueden presentar varios defectos que pueden ser originados por causas como un mal diseño de las piezas, la mala selección de los materiales o deficiencias de los procesos de fundición.

El que una pieza presente defectos no solo afectara su forma o apariencia. Algunos defectos podrían llegar a afectar la estructura mecánica de la pieza y generar puntos débiles o concentradores de esfuerzos.

- Actualmente existen diversos procesos para realizar la inspección a los productos fundidos.

- Al inspeccionar, visualmente o con tintas penetrantes se pueden detectar defectos superficiales en los productos.
- Al realizar pruebas destructivas se escogen muestras de un lote de producción y se realizan ensayos que permiten determinar la presencia y localización de cavidades u otros defectos internos.
- Las pruebas no destructivas como la inspección con partículas ferromagnéticas, ultrasonido o radiografía son ideales para la inspección de piezas, sin necesidad de alterar las mismas.

Algunos defectos de fundición son comunes a todos los procesos de fundición. A continuación se mencionan los más usuales:

- **Proyecciones metálicas:** Formadas por aletas, rebabas o proyecciones masivas como ondulaciones o superficies ásperas.
- **Cavidades:** Cavidades redondeadas o ásperas internas o externas, incluyendo rechupes, sopladuras, porosidades y cavidades de contracción.
- **Discontinuidades:** Estas están formadas por todo tipo de grietas y puntos fríos. Las grietas se forman cuando durante el enfriamiento el metal no puede realizar una libre contracción. El punto frío es una discontinuidad que se presenta debido a la unión de dos corrientes de metal líquido, cercanas al punto de solidificación.
- **Superficie defectuosa:** Defectos tales como los pliegues, traslapes, cicatrices, capaz de arena adherida o cascarillas de óxido.
- **Fundición incompleta:** Son debidas a fallas de llenado, volumen insuficiente de metal vaciado y fugas. Se pueden deber a temperaturas muy bajas del metal fundido o tiempos muy largos de vaciado.
- **Dimensiones o formas incorrectas:** Se pueden presentar por una inadecuada tolerancia de contracción, un error en el montaje del modelo o una deformación por liberación de esfuerzos residuales de la pieza fundida.
- **Inclusiones:** Estas inclusiones principalmente de material no metálico actúan como concentradores de esfuerzos y reducen la resistencia de la fundición.

CAPÍTULO II.

2. HORNOS DE FUNDICIÓN.

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho en capacidad y diseño. Varían desde los pequeños hornos de crisol que contienen unos pocos kilogramos de metal a hornos de hogar abierto de hasta varios centenares de toneladas de capacidad del horno. El tipo de horno usado para un proceso de fundición queda determinado por los siguientes factores:

- Necesidades de fundir la aleación tan rápidamente como sea posible y elevarla a la temperatura de vaciado requerida. (Ahorro de energía y de tiempo).
- La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición. (Control de calidad)
- Producción requerida del horno. (Productividad y economía).
- El costo de operación del horno. (Productividad y economía).
- Interacción entre la carga el combustible y los productos de la combustión. (Eficiencia)

2.1. Tipos de hornos.

- La carga se encuentra entre el combustible y los productos de la combustión. **(Hornos cubilote).**
- La carga está aislada del combustible pero en contacto con los productos de la combustión. **(Horno hogar abierto para la fabricación de acero).**
- La carga está aislada tanto del combustible como de los productos de la combustión. **(hornos de crisol calentado por combustión de gas, carbón pulverizado o petróleo).**

2.1.1. Horno crisol.

El horno de crisol es un equipo utilizado principalmente para la fusión de metales no ferrosos. En este equipo el metal a ser fundido se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito o carburo de silicio. Este crisol se posiciona en el interior de la cámara

de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de chapa de acero. El revestimiento refractario normalmente se confecciona a partir de ladrillos especiales y posee la finalidad de resistir el elevado calor existente en el interior de la cámara de combustión, mientras que la carcasa tiene la finalidad de sustentar todo el conjunto. El interior de la cámara de combustión debe ser perfectamente cilíndrico para permitir la distribución uniforme del calor. El crisol se posiciona en el centro de la cámara de combustión y se apoya sobre un pedestal, también confeccionado a partir de material refractario. Sobre el horno existe una tapa para evitar las pérdidas de calor e impedir la salida libre de la llama. Otra característica importante es que el metal prácticamente no entra en contacto con la fuente de calentamiento (hecho por vía indirecta) y por esto, está sujeto a poca contaminación. Como se observa en la figura 2.1.

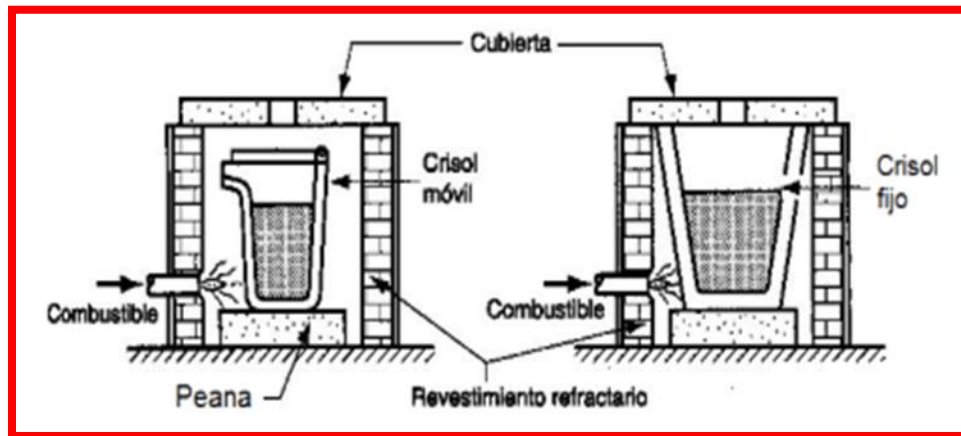


Figura 2.1. Tipos de hornos. (a) Horno Móvil (b) Horno Estacionario

Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna. (Mikell P. Groover, año 2000)

2.2. Tipos de hornos de crisol.

Los diferentes tipos de horno de crisol se pueden definir de la siguiente manera:

2.2.1. Hornos pozo.

El crisol es removido del horno y llevado hasta los moldes para vaciar el metal como se observa en la figura 2.2. Este horno se puede construir sobre o bajo el nivel del suelo. En

ambos casos el horno es fijo. Existen en una variedad de tamaño para acomodar crisoles desde 15 a 150 kg de capacidad de latón. Son extremadamente flexibles, tanto en relación a las aleaciones como a las cantidades. Se pueden usar crisoles distintos para diferentes aleaciones y hasta cierto punto, crisoles de distinto tamaño en un mismo horno.

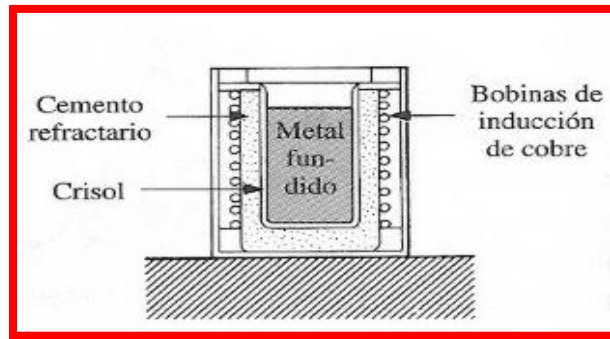


Figura 2.2. Esquema de horno crisol pozo.

FUENTE: Fundamentos de la Fundición de Metales. (Serope Kalpajian, Steven Schmidt, 2002)

2.2.2. Hornos Bale-Out.

El metal es retirado del crisol con cucharas y transferido a los moldes como se observa en la figura 2.3. Se utilizan principalmente, para fundición bajo presión, donde se necesitan pequeñas cantidades a intervalos frecuentes. Capacidades típicas en el rango de 50 a 500 kg de aluminio y 110 a 330 kg de latón. Rendimiento máximo: 240 kg de aluminio por hora.

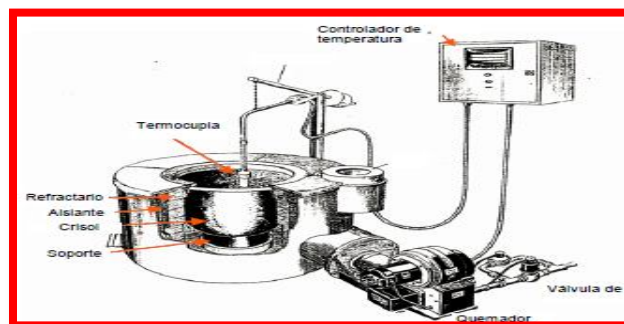


Figura 2.3. Esquema de horno crisol Bale-out.

FUENTE: Tipos de Hornos de Crisol. (<http://www.gredsa.com/hornos/hfct-2d.htm>, 2005)

2.2.3. Hornos Basculantes.

Son hornos movibles apoyados sobre un sistema de sustentación. Usualmente se les utiliza cuando es necesaria una producción relativamente grande de una aleación determinada. El metal es transferido a los moldes en una cuchara o un crisol precalentado, con la excepción de casos especiales en que es vaciado directamente. El tipo original de horno basculante, con capacidades de 70 a 750 kg de latón, bascula en torno a un eje central. Su desventaja es que el punto de descarga acompaña el movimiento basculante. Para superar este inconveniente se desarrolló un horno basculante de eje en la piquera, con capacidad de 200 a 750 kg de latón, y el modelo moderno es basculado por pistones hidráulicos, otorgando la ventaja de un mayor control en la operación de vaciado como se observa en la figura 2.4.

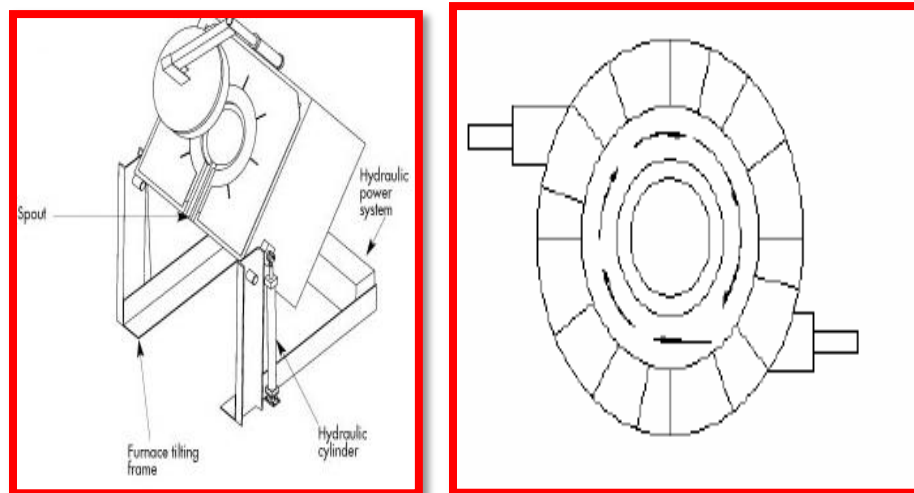


Figura 2.4 Esquema de horno crisol Basculante.

FUENTE: Fundamentos de la Fundición de Metales. (Serope Kalpajian, Steven Schmidt, 2002).

2.2.4. Horno de crisol inmerso.

Es el inverso del horno normal de crisol, en el sentido de que la llama quema dentro del crisol que está inmerso en el baño de aleación de zinc o aluminio, el cual se encuentra en un recipiente refractario. Estos hornos son fabricados con capacidad de fusión de 300 a 1000 kg de aluminio por hora. Sus ventajas principales respecto de hornos de llama abierta son una mayor eficiencia, que alcanza a un 40% y pérdidas de metal de tan sólo 1 o 2%, otorgando una considerable economía financiera.

2.2.5. Horno rotativo de crisol.

Se utilizan para la recuperación de viruta, escoria y otros tipos de chatarra menuda. El horno contiene un crisol con forma de garrafa como se observa en la figura 2.5, con capacidad de 300 kg de limadura de latón y trabaja a un ángulo aproximado de 50° con respecto a la vertical. El cuerpo del horno y el crisol giran constantemente durante la fusión, trayendo el metal para el lado caliente del crisol y tirando la limadura no fundida hacia adentro y abajo del metal ya fundido. De esta forma, la rotación proporciona una fusión más rápida y también evita la adhesión de la carga a las paredes del crisol, como ocurre frecuentemente con los hornos convencionales. El formato del crisol y especialmente el cuello estrecho, junto con las condiciones neutras o reductoras dentro del crisol, virtualmente eliminan las pérdidas por oxidación de las cargas y aseguran una alta recuperación de metal (un porcentaje típico es la recuperación de un 94% del metal de limadura de latón 60/40, conteniendo 3% de aceite).

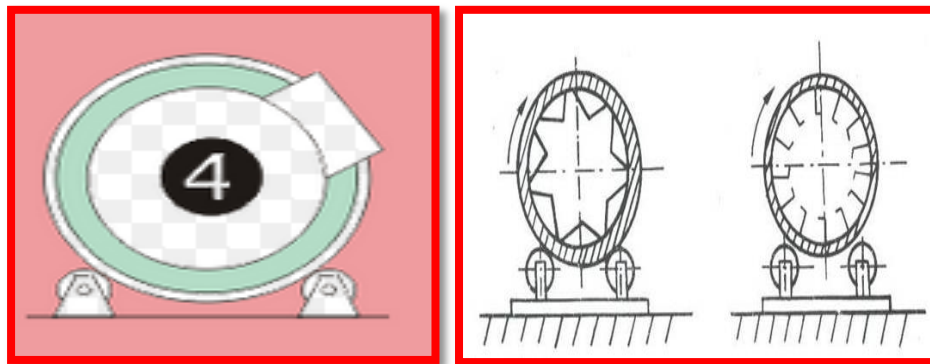


Figura 2.5. Esquema de Horno rotativo de crisol.

FUENTE: Fundamentos de la Fundición de Metales. (Serope Kalpajian, Steven Schmidt, 2002)

2.3. Formas de calentamiento de un horno de crisol.

En relación a la forma de energía utilizada, los hornos de crisol pueden ser operados básicamente a través de energía eléctrica o de combustibles. En relación a la energía eléctrica, los hornos más comunes son de resistencia y de inducción. En cuanto a los combustibles, se puede utilizar una serie de formas diferentes (tabla 2.1). Cada forma de

energía, sea eléctrica o en forma de combustible, posee sus ventajas y desventajas que deben ser aprovechadas o evitadas de acuerdo con las condiciones de producción exigidas, o en función de la política de abastecimiento adoptada.

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

Tabla 2.1. Principales tipos de Combustible en la operación de hornos de Crisol.

FUENTE: Tecnología de Fundición (Politécnica Nacional Ing. Wilson Mantilla, 2000)

2.4. Cualidades técnicas y económicas.

Las principales cualidades técnicas y económicas que deben cumplir los hornos de fundición se resumen de la siguiente manera:

2.4.1. Cualidades de orden técnico.

- Fundir el metal tan rápido como sea posible y elevarlo a la temperatura de vaciado requerida.
- Mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición.
- Poco tiempo de parada.
- Uniformidad de temperatura.
- Instalación de distribución y regulación de temperatura.
- Diseño robusto del horno.
- El metal prácticamente no entra en contacto con la fuente de calentamiento (hecho por vía indirecta) y por esto, está sujeto a poca contaminación.

2.4.2. Condiciones para mejorar la productividad.

- Realización de la combustión en un volumen muy reducido.
- Utilización de viento precalentado o de aire enriquecido en oxígeno.
- Utilización de un combustible de calidad.
- Reducción de pérdidas térmicas hacia el exterior.

2.4.3. Condiciones económicas.

El obstáculo mayor que confrontará todo aquel que quiere iniciarse en la escultura de metal es generalmente el alto costo del equipo para derretir metales. Un quemador a gas, los tanques, los medidores y los reguladores de presión necesarios, resulta una inversión cuantiosa. Las fundidoras de aluminio afrontan muchos factores que han tenido un gran impacto sobre su economía. Desde los costos en aumento de energía, materiales y mano de obra, hasta la amenaza de más reglamentación gubernamental, el enfoque de las fundidoras de aluminio se divide entre los temas relacionados con el colado y las realidades de la manufactura actual. Entre las condiciones económicas que este presenta tenemos:

- Costes de adquisición.
- Materia prima a base de la chatarra.

- El costo de operación del horno.
- Consumo de energía.

2.4.4. Condiciones de operatividad.

- Facilidad de instalación.
- Facilidad de carga de material.
- Comodidad en la ejecución de las operaciones.

2.5. Aleaciones no Ferrosas.

Las aleaciones de aluminio son las más importantes entre las no ferrosas, principalmente por su ligereza, endurecibilidad mediante deformación, resistencia a la corrosión y su precio bajo en comparación con los metales no ferrosos.

Dependiendo de su densidad, pueden clasificarse en:

2.5.1. Metales ultraligeros

Su densidad es menor a 2 Kg/dm^3 , el magnesio es el más utilizado en la industria.

2.5.2. Metales ligeros

Su densidad está entre 2 y 5 Kg/dm^3 , los más empleados son el aluminio y el titanio.

2.5.3. Metales pesados

Su densidad es $\geq 5 \text{ Kg/dm}^3$, entre ellos están: el plomo, el cromo, el cobre el níquel, el mercurio, etc.

2.6. Aluminio.

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferro magnético. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales. En

estado natural se encuentra en muchos silicatos como son feldespatos, plagioclasas y micas. Como metal se extrae únicamente del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio metálico mediante electrólisis. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad y su alta resistencia a la corrosión. Es buen conductor de la electricidad y del calor, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato. El principal inconveniente para su obtención reside en la elevada cantidad de energía eléctrica que requiere su producción. Este problema se compensa por su bajo costo de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

2.6.1. Constantes Físicas del Aluminio.

Metal	Temperatura de Fusión °C.	Calor Especifico del Solido C₁ Kcal/Kg. °C	Calor Especifico del Solido C₂ Kcal/Kg. °C	Calor Latente de Fusión C₃ Kcal/Kg
Aluminio	657	0.23	0.39	85

Tabla 2.2. Constantes Físicas del Aluminio (Temperaturas de fusión, calores específicos medios y calores latentes de fusión del aluminio.)

FUENTE: Propiedades del Aluminio (<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/>, 2000)

2.6.2. Características mecánicas.

- Material blando.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- De fácil mecanizado.
- Material que forma aleaciones con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas.

- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.

2.6.3. Características físicas.

- Es un metal ligero, cuya densidad es de 2.700 kg/m³.
- Tiene un punto de fusión bajo: 660 °C (933 °K).
- El peso atómico del aluminio es de 26,9815 g/mol.
- Es de color blanco brillante, con buenas propiedades ópticas y un alto poder de reflexión de radiaciones luminosas y térmicas.
- Tiene una elevada conductividad eléctrica comprendida entre 34 y 38 m/Ω mm². y una elevada conductividad térmica 80 a 230 W/m°K.

2.7. Aplicaciones y usos

Aplicaciones principales en los sectores de la construcción y la industria.

2.7.1. Utilización del aluminio en la construcción.

Aquí se puede dividir el aluminio utilizado en función de si se trata de material plano (chapa, bobina) o material extruido (perfilería). En la construcción de viviendas es frecuente la construcción de ventanas, marcos, puertas, mosquiteras y otros en perfiles de aluminio. Techos perfiles pueden ser lacados en diferentes colores o anodizados, para protegerlos mejor contra la corrosión. También se utiliza aluminio o aleaciones de aluminio extruido para la fabricación de canales y bajantes para el desagüe de aguas pluviales. Cada fabricante dispone de su propio catálogo de productos extruidos -perfiles-, donde ha potenciado ciertas características del mismo como pueden ser facilidad de anclaje, resistencia u otras. En cuanto al material plano, podemos destacar el uso de chapa de aluminio lacada para el recubrimiento de fachadas vistas y también para cubiertas. Existen multitud de nombres comerciales pues cada fabricante ha desarrollado su propia marca, pero en todos los casos se trata de paneles de aluminio formados con dos láminas de aluminio y entre ambas una capa de polietileno.

2.7.2. Utilización del aluminio en la industria.

La industria mecánica desarrolla piezas de aluminio para multitud de aplicaciones, para lo que utiliza diferentes procesos de fabricación. Se va a enumerar unos cuantos; a partir de bobina de aluminio estirada, la industria fabrica piezas por estampación para la industria automotriz (bastidores, rejillas, molduras, llantas, conductos de aire acondicionado y paneles en la carrocería), para la aviación (partes del fuselaje del avión, transmisiones, trenes de aterrizaje). Mediante procesos de embutición del aluminio, se pueden fabricar elementos de menaje tales como ollas, sartenes y diversos artículos de cocina, artículos de decoración como luminarias, pantallas de aluminio y otras. Mediante maquinaria especial de doblado y conformado, empresas especialistas utilizan chapas y recubrimiento de tuberías y maquinaria mediante fibra de vidrio y aluminio para tratar de disminuir las fugas térmicas (tanto de frío como de calor). El sector de la industria automotriz utiliza plancha de aluminio para la fabricación de sus remolques, chasis, atracciones de feria y otros.

2.8. Proceso de fundición de aluminio a partir del material reciclado.

2.8.1. Reciclaje de aluminio.

El aluminio se recicla indefinidamente, sin pérdida de calidad. Por ejemplo en Europa, el aluminio disfruta de tasas de reciclado altas que oscilan entre el 42% de las latas de bebida, el 85% de la construcción y el 95% del transporte. Debido a que el material puede reciclarse indefinidamente, merma de su calidad, y por su valor intrínseco, existen estímulos naturales fuertes para recuperar y reciclar los productos de aluminio después de su uso. En la actualidad, existen sistemas globales de recuperación del aluminio.

Producir aluminio mediante reciclado, requiere únicamente el 5% de la energía necesaria para producir aluminio de la bauxita. “El aluminio es 100% reciclable sin merma de sus cualidades físicas, y su recuperación por medio del reciclaje se ha convertido en una faceta importante de la industria del aluminio”⁸

⁸ *Reciclaje de aluminio*, http://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_aluminio, año 2011.

El proceso de reciclaje del aluminio necesita poca energía. El proceso de refundido requiere sólo un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario inicial. El reciclaje del aluminio fue una actividad de bajo perfil hasta finales de los años sesenta, cuando el uso creciente del aluminio para la fabricación de latas de refrescos trajo el tema al conocimiento de la opinión pública. Al aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario. La fundición de aluminio secundario implica su producción a partir de productos usados de dicho metal, los que son procesados para recuperar metales por pre-tratamiento, fundición y refinado. Se utilizan combustibles, fundentes y aleaciones, mientras que la remoción del magnesio se practica mediante la adición de cloro, cloruro de aluminio o compuestos orgánicos clorados. Para proceder al reciclaje del aluminio primero hay que realizar una revisión y selección de la chatarra según su análisis y metal recuperable para poder conseguir la aleación deseada. La chatarra preferiblemente se compactará, generalmente en cubos o briquetas o se fragmentará, lo cual facilita su almacenamiento y transporte. La preparación de la chatarra descartando los elementos metálicos no deseados o los inertes, llevarán a que se consiga la aleación en el horno de manera más rápida y económica. El residuo de aluminio es fácil de manejar porque es ligero, no arde y no se oxida y también es fácil de transportar. El aluminio reciclado es un material cotizado y rentable. El reciclaje de aluminio produce beneficios ya que proporciona ocupación y una fuente de ingresos para mano de obra no calificada.

2.9. Fusión del aluminio.

“La fusión es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia del estado sólido al estado líquido por la acción del calor. Cuando se calienta un sólido, se transfiere calor a los átomos que vibran con más rapidez a medida que gana energía.”⁹

“La fusión del aluminio es un proceso que se realiza mediante la adición de energía usando hornos de diferentes características, los cuales pueden ser muchos en cuanto a tipo y diseño, pero de acuerdo al tipo de suministro de energía, los hornos de fusión se clasifican en

⁹ SALVI, G, “*La combustión teoría y aplicaciones*”, España 1995, segunda edición, pág. 440.

hornos de combustión, eléctricos y mixtos”.¹⁰ En nuestro medio la fusión se la efectúa casi exclusivamente en hornos de combustible.

