



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE
COMBUSTIÓN INDUSTRIAL PARA FUNDIR ALUMINIO”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por

MESTANZA BARRAGÁN DIEGO FERNANDO

LARA VILLEGAS VIVIANA PATRICIA

Riobamba * Ecuador

2012

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz
DECANO FAC. DE CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Hugo Calderón
COLABORADOR

Tlgo. Carlos Rodríguez
**DIRECTOR CENTRO
DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fortaleza la capacidad y la sabiduría durante todo este tiempo, a mi madre Srta. Nelly Noemí Mestanza Barragán por el amor, la dedicación, el esfuerzo, por ser gladiadora de batallas y ensueños durante toda el tiempo hasta el último instante de su vida, a mis abuelitos Sr. José Mestanza y Sra. Mariana Barragán, a mis Tíos Jorge, Pedro, Camilo, Carlos, Miriam, Rosendo y Jhony, a mis primos y primas que alegran mi vida y siempre me han apoyado. A mis buenos amigos y amigas que siempre confiaron en mí, a mi compañera Viviana por el apoyo y el gran trabajo realizado este tiempo. A mi director y colaborador de tesis Ingenieros Mario Villacrés y Hugo Calderón quienes nos guiaron para el desarrollo de este trabajo, a la Ing. Adrianita Villena por su valiosa colaboración y amistad.

DIEGO

A ti Divino Niño Jesús por nunca abandonarme y guiar mis pasos a donde la gracia de Dios siempre pueda protegerme, a mi madre Gladys, porque ha sacrificado gran parte de su vida para formarme, porque nunca podré pagar ni aún con las riquezas más grandes del mundo la herencia más valiosa que pudiera recibir, fruto del inmenso apoyo y confianza que en mí se depositó para que los esfuerzos y sacrificios hechos no fueran en vano, a mis Abuelitos Lucita y Daniel , quien con inmenso cariño me dieron un hogar, a mis hermanos Carlín y Sandy por su valioso ejemplo, consejo y amor, a mi familia y amigas por todo el gran apoyo brindado durante los años más difíciles y más felices de mi vida.

Al término de esta etapa de mi vida, de igual manera quiero expresar un profundo agradecimiento a los Ingenieros Mario Villacrés y Hugo Calderón por su valiosa dirección y colaboración a lo largo del desarrollo del proyecto de tesis y por último a Diego por ser mi compañero de éste último recorrido, gracias porque el logro tuyo es el logro mío.

Con cariño, admiración y respeto

VIVIANA

DEDICATORIA

Con lágrimas bajando por mi rostro a la única persona que puedo dedicar este trabajo, es a mi Madre, Srta. Nelly Noemí Mestanza Barragán, quién durante el desarrollo de esta tesis enfermo repentinamente, diagnosticándose finalmente un cáncer invasivo avanzado el mismo que terminó con su vida de manera prematura. Dedicarlo a su memoria por ser ella MADRE, PADRE y todo para mí, por su trabajo incansable por mejores días, por su amor incomparable e innegable, por ser simplemente mi madre. Le extraño y le amo, descanse en paz Mamita querida que jamás defraudare su esfuerzo.

DIEGO

A mi madre porque su amor ha sido y será siempre el motivo más grande que me ha impulsado para lograr esta meta que constituye el legado más grande que pudiera recibir, a mi hermano Carlín por haber significado el ejemplo y mi inspiración para terminar mi formación profesional, a mi hermana Sandy por ser la luz de mi vida mi compañera de alegrías y tristezas, mi fiel testigo de triunfos y mi gran apoyo en días de soledad, por ser simplemente mi cómplice de sueños y éxitos sin fin, a mi familia por todo el cariño, aliento y estímulo brindado en el transcurso de mi existir.

VIVIANA

Yo, Diego Fernando Mestanza Barragán soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Yo, Viviana Patricia Lara Villegas soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
cm ³	Centímetros cúbicos
gal	Galón
Hp	Caballos de fuerza
L	Litros
Lb	Libras
mL	Mililitros
mm	Milímetros
ohm	Ohmio
P	Presión
Pa	Pascal
Pf	Peso final
Pi	Peso inicial
pulg	Pulgada
R	Resistividad
r	Radio
NRe	Número de Reynolds
rps	Revoluciones por segundo
T	Temperatura
V	Volumen
W	Watts

RESUMEN

Diseñar y Construir un Horno de Combustión Industrial para fundir Aluminio reciclado, el cual será utilizado como equipo didáctico en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela De Ingeniería Química, de la Facultad De Ciencias, de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

Esta investigación se realizó con la utilización del método inductivo el cual permitió exhibir la manera como los hechos particulares, en este caso las variables están conectados a un todo que son las leyes que rigen los procesos físico - químicos que están presentes en esta investigación.

Fue necesaria la utilización del método deductivo para determinar las leyes que intervienen en el desarrollo de la investigación y poder llegar finalmente a obtener un equipo que por su estructura y diseño permite realizar un proceso de fundición de aluminio.

Además fue necesaria la utilización del método experimental que proporcionó datos en tiempo real, modificar variables y corregir errores.

Por lo tanto la investigación no está basada en un solo método y busca que la parte teórica no pierda su sentido y posteriormente comprobar experimentalmente el proceso de fundición de aluminio, el tiempo de calentamiento, la cantidad de gas consumido, además de manifestar claramente procesos de combustión y transferencia de calor.

En la construcción se emplearon materiales como: crisol de grafito, ladrillo refractario, cemento refractario, concreto refractario, manta cerámica, acero inoxidable brillante, accesorios: tecele, quemador de alta presión, centralina de gas, termocupla e indicador de

temperatura. Mediante los cálculos de dimensionamiento se construyó un equipo con un diámetro de 65.7cm, una altura de 62cm, cuyas pérdidas de calor son (2195.8 kcal/h), la cantidad de calor requerida para fundir la carga es (10541kcal/h). En el Horno se identifican dos zonas una de calentamiento rápido que en 5 minutos alcanza los 600°C y una zona de calentamiento que tarda 20 minutos hasta alcanzar los 900°C, el proceso de fundición tarda 45 minutos, obteniéndose una eficiencia del 79%; en el caso del Aluminio en 16 kg de perfiles reciclados que ingresan se obtiene 14.06 Kg de Aluminio y 1.94 Kg de escoria.

Se concluye esta investigación diseñando y construyendo un horno de combustión industrial para fundir aluminio reciclado, utilizando los materiales adecuados y con las medidas y condiciones establecidas en los cálculos, el cual funciona perfectamente y será administrado por el responsable del laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química para prácticas de los estudiantes.

Se recomienda ubicar el horno en un lugar apropiado, que el equipo sea utilizado y explotado al máximo por los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química, la manipulación debe realizarse utilizando equipo de protección y con mucho cuidado para evitar accidentes.

SUMMARY

Design and Construction of an Industrial Combustion Furnace to melt aluminum, which will be as training equipment in the Operations Unit of the Chemical Engineering School, Faculty of Science, Polytechnic School of Chimborazo.

The use of a machine in the area of metallurgy as a teaching tool is important for the student learning process fulfillment.

The inductive method was used for this research, in this case the variables are connected to a whole that is the laws that govern the physical – chemical processes that are present in this research.

It was necessary to use the deductive method for determining the laws involved in the research development and be able to eventually get equipment for its structure and design which allow for an aluminum smelting process.

It was also necessary to use the experimental method that provided real – time data, modify variables and correct errors.

In the furnace construction, the following materials were used: crucible graphite, refractory brick, refractory cement, refractory concrete, ceramic blanket, polished stainless steel, accessories such as: hoist, high pressure burner, centralina gas, thermocouple and temperature readout. By sizing calculations an equipment with a diameter of 65.7 cm, height 62 cm was built, its heat loss are 2195.8 Kcal/h, the required heat for the melting is 10541 kcal/h. Two areas are identified in the oven: one of rapid warming in 5 minutes reaches 600°C and a heating zone which takes 20 minutes to reach 900°C, the melting process takes 45 minutes, reaching an efficiency of 79%, in the case of the aluminum profiles in 16 Kg recycled profiles we obtained 14.06 kg aluminum and 1.94 kg aluminum dross.

We conclude this research by designing and building an industrial combustion furnace for smelting recycling aluminum, using proper materials and the actions and conditions in the calculations, which works perfectly and it will be managed by the Head of the Operations Unit Lab of the Chemical Engineering School for students practice.

It is recommended to place the oven in a suitable location, the equipment must be used and exploited fully by the students of the chemistry Engineering School, handle should be performed using protective equipment and carefully to avoid accidents.

INTRODUCCIÓN

La fundición de Aluminio reciclado es un proceso lo bastante bondadoso con la naturaleza a pesar de necesitar mucha energía para llevarlo a cabo, al ser un elemento que se puede reciclar cuantas veces se requiera y no perder sus propiedades, se evita que se siga explotando en las minas de donde se obtiene.

El presente trabajo tiene como objeto diseñar y construir un horno de combustión industrial para fundir aluminio el mismo que está destinado al uso didáctico en la Escuela de Ingeniería Química, que a más del proceso de fundición se pueden realizar otros estudios referentes a la transferencia de calor y a la combustión, de esta manera incentivaremos a que los estudiantes tengan una mayor motivación en este tipo de tecnologías logrando satisfacer las investigaciones que a este tema se refieren, La combustión ha representado, desde los tiempos más remotos la fuente principal de energía para la humanidad la misma que como proceso físico químico es una manifestación visible y es considerada como la estructura de la técnica moderna.

La investigación se realizó en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y se inicia con la idea de generar combustión, y en este caso fundir aluminio reciclado, la misma que nos llevo a la recopilación de bibliografía, luego a plantear la idea como un tema de investigación, inmediatamente realizar la simulación para determinar experimentalmente las condiciones de proceso además de identificar las variables, para posteriormente determinar el tipo de horno necesario, definir la cantidad de aluminio a fundir que es de 16 kg y desarrollar los cálculos de ingeniería que permitieron construir un

horno de combustión industrial para fundir aluminio de 65.7 cm de diámetro, 62 cm de alto, seleccionar un quemador a gas de alta presión, pensando en disminuir la contaminación que el proceso emite al utilizar un combustible fósil además se determinó la cantidad de calor requerida para lograr fundir la carga que es de 10541 Kcal/h. Una vez concluido la construcción se realizó las pruebas de validación en tiempo real las mismas que permitieron obtener datos de calentamiento en función del tiempo identificándose 2 zonas una de calentamiento rápido que en 5 minutos alcanza 600°C y otra de un calentamiento más lento y progresivo que en 20 minutos alcanza los 900°C, se determinó una eficiencia del horno del 79 % y en el caso del aluminio al fundir 16 Kg de perfiles reciclados se obtiene 14.06 Kg de Aluminio y 1.94 Kg de escoria.

ANTECEDENTES

La carrera de Ingeniería Química inicia formalmente en el año de 1999, con las respectivas modificaciones al Pensum de Estudios, el cual, debía estar acorde al avance Tecnológico y Científico con miras a las necesidades del sector Industrial del País.

El Ingeniero Químico es el profesionalista que desempeña diversas funciones en los aspectos técnicos, científicos, administrativos y humanísticos dentro de los sectores económicos que tienen que ver con la implementación de procesos productivos que transforman materias primas y fuentes básicas de energía en productos útiles a la sociedad.

Es por eso que la Facultad de ciencias conjuntamente con los estudiantes que han culminado su pensum académico ven la necesidad de contribuir en el avance tecnológico de sus laboratorios implementando equipos experimentales que permitan una formación integral, de esta manera se procura brindar a la sociedad profesionales altamente capacitados en lo científico y tecnológico en el área de Ingeniería Química.