Si bien es cierto que el aluminio tiene un punto de fusión de 660 °C, relativamente bajo en comparación con el bronce 900 °C o hierro 1508°C, sin embargo se precisa un 80% más de calor latente para fundir aluminio que para fundir bronce. Para obtener éxito en el proceso de fusión es necesario poder medir y/o regular la temperatura del caldo puesto que una vez que toda la carga se ha fundido, la temperatura comenzara a elevarse con suma rapidez si es que seguimos con el mismo suministro de calor ya que el requerimiento calórico será menor y mientras mayor sea el recalentamiento a que somete el caldo mayores serán los problemas y menor la calidad de la aleación.

Un proceso inadecuado produce en el metal un estado de deterioro causado por oxidación y por disolución de hidrogeno.

En estado líquido la formación de óxidos se debe por lo general a la reacción del vapor de agua con el metal.

Esta capa de óxido que se forma en la superficie del metal líquido toma el nombre de escoria cuando se torna demasiado gruesa, pero si el metal se encuentra en estado de reposo, esta es la mejor protección que se puede brindar al baño, si por cualquier circunstancia la capa se rompe es inmediatamente sustituida por otra.

En conclusión, mayor será la formación de óxidos mientras mayor sea la temperatura de fusión. A más de la incidencia de la temperatura la oxidación se torna mucho más crítica cuando se trabaja con aleaciones de aluminio con 4% o más de magnesio ya que éste incrementa la velocidad de formación de óxidos. Para prevenir la oxidación o convertirla en el caso que esté presente se usan los fundentes o desoxidantes. La presencia de óxidos en las fundiciones de aluminio, disminuyen las propiedades mecánicas y por ser los óxidos extremadamente duros, dificultan el maquinado, además tienden a disminuir la fluidez y a causar por lo tanto serios problemas.

¹⁰ *Fusión de aluminio.*, http://www.utp.edu.co/~publio17/laboratorio/fusion_al.htm, año 2011.

2.10. Requerimientos básicos para fundición de aluminio.

Las consideraciones de fusión dadas a continuación permiten establecer las características necesarias para obtener fundiciones de calidad minimizando recursos y tiempo:

- El control de la temperatura de fusión y colado debe ser adecuado.
- La fusión del metal debe realizarse en el menor tiempo posible.

Por lo tanto de acuerdo con las condiciones iniciales del horno, y según los requerimientos del proceso de fundición de aluminio se caracterizan algunas variables debido a que se debe tomar en cuenta algunos parámetros los que dependen:

- De la forma del horno, los mismos que se describen en el diseño.
- De la cantidad de materia a fundir.
- De la temperatura.
- Del tiempo necesario para fundir el metal.
- La eficiencia del horno la misma que se basa en la cantidad de calor útil .
- La cantidad de pérdida de calor.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS TÉRMICO.

3.1. Determinación de parámetros.

Los parámetros de temperaturas no son fáciles de medirlas superficialmente en la práctica para poder determinarlas ya que, estas no son iguales a la temperatura del aire o gas en contacto con la superficie y varían considerablemente. De la investigación realizada, se determina en la práctica que la temperatura exterior de las capas superficiales de las paredes puede variar sustancialmente con respecto a la temperatura del aire y es la temperatura de la capa de la pared interior que frecuentemente es inferior a la temperatura en la cámara de combustión del horno.

Los parámetros que se toman en cuenta en el diseño son:

- **Temperatura exterior (T_{∞}).**- Para el diseño del horno la temperatura ambiente es de 20°C.
- **Temperatura de fusión (T_d)** .- Temperatura de fusión del metal a fundir ,cuyo punto de fusión es menor o igual a 660°C.
- **Tiempo de calentamiento (t).**- En el diseño se evalúa como el tiempo necesario para obtener el metal fundido el cual se determina en 1 hora.
- **Capacidad del Horno.**- Se selecciona en función de la capacidad del crisol para lo cual se ha seleccionado un crisol con una capacidad de 15 kg de fundición.
- **Temperatura de vertido (T_v).**- Es la temperatura en la cual el metal fundido va a ser vertido en los moldes. Para el diseño se ha consultado de bibliografía relacionada que los valores de las propiedades físicas del Aluminio el cual tiene su punto de fusión aproximado a los 800°C; también se puede observar en la siguiente tabla las propiedades físicas, químicas y mecánicas del aluminio determinadas para el diseño del horno:

Tabla 3. 1. Propiedades del Aluminio.

<i>ALUMINIO</i>	<i>AL</i>
Densidad a 20 °C:	2700 kg/m ³ (1,56 Oz/in ³ a 68 °F)
Punto de fusión:	660 °C (933 K)
Punto de ebullición	2467 °C
Calor específico:	0,92 J/g K (0,23 cal/ g °C)
Calor latente de fusión (γ):	395·10 ³ J/kg (94 Kcal/kg)
Calor latente de ebullición:	9220·10 ³ J/kg
Conductividad eléctrica:	37,8·10 ⁶ S/m (siemens por metro)
Conductividad térmica:	209-230 W/m · °K
Coeficiente de dilatación lineal:	2,4·10 ⁻⁵ °C ⁻¹

Fuente: Propiedades del aluminio (<http://www.alu-stock.es/tecnica/comparacion.htm>)

3.2. Esquema de elementos internos principales del horno.

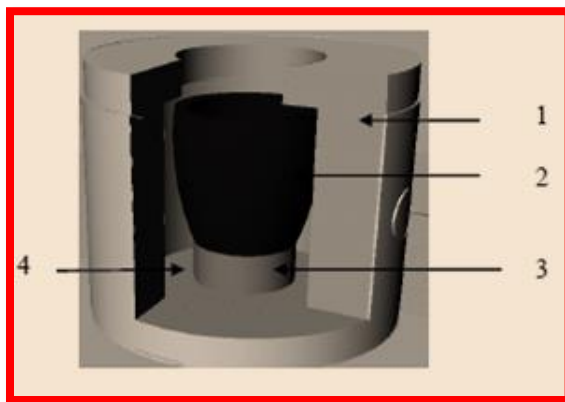


Figura 3.1. Elementos internos del Horno.

FUENTE: Autores.

1. Pared refractaria (capa aislante, ladrillo refractario, cemento refractario)
2. Crisol.
3. Base del Crisol.
4. Cámara de Combustión.

3.3. Energía necesaria para el proceso de fundición del metal.

Para el proceso de fundición se debe obtener los metales y sus aleaciones mediante un cambio de estado sólido a estado líquido, desarrollando un intercambio de energía y calor determinado. Para establecer este proceso, después que ha llegado a la temperatura de fusión es necesario establecer mucha mayor temperatura para transformar el metal de sólido a líquido. En esta transición la temperatura aumenta y la cantidad de calor establecida está determinada únicamente a disgregar el estado sólido, este proceso es llamado calor latente de fusión. El calor determinado para producir la temperatura de vertido en el aluminio va a ser la suma de las tres cantidades presentadas a continuación:

- **Q1.-** Energía necesaria para elevar la temperatura del aluminio, desde la temperatura ambiente.
- **Q2.-** Energía necesaria para convertir al aluminio de sólido a líquido, llamada también calor latente de fusión del metal.
- **Q3.-** Energía demandada para sobrecalentar el aluminio hasta la temperatura de vertido.

Tomando en cuenta los parámetros anteriormente establecidos se determina que el calor necesario para fundir el metal está determinado al evaluar el calor **Q** que es igual a la suma de los tres calores, y está determinada mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{Metalica} = Q1 + Q2 + Q3 \quad (\text{ec.}^{11})$$

De donde se obtiene que el calor va a ser evaluado con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{m \cdot Cp (Tf - To)}{t} \quad (\text{ec.}^{12})$$

Dónde:

Q= Calor (Kcal/h)

¹¹TRINKS, W, “*Hornos industriales*”, primera edición, España, Madrid, editorial Urma, 1975, pág. 40-50.

¹² CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

m = peso de la carga (kg)

C_p = Calor específico (Kcal/kg°C)

T_f = Temperatura final igual al punto de fusión del aluminio T_d (°C)

T_o = Temperatura inicial igual a la temperatura ambiente T_∞ (°C)

t = Tiempo 60min (1 h)

3.3.1. Calor necesario para elevar la temperatura de 20 °C a 660 °C.

$$Q1 = \frac{m.C_p (T_f - T_o)}{t} \quad (\text{ec. }^{13})$$

Dónde:

$Q1$ =Calor necesario para elevar la temperatura de 20 °C a 660 °C

m = 15 Kg

C_p = 0,23 Kcal/Kg°C

T_f = 660°C

T_o = 20°C

γ = 94 Kcal/kg.

$$Q1 = \frac{15 * (0,23) * (660 - 20)}{1}$$

$$Q1 = 2208 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

3.3.2. Calor necesario para promover un cambio de fase.

$$Q2 = \frac{m\gamma}{t} \quad (\text{ec. }^{14})$$

¹³ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

Dónde:

$Q2$ =Cantidad de calor necesario para producir un cambio de fase

$m= 15 \text{ Kg}$

$\gamma= 94 \text{ Kcal/kg.}$

$t= 60 \text{ min}$

$$Q2 = \frac{15 * 94}{1}$$

$$Q2 = 1410 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

3.3.3. Calor necesario para llegar a la temperatura de fusión del material.

$$Q3 = \frac{m.Cp (Tf-To)}{t} \quad (\text{ec. }^{15})$$

Dónde:

$Q3$ =Calor necesario para llegar a la temperatura de fusión del material

$m= 15 \text{ Kg}$

$Cp = 0.23 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$

$Tf= 800^{\circ}\text{C}$

$To= 660^{\circ}\text{C}$

$\gamma= 94 \text{ Kcal/kg.}$

$t= 60 \text{ min.}$

¹⁴ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

¹⁵ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

$$Q_3 = \frac{15 * (0,23) * (800 - 660)}{1}$$

$$Q_3 = 483 \frac{Kcal}{h}$$

De acuerdo a los cálculos realizados obtenemos que la cantidad de calor total requerida que se ha de entregar a la carga metálica será la sumatoria de los calores individuales obtenidos anteriormente.

$$Q_{carga\ metálica} = 2208 + 1410 + 483$$

$$Q_{carga\ metálica} = 4101 \frac{Kcal}{h}$$

3.3.4. Determinación del calor absorbido por el crisol.

Es de suma importancia evaluar la energía necesaria que proporciona elevar el crisol de una temperatura ambiente hasta la temperatura de fusión del aluminio durante el proceso; de esta manera la energía calorífica absorbida por el crisol se determina con la siguiente ecuación:

$$Q_{Absorve\ crisol} = \frac{m.Cp(Tf-To)}{t} \quad (ec. 16)$$

Dónde:

$Q_{Absorve\ crisol}$ = Calor absorbido por el crisol.

m = Peso del crisol 8,88 Kg.

Cp = Calor específico del crisol 0,31 Kcal/Kg°C

Tf = 800°C

To = 20°C

t = 60 min.

¹⁶ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

$$Q_{Absorve\ crisol} = \frac{8,88 * 0,31 (800 - 20)}{1}$$

$$Q_{Absorve\ crisol} = 2147,18 \frac{Kcal}{h}$$

3.3.5. Calor total requerido para la fusión.

Para evaluar el calor total demandado en la fusión del aluminio se determina la sumatoria del gasto parcial de las energías en el proceso.

$$Q_{Total.Fusion} = Q_{carga\ metalica} + Q_{Absorve\ crisol}. \quad (ec. ^{17})$$

$$Q_{Total.Fusion} = 4101 + 2147,18$$

$$Q_{Total.Fusion} = 6248,18 \frac{Kcal}{h}.$$

3.4. Determinación del peso a calentar.

Se determina el peso total a calcular mediante la sumatoria del peso del metal a fundir, más el peso del crisol:

$$P_T = P_{Crisol} + P_{Metal}. \quad (ec. ^{18})$$

$$P_T = 8,88 + 15$$

$$P_T = 23,88 \text{ Kg..}$$

3.4.1. Área a calentar.

Corresponde al área interna de la cámara de combustión del horno.

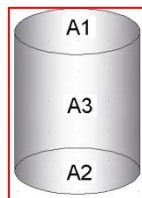


Figura 3.2. Área a calentar

FUENTE: Autores.

¹⁷ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

¹⁸ Microsoft encarta 2009. 1993-2008. “*Microsoft Corporation*”. Reservados todos los derechos.

$$A_1 = A_2 \quad (\text{ec. }^{19})$$

$$A_1 = 2 \pi r^2 = 2 * \pi * (0,175)^2 = 0,192\text{m}^2.$$

$$A_3 = 2 \pi r h = 2 * \pi * (0,175)(0,47) = 0,51\text{m}^2.$$

$$[A_1 - A_{Crisol}] = \{2 * \pi(0,175)^2 - [\pi(0,130 + 0,095)0,3119 + 0,130^2 + 0,095^2]\} = 0,109\text{m}^2$$

$$A_c = A_1 + A_3 + \{A_1 - A_{Crisol}\}$$

$$A_c = 0,593\text{m}^2.$$

3.4.2. Determinación de la cantidad de energía por kilogramo.

Es determinada al evaluar la división de la cantidad total de calor dentro del proceso para la masa total, y se desarrolla con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Q_{Total}}{P_{Total}} \quad (\text{ec. }^{20})$$

$$E = \frac{6248,18}{23,88}$$

$$E = 261,64 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

3.4.3. Determinación de la capacidad de calentamiento.

Se obtiene mediante el peso del aluminio a fundir que puede calentarse en una determinada unidad de tiempo a una temperatura establecida; para el presente diseño del horno el tiempo establecido es de 60 minutos, y se evalúa con la siguiente ecuación:

$$Cc = \frac{p_{Total}}{t * Ac} \quad (\text{ec. }^{21})$$

¹⁹ Microsoft encarta 2009. 1993-2008. “Microsoft Corporation”. Reservados todos los derechos.

²⁰ MANTILLA, W, “Investigación y desarrollo para fundición en un horno basculante”, Proyecto Conuep, año 1991..

²¹ MANTILLA, W, “Investigación y desarrollo para fundición en un horno basculante”, Proyecto Conuep, año 1991.

$$Cc = \frac{23,88}{3600 * 0,593}$$

$$Cc = 0,011 \frac{Kg}{m^2s.}$$

3.4.4. Determinación del flujo de calor por unidad de área.

Se obtiene de multiplicar la capacidad de calentamiento por la energía por kilogramo.

$$q = C_c * E \quad (\text{ec. }^{22})$$

$$q = 0,011 * 261,64$$

$$q = 2,87 \frac{Kcal}{m^2 s.}$$

3.4.5. Condición de trinks.

"Trinks sugiere el valor de $88,97 \left[\frac{Kcal}{m^3 * s} \right]$ " (ec. ²³).

Es el cociente de dividir el valor de calor por unidad de área, con la constante de trinks indica la relación de volumen con un área.

$$\frac{2,87 \frac{Kcal}{m^2 s}}{88,97 \left[\frac{Kcal}{m^3 s} \right]} = 0,032 \frac{m^3}{m^2}$$

$$0,032 \frac{m^3}{m^2}$$

$$X \quad 0,593 m^2$$

$$X=0,019 m^3.$$

Por la condición de Trinks se deduce que el volumen por una determinada área para nuestro diseño es igual a $0,019 m^3$ que ingresan por cada m^2 . El resultado muestra que se tiene un área a calentar de $0,593 m^2$ de tal manera que se necesita $0,019 m^3$.

²² MANTILLA, W, "Investigación y desarrollo para fundición en un horno basculante", Proyecto Conuep, año 1991.

²³ MANTILLA, W, "Investigación y desarrollo para fundición en un horno basculante", Proyecto Conuep, año 1991.

3.5. Dimensionamiento de la cámara de combustión.

Al establecer las dimensiones de la cámara de combustión se analiza los siguientes cálculos, se determina las dimensiones del crisol de la serie **AXO** tomando en cuenta los parámetros del diseño del horno que se establecieron para la construcción; mediante esta selección se ha procedido a diseñar la cámara de combustión con respecto a una separación de 2,5 cm, entre el crisol y las paredes del concreto refractario; ya que así lo recomiendan varios fabricantes de hornos en la industria. Al establecer la estructura de la cámara de combustión del horno va a permitir que presente una mayor distribución del calor alrededor del crisol al momento de la combustión; dimensionando y ubicando el quemador de combustible en la parte inferior del crisol para así aprovechar de mejor manera la distribución de la llama hacia la parte superior del crisol. Para el dimensionamiento de la cámara se toma en cuenta las siguientes dimensiones del crisol de la figura 3.3.

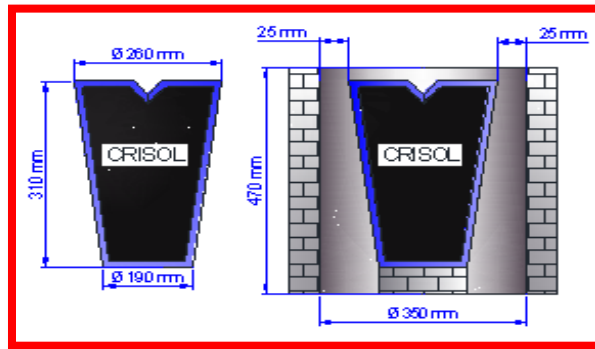


Figura 3.3. Dimensionamiento de la cámara de combustión.

FUENTE: Autores.

3.5.1. Volumen de la cámara de combustión.

Se procede a determinar el volumen de la cámara de combustión, el cual pertenece al espacio comprendido que se encuentra determinado entre la capa refractaria de las paredes del horno y el crisol, y se evalúa con la siguiente ecuación:

$$V_{\text{Fis.Cámara}} = V_{\text{Cam.Horno}} - V_{\text{Crisol}} \quad (\text{ec.}^{24})$$

²⁴ Microsoft encarta 2009, 1993-2008, “Microsoft Corporation”. Reservados todos los derechos.

Dónde:

$V_{Fis.Camara}$ =Volumen físico de la cámara (m³)

$V_{Camara\ Horno}$ =Volumen de la cámara interior del horno (m³)

V_{Crisol} =Volumen del crisol (m³)

Al calcular el volumen real de la cámara de combustión, las condiciones dimensionales del diseño del horno serán:

Dónde:

$D_{Iametro\ Camara\ interior} = 0.350$ (m).

$A_{ltura} = 0.470$ (m).

3.5.1.1. Volumen de la cámara interior del horno.

$V_{Camara\ Horno}$:

$$V_{Cam.Horno} = \pi * r^2 * h. \quad (ec.^{25})$$

$$V_{Cam.Horno} = \pi * (0,175)^2 * 0.47.$$

$$V_{Cam.Horno} = 0,045m^3.$$

3.5.1.2. Volumen del crisol.

V_{Crisol} :

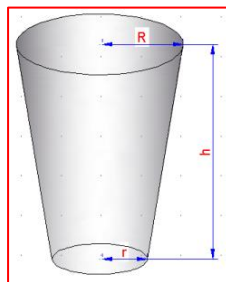


Figura 3.4. Volumen del Crisol.

FUENTE: Autores.

²⁵ Microsoft encarta 2009, 1993-2008, “Microsoft Corporation”., Reservados todos los derechos.

$$V_{Crisol} = \frac{\pi * h(R^2 + r^2 + R * r)}{3} \quad (\text{ec. }^{26})$$

$$V_{Crisol} = \frac{\pi * 0,310(0,130^2 + 0,095^2 + 0,130 * 0,095)}{3}$$

$$V_{Crisol} = 0,012m^3.$$

Entonces:

3.5.1.3. Volumen físico de la cámara.

$$V_{Fis.cámara} = 0,045 - 0,012$$

$$V_{Fis.cámara} = 0,033m^3.$$

Para el diseño del horno las dimensiones de la cámara de combustión resultan determinadas, cuando se iguala el volumen físico de la cámara de combustión y el volumen calculado de la cámara de combustión, en este caso para el diseño del horno los parámetros evaluados presentan una diferencia mínima por lo que resulta adecuada la selección de las dimensiones así como también la selección del crisol realizada del catálogo. Los valores o podemos observarlos en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Dimensiones de la cámara de combustión con respecto al tamaño del Crisol.

DATOS CÁMARA DE COMBUSTIÓN.					
<i>Serie Crisol</i>	<i>Diámetro Mayor.</i>	<i>Diámetro Menor</i>	<i>Altura</i>	<i>Volumen Físico Cámara Comb.</i>	<i>Volumen Calc. Cámara Comb.</i>
<i>AXO</i>	205 mm	140mm	245mm	0.033 m ³	0.019m ³

Fuente: Manual de comercialización de crisoles;(MAR INTERNACIONAL) catalogo 2012.

Por lo tanto las dimensiones que se adoptan para la cámara de combustión son las siguientes:

Ø Cámara combustión= 0,350 (m); r = 0,175 (m)

²⁶ Microsoft encarta 2009, 1993-2008, “Microsoft Corporation”., Reservados todos los derechos.

Altura cámara combustión (h) = 0,470 (m)

"De los valores anteriormente calculados se concluye que el crisol de la serie AXO presenta las dimensiones adecuadas para el presente diseño del horno".²⁷

3.6. Dimensionamiento de espesores de materiales en el horno.

Es necesario comprender el proceso de transferencia de calor para así dimensionar los espesores de las capas refractarias y aislante térmico que conforman el horno.

3.6.1. Principales formas de transferencia de calor.

"Con respecto al estudio de la transferencia de calor las calderas, los calentadores y los hornos y los colectores solares están diseñados tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor"²⁸.

3.6.1.1 Conducción.

La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas como se observa en la figura 3.5.

El mecanismo físico de conducción se explica más fácilmente considerando un gas y usando ideas que le sean familiares, propias de su experiencia en termodinámica. Piense en un gas en el que existe un gradiente de temperatura y suponga que no hay movimiento global. El gas puede ocupar el espacio entre dos superficies que se mantienen a diferentes temperaturas.

²⁷ Mars internacional.; “*Manual de Comercialización de Crisoles*”; Catalogo 2012.

²⁸ INCROPERA, F, “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 4.

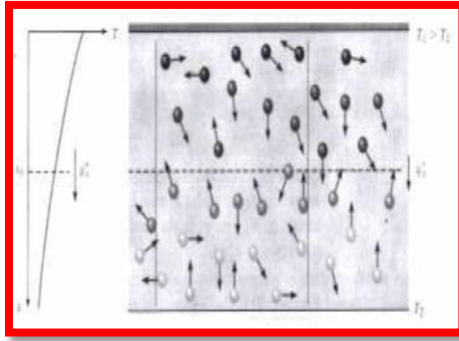


Figura 3.5. Comportamiento molecular en la transferencia de calor por conducción.

FUENTE: Fundamentos de la Transferencia de Calor (Incropera)

De igual manera, en un sólido, la conducción se atribuye a la actividad atómica en forma de vibraciones reticulares. "El punto de vista moderno es atribuir la transferencia de energía a ondas reticulares inducidas por el movimiento atómico." ²⁹ En un no conductor, la transferencia de energía se da exclusivamente por la vía de estas ondas reticulares; en un conductor, la transferencia de energía se debe también al movimiento de traslación de los electrones libres.

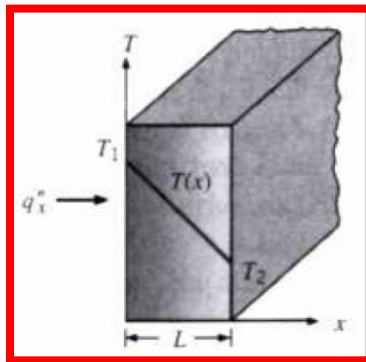


Figura 3.6. Ley de Fourier.

FUENTE: Fundamentos de la Transferencia de Calor (Incropera)

Para una pared unidimensional que se muestra en la figura 3.6., la cual tiene una distribución de temperaturas:

²⁹ INCROPERA, F, "Fundamentos de la transferencia de calor", segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 4.

$$q''_x = -k \frac{dt}{dx} \quad (\text{ec. }^{30})$$

Dónde:

q''_x = Flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área. (W/m²)

k = conductividad térmica propia del material. (W/m⁰K)

$\frac{dt}{dx}$ = Gradiente de temperatura en la dirección x. (°K/m)

3.6.1.2. Convección.

El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio, la energía también se transfiere mediante el movimiento global, o macroscópico del fluido.

El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados.

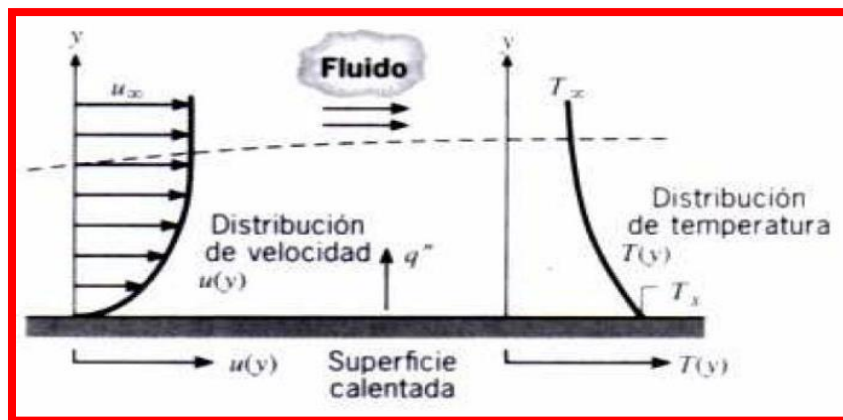


Figura 3.7. Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección..

FUENTE: Fundamentos de la Transferencia de Calor (Incropera)

³⁰ INCROPERA, F, “Fundamentos de la transferencia de calor”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 6.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza de flujo. Hablamos de convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos.

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor, por convección, la siguiente ecuación es el modelo apropiado.

$$q'' = h (T_s - T_\alpha) \quad (\text{ec.}^{31})$$

Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton, y la constante proporcional h se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección.

En la convección libre el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Esta constante está relacionada mediante las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y del transporte.

Cualquier estudio de convección se reduce finalmente a un estudio de los medios por lo que es posible determinar h .

3.6.1.3. Radiación.

La radiación térmica es la energía producida por la materia que se encuentra a una temperatura finita.

³¹ INCROPERA, F, “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 8.

Aunque centraremos nuestra atención en la radiación de superficies sólidas, esta radiación también puede provenir de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos.

Esta expresión proporciona la diferencia entre la energía térmica que se libera debido a la emisión por radiación y la que se gana debido a la absorción de radiación.

$$q_{rad} = h_r A(T_s - T_{air}) \quad (\text{ec. }^{32})$$

Dónde reemplazando de la ecuación anterior se obtiene la siguiente expresión.

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{air})(T_s^2 + T_{air}^2) \quad (\text{ec. }^{33})$$

Dónde:

ε = corresponde a la emisividad que es característica propia de las superficies con un valor que se halla entre los límites 0 y 1.

Esta propiedad da una característica de la medida de la eficiencia con la que una superficie emite energía con relación a un cuerpo negro.

σ = Constante de Stefan Boltzman con un valor de $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.³⁴

3.7. Perfil de temperaturas.

Se entiende como un perfil de temperaturas, a la transferencia de calor por conducción en estado estacionario de los cuales se obtendrán las medidas fundamentales del horno.

³² INCROPERA, F, “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 10.

³³ INCROPERA, F, “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 10.

³⁴ INCROPERA, F, “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 9.

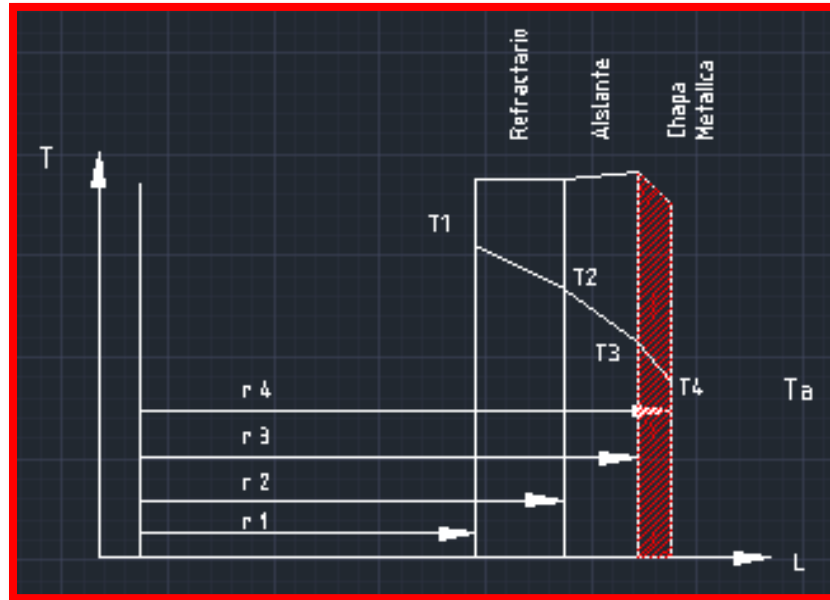


Figura 3.8. Perfil de temperaturas en el interior del Horno.

FUENTE: Autores.

r_1 = Radio interior del horno.

r_2 = Radio de la intercara del refractario y la capa aislante del horno.

r_3 = Radio de la intercara aislante y de la chapa metálica del horno.

r_4 = Radio exterior del horno.

T_1 =Temperatura de la cámara de combustión.

T_2 =Temperatura de la capa del refractario con la capa aislante.

T_3 =Temperatura de la capa aislante y de la chapa metálica.

T_4 =Temperatura exterior.

T_a =Temperatura del medio ambiente.

Desarrollando el método de analogías eléctricas mediante resistencias equivalentes para la evaluación de la transferencia de calor por unidad de longitud en las capas cilíndricas y por unidad de área en las capas del horno se tiene:

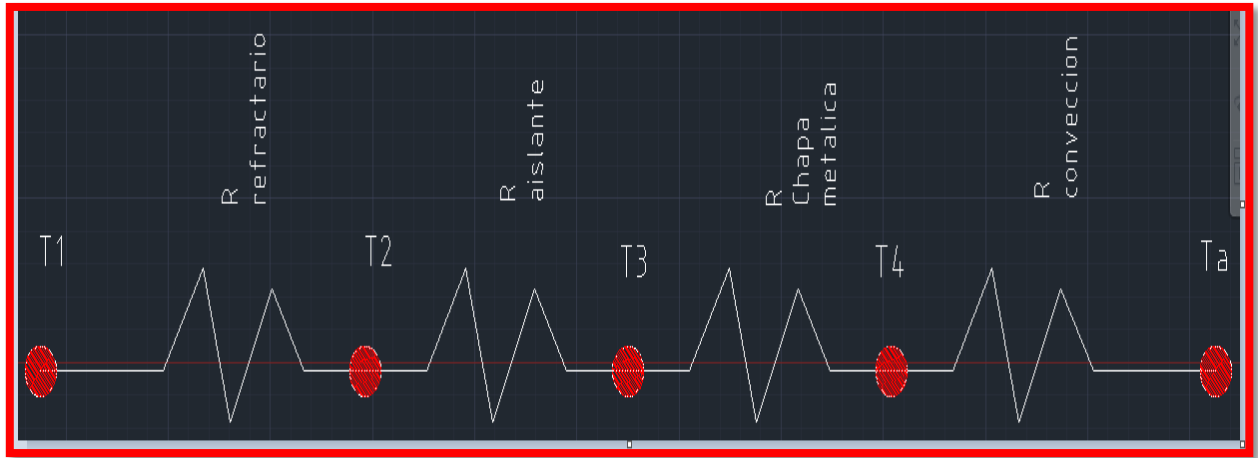


Figura 3.9 Esquema de resistencias analógicas para el horno.

FUENTE: Autores.

DONDE:

$R_{\text{refractario}}$ = Resistencia en el ladrillo refractario.

R_{aislante} = Resistencia del aislante.

$R_{\text{chapa metálica}}$ = Resistencia en la chapa metálica.

$R_{\text{conveccion}}$ = Resistencia en el aire debido al proceso de transferencia de calor por convección. El diseño del horno se evaluará las siguientes ecuaciones:

Conducción:

Paredes planas:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{K \cdot A}} \quad (\text{ec. }^{35})$$

Paredes cilíndricas:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{1}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \right] \frac{1}{K}} \quad (\text{ec. }^{36})$$

³⁵ CENGEL, Y, “Transferencia de calor y masa”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 137-150.

Convección:

Paredes planas:

$$Q = \frac{(T_4 - T_A)}{Ah} \quad (\text{ec. }^{37})$$

Paredes cilíndricas:

$$Q = \frac{(T_4 - T_A)}{\frac{1}{2\pi r^4 Lh}} \quad (\text{ec. }^{38})$$

3.7.1. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Se debe determinar los coeficientes de transferencia de calor, tomando en cuenta las dimensiones del horno para lo cual se considera:

- Paredes planas
- Paredes cilíndricas

En primer lugar la temperatura de película que en la fórmula corresponde a:

$$T_p = \frac{(T_A + T_4)}{2} \quad (\text{ec. }^{39})$$

Dónde:

T_p = Temp de Película.

T_A = Temp ambiente = 20 ° C = 293 °K

T_4 = Temp de la chapa metálica = 60 °C =333 °K.

La temperatura de película es:

$$T_p = \frac{293+333}{2} = 313^\circ \text{ K} .$$

³⁶ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 137-150.

³⁷ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 137-150.

³⁸ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 137-150.

³⁹ INCROPERA, F, “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 493.

Con esta temperatura se obtiene las propiedades del aire, de la siguiente tabla:

TABLA 3.3. Propiedades del aire con temperatura de Película.

Temperatura °K	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Conductividad Térmica k (W/m°K)	α (m ² /s)	Constante de Prank
313	17,19X10 ⁻⁶	27,26X10 ⁻³	24,42X10 ⁻⁶	0.705

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor (INCROPERA, 2008)

Las condiciones de capa turbulenta obtenemos el número de Rayleigh (Anexo IV).

$$Ra = \frac{g\beta(T_S - T_A)L^3}{\nu\alpha} \quad (\text{ec. }^{40})$$

Dónde:

Ra = Número de Rayleigh.

g = Gravedad $9,8 \frac{m}{s^2}$

T_S = Temperatura de Salida 333° K .

T_A = Temperatura de Salida 293° K .

L = Altura 0,475 m.

$\alpha = 24,42 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

$\beta = \frac{1}{Tp}$

$$Ra = \frac{9.8 * 0,00319489 * (333 - 293) * 0,470^3}{17,19 \times 10^{-6} * 24,42 \times 10^{-6}}$$

⁴⁰ Ídem, pág.492.

$$Ra = 309751925,3$$

Se tiene que si el número Rayleigh es mayor a 10^9 el flujo es turbulento y el Número de Nusselt (Anexo IV) corresponde a:

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (\text{ec. } ^{41})$$

Dónde:

$$Ra = \text{Número de Rayleigh } 309751925,3$$

$$Pr = \text{Número de Prank } 0,705$$

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 * 309751925,3^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,705} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = 85,73$$

Se tiene:

$$hc = \frac{Nu * k}{L} \quad (\text{ec. } ^{42})$$

Dónde:

$$hc = \text{Coeficiente de transferencia de calor por convección}$$

$$Nu = \text{Número de Nusselt } 85,73$$

⁴¹ INCROPERA, F, “Fundamentos de la transferencia de calor”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 493.

⁴² INCROPERA, F, “Fundamentos de la transferencia de calor”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 492.

L = Altura 0,470 m

$$hc = \frac{85,73 * 27,26 \times 10^{-3}}{0,470}$$

$$hc = 4,97 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

3.7.2. Coeficiente de transferencia en la tapa inferior (base).

Se determina en iguales condiciones para la tapa inferior del horno con respecto a la temperatura que presentan las paredes cilíndricas, y por tanto las propiedades del aire bajo estas condiciones son iguales.

El número de Rayleigh evaluando con la ecuación $Ra = \frac{g\beta(T_s - T_A)L^3}{\nu\alpha}$ se tiene el siguiente valor de L.

$$L = \frac{A_s}{P} \quad (\text{ec. }^{43})$$

Dónde:

L = Longitud de la placa

A_s = Área superficial de la placa 0,28m²

P = Perímetro de placa 1,88m

$$L = \frac{0,28}{1,88}$$

$$L = 0,15m.$$

$$Ra = \frac{9.8 * 0,00319489 * (333 - 293) * 0,15^3}{17,19 \times 10^{-6} * 24,42 \times 10^{-6}}$$

El número de Rayleigh tiene como valor:

$$Ra = 1,00 \times 10^7$$

⁴³ Ídem, pág.498.

Considerando las placas horizontales con superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría se determina que el número de Nusselt es:

$$Nu = 0,15Ra^{\frac{1}{3}} \text{ Para } 10^7 < Ra < 10^{11} \quad (\text{ec. }^{44})$$

$$Nu = 32,39$$

Con la ecuación: $hc = \frac{Nu \cdot k}{L}$ del coeficiente de convección se tiene:

$$hc = \frac{32,39 \cdot 27,26 \times 10^{-3}}{0,15}$$

$$hc = 5,88 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.7.3. Coeficiente de transferencia en la tapa superior.

Siguiendo el mismo procedimiento anterior se considera una Temperatura película para la tapa del horno. Evaluando el número de Rayleigh con la ecuación $Ra = \frac{g\beta(T_S - T_A)L^3}{\nu\alpha}$ se tiene el siguiente valor con la siguiente consideración del valor de L.

$$L = \frac{A_S}{P}$$

Dónde:

L = Longitud de la placa

A_S = Área superficial de la placa 0,17 m²

P = Perímetro de placa 2,01 m

$$L = \frac{0,17}{2,01}$$

⁴⁴ INCROPERA, F, “Fundamentos de la transferencia de calor”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 498.

$$L = 0,08 \text{ m.}$$

$$Ra = \frac{9.8 * 0,00319489 * (333 - 293) * 0,08^3}{17,19 \times 10^{-6} * 24,42 \times 10^{-6}}$$

El número de Rayleigh tiene como valor:

$$Ra = 1,52 \times 10^6$$

Considerando las placas horizontales con superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría se determina que el número de Nusselt es:

$$Nu = 0,54 Ra^{\frac{1}{4}} \text{ Para } 10^4 < Ra < 10^7 \quad (\text{ec. } ^{45})$$

$$Nu = 18,96$$

Con la ecuación: $hc = \frac{Nu * k}{L}$ del coeficiente de convección se tiene:

$$hc = \frac{18,96 * 27,26 \times 10^{-3}}{0,06}$$

$$hc = 8,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°K}}$$

3.8. Determinación de las pérdidas de calor.

Para evaluar la energía producida en el calentamiento del horno se debe determinar las pérdidas de calor producidas durante el calentamiento y las pérdidas de calor producidas en estado estable, como se observa en la figura 3.10.

⁴⁵ INCROPERA, F, “Fundamentos de la transferencia de calor”, segunda edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 1999, pág. 498.

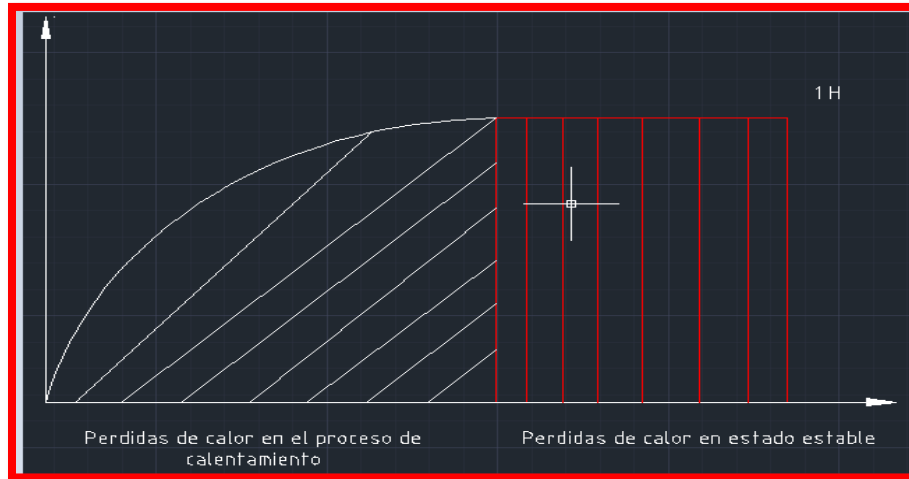


Figura 3.10. División de pérdidas de Calor.

FUENTE: Fundamentos de la transferencia de calor (INCROPERA)

3.8.1. Pérdidas de calor en las paredes del cilindro.

- **Por conducción.**

$$Q_{\text{Conducción}} = \frac{(T1 - T4)}{\frac{1}{2\pi L} \left[\frac{\ln\left(\frac{r2}{r1}\right)}{K_{\text{Refractario}}} + \frac{\ln\left(\frac{r3}{r2}\right)}{K_{\text{M.Ceramica}}} + \frac{\ln\left(\frac{r4}{r3}\right)}{K_{\text{Chapa}}} \right]}$$

Dónde:

T1 = Temperatura en la cámara de combustión 800°C (1073 °K)

T4 = Temperatura en la chapa metálica 333°K

L = Altura del horno 0,560m

K_{Refractario} = Conductividad Térmica del ladrillo refractario 1,34(W/m°K). (Anexo IV)

K_{M.Ceramica} = Conductividad Térmica de la manta cerámica 0,038(W/m°K) (Anexo IV)

K_{Chapa} = Conductividad Térmica de la chapa metálica 63,9(W/m°K) (Anexo IV)

r1 = Radio inicial 0,175 m

r2 = Radior**1** + el espesor del ladrillo refractario 0,289 m

r3 = Radior**2** + el espesor de la manta cerámica 0,297 m

r4 = Radio **r3** + el espesor de la chapa metálica 0,3 m

$$Q_{Conduccion} = \frac{(1073 - 333)}{\frac{1}{2\pi * (0,560)} \left[\frac{Ln\left(\frac{0,289}{0,175}\right)}{1,34} + \frac{Ln\left(\frac{0,297}{0,289}\right)}{0,038} + \frac{Ln\left(\frac{0,3}{0,297}\right)}{63,9} \right]}$$

$$Q_{Conducción} = 2410,53 \text{ W.}$$

- **Por convección.**

$$Q_{convección} = \frac{(T4 - TA)}{\frac{1}{2\pi r4 L h}}$$

TA = Temperatura Ambiente 293°K

T4 = Temperatura en la chapa metálica 333°K

L = Altura del horno 0,560m

hc = Coeficiente de calor por convección $4,97 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$$Q_{convección} = \frac{(333 - 293)}{\frac{1}{2\pi * 0,3 * 0,560 * 4,97}}$$

$$Q_{convección} = 209,84 \text{ W.}$$

3.8.2. Pérdidas de calor total en las paredes del cilindro.

$$Q_{T.cilindro} = Q_{Conducción} + Q_{convección} \quad (\text{ec. } ^{46})$$

$$Q_{T.cilindro} = 2410,53 + 209,84$$

⁴⁶ CENGEL, Y, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, tercera edición, Estados Unidos, México, 1995, pág. 146.

$$Q_{T.cilindro} = 2620,37 \text{ W.}$$

3.8.3. Pérdidas de calor en la base del horno.

- **Por conducción.**

$$Q_{Conducción} = \frac{(T1 - T4)}{\left[\frac{e_{refrac.}}{K_{Refractario} * A} + \frac{e_{chapa.}}{K_{Chapa} * A} \right]}$$

Dónde:

T1 = Temperatura en la cámara de combustión 800°C 1073 °K.

T4 = Temperatura en la chapa metálica 333°K

A= Área de la tapa 0,28m².

K_{Refractario} =Conductividad Térmica del ladrillo refractario 1,34(W/m°K) (Anexo IV)

K_{Chapa} =Conductividad Térmica de la chapa metálica 63,9(W/m°K) (Anexo IV)

e_{Ladrillo Refractario} = Espesor del material refractario 0,07 m.

e_{Chapa} =Espesor de la chapa metálica. 0,003 m.

$$Q_{Conducción} = \frac{(1073 - 333)}{\left[\frac{0,07}{1,34 * 0,28} + \frac{0,003}{63,9 * 0,28} \right]}$$

$$Q_{Conducción} = 3974,91 \text{ W.}$$

- **Por convección.**

$$Q_{convección} = \frac{(T4 - TA)}{Ah}$$

Dónde:

T4 = Temperatura de la chapa metálica 333°K

TA =Temperatura Ambiente 293°K

A =Área de la tapa 0,28 m².

hc = Coeficiente de calor por convección $5,88 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

$$Q_{convección} = \frac{(333 - 293)}{0,32 * 5,88}$$

$$Q_{convección} = 21,25 \text{ W.}$$

3.8.4. Pérdidas de calor total en la base del horno.

$$Q_{T.Base} = Q_{Conducción} + Q_{conveccion}$$

$$Q_{T.Base} = 3974,91 + 21,25$$

$$Q_{T.Base} = 3996,16 \text{ W.}$$

3.8.5. Pérdidas de calor en la tapa del horno.

- **Por conducción.**

$$Q_{Conducción} = \frac{(T1 - T4)}{\left[\frac{e_{refrac.}}{K_{Refractario} * A} + \frac{e_{chapa.}}{K_{Chapa} * A} \right]}$$

Dónde:

T1 =Temperatura en la cámara de combustión 800°C 1073 °K.

T4 = Temperatura en la chapa metálica 333°K

A= Área de la tapa 0,17m².

K_{Ladri.Refracta.} =Conductividad Térmica del ladrillo refractario 1,34 (W/m°K) (Anexo IV)

K_{Chapa} =Conductividad Térmica de la chapa metálica 63,9(W/m°K). (Anexo IV)

e_{Refractario} =Espesor del material refractario 0,07 m.

e_{chapa} =Espesor de la chapa metálica. 0,003 m.

$$Q_{Conducción} = \frac{(1073 - 333)}{\left[\frac{0,07}{1,34 * 0,17} + \frac{0,003}{63,9 * 0,17} \right]}$$

$$Q_{Conducción} = 2410,42 \text{ W.}$$

- **Por convección.**

$$Q_{convección} = \frac{(T4 - TA)}{Ah}$$

Dónde:

$T4$ = Temperatura en la chapa metálica 333°K

TA =Temperatura Ambiente 293°K

A =Área de la tapa 0,17 m².

hc = Coeficiente de calor por convección 8,61 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$$Q_{convección} = \frac{(333 - 293)}{0,17 * 8,67}$$

$$Q_{convección} = 27,13 \text{ W.}$$

3.8.6. Pérdidas de calor total en la tapa del horno.

$$Q_{T.Tapa} = Q_{conducción} + Q_{convección}$$

$$Q_{T.Tapa} = 2410,42 + 27,13$$

$$Q_{T.Tapa} = 2437,55 \text{ W.}$$

3.8.7. Pérdidas de calor total en el horno.

$$Q_{P.Total} = Q_{T.cilindro} + Q_{T.Base} + Q_{T.Tapa}$$

$$Q_{P.Total} = 2620,37 + 3996,16 + 2437,55$$

$$Q_{P.Total} = 9054,08 \text{ W.}$$

$$Q_{P.Total} = 7785,11 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

3.9. Cálculo de energía total en el proceso de fundición del horno.

Para el diseño del horno se debe tomar muy en cuenta el calor total por unidad de área, puesto que dentro del proceso de fundición hemos establecido 1 hora, y así se evalúa mediante la siguiente ecuación.

El calor en el proceso de fusión corresponde a: $6248,18 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$

El calor evaluado por pérdidas: $7785,11 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$

$$Q_{Total} = Q_{Fusion} + Q_{P.Total}$$

$$Q_{Total} = 6248,18 + 7785,11$$

$$Q_{Total} = 14033,29 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

3.10. Determinación del espesor de las paredes cilíndricas del horno.

Al seleccionar los espesores se debe tomar en cuenta criterios de diseño, montaje y operatividad.