En la actualidad los Laboratorios de la Facultad de Ciencias tiene a su disposición varios equipos como son secadores, muflas, estufas generalmente eléctricos, los cuales que de acuerdo a su función permite realizar varias prácticas experimentales, pero no se cuenta con un Horno a Combustión para desarrollar practicas de reacciones de Combustión, así como la obtención de un producto terminado.

El horno es considerado como un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos, como en la industria. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por combustión (leña, gas u otro combustible), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico).

JUSTIFICACIÓN

La combustión ha representado, desde los tiempos más remotos la fuente principal de energía para la humanidad, tal historia se encuentra cargada de descubrimientos, inventos e investigaciones, la combustión como proceso físico químico es una manifestación visible y es considerada como la estructura de la técnica moderna. La combustión es un proceso de transformación de la materia que se inicia con un aporte de energía y que, en presencia de oxígeno, da lugar a la formación de nuevas sustancias y a la liberación de energía en forma de calor y luz.

La situación reciente de los países en vías de desarrollo, ha llevado a todas las entidades e instituciones, que están vinculados con el campo tecnológico a incursionar en la investigación del desarrollo industrial es por eso que en los laboratorios de la Facultad de Ciencias existen varios equipos donde los estudiantes en su etapa de formación académica van adquiriendo sus conocimientos en la parte práctica, equipos generadores de calor como muflas, estufas, secadores en su totalidad equipos eléctricos, por lo que es necesario construir un horno de combustión industrial para fundir aluminio, de esta manera incentivaremos a que los estudiantes tengan una mayor motivación en este tipo de tecnologías logrando satisfacer las investigaciones que a este tema se refieren, y contribuyan a mejorar la calidad de la enseñanza y el bienestar de todo el personal que incurra en este campo

Como estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias con el conocimiento sobre la importancia que implica la aplicación de un equipo de combustión industrial que facilite la comprobación de manera práctica el fenómeno de combustión, se ve la necesidad de realizar esta investigación para que un equipo de estas características sea utilizado como patrón para procesos a nivel industrial, mismo que servirá también para el avance y desarrollo práctico, productivo y científico del intelecto de los alumnos de Ingeniería Química.

OBJETIVOS

GENERAL

“Diseñar y construir un horno de combustión industrial para fundir aluminio.”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular el proceso de fundición del aluminio a nivel de laboratorio.
- Identificar las variables de proceso que involucran la fundición del aluminio.
- Plantear los cálculos de ingeniería para el horno de fundición de Al, en base a las variables de proceso identificadas.
- Determinar la capacidad o dimensionamiento del horno de fundición.
- Establecer el tipo de materiales y controles del horno de fundición.
- Determinar requerimiento presupuestario.
- Construir y ensamblar el equipo en base al diseño de ingeniería.
- Validar el diseño de ingeniería a través de la toma de datos en tiempo real

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1 ALUMINIO.....	2
1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	3
1.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	3
1.2.3 APLICACIONES Y USOS	4
1.2 PROCESO DE FUNDICION DE ALUMINIO A PARTIR DEL MATERIAL RECICLADO	5
1.2.1 RECICLAJE DE ALUMINIO	5
1.2.2 FUSION DEL ALUMINIO.....	6
1.2 VARIABLES QUE CARACTERIZAN EL PROCESO DE FUNDICION DE ALUMINIO.....	8
1.2.1 PESO DE LA CARGA.....	9
1.2.2 TEMPERATURA	9
1.2.3 TIEMPO	10
1.2.4 CALOR NECESARIO PARA LA FUNDICIÓN DE ALUMINIO.....	10
1.2.4.1 CALOR UTIL QUE HA DE ENTREGARSE A LA CARGA METALICA.	10
1.2.4.2 TRANSFERENCIA DE CALOR	11
1.2.4.2.1 CONDUCCIÓN	12
1.2.4.2.2 CONVECCION.....	14
1.2.4.2.3 RADIACION.....	16
1.3 HORNOS DE FUSIÓN.....	17
1.3.1 CONDICIONES TECNICAS.....	18
1.3.1.1 CUALIDADES DE ORDEN TÉRMICO	18
1.3.1.2 CUALIDADES DE ORDEN FÍSICO Y QUÍMICO	18
1.3.1.3 CUALIDADES DE FÁCIL EXPLOTACIÓN.....	19
1.3.1.4 CONDICIONES ECONÓMICAS.....	19
1.3.2 TIPOS DE HORNOS	19
1.3.2.1 HORNOS DE REVERBERO	19
1.3.2.3 HORNOS DE CRISOL	21

1.3.2.3.1	HORNOS DE CRISOL FIJO	21
1.3.2.3.2	HORNOS DE CRISOL BASCULANTES	22
1.4	COMBUSTION.....	24
1.4.1	COMBUSTIÓN INDUSTRIAL.....	24
1.4.2	CLASES DE REACCIONES DE COMBUSTIÓN	25
1.4.2.1	COMBUSTIÓN NEUTRA	25
1.4.2.2	COMBUSTIÓN INCOMPLETA.....	25
1.4.2.3	COMBUSTIÓN COMPLETA.....	26
1.4.1.3	CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA AIRE/COMBUSTIBLE	27
1.5	COMBUSTIBLES.....	28
1.5.1	COMBUSTIBLES GASEOSOS.....	28
1.5.1.1	VENTAJAS DE LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS	29
1.5.2	GAS LICUADO DE PETRÓLEO.	30
1.5.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL GLP.	31
CAPÍTULO II		
2.	PARTE EXPERIMENTAL.....	33
2.1	MUESTREO	33
2.2	METODOLOGIA	35
2.2.1	MÉTODOS Y TECNICAS	36
2.2.1.1	MÉTODOS.....	36
2.2.1.2	TECNICAS	37
2.2.1.2.1	PROCEDIMIENTO PARA LA SIMULACION DEL PROCESO DE FUSION DE ALUMINIO EN LA MUFLA	38
2.2.1.2.2	PROCEDIMIENTO PARA LA SIMULACION DEL PROCESO DE FUSION DE ALUMINIO EN EL HORNO DE CRISOL BASCULANTE A COMBUSTION DE DIESEL	39
2.3	DATOS EXPERIMENTALES	41
2.3.1	DIAGNOSTICO.....	41
2.3.2	DATOS.....	41
2.3.2.1	DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LA MUFLA CON MUESTRAS DE PERFILES DE ALUMINIO	42
2.3.2.2	DATOS EXPERIMENTALES DE CALENTAMIENTO DE LA MUFLA	44