- Espesor ladrillo refractario: 0,114 m.
- Espesor manta cerámica: 0,008 m.
- Espesor Chapa metálica: 0,003 m.

$$r_4 = r_i + e_{refrac} + e_{m.ceramica} + e_{chapa}$$

$$r_4 = 0,175 + 0,114 + 0,0080 + 0,003$$

$$r_4 = 0,3\text{m.}$$

$$D_{ext} = 0,6 \text{ m.}$$

Dónde:

r4 = Radio total del horno 0,3 m.

Dext =Diámetro exterior del horno 0,6 m.

3.11. Altura del horno.

La altura del horno está estrechamente vinculada con la ubicación que debe de tener el quemador, que con respecto a bibliografía relacionada en la investigación se sugiere una altura entre 6 a 12 cm, tomando como referencia la base del horno. Mediante esta evaluación se procedió a construir la base que soporta el crisol a 8 cm, de donde obtenemos la siguiente ecuación:

$$\textbf{Altura del horno} = L \textit{ cilindro horno} + L \textit{ tapa del horno}$$

$$\textbf{Altura del horno} = 0,560 + 0,07$$

$$\textbf{Altura del horno} = 0,63 \text{ m.}$$

Dónde:

L cilindro horno = Longitud del cilindro del horno 0,560 m

L tapa del horno = Longitud dela tapa del horno 0.07 m.

3.12. Dimensionamiento del quemador.

Se ha seleccionado el gas como combustible para el diseño del horno ya que presenta magníficas condiciones de eficiencia, manipulación, almacenaje, y operatividad; facilitando así la limpieza, y mantenimiento de los componentes del horno, además de presentar las mejores condiciones de responsabilidad hacia el medio ambiente. El GLP, proporciona las siguientes especificaciones en cuanto a porcentaje de emisiones de gas a la atmósfera:

- 12% del dióxido de azufre.
- 64% del monóxido de carbono.
- 69% de los óxidos de nitrógeno.

- 33% de los hidrocarburos sin quemar.
- 33% de las partículas.
- 30% del dióxido de carbono.
- 49% de los compuestos orgánicos volátiles.

En consecuencia la emisión de gases se encuentra por debajo de las reglamentaciones existentes y futuras en las emisiones contaminantes reguladas. La selección de quemadores de GLP, es adecuada ya que nada más depende de la tecnología utilizada ya que se reduce estas emisiones hasta un 90% a comparación de utilizar diesel como combustible. Mediante la composición química del GLP, las emisiones de CO₂ son hasta una tasa del 10% inferior a las producidas por el diesel.

3.13. Consumo de combustible.

Para determinar el consumo de combustible se evalúa en proporción al consumo de la energía calórica del horno, y el poder calorífico inferior del combustible, por consiguiente se determina mediante la siguiente ecuación.

$$mc = \frac{QT}{Hi} \quad (\text{ec. } ^{47})$$

Dónde:

mc = Gasto de combustible en Kg/h

QT = Consumo calórico del horno $14033,29 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$

Hi = Poder Calórico inferior del gas GLP 10,900 Kcal/Kg

$$mc = \frac{14033,29 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{10900 \text{ Kcal/Kg}}$$

⁴⁷ MESTANZA, D, “Diseño y construcción de un horno industrial para fundir aluminio”, Escuela superior politécnica del Chimborazo, año 2012.

$$\dot{m}c = 1,28 \frac{Kg}{h}$$

3.14. Determinación del volumen de combustible requerido.

Para determinar el volumen de combustible se debe de conocer la densidad del gas que corresponde a 0,535 gr/cm³; y por consiguiente se evalúa con la siguiente ecuación.

$$d = \frac{m}{V} \quad (\text{ec. }^{48})$$

$$V = \frac{m}{d}$$

$$V = \frac{1,28kg}{535 \text{ kg/m}^3} = 2,39 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

3.15. Relación de aire combustible.

Se determina como el volumen necesario para que se cumpla la combustión a lo evaluaremos un valor aproximado, debido a un extenso número de variables que se presentan el desarrollo del mismo.

Relación de aire Combustible:

$$\frac{A}{C} = \frac{m \text{ aire}}{m \text{ combustible}} \quad (\text{ec. }^{49})$$

$$\frac{A}{C} = \frac{N \text{ moles} + \text{Peso molecular del aire}}{N \text{ moles} + \text{Peso molecular}}$$

Dónde:

N moles = número de moles.

$$\frac{A}{C} = \frac{(8,47 + 4,76 \text{ Kmole}) + (29 \frac{Kg}{\text{Kmole}})}{0,7[(3 \text{ Kmole} + 12 \text{ Kg/mole}) + (4 \text{ Kmole} + 2 \text{ Kg/mole})] + 0,3[(4 \text{ Kmole} + 12 \text{ Kg/mole}) + (5 \text{ Kmole} + 2 \text{ Kg/mole})]}$$

$$\frac{A}{C} = 24,27 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ combustible}}$$

⁴⁸ MESTANZA, D, “Diseño y construcción de un horno industrial para fundir aluminio”, Escuela superior politécnica del Chimborazo, año 2012.

⁴⁹ MESTANZA, D, “Diseño y construcción de un horno industrial para fundir aluminio”, Escuela superior politécnica del Chimborazo, año 2012.

Al evaluar la relación de aire combustible se puede determinar el consumo de combustible GLP del horno crisol.

3.16. Cálculo del contenido energético de la mezcla.

Mediante el proceso del cálculo del contenido energético del combustible y el aire necesario para su combustión, se puede determinar el poder calorífico de la mezcla del carburante con el aire. El poder calorífico (PC) de la mezcla se determina como el contenido energético que posee una cierta proporción de mezcla; este valor se presenta tabulado en la tabla de características del combustible GLP.

$$PC = 10900 \text{ Kcal/Kg}$$

$$PC = 10900 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \left| \frac{4187,8\text{J}}{1\text{Kcal}} \right|$$

$$PC = 45647,02 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Relación aire/combustible = 24,27 Kg mezcla/Kg 60 propano + 40butano.

$$PC = \frac{45647,02 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{(24,27) \frac{\text{Kgmezcla}}{\text{Kg60propano}+40\text{butano}}} \quad (\text{ec. }^{50})$$

$$PC = 1880,8 \frac{\text{KJ}}{\text{Kgmezcla}}$$

Se utiliza cilindros de 15 Kg de mezcla, por lo tanto la energía calórica por cilindro es:

$$H_{\text{por cilindro}} = 1880,8 \frac{\text{KJ}}{\text{Kgmezcla}} (15 \text{ Kg mezcla})$$

$$H_{\text{por cilindro}} = 28212 \text{ KJ.}$$

3.17. Consumo de cilindros de Glp.

Para evaluar el consumo de cilindros de gas se realiza mediante la siguiente ecuación:

El calor necesario para la fusión del aluminio es: 26159,88 KJ.

⁵⁰ MÁRQUEZ, M, “Combustión y Quemadores”, Cuarta edición, editorial Marcombo, Barcelona 1989, pág.: 50-55.

El calor necesario aportado por cada cilindro de GLP es: 28212 KJ.

$$\text{Consumo}_{\text{cilindro de gas}} = \frac{H}{H \text{ por cilindro}} \quad (\text{ec. } ^{51})$$

$$\text{Consumo}_{\text{cilindro de gas}} = \frac{26159,88 \text{ KJ.}}{28212 \text{ KJ.}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{cilindro de gas}} = 0,92 \text{ cilindros.}$$

El valor establecido en el cálculo es fácilmente el mismo que se consume al realizar la prueba de fundición del aluminio ya que se emplea el promedio al consumo de 1 cilindro de gas para la fundición, debido a esto se determinó que se debe de adquirir una centralina para 2 cilindros de gas.

3.18. Determinación de la cantidad de aire.

Para determinar la cantidad de aire que se emplea en un horno se evalúa la siguiente ecuación.

$$Va = 10,25 Vc + 20\%(10,25Vc) \quad (\text{ec. } ^{52})$$

Dónde:

Va = Volumen de aire necesario para la combustión.

Vc = Volumen de combustible.

$$Va = 10,25 Vc + 20\%(10,25Vc)$$

$$Va = 10,25 (2,39 \times 10^{-3}) + 20\%(10,25(2,39 \times 10^{-3}))$$

$$Va = 0,52 \text{ m}^3.$$

⁵¹ MÁRQUEZ, M, “Combustión y Quemadores”, Cuarta edición, editorial Marcombo, Barcelona 1989, pág.: 50-55.

⁵² ROSERO, B, “Diseño de un horno crisol basculante para el laboratorio del departamento de materiales de la escuela politécnica nacional”, año 2006.

3.19. Cálculo del rendimiento del horno.

Para determinar la eficiencia térmica del horno se debe de establecer la relación entre el flujo de calor total y el flujo de la energía entregada por el combustible, y con esto se obtiene la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q}{Q_c} * 100\% \quad (\text{ec. }^{53})$$

$$\eta = \frac{26159,88 \text{ KJ}}{28212 \text{ KJ}} * 100\%$$

$$\eta = 92\%$$

3.20. Cálculo de la Potencia del horno.

Para determinar la potencia del horno debemos de evaluar la división entre la cantidad de calor necesario para la fusión del aluminio entre la eficiencia del horno, y de esto resulta la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q}{\eta} \quad (^{54})$$

$$P = \frac{7,26 \text{ kW}}{0,92}$$

$$P = 7,89 \text{ KW.}$$

Dónde:

P = Potencia del horno.

Q = consumo calorífico del horno.

η = rendimiento del horno.

3.21. Cálculo de la estructura del horno.

- Base del Horno

⁵³ASTIAGARRAGA, U, “*Hornos industriales de resistencia*”, editorial Mc Graw Hill, España, Madrid ,1994, pág. 230

⁵⁴Ídem, pág. 235.

- Cuerpo del Horno
- Tapa del Horno
- Palanca Móvil de la Tapa
- Base del Crisol
- Crisol
- La Carga a Fundir(15 Kg)
- Venterol.

3.21. 1. Base del horno.

- Chapa metálica
- Concreto refractario
- Ladrillo refractario (8 unidades)

Mediante el programa inventor, se determina los diferentes pesos de los materiales, que forman parte del horno, como se observa en la figura 3.11.

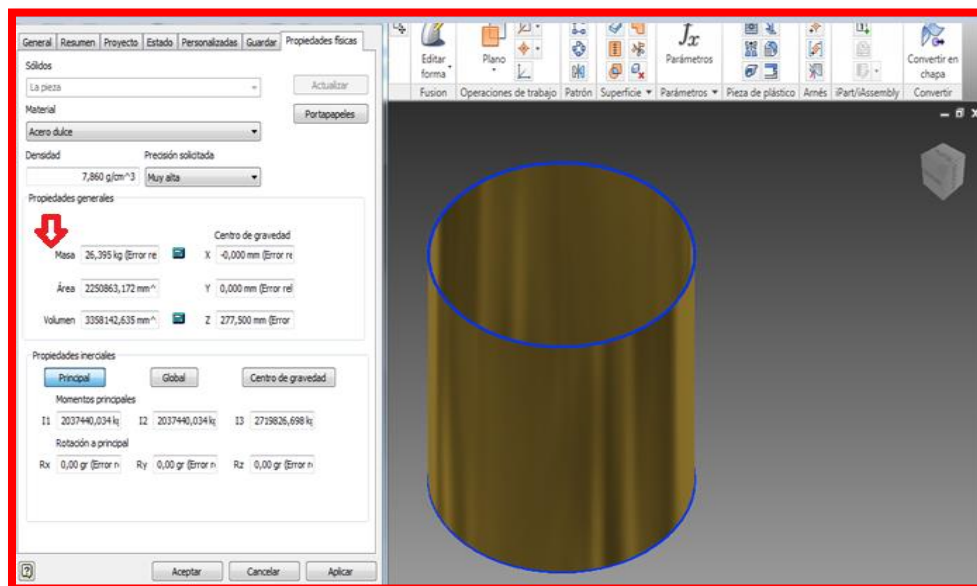


Figura 3.11. Pesos de los materiales del horno.

FUENTE: Autores.

$$m_{\text{chapa-metalica}} = 19,83\text{kg}$$

$$m_{\text{concreto-refractario}} = 15,40\text{kg}$$

$$m_{\text{ladrillo-refractario}} = 3,63\text{kg}$$

$$\text{Peso de la base del horno} = m_{\text{chapa-metalica}} + m_{\text{concreto-refractario}} + m_{\text{ladrillo-refractario}} \text{ (8 unidades)}$$

$$\text{Peso de la base del horno} = 19,83 \text{ kg} + 15,40 \text{ kg} + 3,63(8)\text{kg}$$

$$\text{Peso de la base del horno} = 64,29 \text{ kg}$$

3.21.2. Cuerpo del horno.

- Chapa metálica
- Arreglo de ladrillos refractarios(58 unidades)
- Cemento refractario

$$m_{\text{chapa-metalica}} = 26,39 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ladrillo-refractario}} = 3,63 \text{ kg}$$

$$m_{\text{cimento-refractario}} = 4 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del cuerpo horno} = m_{\text{chapa-metalica}} + m_{\text{ladrillo-refractario}} + m_{\text{cimento-refractario}}$$

$$\text{Peso del cuerpo horno} = 26,39 \text{ kg} + 173 \text{ kg} + 4 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del cuerpo horno} = 209,27 \text{ kg.}$$

3.21.3. Tapa del horno.

$$\text{Peso de la tapa del horno} = 37,35 \text{ kg.}$$

3.21.4. Palanca móvil de la tapa.

$$\text{Peso de la palanca} = 8 \text{ kg.}$$

3.21.5. Base del crisol.

Peso de la base = 4,75 kg.

3.21.6. Crisol.

Peso del crisol = 8,88 kg.

3.21.7. Carga a fundir.

Peso de la carga = 15 kg.

3.21.8. Venterol.

Peso del venterol = 10 kg.

3.22. Peso total del horno.

Peso total = $\sum$ Componentes del horno

Peso total = (64,29+209,27+37,35+8+4,75+16+15+10) kg

Peso total = 364,66kg

Peso total = 802,25 Lb.

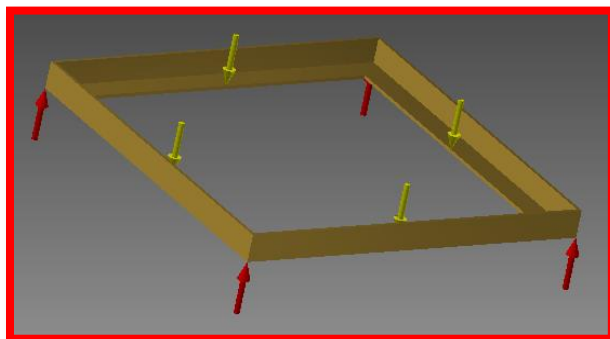


Figura 3.12. Estructura de la base del horno.

FUENTE: Autores.

3.23. **Diseño de la estructura para base del horno.**

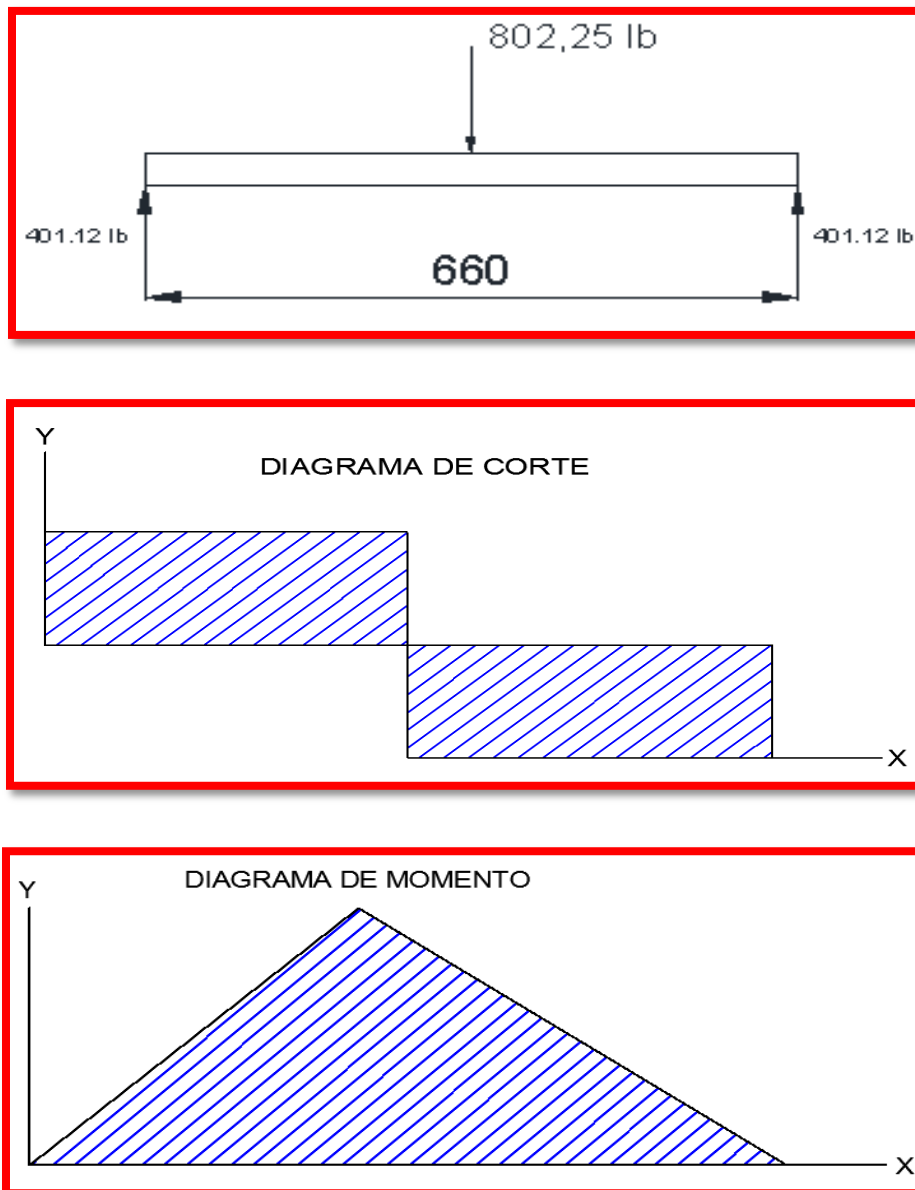


Figura 3.13. Diagramas.

FUENTE: Autores.

$$M_{\text{máx}} = \frac{PL}{4} \quad (\text{ec. } ^{55})$$

$$fb = \frac{Mx}{Sx} = Fb \quad (\text{ec. } ^{56})$$

Dónde:

P = Carga

L = Longitud

fb = Esfuerzo real

Mx = Momento máximo

Sx = Módulo de sección

Fb = Esfuerzo admisible

$P = 200,56 \text{ lb}$

$L = 23,62 \text{ plg}$

$$M_{\text{máx}} = \frac{802,25 \text{ lb} * 23,62 \text{ plg}}{4}$$

$$M_{\text{máx}} = 4,73 \text{ klb-plg}$$

$$Fb = 0,66 Sy$$

Sy = Esfuerzo de fluencia del acero

$$Sy = 36 \text{ Ksi}$$

$$Fb = 0,66 * 36 \text{ Ksi}$$

$$Fb = 23,76 \text{ ksi}$$

$$Sx = \frac{Mx}{Fb} \quad (\text{ec. } ^{57})$$

⁵⁵ MOTT, R, “*Diseño de elementos y maquinas*”, cuarta edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 2000, pág. 150 .

⁵⁶ MOTT, R, “*Diseño de elementos y maquinas*”, cuarta edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 2000, pág. 156.

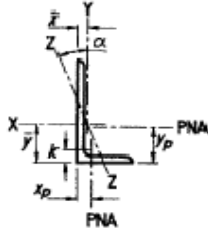
$$S_x = \frac{4,73Klb - p \lg}{23,76 \frac{klb}{p \lg^2}}$$

$$S_x = 0,199 p \lg^3$$

Tabla 3.4. Selección de perfil para estructura.

1-46 DIMENSIONS AND PROPERTIES

Table 1-7 (continued)
Angles
Properties



Shape	k	Wt.	Area, A	Axis X-X						Flexural-Torsional Properties		
				I	S	r	y-bar	Z	y_p	J	C_w	r_o
				in. ⁴	in. ³	in.	in.	in. ³	in.	in. ⁴	in. ⁶	in.
L3x2x1/2	13/16	7.70	2.25	1.92	1.00	0.922	1.08	1.78	0.736	0.192	0.0908	1.39
x3/8	11/16	5.90	1.73	1.54	0.779	0.937	1.03	1.39	0.668	0.0855	0.0413	1.42
x5/16	5/8	5.00	1.46	1.32	0.662	0.945	1.01	1.19	0.633	0.0510	0.0248	1.43
x1/4	9/16	4.10	1.19	1.09	0.541	0.953	0.980	0.969	0.596	0.0270	0.0132	1.45
x3/16	1/2	3.07	0.902	0.847	0.414	0.961	0.952	0.743	0.556	0.0119	0.00576	1.46
L2 1/2x2 1/2x1/2	3/4	7.70	2.25	1.22	0.716	0.735	0.803	1.29	0.450	0.188	0.0791	1.30
x3/8	5/8	5.90	1.73	0.972	0.558	0.749	0.758	1.01	0.347	0.0833	0.0362	1.33
x5/16	9/16	5.00	1.46	0.837	0.474	0.756	0.735	0.853	0.293	0.0495	0.0218	1.35
x1/4	1/2	4.10	1.19	0.692	0.387	0.764	0.711	0.695	0.237	0.0261	0.0116	1.36
x3/16	7/16	3.07	0.900	0.535	0.295	0.771	0.687	0.529	0.180	0.0114	0.00510	1.38
L2 1/2x2x3/8	5/8	5.30	1.55	0.914	0.546	0.766	0.826	0.982	0.425	0.0746	0.0268	1.22
x5/16	9/16	4.50	1.31	0.790	0.465	0.774	0.803	0.839	0.391	0.0444	0.0162	1.23
x1/4	1/2	3.62	1.06	0.656	0.381	0.782	0.779	0.688	0.356	0.0235	0.00868	1.25
x3/16	7/16	2.75	0.809	0.511	0.293	0.790	0.754	0.529	0.318	0.0103	0.00382	1.26
L2 1/2x1 1/2x1/4	1/2	3.22	0.938	0.594	0.364	0.792	0.866	0.644	0.606	0.0209	0.00694	1.19
x3/16	7/16	2.47	0.715	0.464	0.280	0.801	0.839	0.497	0.568	0.00921	0.00306	1.20
L2x2x3/8	5/8	4.70	1.36	0.476	0.348	0.591	0.632	0.629	0.342	0.0658	0.0174	1.05
x5/16	9/16	3.92	1.15	0.414	0.298	0.598	0.609	0.537	0.290	0.0393	0.0106	1.06
x1/4	1/2	3.19	0.938	0.346	0.244	0.605	0.586	0.440	0.236	0.0209	0.00572	1.08
x3/16	7/16	2.44	0.715	0.271	0.188	0.612	0.561	0.338	0.180	0.00921	0.00254	1.09
x1/8	3/8	1.65	0.484	0.189	0.129	0.620	0.534	0.230	0.123	0.00293	0.000789	1.10

Fuente: Catálogo AISC (Instituto Americano de la Construcción con Acero).

Mediante el catálogo de la seleccionó lo siguiente: perfil tipo **L. de 2" x 2" x 1/4"**.

⁵⁷ MOTT, R, "Diseño de elementos y maquinas", cuarta edición, editorial Pearson, Estados Unidos, 2000, pág. 158.

3.24 Diseño de la soldadura.

3.24.1 Tipos de juntas.

El término juntas se refiere a la relación entre partes unidas como se muestra en la figura. La soldadura a tope permite que una unión tenga el mismo espesor nominal que las partes unidas y en general se carga en tensión como se muestra la figura 3.14.

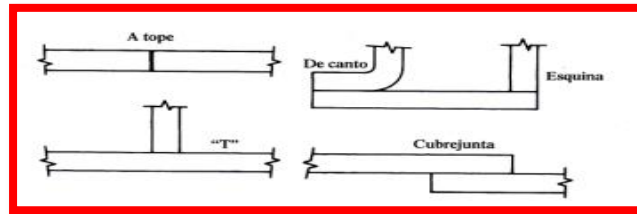


Figura 3.14. Tipo de Juntas.

Fuente: MOTT, Robert. L Y GONZÁLEZ Virgilio, Diseño de elementos de máquinas, 2006.

3.24.2 Tipos de soldaduras.

En la siguiente figura se muestra varios tipos de soldadura, cuyos nombres provienen de la geometría de las orillas de las partes que se van a unir. Debemos considerar que se necesitan orillas en especial cuando las placas son gruesas, para permitir que la varilla de soldadura entre a la junta y forme un cordón continuo según la figura 3.15.

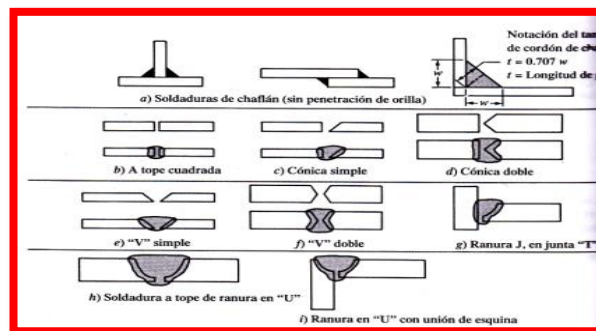


Figura 3.15. Tipo de soldaduras.

Fuente: MOTT, Robert. L Y GONZÁLEZ Virgilio, Diseño de elementos de máquinas, 2006.

En la tabla se observa la dimensión del tamaño de cateto que se debe de considerar para el tamaño de placa o perfil a soldar para realizar los cálculos correspondientes.

Tabla. 3.5. Características del espesor de la placa o perfil a soldar.

ESPESOR DE LA PLACA	TAMAÑO (h) SOLDADURA
$\leq \frac{1}{2}"$	$\frac{3}{16}"$
$> \frac{1}{2}" - \frac{3}{4}"$	$\frac{1}{4}"$
$> \frac{3}{4}" - 1\frac{1}{2}"$	$\frac{5}{16}"$
$> 1\frac{1}{2}" - 2\frac{1}{4}"$	$\frac{3}{8}"$
$> 2\frac{1}{4}" - 6"$	$\frac{1}{2}"$
$> 6"$	$\frac{5}{8}"$

Fuente: MOTT, Robert. L Y GONZÁLEZ Virgilio, Diseño de elementos de máquinas, 2000.

En la siguiente tabla se observa las características de los electrodos existentes en el mercado.

Tabla. 3.5. Características de electrodos revestidos

METAL BASE GRADO ASTM	ELECTRODO	TENSIÓN POR ESFUERZO DE CORTE	FUERZA PERMISIBLE POR PULGADA DE LADO
A36, A441	E60	13600psi	9600lb/plg ²
A36, A441	E70	15800psi	11200lb/plg ²
A36	E60	12400psi	8800lb/plg ²
A441, A242	E70	14700psi	10400lb/plg ²

Fuente: MOTT, Robert. L Y GONZÁLEZ Virgilio, Diseño de elementos de máquinas, 2000.

Todos los elementos de la estructura serán soldados bajo los parámetros establecidos por la sociedad americana (AWS). El electrodo que se utiliza E 60 11 que tiene una resistencia de 60 Ksi que es compatible con los perfiles de acero. Las máximas fuerzas que la soldadura debe soportar son las cargas utilizadas en el análisis determinado mediante los cálculos correspondientes.

De acuerdo con el perfil seleccionado tipo L se determina la resistencia de la soldadura para la unión, tomando en consideración los siguientes cálculos.

Resistencia del metal de aporte:

De la tabla 9.7 (Anexo VII), la fuerza permisible por longitud unitaria para el electrodo E6011 es:

$$F_{perm} = t_f * l \quad (\text{ec.}^{58})$$

Dónde:

P = Carga puntual del horno .

h = cateto de soldadura.

tf = fuerza permisible , (tabla 9.7).

l = longitud del cordón.

Entonces:

P = 200,56 lbs. = 0,200 Kip.

h = 3/16"

l = 4"

tf = 12,73h = 2,39 Kip/plg

$$F_{perm} = 2,39 * 4$$

$$F_{perm} = 9,54 \text{ Kip.}$$

La Resistencia del material de aporte satisface pues es mayor a la carga puntual requerida.

(9,54 Kip > 0,200Kip).

⁵⁸ SHIGLEY, J, “Diseño en ingeniería mecánica”, sexta edición, editorial Mc Graw Hill, Estados Unidos, 2002, pág. 578.

Resistencia de la union:

Primero se verifica el cortante en la union adyacente de la soldadura. De la tabla 9.4 AnexoVII.

$$\tau_{perm} = 0,4 * (Sy) \quad (\text{ec.}^{59})$$

(ec. ⁶⁰)

$$\tau = \frac{P}{hl}$$

Dónde:

Sy = limite de fluencia del material

P = Carga puntual del horno .

h = Cateto de soldadura.

τ_{perm} = Cortante permisible , (tabla 9.7).

l = Longitud del cordon.

τ = cortante establecido por el diseño.

Entonces:

$$\tau_{perm} = 0,4 * (36Kpsi)$$

$$\tau_{perm} = 14,4Kpsi.$$

$$\tau = \frac{0,200Kip}{0,18plg * 4plg}$$

$$\tau = 0,27Kpsi.$$

⁵⁹ SHIGLEY, J, “Diseño en ingeniería mecánica”, sexta edición, editorial Mc Graw Hill, Estados Unidos, 2002, pág. 580.

⁶⁰ SHIGLEY, J, “Diseño en ingeniería mecánica”, sexta edición, editorial Mc Graw Hill, Estados Unidos, 2002, pág. 581.

La resistencia del unión satisface pues el cortante permisible es mayor que el producido por la carga puntual del horno.(14,4 Kpsi > 0,27Kpsi)

Ahora se debe de considerar el esfuerzo de tensión en el cuerpo de la unión.

$$\sigma_{perm} = 0,6 * (Sy) \quad (\text{ec.}^{61})$$

$$\sigma = \frac{P}{hl}$$

Entonces:

$$\sigma_{perm} = 0,6 * (36Kpsi)$$

$$\sigma_{perm} = 21,6Kpsi.$$

$$\sigma = \frac{0,200Kip}{0,18p\lg * 4p\lg}$$

$$\sigma = 0,27Kpsi.$$

El esfuerzo de tensión permisible en el cuerpo es mayor que el esfuerzo de tensión por la carga , entonces satisface.(21,6 Kpsi > 0,27Kpsi)

⁶¹ SHIGLEY, J, “*Diseño en ingeniería mecánica*”, sexta edición, editorial Mc Graw Hill, Estados Unidos, 2002, pág. 582.

CAPÍTULO IV.

4. COMBUSTIBLES.

4.1. Combustión.

El proceso de combustión se produce por una reacción química en la cual inicialmente se desprende una gran cantidad de calor y luz producida por esta ignición.

“Al producirse cualquier tipo de combustión, existe un elemento que arde llamado combustible y otro que produce la combustión llamado comburente, que necesariamente es oxígeno en forma de O₂ gas, este proceso de destruir materiales por combustión es también conocido como incineración.”⁶² Se debe determinar que para iniciar la combustión de cualquier combustible, se necesita alcanzar una temperatura mínima, también conocida como temperatura de ignición, la cual se define en °C y a 1 atm; presentando una temperatura a la que los vapores de un combustible arden inmediatamente.

4.1.1. Combustión industrial.

Dentro de la combustión debemos tomar en cuenta la tipificación de la combustión industrial con respecto a la combustión inorgánica que se presenta al producirse la conversión de las plantas y organismos vivos en yacimientos de recursos combustibles que deshidratados y des gasificados a través de los siglos han dejado de ser potencialmente aprovechables como alimentos, pues no podrían llegar a ser procesados en la forma de catalización enzimática que constituye la combustión orgánica.

Esta combustión inorgánica es brutal, violenta y fulgurante, pero también simple y directa, ya que por sí misma se efectúa a partir de los componentes de los combustibles anteriormente disociados; todo ello determina que se generen en forma heterogénea, con encendido previo.

⁶² COMBUSTIÓN, <http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-COMBUSTIÓN>, año 2011.

4.2. Clases de combustión.

Se pueden clasificar según el tipo de combustión de la siguiente forma:

- Combustión NEUTRA.
- Combustión INCOMPLETA .
- Combustión COMPLETA.

4.2.1. Combustión neutra.

Es la que se presenta mediante el aire inducido en la combustión y este aporta la cantidad justa de oxígeno para que todos los reactivos se conviertan en productos. Y así durante este proceso la estequiometría se cumpla, se debe de considerar los elementos que sufren la reacción de combustión en el combustible. Debido a esto se debe de considerar que cuando la reacción se presente enteramente, entonces no habrá H, O, S y C, puesto que se transformarán en productos correspondientes que se transformaran en los gases de combustión.

4.2.2. Combustión incompleta.

Es aquella combustión que en el suministro de aire carece de oxígeno necesario para producir la oxidación total del carbono. Esto determinará que no todo el carbono se transformará en CO_2 y se presentara como producto de combustión de CO. Debido a esto aparecen los inquemados que pueden producir por defecto en el aparato quemador. Los inquemados se definen como la materia combustible que ha quedado sin quemar. Se clasifican de la siguiente manera:

- Sólidos: Producen un ennegrecimiento de los humos de la combustión generada.
- Gaseosos: CO, H_2 , S.

Si se presentan inquemados es signo de que no se ha quemado bien el combustible, por lo que la combustión que se está presentando es defectuosa.

Dentro de la combustión incompleta los productos que no se quemen pueden no transformarse con el mayor estado de oxidación, puesto que el comburente y el combustible no se encuentran en la cantidad adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido de carbono.

4.2.3. Combustión completa.

Para que pueda existir una combustión completa debe de aportarse un exceso de oxígeno. Esto debe realizarse sobre la cantidad necesaria para que los productos combustibles soporten la oxidación tanto el Carbono como el Oxígeno o el Hidrógeno. En este caso no se van a producir inquemados.

“En la práctica se hace difícil conseguir la combustión completa. Por ello es necesario aportar un exceso de aire, el exceso de aire se define como la cantidad de aire por encima del teórico que hay que aportar para que se realice la combustión completa del combustible.”⁶³

4.3. Características de la mezcla aire/combustible.

- **Temperatura de ignición:** Esta temperatura es la mínima temperatura a la que puede presentarse y propagarse la combustión en un punto equitativo de una mezcla aire gas.
- **Límites de inflamabilidad:** Se sobreentiende que estos son los porcentajes de aire y gas que produce una mezcla de los dos para que pueda iniciarse y propagarse la combustión de dicha mezcla.
- **Velocidad de deflagración:** Se encuentra determinada como la velocidad de propagación de una llama estable.

⁶³ Clases de combustión, <http://library.thinkquest.org/27767/combus.htm> , año 2011.

4.4. Combustibles.

Al realizar el estudio de los combustibles se debe de entender todo el conjunto de la palabra combustible, ya que se determina como toda sustancia que es idónea de desprender calor aprovechable dentro de un curso de una reacción química. Se pueden clasificar como combustibles orgánicos o nucleares.

Los combustibles orgánicos son los que se producen mediante un proceso de oxidación de sus elementos combustibles; entonces liberan energía térmica. Dentro de los nucleares, tenemos el más conocido que es el uranio que es producido mediante la reacción física de fisión liberan calor en los reactores nucleares. Los combustibles orgánicos, se pueden dividir en fósiles (carbón, petróleo, gas) y los que proceden de madera, y subproductos de la agricultura, silvicultura y actividades urbanas, lo cual constituyen las biomasas.

Dentro de los combustibles orgánicos fósiles se encuentra una subdivisión : en naturales, derivados y residuales. Se designan como naturales aquellos que se localizan en la forma que fueron extraídos: carbón, gas natural entre otros. Los derivados son aquellos conseguidos como resultado de un proceso de elaboración tecnológico del combustible natural, como el caso del petróleo, pues éste después de una serie de procesos puede producir gasolina, queroseno, diesel. Por ultimo tenemos los residuales tales como los aceites combustibles que se obtienen como residuo de la destilación del petróleo crudo.

4.4.1. Combustibles gaseosos.

Estos combustibles son conocidos como los hidrocarburos naturales y se presentan en estado gaseoso y su empleo es necesariamente para combustibles.

La procedencia de los combustibles gaseosos según su composición se clasifican en:

- Combustibles gaseosos naturales
- Combustibles gaseosos manufacturados.

4.4.2. Ventajas de los combustibles gaseosos.

- Facilidad de manejo y transporte por tuberías.
- No presentan cenizas ni materias extrañas.
- El control de la combustión es mucho más fácil, lo que nos permite mantenerla temperatura de combustión.
- Posibilidad de regular la atmósfera de los hornos para conseguir atmósferas reductoras según nos convenga.
- Posibilidad de calentar el gas en regeneradores y recuperadores, elevando de esta manera la temperatura de combustión, y por lo tanto, aumentando el rendimiento térmico.
- A igualdad de calor cedido, la llama que origina un combustible gaseoso es más corta que la que origina un combustible sólido o uno líquido.

4.5. Gas licuado de petróleo.

El gas licuado de petróleo es un proceso que se obtiene del proceso de refinación del petróleo y de plantas recuperadoras de gas natural. Puede ser butano, propano o una mezcla de ambos. Existen dos tipos comúnmente llamados butano (butano comercial) y el propano (propano comercial). El propano comercial es una mezcla de propano, propileno y otros compuestos minoritarios (etano, butano, etc.). Puede tener hasta un máximo de 30% de butano. El butano comercial es una mezcla de butano, butilenos y otros compuestos minoritarios (propano, pentanos, etc.). Puede tener un máximo de 50% de propano. Su estado a presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el gas licuado de petróleo se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP. a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas. Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano. Al aumentar la temperatura del GLP, que se

encuentra dentro de un tanque cerrado, aumenta su presión. Esto es debido a que aumenta la presión de vapor y, además, el líquido se expande. Por lo tanto, nunca se debe calentar un recipiente que contiene GLP. y tampoco se debe llenar totalmente un recipiente con GLP.

4.5.1. Características del Glp.

- SE PRODUCE EN ESTADO DE VAPOR, pero se licúa con cierta facilidad, mediante compresión y enfriamiento.
- NO TIENE COLOR, es transparente como el agua en su estado líquido.
- NO TIENE OLOR cuando se produce y licúa, pero se le agrega una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fugue, llamada etyl mercaptano.
- ES MUY INFLAMABLE, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa.
- ES LIMPIO, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él.
- ES ECONÓMICO, por su rendimiento en comparación con otros combustibles.

4.6. Selección de materiales para la construcción del horno.

4.6.1. Característica del crisol.

Con el diseño del horno se establece principalmente las características del crisol que se debe de adquirir; ya que este debe de cumplir con los requisitos del material a fundir y de las dimensiones anteriormente establecidas de la cámara de combustión .

Se tiene una infinidad de materiales con respecto a la elaboración y construcción de crisoles pero en cuanto al estudio y diseño del horno se ha tomado como referencia el grafito.

4.6.2. Selección del crisol.

Para determinar una elección precisa de crisol para el diseño del horno se debe de tomar en cuenta varios aspectos como son:

- Características del metal a fundir.
- Características del combustible a utilizar.
- Tipo de Horno a construir.
- Cantidad de metal a fundir..

Para el diseño del horno se ha seleccionado un crisol de grafito ya que presentan una gran variedad de formas, tamaños y formulas refractarias para muchas operaciones de fundición. EL crisol seleccionado es el modelo (A-20) AL-18. Crisol de la red diamond/India ya que se considera un tamaño aceptable para elaborar el diseño del horno , acorde a la cantidad de aluminio que se desea fundir, está construido de grafito, el mismo que presenta una excelente conductividad térmica.

4.7. Material refractario.

4.7.1. Ladrillo refractario.

Para seleccionar el material refractario se realiza un análisis de los distintos tipos de materiales; dentro de esta variedad se tiene los ladrillos refractarios, y existen dos tipos de ladrillos:

- El denso: que se caracteriza por ser solo refractario.
- El poroso: que se caracteriza por ser refractario-aislante.

Si se construye utilizando el ladrillo denso resistirá la temperatura alta, pero debido a que se transmite el calor, este calor se va perdiendo cuando se fabrica el horno solo con este tipo de ladrillo. Con el ladrillo poroso presenta una alta refractariedad, presenta un correcto almacenaje y distribución de calor sin transmitirlo a las paredes exteriores del horno , entonces logra buena eficiencia térmica, pero por ser poroso el material no resiste al peso.(ANEXO III)

4.7.1.1. Clasificación.

De los dos tipos de ladrillos anteriormente mencionados (refractario-densos y refractario-aislante-poroso) , por su composición se clasifican en:

- silícico
- aluminoso
- arcilloso

4.7.1.1.1. Ladrillo silícico.

La característica principal de este tipo de ladrillos es su composición a base de bióxido de silicio (SiO_2). El componente secundario es arcilla refractaria que normalmente es caolín ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Por la inversión de cuarzo y cristobalita que contienen los ladrillos silícicos, hay que evitar el calentamiento y enfriamiento abrupto durante $(200-700)^\circ\text{C}$. Por arriba de 700°C tiene buena resistencia al cambio drástico de las temperaturas. Este tipo de ladrillos generalmente resisten de 1690°C a 1730°C . El ladrillo silícico es menos costoso que los ladrillos altamente aluminoso, pero más caro que los ladrillos arcillosos. Químicamente es ácido.

4.7.1.1.2. Ladrillo aluminoso

La característica principal de este tipo de ladrillos es su composición a base de alúmina (Al_2O_3). Se debe de conocer que un ladrillo que contiene más de 45% de alúmina se reconoce como ladrillo aluminoso. Los componentes secundarios del ladrillo aluminoso son arcilla refractaria (caolín. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y sílice (SiO_2). Dentro de las características principales es su alta refractariedad que el ladrillo silícico y arcilloso y generalmente resiste a temperaturas de 1770°C hasta 1920°C . Por poca dilatación térmica de la alúmina, tiene mayor resistencia al choque térmico que otros ladrillos.

4.7.1.1.3. Ladrillo arcilloso

La característica principal de este tipo de ladrillos es su composición a base de caolín ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y el componente secundario es sílice (SiO_2). En comparación con los ladrillos silícicos, el ladrillo arcilloso presenta mayor resistencia al repentino cambio de temperaturas, es decir tiene mayor resistencia al choque térmico, no son tan refractarios como los demás ladrillos y resisten temperaturas aproximadamente de 1580°C a 1750°C , tienen menor costo y menor resistencia a la carga que los ladrillos silícicos y aluminosos.

Por consiguiente se ha decidido diseñar en función de ladrillo refractario ya que de acuerdo los cálculos realizados se considera este como el material adecuado para la construcción de hornos de fundición de metales no ferrosos.

Se ha escogido un tipo de ladrillo de la marca ERECOS U33 como se observa en la figura 4.1 forma de arco para el cilindro ideal para una temperatura máxima de 1000°C .



Figura 4.1. Ladrillo refractario.

FUENTE: <http://www.erecos.com/contactenos.html>.

- Dimensiones del ladrillo refractario: $230 \times 114 \times 64/55\text{mm}$.

Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Temperatura de Ablandamiento.	°C.	1763
Conductividad Térmica.	W/m°K	1,20
Densidad Aparente.	g/cm³.	2,13 - 2,23
Calor Especifico	KJ/Kg°K	0,92

Tabla 4.1 Propiedades del ladrillo refractario.

FUENTE: Manual Propiedades Típicas de Concretos Refractarios (Catalogo ERECOs 2013).

4.7.2. Concreto refractario.

De la misma forma que se realizó la selección de los ladrillos refractarios se debe de conocer que existe una variedad bastante grande de concretos refractarios de tal manera que se debe de escoger uno que presente iguales características sino las mismas en cuanto a composición química que los ladrillos refractarios utilizados en el diseño del horno. Se debe de tomar en cuenta que al pegar los ladrillos, siempre es necesario tener juntas delgadas es decir sin untar mucho concreto ya que este lugar es donde tiene menor fuerza mecánica estructuralmente.

Para el diseño del horno se debe de utilizar concreto refractario para sellar los espacios entre ladrillo y ladrillo; y el que se ha decidido usar es el concreto refractario de la marca Erecos ya que este presenta las mejores características de refractariedad en cuanto a la construcción del horno. Como se observa en la figura 4.2.



Figura 4.2. Concreto refractario.

FUENTE: <http://www.erecos.com/contactenos.html>, año 2013.

Concretos refractarios silícico-aluminoso Marca Erecos		
Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Cp	KJ/Kg°K	0,96
Densidad	Kg/m³.	1,74-1,86
Cono Piro métrico Equivalente.	°C	32
Máxima temperatura de servicio recomendada.	°K	1813
Conductividad térmica a diferentes temperaturas.		
Temperatura media 478°K.	W/m°K	0,94

Tabla 4.2 Propiedades del concreto refractario.

FUENTE: Manual Propiedades Típicas de Concretos Refractarios (Catalogo ERECOS 2013).

4.8. Manta cerámica.

Para el diseño del horno se va emplear una capa de material más conocido como manta cerámica.

A continuación se presenta tres de las características más importantes que definen a este material aislante:

- Conductividad térmica baja.
- Temperatura máxima de trabajo.
- Alto grado de aislamiento.

Las características de las propiedades de este tipo de materiales se hallan en la literatura técnica específica en la tabla 4.3, pero se ha determinado para el presente diseño que se utilizara una manta con un espesor de 0,254 cm, a continuación se observa la figura 4.3 con la característica de la manta de cerámica.



Figura 4.3. Manta de cerámica.

FUENTE: <http://www.erecos.com/contactenos.html> (ERECOS.)

Manta de Cerámica.		
Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Cp	KJ/Kg°K	1,225
Densidad	Kg/m³.	128
Máxima temperatura de servicio recomendada.	°K	1813
Conductividad térmica a diferentes temperaturas.		
Temperatura media 645°K.	W/m°K	0,038

Tabla 4.3. Propiedades de la Manta de Cerámica.

FUENTE: Fundamentos de Transferencia de Calor INCROPERA F. (Cuarta Edición México; 2000).

4.9. Chapa metálica.

La principal característica del diseño es sustentar todo el conjunto del revestimiento refractario el cual necesita ser cubierto por una estructura de soporte para proteger toda la parte interna del horno. El espesor de la plancha a utilizar es de 3 mm, como se observa en la figura 4.4.

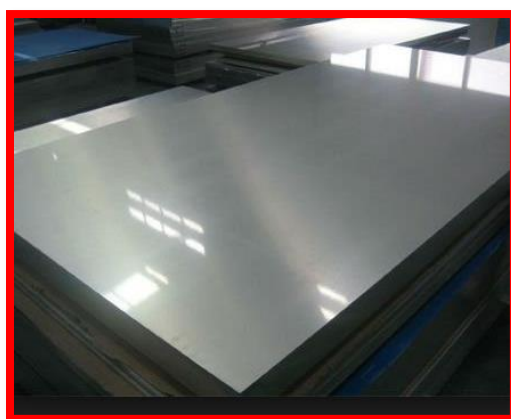


Figura 4.4 Chapa metálica.

FUENTE: <http://www.acerocomercial.com/96-planchas.html>, año 2012.

Manta de Cerámica.		
Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Cp	KJ/Kg°K	434
Densidad	Kg/m³.	7832
Conductividad térmica a diferentes temperaturas.		
Temperatura media 300°K .	W/m°K	63,9

Tabla 4.4. Propiedades de la Chapa Metálica.