2.3.2.3	DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN EL HORNO DE CRISOL BASCULANTE.....	46
2.3.3	MATRIZ DE TOMA DE DECISIÓN	53
2.3.4	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	53
CAPÍTULO III		54
3.	CALCULOS Y RESULTADOS	55
3.1	DISEÑO DE INGENIERIA	55
3.1.1	CALCULO TEORICO DEL EQUIPO	56
3.1.1.1	GENERALIDADES.....	56
3.1.1.2	REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO.....	56
3.1.2	CÁLCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO	57
3.1.2.1	BALANCE SIMULTÁNEO DE MASA Y ENERGIA	57
3.1.2.1.1	BALANCE DE MASA	57
3.1.2.1.2	BALANCE DE ENERGÍA.	58
3.1.2.1.2.1	CALCULO DEL CALOR UTIL.....	59
3.1.2.1.2.1.1	CALCULO DEL CALOR QUE HA DE ENTREGARSE A LA CARGA METALICA	60
3.1.2.1.2.1.2	CALOR ABSORBIDO POR EL CRISOL.....	63
3.1.2.1.2.2	CALCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR.....	65
3.1.2.1.2.2.1	PERFIL DE TEMPERATURAS.....	65
3.1.2.1.2.2.2	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	69
3.1.2.1.2.2.3	PÉRDIDA DE CALOR EN LAS PAREDES DEL CILINDRO	75
3.1.2.1.2.2.4	PÉRDIDA DE CALOR EN LA BASE DEL HORNO	78
3.1.2.1.2.2.5	PÉRDIDA DE CALOR EN LA TAPA SUPERIOR DEL HORNO.....	80
3.1.2.1.2.2.6	PÉRDIDA DE CALOR TOTAL EN EL HORNO	82
3.1.2.1.2.3	CALCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA.....	82
3.1.2.2	CALCULOS DE COMBUSTION.....	83
3.1.2.2.1	AIRE TEORICO - COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE.....	83
3.1.2.2.2	CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	87
3.1.2.3	DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO	88

3.1.2.3.1	DIMENSIONES INICIALES	88
3.1.2.3.2	DETERMINACIÓN DEL ANCHO O ESPESOR DE LA CAMARA DE COMBUSTION.....	89
3.1.2.3.3	DETERMINACIÓN DEL DIAMETRO INTERIOR TOTAL DEL HORNO	95
3.1.2.3.4	DETERMINACIÓN DEL DIAMETRO EXTERIOR DEL HORNO.	95
3.1.2.3.4.1	ESPESOR DE LAS PAREDES CILÍNDRICAS DEL HORNO	96
3.1.2.3.5	ALTURA DEL HORNO.....	97
3.1.2.4	SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HORNO.....	98
3.1.2.4.1	CARACTERISTICA DEL CRISOL.....	98
3.1.2.4.1.1	SELECCIÓN DEL CRISOL	98
3.1.2.4.2	MATERIAL RFRACTARIO	99
3.1.2.4.2.1	LADRILLO REFRACTARIO	99
3.1.2.4.2.2	CONCRETO REFRACTARIO.....	100
3.1.2.4.3	MANTA CERÁMICA	101
3.1.2.4.4	CHAPA METÁLICA.....	101
3.1.2.4.5	QUEMADOR.....	101
3.1.2.4.6	TERMOCUPLA E INDICADOR DE TEMPERATURA.	102
3.1.2.5	ANÁLISIS DE COSTOS DEL EQUIPO.....	103
3.1.2.5.1	GENERALIDADES.....	103
3.1.2.5.2	MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL HORNO.	103
3.1.2.5.3	RECURSOS HUMANOS	105
3.1.2.5.4	RECURSOS MATERIALES	105
3.1.2.5.6	RECURSOS TOTALES.....	106
3.1.2.5.7	GASTOS DE OPERACIÓN DEL HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO.....	107
CAPITULO IV		108
4.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	109
CAPITULO V		119
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1	CONCLUSIONES.....	120

5.2	RECOMENDACIÓN.....	123
	BIBLIOGRAFIA	125
	ANEXOS	127

INDICE DE FIGURAS

1.2.4.2.1-1	Comportamiento molecular en la transferencia de calor por conducción	12
1.2.4.2.1-2	Ley de Fourier.....	13
1.2.4.2.2-1	Transferencia de calor por convección.....	14
1.3.2.1-1	Esquema de los hornos de Reverbero.....	20
1.3.2.3.1-1	Esquema de los hornos de crisol fijo.....	22
1.3.2.3.2-1	Esquema de los hornos de crisol basculante.....	23
2.3.2.1-1	Diagrama de los datos experimentales obtenidos en la mufla con muestras de perfiles de aluminio a diferentes temperaturas y tiempos con carga de 10g	43
2.3.2.2-1	Diagrama de los datos experimentales de calentamiento de la mufla	45
2.3.2.3-1	Diagrama de los datos obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel Calentamiento del horno	47
2.3.2.3-3	Diagrama de los datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel carga 1 (16 kg).....	49
2.3.2.3-4	Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel carga 2 (16 kg).....	51
2.3.2.3-5	Diagrama de los datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión a diesel carga 1 y carga 2	52
3.1.2.1.2-1	Balance de energía del equipo.....	58
3.1.2.1.2.2.1-1	Perfil de temperaturas en el interior del Horno.....	66
3.1.2.1.2.2.1-2	Esquema de resistencias analógicas para el Horno.....	67
4-1	Diagrama de tiempo y temperatura de operación del horno (arranque en frío).....	112
4-2	Diagrama de tiempo y temperatura promedio de operación del horno	113
4-3	Diagrama de tiempo y temperatura de operación del horno (en caliente).....	115
4-4	Diagrama de tiempo y temperatura promedio del horno (en caliente).....	115
4-5	Diagrama del consumo de gas durante el tiempo de operación.....	116
4-6	Diagrama de la cantidad de material en el proceso	117

INDICE DE TABLAS

2.3.2.1-1	Datos experimentales obtenidos en la mufla con muestras de perfiles de aluminio a diferentes temperaturas y tiempos con carga de 10 g.....	42
2.3.2.2-1	Datos experimentales de calentamiento de la mufla	44
2.3.2.3-1	Datos obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel. Calentamiento del horno.....	46
2.3.2.3-3	Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión a diesel carga 1 (16 kg).....	48
2.3.2.3-4	Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel carga 2 (16 kg).....	50
2.3.2.3-5	Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión a diesel carga 1 y carga 2.....	52
2.3.3-1	Matriz de toma de decisión	53
2.3.4-1	Identificación de las variables	53
3.1.2.1.2.2.2-1	Propiedades del Aire con temperatura de película	70
3.1.2.2.1-1	Características del crisol	89
3.1.2.5.1	Materiales utilizados para la construcción y ensamblaje del horno.	104
3.1.2.5.3-1	Recursos humanos.....	105
3.1.2.5.4-1	Recursos materiales.....	105
3.1.2.5.6-1	Recursos totales.....	106
4-1	Datos de tiempo y temperatura de operación del horno (arranque en frio)	110
4-2	Datos de tiempo y temperatura de operación del horno (en caliente)	114
4-3	Datos de consumo de gas durante el tiempo de operación.....	116
4-4	Datos cantidad de material en el proceso.....	117

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ALUMINIO

“El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferromagnético. 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. Por todo ello es desde mediados del siglo XX el metal que más se utiliza después del acero.

Fue aislado por primera vez en 1825 por el físico danés H. C. Oersted. 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 coste de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Entre las características físicas del aluminio, destacan las siguientes:

- Es un metal ligero, cuya densidad es de 2.700 kg/m^3
- Tiene un punto de fusión bajo: $660 \text{ }^\circ\text{C}$ ($933 \text{ }^\circ\text{K}$).
- El peso atómico del aluminio es de $26,9815 \text{ g/mol}$.
- 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 $38 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ y una elevada conductividad térmica 80 a $230 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.
- Resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar, gracias a la capa de Al_2O_3 formada.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

- Debido a su elevado estado de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación, lo que le proporciona resistencia a la corrosión y durabilidad.
- El aluminio tiene características anfóteras.
- El principal y casi único estado de oxidación del aluminio es +III como es de esperarse por sus tres electrones en la capa de valencia ”¹

¹ALUMINIO._2011:<http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>

1.2.3 APLICACIONES Y USOS

“Ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, el uso industrial del aluminio excede al del cualquier otro metal exceptuando el hierro o acero. Es un material importante en multitud de actividades económicas y ha sido considerado un recurso estratégico en situaciones de conflicto.

El aluminio puro se utiliza rara vez 100% puro y casi siempre se usa aleado con otros metales para mejorar alguna de sus características. El aluminio puro se emplea principalmente en la fabricación de espejos, tanto para uso doméstico como para telescopios reflectores.

Los principales usos industriales de las aleaciones metálicas de aluminio son:

- Transporte como material estructural en aviones, automóviles, trenes de alta velocidad, metros, tanques, superestructuras de buques y bicicletas.
- Estructuras portantes de aluminio en edificios.
- Embalaje de alimentos; papel de aluminio, latas, tetrabriks, etc.
- Carpintería metálica; puertas, ventanas, cierres, armarios, etc.
- Bienes de uso doméstico; utensilios de cocina, herramientas, etc.
- Calderería.”²

² APLICACIONES Y USOS DEL ALUMINIO._2011: http://www.aiim.es/publicaciones/bol2/16_Aluminio.pdf

1.2 PROCESO DE FUNDICION DE ALUMINIO A PARTIR DEL MATERIAL RECICLADO

1.2.1 RECICLAJE DE ALUMINIO

“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. 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 cualificada.”³

1.2.2 FUSION 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.”⁴

“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

³ RECICLAJE DE ALUMINIO._2011: http://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_aluminio

⁴ SALVI Giuliano._1975: La combustión teoría y aplicaciones, p: 440

hornos de combustión, eléctricos y mixtos. En nuestro medio la fusión se la efectúa casi exclusivamente en hornos de combustible, empleando por razones económicas diesel.

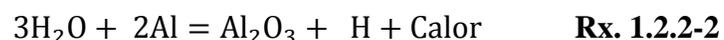
En este caso vamos a utilizar aluminio reciclado, particularmente de perfiles obteniendo aluminio de segunda fusión que se genera por la fusión de chatarras. Esta materia prima es conseguida por reciclaje y posteriormente convertida en lingotes.

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. El óxido que se produce sobre la superficie de las piezas de aluminio es alúmina anhídrida cuya fórmula es:



En estado líquido la formación de óxidos se debe por lo general a la reacción del vapor de agua con el metal y la ecuación química de este proceso es:



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.”⁵

1.2 VARIABLES QUE CARACTERIZAN EL PROCESO DE FUNDICION 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

⁵ FUSION DE ALUMINIO._2011: http://www.utp.edu.co/~publio17/laboratorio/fusion_al.htm

que se describen en el diseño, de la cantidad de materia a fundir, de la temperatura y tiempo necesario para fundir el metal, la eficiencia del horno la misma que se basa en la cantidad de calor útil y la cantidad de pérdida de calor.