FUENTE: Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada, Roldan J. (Tercera Edición México; 2002).

4.10. Quemador.

Para el diseño del horno se va a implementar un quemador el cual tiene por objetivo principal mezclar y dirigir el flujo de aire y combustible de tal forma que se asegure el encendido rápido y la combustión completa. Los sistemas de quemadores dentro de su funcionamiento presentan las siguientes características:

- Direccionar las llamas para una mejor y mayor liberación del calor.
- Iniciar y mantener la ignición.
- Mezclar el aire y el combustible.
- Atomizar los combustibles líquidos.
- Mantener la proporción entre el combustible y el aire.
- Suministrar el combustible y el aire a velocidades y presiones que faciliten los objetivos anteriores con seguridad.

Para el diseño del horno se debe de tomar muy en cuenta la distribución homogénea del calor liberado por el quemador, el tamaño de la cámara de combustión y las temperaturas de precalentamiento.

A continuación se observa en la figura 4.5 el venterol o blower el cual se utilizó en el diseño del horno.



Figura 4.5. Quemador.

FUENTE: http://www.made-in-china.com/products-search/find-china-products/0b0nolimit/Electric_Blower-4.html,2013.

Size	Volt(V)	Cycles(HZ)	WATT(W)	Amp(A)	R.P.M	Flow rate(m ³ /h)
2"	220/110	50/60	150	1	3000/3600	192
2-1/2"	220/110	50/60	260	1.6	3000/3600	390
3"	220/110	50/60	370	2	3000/3600	510
4"	220/110	50/60	550	3	3000/3600	660

Tabla 4.5. Datos técnicos venterol.

FUENTE: http://www.made-in-china.com/products-search/find-china-products/0b0nolimit/Electric_Blower-4.html,2013.

4.10.1. Quemadores a GLP.

Para el diseño del horno se realiza un estudio de las características de los quemadores determinando que el que se ha de utilizar es para GLP, entonces cuando una molécula de combustible GLP es mezclado con oxígeno necesario para su combustión a una temperatura mayor a la de ignición, la combustión se produce casi instantáneamente.

Esta llama puede ser acortada por la inercia de un quemador de anillo, mediante el cual el gas segrega a través de un anillo anular e induce un flujo de aire que pasa alrededor y a través del anillo anular. Para todos estos quemadores el gas debe fluir a través de la puerta hacia el horno, a una velocidad suficientemente alta, para prevenir que la llama se regrese hacia el quemador. El arreglo de los quemadores y la forma del horno debe ser tal que la llama no se impregne en las paredes del quemador o en las superficies de transferencia de calor.

4.10.1.1. Ventajas.

Dentro de las características y ventajas del Glp la más influyente es que en la actualidad es el combustible más limpio y respetuoso con el medio ambiente, por esto se ha seleccionado para el diseño del horno este tipo de quemadores. La mayor ventaja que tienen los quemadores a gas, es que no hay que preparar el combustible para que sea combustionado, como en el caso de los sólidos o líquidos, en los que se necesita atomizar el combustible. Otra de las ventajas de usar quemadores a gas es la facilidad de controlar la atmósfera del horno, además de producir una llama larga y lenta con liberación de energía gradual y uniforme.

4.11. Termocupla e indicador de temperatura.

Al diseñar el horno se debe de tomar en cuenta que la variable a intervenir dentro del proceso de fundición es la temperatura a la que va a ser sometida la carga de aluminio se procede a instalar en el equipo un controlador de temperatura digital. Las circunstancias definitivas para seleccionar el controlador de temperatura, es saber la temperatura máxima que va alcanzar el horno, en este caso la temperatura va a ser de 800 °C. Entonces con la temperatura requerida, se selecciona el controlador de temperatura que oscila entre 0 ° C. a 1300° C. Las señales captadas por este controlador de temperatura, tienen que ser mostradas de forma digital en una pantalla, de esta manera se procedió a seleccionar el indicador como se observa en la figura 4.6. , el modelo que se ajusta es el tipo IC912LX-PT100spa3 .



Figura 4.6. Controlador de temperatura.

FUENTE: [http:// www.eliwell.es/eliwell/documentacion/IC912LX-PT100spa3-03.pd](http://www.eliwell.es/eliwell/documentacion/IC912LX-PT100spa3-03.pd),2013.

Front dimensions:	74 x 32 x 59mm
Mounting hole:	71 x 29mm
Depth:	60mm
Supply:	230V
Voltage type:	AC/DC
Measuring range	-150°C to + 1000°C
Controller type:	IC912LX
Room temperature:	-5+55°C

Tabla 4.6. Datos técnicos controlador de temperatura.

FUENTE: [http:// www.eliwell.es/eliwell/documentacion/IC912LX-PT100spa3-03.pd](http://www.eliwell.es/eliwell/documentacion/IC912LX-PT100spa3-03.pd),2013.

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

La construcción del horno de crisol se debe de llevar a cabo en un taller mecánico industrial, donde se disponga de los equipos para fabricar cada uno de los elementos que conforman la máquina.

Algo que es muy significativo y que se debe tomar en cuenta es el de adquirir todos los materiales y los accesorios en el mercado local, lo que facilita la construcción del horno de crisol.

5.1. Operaciones utilizadas en la construcción.

5.1.1. Barolado.

La norma Din 8582 define el curvado como el proceso de deformación plástica o permanente que sufre un material tras aplicar sobre el mismo un determinado momento flector. El curvado se efectúa en frío, ya que solo los espesores muy gruesos requieren un calentamiento previo.

La deformación plástica mencionada, se produce tras sobrepasar la tensión de fluencia propia de cada metal como se observa en la figura 5.1. Como la deformación elástica es reversible, el material recupera parte de su forma inicial tras el curvado, la suma de ambos procesos genera una serie de fenómenos colaterales, como la reducción del ángulo de curvado, elongación de la lámina, ovalización de la sección, pérdidas de espesor, etc.

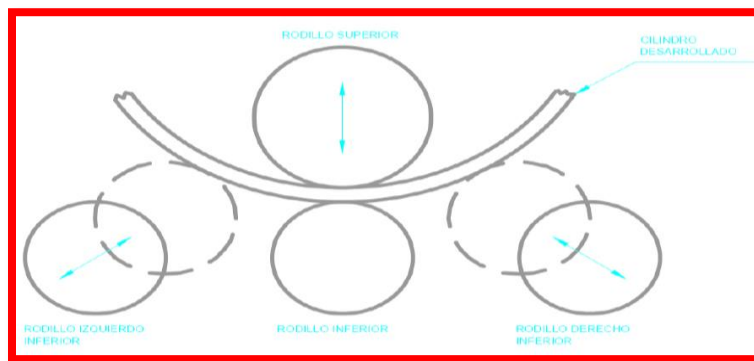


Figura 5.1. Esquema de la deformación elástica en el barolado.

Fuente: Los Autores.

Generalmente se toma como referencia el eje neutro del perfil a barolar, de forma que la parte exterior sufre tracción y la interior sufre compresión permitiendo la deformación plástica y el desplazamiento del grano siempre dentro del límite de fluencia. Para la obtención de un perfil barolado generalmente se lo realiza en una máquina que disponga de tres ejes giratorios al que acoplaran diversos tipos de matrices guía como se observa en la figura 5.2.



Figura 5.2. Baroladora de tres rodillos.

Fuente: <http://www.directindustry.es/>, año 2012.

5.1.2. Soldadura Mig.

Este sistema está definido por la AWS como un proceso de soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. El proceso MIG/MAG está definido como un proceso, de soldadura, donde la fusión, se produce debido al arco eléctrico, que se forma entre un electrodo (alambre continuo) y la pieza a soldar. La protección se obtiene a través de un gas, que es suministrado en forma externa, a continuación en la figura 5.3 se observa los componentes para la soldadura mig.



Figura 5.3. Soldadura manual de metal por arco con electrodo revestido.

Fuente: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/soldaduramig/, año 2012.

5.1.3. Descripción del proceso de construcción.

Una vez determinado el diseño de los materiales y las especificaciones de los mismos, se procedió a la construcción según los planos.

5.1.4. Etapas de construcción.

5.1.4.1. Construcción de la base porta horno.

Para la construcción de la base porta horno utilizamos ángulo tipo L de 2" X 2" X ¼", el cual se procedió a cortar según especificaciones de los planos como se muestra en la figura 5.3.



Figura 5.4. Construcción de la base porta horno.

Fuente: Autores.

5.1.4.2. Construcción del cilindro metálico.

Para la construcción del cilindro utilizamos la plancha de acero AISI 1020 de 3 mm de espesor, la cual se procedió a cortar con plasma según los planos. Posteriormente se procede a barolar para dar a la plancha una forma cilíndrica y finalmente soldar las partes como se muestra en la figura 5.5.



Figura 5.5. Construcción del cilindro metálico.

Fuente: Autores.

5.1.5. Construcción de la Tapa.

5.1.5.1. Construcción del eje para elevar la tapa.

Se procede a maquinar el eje de material AISI 1018 según las especificaciones de diseño y plano, como se muestra en la figura 5.6.



Figura 5.6. Construcción del eje para elevar la tapa.

Fuente: Autores.

5.1.5.2. Construcción de los bocines para sistema de elevación de tapa.

Se procede a maquinar los bocines en material AISI 1018 según las especificaciones de diseño y plano, realizando las perforaciones correspondientes como se muestra en la figura 5.7.

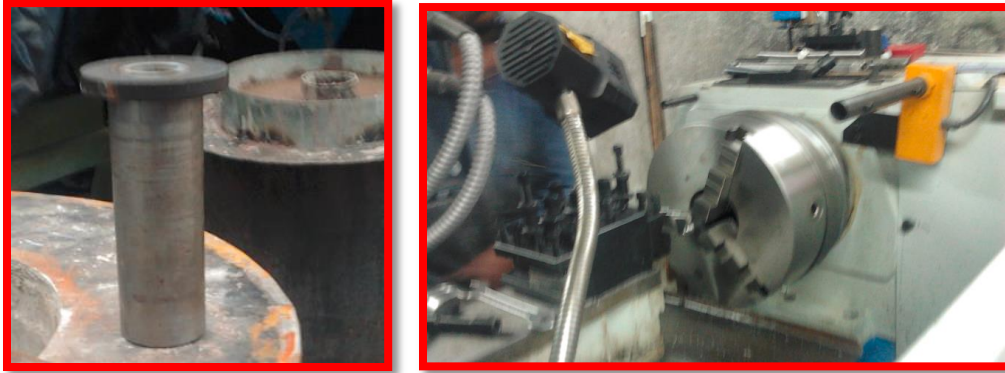


Figura 5.7. Construcción de bocines.

Fuente: Autores.

5.1.5.3. Construcción de placas para sistema de elevación de tapa.

Se procede a cortar las placas de material AISI 1018 con plasma según especificaciones de diseño y planos; luego se procede con las perforaciones correspondientes según planos como se muestra en la figura 5.8.



Figura 5.8. Construcción de placas para sistema de elevación de tapa.

Fuente: Autores.

5.1.5.4. Construcción de base porta venterol.

Para la construcción de la base porta venterol utilizamos ángulo tipo L de 1" X 1" X ½", el cual se procedió a cortar según especificaciones de los planos como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.9. Construcción de placas para sistema de elevación de tapa.

Fuente: Autores

5.1.5.5. Construcción de palancas para elevar tapa.

Se procede a maquinar el eje de la palanca en material AISI 1018 según las especificaciones de diseño y plano, realizando las roscas correspondientes como se muestra en la figura 5.10.



Figura 5.10. Construcción de placas para sistema de elevación de tapa.

Fuente: Autores.

5.2. Montaje del Horno Crisol.

5.2.1. Montaje de la base y bóveda refractaria del horno.

Para el montaje de la pared refractaria requerimos hacer un cálculo para obtener una cantidad aproximada del número de ladrillos a utilizarse; dicho cálculo se realizó tomando en cuenta el diámetro de la cámara interior de combustión, dándonos como resultado 18 ladrillos U-33 arco 3, 40 ladrillos U-33 arco 2 rectos y 8 ladrillos U-33 recto de 9" x 4 1/2" x 2"; para la fachada interna y externa se enlució las paredes con una pasta de cemento refractario, el cual permite una menor pérdida de calor entre ladrillos y mantiene una sola estructura rígida de las paredes y suelo de la cámara de combustión, como se muestra en la figura 5.11.



Figura 5.11. Montaje de la bóveda y base refractaria del horno.

Fuente: Autores.

Con la ayuda del mortero fraguado a aire AEROFRAX procedimos a colocar la mezcla en las uniones del ladrillo. Es importante recalcar que no existe pegamento que una el cilindro metálico con los ladrillos refractarios, por lo que es de suma importancia que los ladrillos queden bien compactados y con la ayuda del mortero evitar pérdidas de calor.

5.2.2. Montaje de la manta de cerámica.

Para el montaje de la manta de cerámica, es recomendable utilizar cinta de embalaje la cual permite que la manta de cerámica se fije bien alrededor del cilindro del horno y nos permite tener un buen aislamiento térmico el cual no permita tener pérdidas de calor por la manta de cerámica como se puede observar en la figura 5.12.



Figura 5.12. Montaje de la manta de cerámica.

Fuente: Autores.

5.2.3. Montaje de la tapa del horno.

Para el montaje de la tapa del horno se realiza la soldadura del sistema de elevación de la tapa hacia el cilindro del horno y luego se suelda 2 placas en la base de la tapa las cuales van a permitir elevar la tapa del horno como se muestra en la figura 5.13.



Figura 5.13. Montaje de la tapa del horno.

Fuente: Autores.

5.2.4. Montaje de la centralina.

Una vez realizada la adquisición de la centralina y el venterol, utilizamos las mangueras como conexión de estos dos elementos para formar un solo sistema denominado “quemador”. Las válvulas reguladoras usadas en los tanques de gas son industriales, como se observa en la figura 5.14.

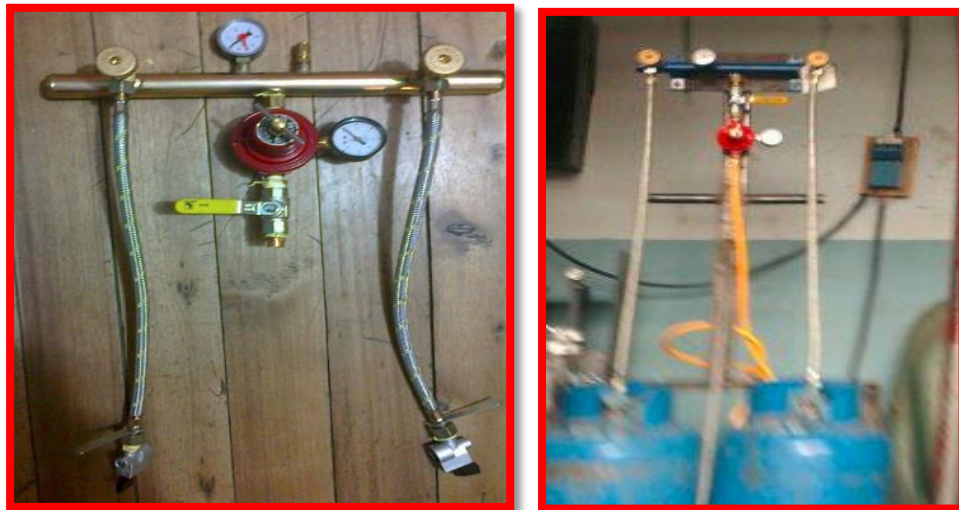


Figura 5.14. Montaje de la centralina.

Fuente: Autores.

5.3. Requerimientos para la construcción.

Para la construcción amerita lo siguiente:

5.3.1. Maquinaria y equipos utilizados en la construcción.

- Baroladora.
- Taladro.
- Esmeril.
- Soldadora.
- Equipo de pintura.

5.3.2. Construcción del horno.

- Ladrillo refractario.
- Cemento refractario.
- Quemador a gas.
- Plancha de hierro.
- Crisol.
- Tubos.
- Browser.
- Tanque de gas.
- Termocupla.

5.3.3. Instrumentos de medición y verificación.

- Calibrador.
- Fluxómetro.
- Escuadras.
- Nivel.

5.3.4. Listado de elementos a construir.

- Chapa metálica. (cilindro horno y tapa horno)
- Soportes.
- Sistema de elevación de tapa.
- Tapa

CAPÍTULO VI.

6. COSTOS.

6.1. Introducción.

El análisis de costos, tiene por objeto determinar el monto de los recursos económicos necesarios para la construcción del horno crisol. Se lo realiza tomando en cuenta los costos directos e indirectos.

Para determinar el costo total directo se considera los costos parciales de:

- Materiales.
- Accesorios.
- Costos de maquinado.
- Costos de montaje.

De manera similar para determinar el costo total indirecto se considera los costos parciales de:

- Materiales complementarios.
- Costos de ingeniería.
- Imprevistos.

6.2. Análisis de costos directos.

6.2.1. Costos de materiales.

Se denomina materiales directos a los materiales que se utilizan para construir los elementos que conforman la máquina. Los costos de materiales directos se presentan en la tabla 6.1y 6.2. Dentro de los costos directos o primos se encuentra el análisis de: materia prima, materiales directos, mano de obra directa y costos de máquinas herramientas.

ESTRUCTURA:					
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID	PRECIO UNID (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
PERFIL (L)	Angulo 1" X 1"X ½",	1	Unid	9,50	9,50
PERFIL(L)	Angulo 2" X 2"X ¼",,	1	Unid	13,5	13,5
TOTAL					23,00

Tabla 6.1: Materiales directos.

Fuente: Los Autores.

MATERIA PRIMA DIRECTA HORNO.					
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID	PRECIO UNID (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Pernos	3/8 UNC	4	Unid	0,80	3,20
Crisol red diamond	grafito AL-18 (A-20)	1	Unid	110	110
Ladrillo refractario arco 3	230*114*64/55mm Al>40%(1300 C)	18	Unid	6,89	124,02
Ladrillo refractario arco 2	230*114*64/55mm Al>40%(1300 C)	40	Unid	5,75	230,00
Ladrillo refractario recto	228*100*60 mm Erecos	12	Unid	5,79	69,48
Mortero refractario	cemento UNV súper	1	kg	35	35
Concreto refractario	hydrecon 3200 25 Kg (1760 C)	2	Kg	25	50
Manta cerámica	manta f/ceram 1/2" 1.260 C 7620*610mm	1	Caja	88,30	88,30
Plancha de acero	3mm (4*8)	3	Unid	120	360
Palillo electrodo	308-L 3/32 .	50	Unid	0.31	15,50
Termocupla	tipo K 0-1000C	1	Unid	15	15
Control de temperatura digital	Digital ELIWELL IC912LX	1	Unid	105	105
Blower	alta temperatura	1	Unid	120	120
Centralina de gas	alta presión	1	Unid	225	225
manómetro	medidor de presión	1	Unid	25	25
cilindro de gas	15 Kg	2	Unid	60	120
TOTAL					1695,50

Tabla 6.2: Materiales directos.

Fuente: Los Autores.

6.2.2. Mano de obra directa.

Son valores establecidos como se indica en la tabla 6.3 de acuerdo a la comisión sectorial de “Minas, Canteras y Yacimientos”.

Mano de Obra Directa.		
OPERARIO	COSTO H –H	FUENTE
TORNERO.	3,75	Mecánica industrial(Guerrero)
SOLDADOR.	3,75	Mecánica industrial(Guerrero)
PINTOR	3,75	Mecánica industrial(Guerrero)
CORTADOR	3,75	Mecánica industrial(Guerrero)
BAROLADOR	3,75	Mecánica industrial(Guerrero)

Tabla 6.3: Mano de obra.

Fuente: Los Autores.

Costo de la hora máquina, ver tabla 6.4.

Maquina	Costo \$/hora
Torno	20
Soldadora eléctrica	10
Baroladora.	5

Tabla 6.4: Costo/hora.

Fuente: Mecánica Insutrial Gustavo LLumipanta e Hijos.

6.3. Costo de Maquinado.

Este costo tiene que ver con el valor de la mano de obra directa, empleados en las máquinas herramientas y equipos electrónicos. Estos valores se presentan en la siguiente tabla 6.5:

Elemento	Torno (\$20)	Baroladora (\$5)	Soldadora (\$10)	Costo H- M	COSTO H-H	COSTO TOTAL
Cilindro horno.		3	2	35	18,75	53,75
Tapa.		1	1	15	7,5	22,5
Conjunto Elevación tapa.	8		1	170	33,75	203,75
Base horno.			2	20	7,5	27,5
Base venterol.			1	10	3,75	13,75
Bases Glp.			2	20	7,5	27,5
Total.						348,75

Tabla 6.5: Costo de Maquinado.

Fuente: Los Autores.

6.4. Costo de Montaje.

Según la tabla 6.6 de acuerdo a la comisión sectorial de “Minas, Canteras y Yacimientos”.

COSTO DE MONTAJE.				
Número de Personas	Total de Horas	Costo por Hora	Costo Unitario	COSTO TOTAL
3	22	2,05	45,1	135,30

Tabla 6.6: Montaje de Máquina.

Fuente: Los Autores.

6.5. Análisis de costos indirectos.

6.5.1. Costos Administrativos.

Este costo corresponde al tiempo que se dedicó al diseño del Horno. Aproximadamente se emplearon 120 horas laborales de acuerdo al cronograma de actividades.

Un ingeniero con conocimiento y experiencia en Diseño de Maquinaria debe percibir un mínimo de 20 dólares por hora. Estos valores se presentan en la tabla 6.7.

Ingenieros	Obra	Costo Hora Ingenieria \$.	Costo Total. \$.
Edison Suntaxi	60	5	300
Carlos Torres	60	5	300
TOTAL			600

Tabla 6.7: Costo de Ingeniería.

Fuente: Los Autores.

6.5.2. Costo Total Indirecto.

En la tabla 6.8 se muestra el análisis del costo total indirecto.

COMPONENTE	VALOR
Transporte	60
Costo de Ingeniería	600
TOTAL.	660

Tabla 6.8: Costo Indirecto.

Fuente: Los Autores.

6.6. Costo Total del Horno.

Para obtener el costo Total del Horno se realiza el análisis de los costos total directos, costos totales indirectos como se observa en la tabla 6.9:

COMPONENTE	COSTO (\$).
Costos Directos.	2202,55
Costos Indirectos.	660
Subtotal.	2862,55
Imprevistos 5%	143,12
Subtotal	3005,67
IVA 12%	360,68
TOTAL \$	3366,35

Tabla 6.9: Costo Total.

Fuente: Los Autores.

Como se observa ver en la tabla 6.9 el costo total para el Horno resulta accesible para los que realizan este tipo de trabajos.

En comparación con los Hornos importados que utilizan empresas para realizar este tipo de trabajo, esta Horno tiene un costo bajo, facilitando a las pequeñas y medianas empresas para que puedan acceder a este tipo de Horno.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

- ▶ Se cumplió con el objetivo de diseñar y construir un horno crisol para fundir una carga de 15 Kg de aluminio en 1 hora.
- ▶ El dimensionamiento del horno ha permitido fundir la cantidad de 15 Kg/h, de esta manera se cumple con el objetivo del proyecto propuesto.
- ▶ Para la fabricación del horno se seleccionó los materiales existentes en nuestro medio, que cumplen parámetros de ingeniería y diseño.
- ▶ Una vez terminado el proyecto, se pudo verificar los parámetros de funcionamiento real del horno crisol, que son, temperatura, tiempo y carga de metal.
- ▶ El GLP que se utilizó como combustible para el funcionamiento del horno es el ideal ya que brinda un alto poder calorífico, es limpio y no causa impacto ambiental.
- ▶ Al realizar el funcionamiento del horno se evidencio que cumple con los siguientes requerimientos, fácil operatividad, alto rendimiento, eficiente y de bajo costo con respecto a hornos que se encuentran en el mercado.

RECOMENDACIONES.