1.2.1 PESO DE LA CARGA

Se tomó como referente un peso de 16 kg del metal a ser fundido. El volumen o capacidad del trabajo mantiene relación directa con los Kg/hora de producto y el mercado al cual se dirija la industria por lo tanto se determina un volumen inferior y adecuado para realizar prácticas académicas.

1.2.2 TEMPERATURA

La fundición del metal debe realizarse a mayor temperatura la misma que debe ser uniforme y para colar a la mejor temperatura posible. Por consiguiente se toman los siguientes datos de temperatura:

- Temperatura ambiente 20 °C.
- Temperatura de fusión del Aluminio 660 °C.
- Temperatura del metal fundido para que pueda estar en condiciones óptimas de colado y ser puesto en moldes adecuados, debe tener alrededor de 800 °C.
- Temperatura de la cámara de combustión 900 °C

1.2.3 TIEMPO

El tiempo del proceso de fusión es de 45 minutos que equivale a 0,75 horas; este es el tiempo necesario para que la cámara de combustión llegue a 900°C y la temperatura de colado sea la óptima.

1.2.4 CALOR NECESARIO PARA LA FUNDICIÓN DE ALUMINIO

Es importante que la cantidad de calor que pasa a la carga sea de gran magnitud; para de esta manera economizar en lo que ha combustible se refiere, y se puede conseguirlo analizando las pérdidas de calor que se producen. Por consiguiente el calor necesario será igual a la sumatoria de la cantidad útil de calor más el calor perdido por transferencia de calor.

1.2.4.1 CALOR UTIL QUE HA DE ENTREGARSE A LA CARGA METALICA.

El calor que ha de entregarse a la carga metálica es igual:

Al producto del peso de la carga, por el calor específico, y por la variación de la temperatura durante el tiempo de fusión.

$$Q = \frac{m \text{ Cp } (Tf - To)}{t} \quad \text{Ec. 1.2.4.1-1}$$

Donde:

Q = Cantidad de calor.

m = Peso de la carga.

Cp = Calor específico.

Tf = Temperatura final.

To = Temperatura inicial.

1.2.4.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

“Con frecuencia en el área de ingeniería se encuentra las llamadas ciencias térmicas que incluyen la termodinámica y la transferencia de calor, siendo esta última la complementaria de la termodinámica. La termodinámica considera fundamentalmente el sistema en equilibrio, basadas en leyes adicionales que permiten la predicción en relación al tiempo de la transferencia de energía, estas leyes complementarias están relacionadas con tres modos fundamentales de transferencia de calor como son: conducción, convección y radiación.”⁶

⁶ CENGEL, A._2007:TRANSFERENCIA DE CALOR, p:2

1.2.4.2.1 CONDUCCIÓN

“Con la palabra conducción se vincula de inmediato los conceptos de actividad atómica y molecular, que en estado sólido sostienen este modo de transferencia de calor.

La conducción es considerada como la transferencia de energía, de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia, debido a las interacciones entre las mismas.

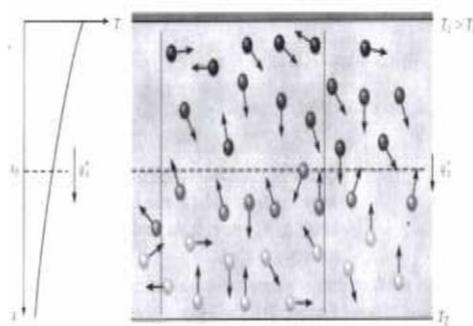


Figura 1.2.4.2.1-1 Comportamiento molecular en la transferencia de calor por conducción

La situación es muy similar en los líquidos, aunque la distancia molecular se encuentra afectada por el efecto de las interacciones moleculares.

En un material no conductor la transferencia de calor se da exclusivamente por la vía de las ondas reticulares. En un sólido, la conducción se atribuye a la actividad atómica en forma de vibraciones reticulares, la transferencia de calor se da debido al movimiento de translación de los electrones.

En la transferencia de calor por conducción, la ecuación o modelo que posibilita cuantificar este proceso de transferencia de calor se le conoce como LEY DE FOURIER.

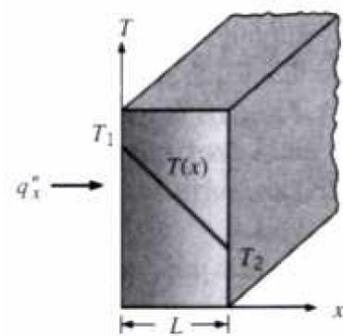


Figura 1.2.4.2.1-2 Ley de Fourier

Para una pared unidimensional, la cual tiene una distribución de temperatura la ecuación se expresa:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 1.2.4.2.1-1}$$

Dónde:

q''_x = Flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área. (W/m^2)

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

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

1.2.4.2.2 CONVECCIÓN

Este tipo de transferencia de calor está compuesto de dos formas, además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio, la energía se transfiere de acuerdo a un movimiento global o macroscópico del fluido.

El hecho radica en que el movimiento del fluido en cualquier instante, en grandes números de moléculas se mueve en forma colectiva, tal movimiento con la presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor.

Las moléculas en el fluido mantiene su movimiento aleatorio, la transferencia de calor se da entonces por la superposición de transporte de energía debido al movimiento global del fluido y al movimiento aleatorio de las moléculas.

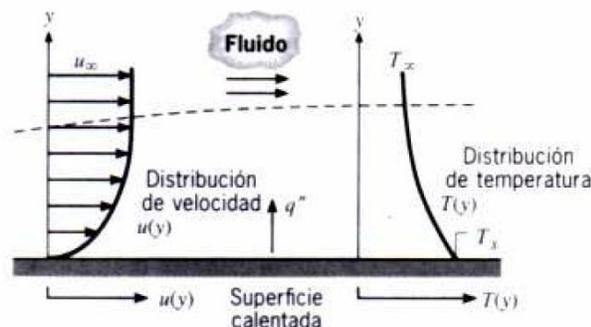


Figura 1.2.4.2.2-1 Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor entre la superficie de una placa calentada y un fluido adyacente tal como se muestra en la figura 1.2.4.2.2-1 presenta una interacción entre el fluido y la

superficie en la presencia de una región, indicando la velocidad del fluido varía desde cero en la superficie a un valor finito.

Esta región se la conoce como capa límite hidrodinámica o de velocidad si la temperatura del fluido y la superficie son diferentes habrá una región en donde la temperatura T_s en $y = 0$ a T_∞ en el flujo exterior, esta región conocida como capa límite térmica puede ser más pequeña, mas grande o del mismo tamaño que aquella que varía la velocidad, en la cual si la temperatura superficial es mayor que la temperatura al ambiente ocurrirá la transferencia de calor por convección entre la superficie y el flujo exterior.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo, se entiende por convección forzada cuando el flujo es causado por medio externo, la convección libre o natural, el flujo es inducido por fuerzas de empuje que se origina por la diferencia de densidades ocasionadas y por la variación de temperaturas en el fluido.

El modelo matemático que ayuda a cuantificar la transferencia de calor por convección es:

$$Q'' = h(T_s - T_a) \quad \text{Ec. 1.2.4.2.2-1}$$

Esta expresión se le conoce como la ley de enfriamiento de Newton, la constante proporcional h se le conoce como coeficiente de transferencia de calor por convección. Esta constante está íntimamente vinculada con las condiciones de la capa límite, en las que la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento influyen en su valor.

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

1.2.4.2.3 RADIACIÓN

La energía emitida por la materia a una temperatura finita se denomina como radiación.

Sin importar la forma y estado de la materia se puede decir que, la radiación se debe a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constituidas.

La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas, mientras la transferencia de calor por conducción o convección requiere de la presencia de un medio material, la radiación no requiere la presencia de un medio por esta condición la transferencia de calor por radiación tiene mayor eficiencia en el vacío.

En muchas aplicaciones es conveniente expresar el intercambio de calor por medio de radiación de la siguiente manera:

$$q_{rad} = h_r A (T_S - T_{air}) \quad \text{Ec. 1.2.4.2.3 - 1}$$

Donde el valor de h_r corresponde al coeficiente de transferencia de calor por radiación.

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_S + T_{air})(T_S^2 + T_{air}^2) \quad \text{Ec. 1.2.4.2.3 - 2}$$

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 $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.⁷

1.3 HORNOS DE FUSION

“Están destinadas para el calentamiento y fusión rápida de la carga.

Para la fabricación de los productos fundidos; en lo que se relaciona con la calidad metalúrgica y el costo de fabricación, influyen factores importantes como el tipo y disposición de los hornos. De ahí que es necesario transmitir económica y rápidamente el calor a la carga con un mínimo de pérdidas de fuego y poder efectuar cómodamente la carga y los tratamientos de fabricación.

Existen hornos fijos y hornos basculantes; en los talleres de fundición se recurre con preferencia al tipo mencionado en último término, ya que con ello se economiza mucho tiempo y combustible.

En los hornos fijos el metal líquido se retira, sacando, el crisol del horno mediante una abrazadera, o sacando el metal líquido mediante cucharas, como también practicando orificios de descarga en el mismo horno.

⁷ INCOPRERA F._ 1999: Fundamentos de la Transferencia de Calor, pp:5-10

1.3.1 CONDICIONES TECNICAS

Las condiciones técnicas y económicas que deben cumplir los hornos de fusión pueden resumirse de la siguiente manera:

- Cualidades de orden térmico
- Cualidades de orden físico y químico
- Cualidades de fácil explotación
- Condiciones económicas

1.3.1.1 CUALIDADES DE ORDEN TÉRMICO

- Fusión en el menor tiempo posible
- Uniformidad de temperatura
- Regulación de temperatura
- Máximo rendimiento térmico

1.3.1.2 CUALIDADES DE ORDEN FÍSICO Y QUÍMICO

- Oxidación mínima del metal
- La menor contaminación posible debido al gas de combustión a la atmosfera del horno, a los refractarios y diversos accesorios.

1.3.1.3 CUALIDADES DE FÁCIL EXPLOTACIÓN

- Facilidad de carga
- Comodidad en la ejecución de las operaciones de fabricación.
- Facilidad de colado

1.3.1.4 CONDICIONES ECONÓMICAS

- Gastos mínimos de explotación, especialmente pérdidas de fuego.
- Consumo de energía, mano de obra.”⁸

1.3.2 TIPOS DE HORNOS

1.3.2.1 HORNOS DE REVERBERO

“En estos hornos, la energía necesaria para fusión se produce por uno o por varios quemadores, alimentados por combustibles líquidos o gaseosos, cuyas llamas inciden directamente sobre la carga metálica. Los gases de combustión provocan en la atmosfera del horno, movimientos intensos de convección que mejoran los cambios térmicos con el metal que se funde.

Su principal uso es para fundiciones de cobre. Su construcción está en función del volumen de fusión que se tenga que alcanzar.”⁹

⁸BUÑAY J._1989: Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición de bronce (Tesis) pp.5-6

⁹SALVI Giuliano._1975: La combustión teoría y aplicaciones, pp. 342

“Está constituido de tres partes principales; el hogar con su correspondiente rejilla, por donde se introduce el combustible; el crisol o solera, donde tiene lugar la fusión y la chimenea.