- ▶ Es indispensable efectuar un programa de mantenimiento preventivo del horno, mediante inspecciones periódicas del blower, estado de materiales refractarios, base de alojamiento del crisol, y tapa del horno.
- ▶ Establecer acciones que encaminen a mejorar el proceso productivo, en el área fundición de los talleres guerrero sociedad anónima.
- ▶ Cuantificar el desempeño del horno con la finalidad de verificar parámetros de mantenimiento y producción, dentro del taller.
- ▶ En el lugar de funcionamiento del horno se debe de instalar una chimenea que cumpla con normas ambientales de emisión de gases establecidas por el DMQ.
- ▶ Se debe tener cuidado al momento de encender la cámara de combustión, realizando un encendido seguro del equipo, para evitar accidentes laborales.
- ▶ Se debe de utilizar equipos EPP para realizar trabajos en sitios de elevadas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA.

- INCROPERA. FRANK, “*Fundamentos de transferencia de calor*”, Pearson Educación. Cuarta edición, México 1999.
- GROOVER. MIKELL, “*Fundamentos de manufactura moderna*”, México 2000, Primera edición.
- SEROPE. KALPAJIAN y STEVEN. SCHMIDT, “*Fundamentos de la Fundición de Metales*”, editorial Prentice-Hall; Cuarta, México 2002.
- PÉREZ, GOYOS, Y, MARTÍNEZ, REINOSA, “*Tecnología de la fundición*”, editorial Ispjae, segunda edición, Cuba 1995.
- HONORE. COSTE, “*Curso elemental de fundición*”, editorial Bruguera, Segunda edición, España 1964.
- CENGEL, YANUS, “*Transferencia de calor y masa*”, editorial McGraw-Hill, Tercera edición, Estados Unidos 1995.
- NORMA PAZOS PEINADO, “*Tecnología de los metales y procesos de manufactura*”, Primera edición, Caracas 2005.
- TOMAS D. WEST, “*Fundición y moldeo de los metales*”, Editorial Osso, Segunda edición, España 1945.
- SALVI. GIULIANO, “*La combustión teoría y aplicaciones*”, Segunda edición, España 1995.
- MÁRQUEZ. MANUEL, “*Combustión y Quemadores*”, Cuarta edición, editorial Marcombo, Barcelona 1989.

- TRINKS. W, “ *Hornos industriales*”, Primera edición, editorial Urma, España 1975.
- Catálogo de Productos ERECOs 2013.
- MARS INTERNACIONAL., Catálogo 2012.
- Catalogo AISC.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_aluminio, año 2011.
- <http://www.alu-stock.es/tecnica/comparacion.htm>.
- <http://www.acerocomercial.com/96-planchas.html>, año 2012.
- <http://www.eurolocarno.es/invento/quemadores-calefaccion.4/>, año 2012
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/soldaduramig/, año 2012.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Acero

Aleación que consiste principalmente en hierro (usualmente más de 98%). También contiene pequeñas cantidades de carbón, silicio, manganeso, azufre, fósforo y otros materiales.

Adhesividad

El efecto de la adhesión es mantener unidas las partículas por lo cual depende de la proporción Agua/Aire.

Utillaje

Es un conjunto de instrumentos y herramientas que optimizan la realización de las operaciones de proceso de fabricación, mediante el posicionamiento y sujeción de una pieza o conjunto de piezas a un sistema de referencia, para poder ejecutar operaciones de diversa índole.

Aleación.

Una aleación es una combinación, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.

Oxidación.

Fenómeno químico en virtud del cual se transforma un cuerpo o un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que en dicho cuerpo o compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuya el número de electrones de alguno de los átomos.

Metalurgia.

Es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales a partir de minerales metálicos, también estudia la producción de aleaciones y el control de calidad de los procesos.

Calidad.

Conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie.

Productividad.

Es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción.

Forja.

Es la acción de manipular y trabajar un metal y darle una forma definida cuando está caliente por medio de golpes o por presión.

Mazarota.

Es como se conoce en fundición y metalurgia a los depósitos de metal fundido que se colocan en los sitios del molde (rebotando por encima) que son críticos (es decir, que tienden a generar rechupes) y aportan material para evitarlos.

Calor latente de fusión.

Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (calor latente de fusión) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización).

Nucleación.

Es el comienzo de un cambio de estado en una región pequeña pero estable.

Rechupe.

Cavidad indeseada que se produce a veces en una pieza moldeada o colada .

Expansión térmica.

Es el incremento en el volumen de un material a medida que aumenta su temperatura; por lo general, se expresa como un cambio fraccionario en las medidas por unidad de cambio de temperatura.

Electrolisis.

Proceso químico por medio del cual una sustancia o un cuerpo inmersos en una disolución se descomponen por la acción de la una corriente eléctrica continua.

Aislante térmico.

Es un material usado en la construcción y en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica.

Emisividad.

Es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno.

Conductividad térmica.

Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto.

Eficiencia térmica.

Es un coeficiente o ratio adimensional calculado como el cociente de la energía producida (en un ciclo de funcionamiento) y la energía suministrada a la máquina (para que logre completar el ciclo termodinámico).

Estequiometria.

Es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.

Silvicultura.

Conjunto de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y la explotación de los bosques y los montes.

Material refractario.

Se refiere a la propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas sin descomponerse.

Blower.

Máquina que produce una corriente de aire o gas.

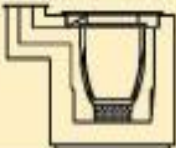
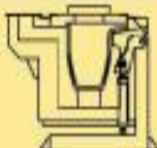
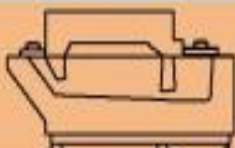
ANEXOS

ANEXO I

TIPOS DE HORNOS SEGÚN LA CAPACIDAD

EN KILOGRAMOS

SELECCIÓN DE TIPO DE HORNOS.

PRODUCCION		Capacidad máxima expresada en kilogramos de aluminio
	Crisol Fijo	600
	Volcador con Crisol	1.000
	Sin Crisol	2.000
	Con Cuba	3.000
	Rotativo	6.000
	Rotativo Volcador	6.000
	Volcador	10.000

FUENTE: http://www.teknoaustral.com.ar/catalogos/tkn_hornosyequipos_metalos_no_ferrosos.pdf.

ANEXO II

CUADRO DE LIMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EMITIDOS DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONCENTRACIONES DE EMISIÓN AL
AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN, INCLUÍDAS FUENTES DE
COMBUSTIÓN ABIERTA (MG/NM3).**

CONTAMINA	COMBUSTIBLE	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta marzo 2013.	Fuente fija nueva: funcionamiento a partir marzo 2013.
Material Particulado.	Sólido sin contenido de azufre	200	70
	Fuel oil	200	200
	Diesel	150	50
	Sólido sin contenido de azufre	900	600
Óxidos de nitrógeno	Fuel oil	700	400
	Diesel	500	400
	Gaseoso	140	140
Dióxido de azufre	Fuel oil	1650	1650
	Diesel	1650	1650
Monóxido de carbono	Sólido sin contenido de azufre	1800	1800
	Fuel oil	300	120
	Diesel	250	120
	Gaseoso	100	80

FUENTE:<http://www.cip.org.ec/attachments/article/401/Anexo%203%20Emisiones%20al%20Air%20e.pdf>

ANEXO III

TABLAS DE EQUIPOS Y MATERIALES.

**REVESTIMIENTO CIRCULAR
DE 4 1/2" DE ESPESOR
LADRILLO EN ARCO DE 2 1/2"**
9 x 4 1/2 x 2 1/2" ó 13 1/2 x 4 1/2 x 2 1/2"

DIAMETRO INTERIOR DEL REVESTIMIENTO	NUMERO REQUERIDO POR ANILLO				DIAMETRO INTERIOR DEL REVESTIMIENTO	NUMERO REQUERIDO POR ANILLO			
	ARCO No.3 9x4 1/2 (2 1/2-1")	ARCO No.2 9x4 1/2 (2 1/2-1 3/4")	ARCO No.1 9x4 1/2 (2 1/2-2 1/8")	TOTAL PIEZAS		ARCO No.2 9x4 1/2 (2 1/2-1 3/4")	ARCO No.1 9x4 1/2 (2 1/2-2 1/8")	RECTO 9x4 1/2 2 1/2"	TOTAL PIEZAS
0' - 6"	19	-	-	19	4' - 0"	4	68	-	72
0' - 7"	18	3	-	21	4' - 1"	3	70	-	73
0' - 8"	17	5	-	22	4' - 2"	2	73	-	75
0' - 9"	15	8	-	23	4' - 3"	-	76	-	76
0' - 10"	14	10	-	24	4' - 4"	-	76	1	77
0' - 11"	13	13	-	26	4' - 6"	-	76	4	80
1' - 0"	12	15	-	27	4' - 8"	-	76	6	82
1' - 1"	10	18	-	28	4' - 10"	-	76	9	85
1' - 2"	9	20	-	29	5' - 0"	-	76	11	87
1' - 3"	8	23	-	31	5' - 2"	-	76	14	90
1' - 4"	7	25	-	32	5' - 4"	-	76	16	92
1' - 5"	5	28	-	33	5' - 6"	-	76	19	95
1' - 6"	4	30	-	34	5' - 8"	-	76	21	97
1' - 7"	3	33	-	36	5' - 10"	-	76	24	100
1' - 8"	2	35	-	37	6' - 0"	-	76	26	102
1' - 9"	-	38	-	38	6' - 2"	-	76	29	105
1' - 10"	-	36	3	39	6' - 4"	-	76	31	107
1' - 11"	-	36	5	41	6' - 6"	-	76	34	110
2' - 0"	-	34	8	42	6' - 8"	-	76	36	112
2' - 1"	-	33	10	43	6' - 10"	-	76	39	115
2' - 2"	-	31	13	44	7' - 0"	-	76	41	117
2' - 3"	-	31	15	45	7' - 2"	-	76	44	120
2' - 4"	-	29	18	47	7' - 4"	-	76	46	122
2' - 5"	-	28	20	48	7' - 6"	-	76	49	125
2' - 6"	-	26	23	49	7' - 8"	-	76	51	127
2' - 7"	-	26	25	51	7' - 10"	-	76	54	130
2' - 8"	-	24	28	52	8' - 0"	-	76	56	132
2' - 9"	-	23	30	53	8' - 2"	-	76	59	135
2' - 10"	-	21	33	54	8' - 4"	-	76	61	137
2' - 11"	-	20	36	56	8' - 6"	-	76	64	140
3' - 0"	-	19	38	57	8' - 8"	-	76	66	142
3' - 1"	-	18	40	58	8' - 10"	-	76	69	145
3' - 2"	-	16	43	59	9' - 0"	-	76	71	147
3' - 3"	-	15	46	61	9' - 2"	-	76	74	150
3' - 4"	-	14	48	62	9' - 4"	-	76	76	152
3' - 5"	-	13	50	63					
3' - 6"	-	11	53	64					
3' - 7"	-	10	56	66					
3' - 8"	-	9	58	67					
3' - 9"	-	8	60	68					
3' - 10"	-	7	63	70					
3' - 11"	-	5	66	71					

Fuente: <http://www.la-llave.com/ec/index.html>.2014.

CUADRO DE ALTERNATIVAS PARA SELECCIÓN DE COMBUSTIBLES.

	Alternativa 1(diesel)	Alternativa 2(Glp)	Alternativa3(carbón)
Instalaciones	5	8	3
Poder calorífico	8	9	7
Almacenamiento	6	8	4
Transporte	6	9	3
Medio ambiente	5	8	6
Total	30	42	23

Nota: Para dar el valor indicado en las consideraciones cada una se valora en 10 puntos, los valores altos corresponde a propiedades de relativa facilidad, y los valores bajos corresponden a situaciones de dificultad, el valor total corresponde a la mejor alternativa.

Fuente: Autores.

SELECCIÓN DE CRISOL.

SALAMANDER SIC

CADINHOS DE CARBETO DE SILÍCIO

FORMATO A Capacidade aprox.

Referência	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Fundo (mm)	Volume (l)
AS 1	95	75	53	0.1
AS 2	110	105	75	0.25
AS 3	135	105	75	0.35
AS 4	145	125	85	0.45
AS 5	155	125	86	0.6
AS 6	170	140	99	0.75
AS 8	185	140	99	0.9
AS 10	195	170	115	1.3
AS 13	220	170	115	1.55
AS 16	230	205	145	2.15
AS 20	250	200	140	2.5
AS 25	250	225	155	3.5
AS 30	300	230	155	4.6
AS 40	325	260	180	6.25
AS 50	345	255	175	6.9
AS 60	360	290	200	10
AS 70	385	290	200	10.8
AS 80	390	320	230	14
AS 100	425	325	235	15.8
AS 120	430	360	255	22
AS 150	485	365	255	25
AS 200	530	420	295	34
AS 250	580	420	295	40
AS 300	580	455	330	4
AS 400	665	505	300	61
AS 500	670	535	340	70
AS 600	730	535	340	80
AS 1000	840	615	425	133

* AS 1 até AS150 são fornecidos com pequeno bico.

* IS para vazamento pelo topo em fornos basculantes.

* IS e ISL cadinhos com bico para fornos basculantes.

* Capacidade aproximada em litros.

FORMATO B Capacidade aprox.

Referência	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Fundo (mm)	Volume (l)
BS 135	510	525	320	53
BS 175	610	525	320	67
BS 200	680	525	320	74
BS 220	745	525	320	84
BS 250	640	615	340	109
BS 315	700	615	340	116
BS 330	790	620	340	133
BS 300	570	765	420	125
BS 400	700	770	420	166
BS 500	810	770	420	206
BS 600	905	770	420	233
BS 700	1050	780	420	300

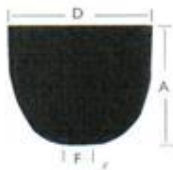
FORMATO C

Referência	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Fundo (mm)	Volume (l)
CS200	625	380	275	33.8
CS300	685	430	290	47.6
CS400	790	435	295	60
CS500	950	440	290	72
CS800	985	555	370	126

FORMATO A



FORMATO B



FORMATO C



MORGANITE BRASIL LTDA

Avenida do Taboão, no. 3265 - Taboão - S.B.C. - SP - Brasil - CEP 09656-000 • Fones: (11) 4075 0400 4178 1999 • www.morganmms.com

Fuente: <http://www.la-llave.com/ec/index.html>.2014.

SALAMANDER SIC

CADINHOS DE CARBETO DE SILÍCIO

QUALIDADE, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO, TRADIÇÃO, PERFORMANCE

DESCRIÇÃO

Os cadinhos de Carbetto de Silício ligado a carbono são fabricados mediante as mais modernas técnicas desenvolvidas, incorporando uma nova tecnologia de proteção anti-oxidante que permite uma alta performance na fusão e manutenção de ligas de metais.

APLICAÇÃO

Excelente performance para a fusão e manutenção em ligas de metais não ferrosos.

CARACTERÍSTICAS

Excelente condutibilidade térmica e elétrica.
Alta resistência à abrasão.
Excelente resistência à oxidação.
Boa resistência ao choque térmico.
Boa resistência contra agentes químicos.
Performance consistente na fusão de diversas ligas metálicas.

IDENTIFICAÇÃO

SALAMANDER SIC – TRIÂNGULO AZUL
ESTA MARCA É CONHECIDA E REGISTRADA NO MUNDO.

REFERÊNCIAS

Formato A, B, C.

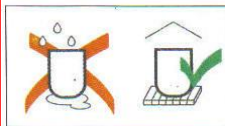


QUALIDADE

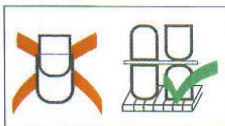
Salamander SIC é fabricado no Brasil com a tecnologia da líder mundial de cadinhos "Morganite Crucible Ltd", Inglaterra com padrão de qualidade e certificação ISO 9001:2000.

Este produto tem o suporte dos melhores e experientes técnicos profissionais no campo de fusão a cadinho.

CADINHOS, USO E CUIDADOS



Armazenar em local seco e arejado.



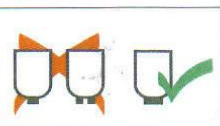
Não armazenar cadinhos dentro de outros.



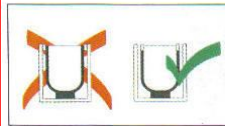
Não role cadinhos.



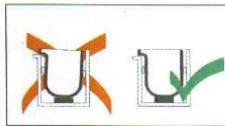
Verificar possíveis trincas ou danos causados no transporte antes do uso.



Utilizar bases planas e com diâmetro superior ao diâmetro do fundo do cadinho. Centralizar o cadinho na base.



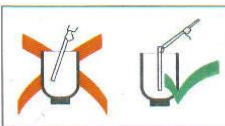
Use fibra cerâmica para vedar qualquer fuga de calor. Deixar espaço entre a boca do cadinho e lados do for no.



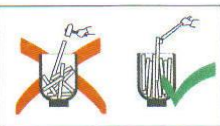
Use calços de apoio em fornos basculantes. Não pressione os calços, deixe espaço para dilatação do cadinho.



Direcionar chama tangencial ao redor do cadinho.



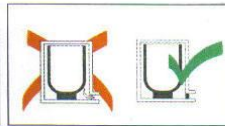
Não jogue a carga dentro do cadinho, use tenaz carregando com cuidado.



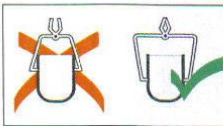
Carregue primeiro com sucata leve e, após coloque lingotes em posição vertical.



Somente adicione fluxo com o metal líquido.



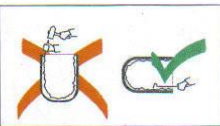
Evite trincas prematuras verificando se o canal de dreno do forno está fechado.



Em forno lift-out a tenaz deverá ser colocada no terço inferior do cadinho. Ajuste a tenaz abraçando no lado externo do cadinho.



Esvaziar o cadinho antes de retirá-lo do forno. Não deixe metal solidificar dentro do cadinho.



Limpe com cuidado e diariamente o cadinho ainda quente.



MORGANITE BRASIL LTDA

Avenida do Taboão, no. 3265 - Taboão - S.B.C. - SP - Brasil - CEP 09656-000 • Fones : (11) 4075 0400 4178 1999 • www.morganmms.com



SELECCIÓN DE PERFILES ANGULARES.

1-46

DIMENSIONS AND PROPERTIES

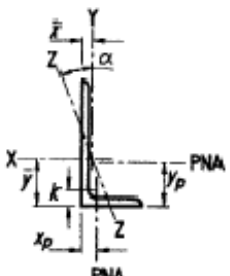


Table 1-7 (continued)

Angles

Properties

Shape	k	Wt.	Area, A	Axis X-X						Flexural-Torsional Properties		
				I	S	r	$\bar{y}$	Z	y_p	J	C_w	$\bar{r}_o$
				in. ⁴	in. ³	in.	in.	in. ³	in.	in. ⁴	in. ⁶	in.
L3x2x1/2	13/16	7.70	2.25	1.92	1.00	0.922	1.08	1.78	0.736	0.192	0.0908	1.39
x3/8	11/16	5.90	1.73	1.54	0.779	0.937	1.03	1.39	0.668	0.0855	0.0413	1.42
x5/16	5/8	5.00	1.46	1.32	0.662	0.945	1.01	1.19	0.633	0.0510	0.0248	1.43
x1/4	9/16	4.10	1.19	1.09	0.541	0.953	0.980	0.969	0.596	0.0270	0.0132	1.45
x3/16	1/2	3.07	0.902	0.847	0.414	0.961	0.952	0.743	0.556	0.0119	0.00576	1.46
L2 1/2x2 1/2x1/2	3/4	7.70	2.25	1.22	0.716	0.735	0.803	1.29	0.450	0.188	0.0791	1.30
x3/8	5/8	5.90	1.73	0.972	0.558	0.749	0.758	1.01	0.347	0.0833	0.0362	1.33
x5/16	9/16	5.00	1.46	0.837	0.474	0.756	0.735	0.853	0.293	0.0495	0.0218	1.35
x1/4	1/2	4.10	1.19	0.692	0.387	0.764	0.711	0.695	0.237	0.0261	0.0116	1.36
x3/16	7/16	3.07	0.900	0.535	0.295	0.771	0.687	0.529	0.180	0.0114	0.00510	1.38
L2 1/2x2x3/8	5/8	5.30	1.55	0.914	0.546	0.766	0.826	0.982	0.425	0.0746	0.0268	1.22
x5/16	9/16	4.50	1.31	0.790	0.465	0.774	0.803	0.839	0.391	0.0444	0.0162	1.23
x1/4	1/2	3.62	1.06	0.656	0.381	0.782	0.779	0.688	0.356	0.0235	0.00868	1.25
x3/16	7/16	2.75	0.809	0.511	0.293	0.790	0.754	0.529	0.318	0.0103	0.00382	1.26
L2 1/2x1 1/2x1/4	1/2	3.22	0.938	0.594	0.364	0.792	0.866	0.644	0.606	0.0209	0.00694	1.19
x3/16	7/16	2.47	0.715	0.464	0.280	0.801	0.839	0.497	0.568	0.00921	0.00306	1.20
L2x2x3/8	5/8	4.70	1.36	0.476	0.348	0.591	0.632	0.629	0.342	0.0658	0.0174	1.05
x5/16	9/16	3.92	1.15	0.414	0.298	0.598	0.609	0.537	0.290	0.0393	0.0106	1.06
x1/4	1/2	3.19	0.938	0.346	0.244	0.605	0.586	0.440	0.236	0.0209	0.00572	1.08
x3/16	7/16	2.44	0.715	0.271	0.188	0.612	0.561	0.338	0.180	0.00921	0.00254	1.09
x1/8	3/8	1.65	0.484	0.189	0.129	0.620	0.534	0.230	0.123	0.00293	0.000789	1.10

Fuente: Catalogo AISC (Instituto Americano de la Construcción con Acero)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MANTA DE CERÁMICA.



Fiberfrax Especificación del Producto

Manta Durablanket® 1400

La **Manta Durablanket 1400** es una versión de la línea Fiberfrax para alta temperatura. Es producida con alúmina, zirconio y sílice de alta pureza. Esta composición y un proceso exclusivo de fabricación, le confiere a la **Manta Durablanket 1400** características de baja contracción a altas temperaturas. Durante su fabricación las fibras son entrelazadas y sometidas a un proceso de agujamiento (needled) a fin de obtener una manta de excelente resistencia a la tracción y al manejoo, sin contenido de ningún ligante.

La **Manta Durablanket 1400** es un aislante térmico de gran eficiencia que asocia características de bajo peso, bajo almacenamiento de calor y elevada resistencia al choque térmico. Posee excelente estabilidad química, no siendo afectada por la mayoría de los productos químicos, con excepción de los ácidos hidrofúorídricos y fosfóricos ó los álcalis concentrados. Si es mojada por agua, vapor ó aceite, sus propiedades físicas permanecen inalteradas después de seca.

La **Manta Durablanket 1400** posee las siguientes características:

- Bajo índice de contracción.
- Excelente resistencia mecánica, inclusive después de quemada.
- Bajo almacenamiento de calor.
- Baja densidad.
- Excelente resistencia al choque térmico.
- Alta reflexión de calor.
- Excelente absorción acústica.



Análisis Químico Típico

Al ₂ O ₃	30,0%
SiO ₂	53,0%
ZrO ₂	16,0%
Otros	1,0%

Propiedades Físicas Típicas

Color	Blanca
Límite de uso continuo*	1400°C
Punto de fusión	1760°C
Diámetro da fibra	2,5 a 3,5 microns
Calor Específico a 1100°C	1.130 J/kg K
Densidad	2,7 g/cm ³

Disponibilidad

Las **Mantas Durablanket 1400** están disponibles en:

Espesores	6, 13, 25, 38, 51 mm
Ancho	610 e 1220 mm
Longitud	3660, 7620, 14640 e 21960 mm
Densidad	96, 128, 160 e 192 kg/m ³

* El límite de uso continuo de los productos Fiberfrax está determinado por el criterio del cambio lineal irreversible y no por el punto de fusión.

}

Fuente: <http://www.la-llave.com/ec/index.html>.2014.

Aplicaciones Típicas

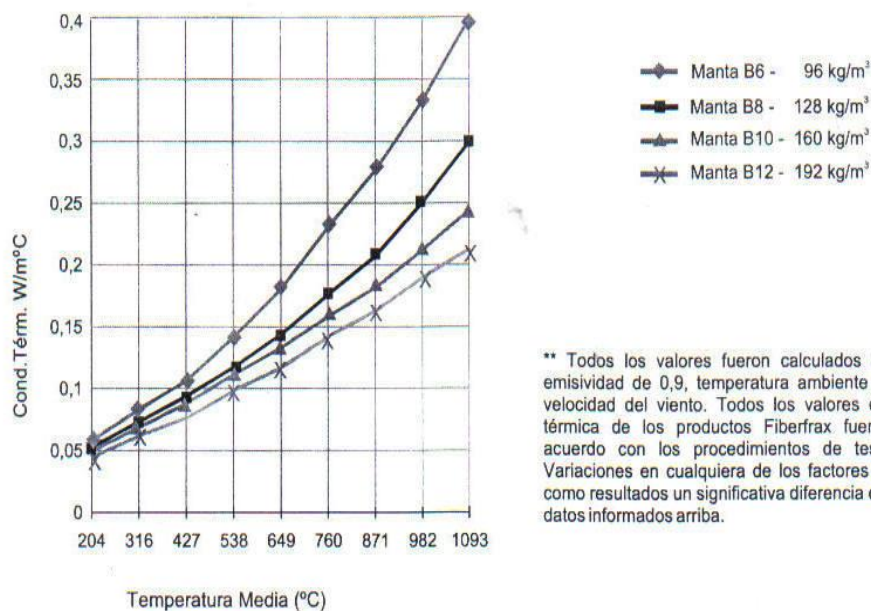
- Revestimientos de Hornos petroquímicos.
- Revestimientos de Hornos Cerámicos (abrasivos, loza cerámica, etc.)
- Hornos de recalentamiento de lingotes.
- Hornos de forja.
- Tapas y Sellos para hornos pozo .
- Tapas de cucharas.
- Revestimiento y sellos para calderas.
- Hornallas y cámaras de combustión.
- Hornos para refractarios.

Presentación

Las Mantas **Durablanket 1400** son acodicionadas en cajas de cartón de 1260 x 630 x 230 mm.

Espes./Compr. (mm)	Peizas/caja	m ² /caja	Dimensión/caja (int)
6 x 21960	1	13,4	620 x 443 x 427
13 x 14640	1	8,93	620 x 443 x 427
25 x 7620	1	4,65	620 x 443 x 427
38 x 3360	1	2,23	620 x 443 x 427
51 x 3360	1	2,23	620 x 443 x 427

Conductivade térmica vs. temperatura média (ASTM - C - 177)**



** Todos los valores fueron calculados en un factor de emisividad de 0,9, temperatura ambiente de 27°C y cero velocidad del viento. Todos los valores de conductividad térmica de los productos Fiberfrax fueron medidos de acuerdo con los procedimientos de test ASTM-C-177. Variaciones en cualquiera de los factores testeados darán como resultados un significativa diferencia con relación a los datos informados arriba.

Fuente: <http://www.la-llave.com/ec/index.html>.2014.

ANEXO IV

TABLAS DE VALORES SELECCIONADOS EN CÁLCULOS.

SELECCIÓN CONDUCTIVIDAD TÉRMICA MANTA DE CERÁMICA.

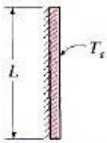
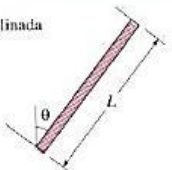
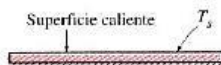
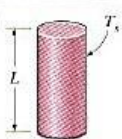
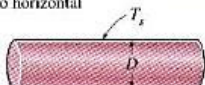
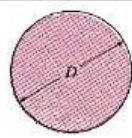
Tabla A-3 (Continuación)

Sustancia	Tem- pera- tura °C	k , W/m °C	ρ , kg/m ³	c , kJ/kg °C	α , m ² /s $\times 10^7$
Materiales aislantes					
Asbesto:					
Baja densidad	-45	0.149	470-570	0.816	3.3-4
	0	0.154			
	100	0.161			
Tableros de asbesto cemento	20	0.74	160	1.88	2-5.3
Hojas	51	0.166			
Filtro, 40 capas/plg	38	0.057			
	150	0.069			
	250	0.083			
20 capas/plg	38	0.078			
	150	0.095			
	250	0.112			
Corrugado, 4 pliegues/plg	38	0.087			
	93	0.100			
	150	0.119			
Asbesto cemento	—	2.08			
Balsamina, 2.2 lb/pie ³	32	0.04			
Cartón corrugado	—	0.064			
Cartón de bagazo (celotex)	32	0.048			
Corcho, 10 lb/pie ³	30	0.043			
Corcho granulado	32	0.045	45-120		
Molido	32	0.043	150		
Tierra de diatomeas (Sil-o-cel)	0	0.061	320		
Feltro, filamentos	30	0.036	130-200		
Lana	30	0.052	330		
Tablero aislante de fibra	20	0.048	240		
Lana de vidrio, 1.5 lb/pie ³	23	0.038	24	0.7	22.6
Insullex, seco	32	0.064	270		
		0.144			
Capoca	30	0.035			
Magnesita, 85%	38	0.067			
	93	0.071			
	150	0.074			
	204	0.080			
Lana mineral, 1.0 lb/pie ³	32	0.040	160		
Baja densidad	150	0.067	64		
	260	0.087			
Aserrín	23	0.059	140		
Sílica aerogel	32	0.024			
Virutas de madera	23	0.059			

* Adaptado a unidades SI de J. Brown y S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3a. Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor (INCROPERA).

**CORRELACIONES EMPÍRICAS DEL NÚMERO PROMEDIO DE NUSSELT
PARA LA CONVECCIÓN NATURAL SOBRE SUPERFICIES.**

Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	L	$10^4 - 10^9$ $10^9 - 10^{13}$ Todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/5}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	L		Utilícen las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente Reemplácese g por $g \cos \theta$ para $Ra < 10^9$
Plástico horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría) 	A_s/p	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ (9-23)
b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 		$10^5 - 10^{11}$	$Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ (9-24)
Cilindro vertical 	L		Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$
Cilindro horizontal 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{4/5}} \right\}^2$ (9-25)
Esfera 	D	$Ra_D \leq 10^{11}$ $(Pr \geq 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{9/16}]^{4/5}}$ (9-26)

Fuente: Transferencia de calor y masa. (CENGEL YANUS).

SELECCIÓN CONDUCTIVIDAD TÉRMICA CHAPA METÁLICA.

TABLA A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados*													
Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)							
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^4$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)							
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.3 609	32.1 654
Aceros al carbón													
Carbón ordinario (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1169		
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7 487	48.8 559	39.2 685	31.3 1168		
Carbón-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971		
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn $\leq$ 1.65%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090		
Aceros con cromo (bajo)													
1Cr-1Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969		
1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969		
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969		
Aceros inoxidables													
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606		
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611	28.0 640	31.7 682
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602		
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606		

Fuente: Fundamentos de transferencia de calor (INCROPERA. FRANK)

SELECCIÓN CONDUCTIVIDAD TÉRMICA LADRILLO REFRACTARIO.

872 APÉNDICE 1					
TABLA A-5					
Propiedades de materiales de construcción (a una temperatura media de 24°C)					
Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Tableros de construcción					
Tablero de asbesto-cemento	6 mm	1 922	—	1.00	0.011
Tablero de yeso de revoque	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Madera contrachapada (abeto Douglas)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
	20 mm	545	—	1.21	0.165
Tablero y entablado aislados (densidad común)	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Tablero duro (de alta densidad, amasado estándar)	—	1 010	0.14	1.34	—
Tablero aglutinado:					
Densidad media	—	800	0.14	1.30	—
Contrapiso	16 mm	640	—	1.21	0.144
Contrapiso de madera	20 mm	—	—	1.38	0.166
Membrana de construcción					
Filtro permeable al vapor	—	—	—	—	0.011
Sello de vapor (2 capas de filtro de 0.73 kg/m ² estropajeado)	—	—	—	—	0.021
Materiales para piso					
Alfombra y carpeta fibrosa	—	—	—	1.42	0.367
Alfombra y carpeta de caucho	—	—	—	1.38	0.217
Loseta (asfalto, linóleo, vinilo)	—	—	—	1.26	0.009
Materiales para mampostería					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común	—	1 922	0.72	—	—
Ladrillo para fachada	—	2 082	1.30	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria	—	2 400	1.34	—	—
	—	1 920	0.90	0.79	—
	—	1 120	0.41	—	—
Bloques de concreto (3 núcleos ovales, agregado de arena y grava)	100 mm	—	0.77	—	0.13
	200 mm	—	1.0	—	0.20
	300 mm	—	1.30	—	0.23

Fuente: Transferencia de calor y masa. (CENGEL YANUS)

SELECCIÓN CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL AIRE.

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667

Fuente: Transferencia de calor y masa. (CENGEL YANUS)

ANEXO V

PROTOCOLO DE PRUEBAS.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROTOCOLO DE PRUEBAS

PRUEBAS DIMENSIONALES.

HORNO DE CRISOL.							
Descripción: VERIFICACIÓN DE MEDIDAS							
ÍTEM		Instrumento De Medida.	Medida Nominal (mm)	Tolerancia (mm)	Medida Real. (mm)	RESULTADO	
						PASA	NO PASA
Horno.	Largo	Flexómetro	1100	± 5			
	Ancho	Flexómetro	870	± 5			
	Alto	Flexómetro	1160	± 5			
	Diámetro de Cámara Comb.	Flexómetro	350	± 5			
Ventilador centrifugo	Diámetro de Salida.	Flexómetro	101,6	± 1			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROTOCOLO DE PRUEBAS

PRUEBAS DE APARIENCIA.

Descripción: HORNO DE CRISOL.						
ÍTEM	Referencia.		Tipos de medición.	Especificaciones.	RESULTADO	
					Pasa	No pasa
1	Verificación Acabados y soldaduras	Manipulable	Tacto Visual	Sin aristas		
2	Color de la máquina.	Horno Gris, Base Horno y estructura Porta GLP Negro.	Visual.	Pintura Alta temperatura Pintura Sintética.		
OBSERVACIONES:						

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

FACULTAD DE INGENIERÍAS.

PROTOCOLO DE PRUEBAS.

VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS.

VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS.			
ELEMENTO	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Malo
Venterol.			
Válvula			
Mangueras y tuberías.			

VERIFICACIÓN DE FUGAS: COMBUSTIBLE, CONEXIONES, AIRE CALIENTE, GASES.

VERIFICACIÓN DE FUGAS.			
ELEMENTO	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Malo
Válvulas.			
Tuberías.			
Cámara de Fundición.			

PRUEBA DE FUNDICIÓN.

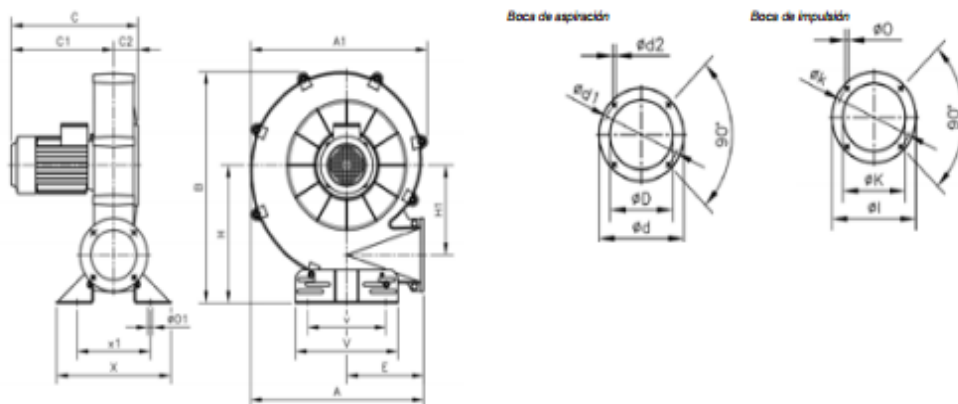
Tiempo de Calentamiento.(min)	Rango Temperatura (°C)	Observaciones.		
		Regular	Bueno	Excelente
5	200 - 270			
15	270 - 430			
25	430 - 460			
35	460 - 510			
45	510 - 550			
60	550 - 660			

ANEXO VI

MANGUERAS, VÁLVULAS Y VENTILADORES.

Dimensiones mm

CMA-540-545

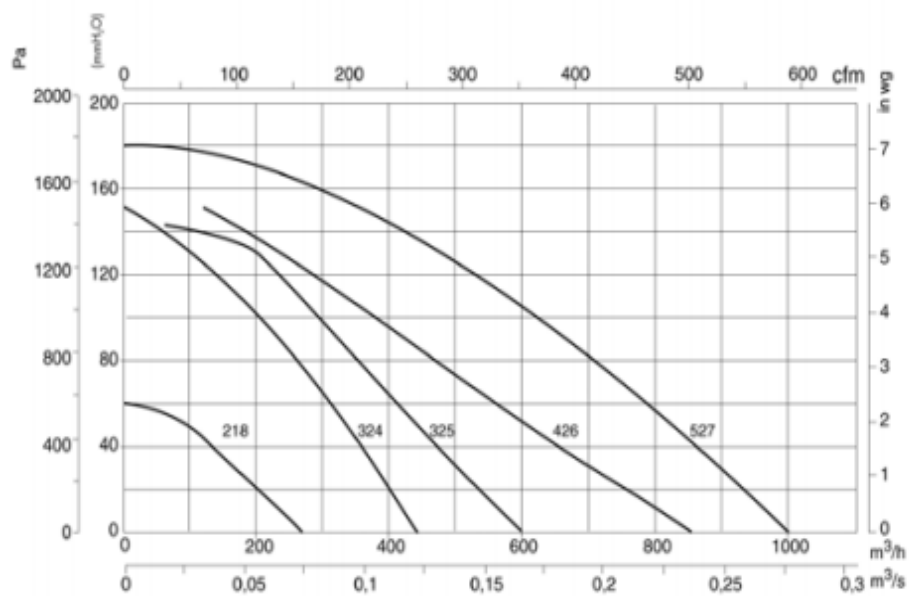


Modelo	A	A1	B	C	C1	C2	ϕD	ϕd	$\phi d1$	$\phi d2$	E	H	H1	ϕl	ϕk	ϕl	$\phi 0$	$\phi 01$	V	v	X	x1	Y
CMA-540	567	580	695	403	323	80	170	240	205	M10	252	415	270	220	150	190	13	11	336	218	374	240	-
CMA-545...3	651	646	776	449	334	115	180	255	220	M10	290	450	309	250	175	220	13	13	336	238	392	292	-
CMA-545...4	651	646	776	468	353	115	180	255	220	M10	290	450	309	250	175	220	13	13	336	238	392	292	-

Curvas características

Q= Caudal en m^3/h , m^3/s y cfm

Pe= Presión estática en mm.c.a., Pa e inwg

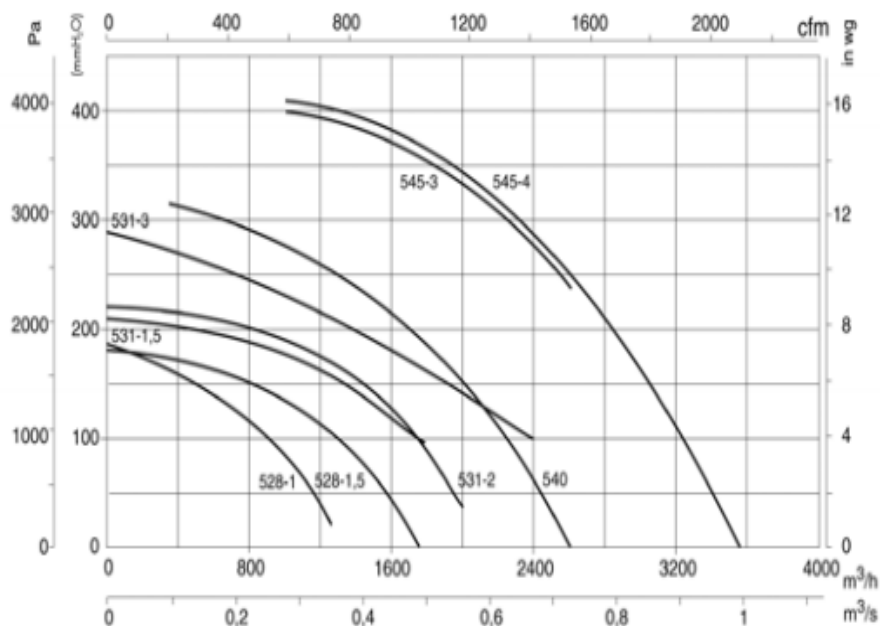


Fuente: http://origen.sodeca.com/repository/documentos%5CES%5CSE01_CMA_2014ES.pdf

Curvas características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm

Pe= Presión estática en mm.c.a., Pa e inwg



Orientaciones

Suministro standard LG 270

Posición LG 180 bajo demanda y con medidas de anclaje especiales



Fuente: http://origen.sodeca.com/repository/documentos%5CES%5CSE01_CMA_2014ES.pdf

REGULADORES BAJA PRESIÓN GAS L.P.

Código	Modelo	Descripción
08-03-0-001	R-1	Sin Accesorios
08-03-0-002	R-1-A	Punta pol y tuerca izquierda
08-03-0-003	R-1-A Blla	Punta pol y tuerca izquierda en blister pack
08-03-0-004	R-1-BP	De dos vías
08-03-0-009	R-1-BP Blla	De dos vías con blister pack
08-03-0-006	R-1-C	Punta pol y maneral tuerca izquierda
08-03-0-007	R-3	Punta pol y maneral tuerca izquierda
08-03-0-008	R-3 Blla	Punta pol y maneral tuerca izquierda en blister pack
40-01-0-012	R-3-050	Punta pol y maneral manguera 50 cms.
40-01-0-013	R-3-100	Punta pol y maneral manguera 1 mta.
40-01-0-014	R-3-200	Punta pol y maneral manguera 2 mta.
40-01-0-015	R-3-300	Punta pol y maneral manguera 3 mta.
40-01-0-016	R-3-500	Punta pol y maneral manguera 5 mta.
40-01-0-011	R-5	Regulador de baja presión ALTO CONSUMO

Usos: Cilindros portátiles y tanques estacionarios domésticos.

REGULADORES ALTA PRESIÓN GAS L.P.



Código	Descripción
Bajo Consumo	
09-03-0-243	Regulador A.P.R7000-A00 Solo 20 PSI
09-03-0-151	Regulador A.P.R7000-A20 Pol 20 PSI
Alto consumo	
09-03-0-151	Regulador A.P.Mod. 2403 "S4" lusa - H.W.
09-03-0-152	Regulador A.P.Mod. 2403 "U4" lusa - H.W.
29-02-0-005	Manómetro METRON Mod. 51100
09-03-0-201	Regulador A.P.Comap. AP2120 C/Manómetro
09-03-0-203	Regulador A.P.Comap. AP2400 C/Manómetro
09-03-0-212	Regulador A.P.CMS. Mod. 1757 C/Manómetro

MEDIDOR MAGNETICO DE % DE NIVEL BRIDADOS



Código	Modelo	Descripción
Para tanque estacionario		
08-02-0-004	ME-1-16	Diámetro 16"
08-02-0-064	ME-1-120	Medidor estacionario 120 Lts. Vertical especial
08-02-0-022	ME-1-20	Diámetro 20"
08-02-0-063	ME-1-180	Medidor estacionario 180 Lts. Vertical especial
08-02-0-024	ME-1-24	Diámetro 24"
08-02-0-030	ME-1-30	Diámetro 30"
08-02-0-037	ME-1-37	Diámetro 37"
08-02-0-040	ME-1-40	Diámetro 40"
08-02-0-046	ME-1-46	Diámetro 46"
Para tanque carburación		
08-02-0-012	MC-1-12	Diámetro 12"
08-02-0-014	MC-1-14	Diámetro 14"
09-02-0-004	MC-1-16	Diámetro 16"
08-02-0-060	MC-1-65	Especial tanque tipo H
08-02-0-020	MC-1-20	Diámetro 20"
Relaciones		
10-08-0-021		Carbita para Medidor Ingusa



Fuente: <http://archivos.gdlsystems.net/Disa/CatalogoDISA2012-2013.pdf>

ANEXO VII

TABLAS UNIFICADAS PARA SOLDADURAS.

TABLA 9.5.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n^*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Aplastamiento	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^†$	

* El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.
† El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder $0.40S_y$ del metal base.

Fuente: SHIGLEY, Joseph E., (Diseño en ingeniería mecánica, 2002)

Tabla 9.7.

Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete							
Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete							
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)							
	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca de penetración parcial							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal							
$^1 f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h
Tamaño del cateto h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal						
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59

* Las soldaduras de filete en realidad se ensayaron por el AISC-AWS Task Committee.

¹ $f = 0.707h \tau_{\text{perm}}$

Fuente: Adaptada de Omer W. Blodgett (ed.), Stress Allowables Weldment Design, D412, The James E. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo, 1991, p. 3.

Fuente: SHIGLEY, Joseph E., (Diseño en ingeniería mecánica, 2002)

ANEXO VIII
MANUAL DE OPERACIÓN.

MANUAL DE OPERACIÓN.

El horno crisol para su funcionamiento consiste en obtener o recolectar 15 Kg de aluminio para ser depositados dentro de un crisol, en el cual en un tiempo de 1 hora el aluminio será fundido, a continuación se determina las secuencias de operación.

1. Conectar la manguera de la centralina al gas (G.L.P).
2. Encender la hornilla del quemador.
3. Encender el ventero y regular la velocidad.
4. Realizar un precalentamiento del quemador de 5 a 10 minutos.
5. Realizar un precalentamiento de la cámara de combustión del horno de 5 a 10 minutos.
6. El operador del Horno debe de colocar 15 Kg de aluminio que se necesita para el proceso de la fundición al cual va a trabajar el horno.
7. El tiempo de proceso para la fundición de aluminio es de 1 hora.
8. Recolectar el aluminio fundido.
9. Colocar el aluminio fundido en moldes.
10. Apagar el ventero y el quemador.

MANUAL DE MANTENIMIENTO.

Es recomendable que cada equipo tenga su propio registro de mantenimiento, el cual se debe de realizar constantemente. Algunas sugerencias:

- a. Enseñar a los empleados la importancia del mantenimiento.
- b. Tener las herramientas y los accesorios necesarios en buenas condiciones.
- c. Exigir que solamente las personas autorizadas trabajen con el equipo especializado.
- d. Revisar que todos los elementos estén apagados.
- e. Retirar la válvula y manguera de alimentación de gas.
- f. colocar plataformas que faciliten el ajuste, la inspección, el mantenimiento, y la limpieza de los equipos.
- g. Retirar los elementos necesarios para realizar la limpieza de la cámara de combustión.
- h. Limpiar los residuos de material fundido.
- i. Ensamblar el horno.
- j. Revisar los extintores de incendio y los terminales eléctricos.
- k. Mantener un inventario de aquellas piezas o repuestos que se requieren con regularidad o de aquellas de difícil consecución y que puedan fallar en cualquier momento, paralizando la operación del horno.
- l. Programar el mantenimiento general del Horno y las reparaciones mayores para la época de baja productividad.

ÁREA DE TRABAJO.

- Proporcionar suficiente espacio a los empleados en el área de trabajo.
- Asignar y capacitar a una persona para que se encargue con la operación del Horno.
- Mantener disponible un botiquín de primeros auxilios.

INCENDIOS.

- Disponer de extintores de incendio del tipo apropiado, cargados, en perfecto estado de funcionamiento, y en lugar visible y de fácil acceso.
- Ubicar en un lugar visible los números telefónicos de emergencia (bomberos, hospitales, ambulancia, etc.)
- Brindar instrucción a los operadores sobre cómo actuar en caso de incendio.

ANEXO IX

PLANOS.