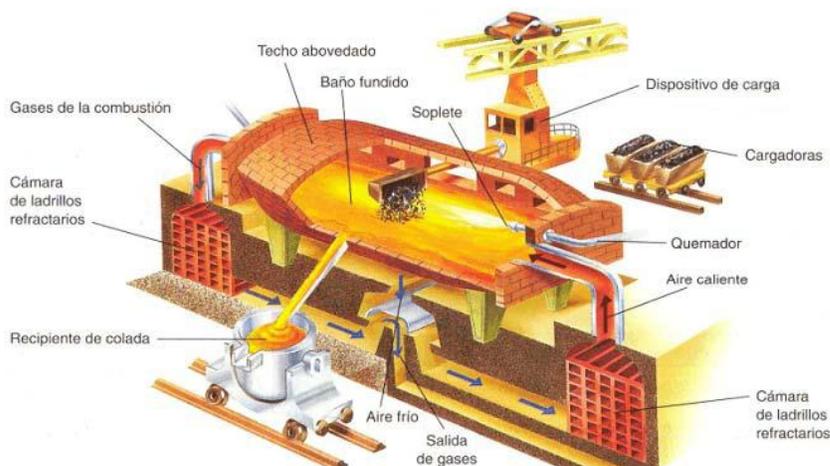


Figura 1.3.2.1-1 Esquema de los hornos de Reverbero

Posee dos pares de cámaras, formadas interiormente por una serie de conductos sinuosos de ladrillo refractario. Su funcionamiento es como sigue: Los gases calientes que salen del horno, al pasar a través de los recuperadores, les comunican su calor y, cuando están suficientemente calientes, mediante un dispositivo automático de válvulas, se invierte el sentido de circulación, de forma que el gas y el aire, antes de entrar en el horno, pasan por los recuperadores calientes y alcanzan temperaturas de 1000 °C a 1200 °C llegándose a conseguir de esta forma los 1800 °C. Mientras tanto los gases de la combustión pasan a través de los otros recuperadores que ahora están en periodo de calentamiento.”¹⁰

¹⁰HORNO REVERBERO._2011: <http://www.emison.es/hornos/pdf/fundicio/homo%20de%20reverbero.pdf>

1.3.2.3 HORNOS DE CRISOL

“Dentro de este tipo de hornos se distinguen, el tradicional horno de fosa, horno a nivel del suelo, o levantado en relación al nivel del suelo, los mismos que tienen como combustible el carbón de coque, el cual es cargado por la parte lateral del crisol y es sellado con la tapa de material refractario.

Todavía se encuentra este tipo de hornos, en pequeñas industrias dedicadas a la fundición, de elementos pequeños; el crisol de grafito o de carburo de silicio es el principal elemento.

1.3.2.3.1 HORNOS DE CRISOL FIJO

Su fuente de calor constituye el carbón de piedra, por lo general estos equipos son de forma cuadrada, estos hornos pueden ser construidos en serie con disposiciones continuas una a lado de otro, formando un solo bloque pero separados únicamente por una capa de ladrillo refractario, a la vez unidos por una misma chimenea manteniendo cuidado de disponer un registro vertical en el canal de comunicación de cada horno con la chimenea.

Uno de los más grandes problemas constituyente la extracción del metal líquido razón por la cual se emplean las denominadas cazuelas o cucharas de dolado cuando se necesita extraer pequeñas cantidades de metal.

Su rendimiento térmico es bajo en relación a la fusión del metal.

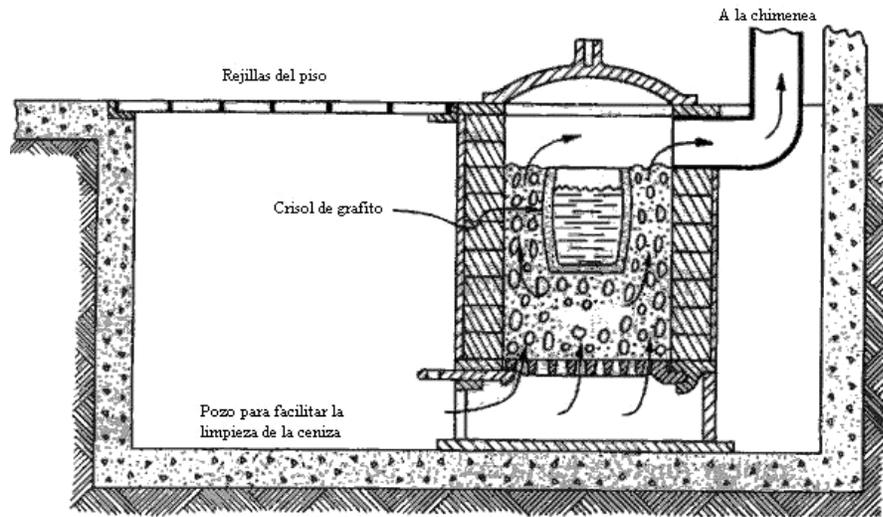


Figura 1.3.2.3.1-1 Esquema de los hornos de crisol fijo

1.3.2.3.2 HORNOS DE CRISOL BASCULANTES

El calentamiento del material contenido en el crisol se hace por vía indirecta, mediante los gases de combustión que fluyen por la parte exterior del crisol, la transmisión del calor al metal se hace fundamentalmente por conducción a través de las paredes del crisol, y los gases de combustión salen del horno a alta temperatura.

Los crisoles son en esencia recipientes abiertos por la parte superior, de forma troncocónica, en la actualidad existen de varias tamaños

Este tipo de hornos constituyen el primer paso dado para alcanzar un rendimiento en la fusión de los metales; ya que se empezó a inyectar aire para mejorar su combustión y obtener una mayor eficiencia térmica con respecto al horno de crisol fijo.

En contrapropuesta los experimentos de precalentamiento de aire no han sido muy satisfactorios, pues solo se consigue reducir pequeñas cantidades de combustible, lo que resulta de gran ayuda en la disminución de costos.

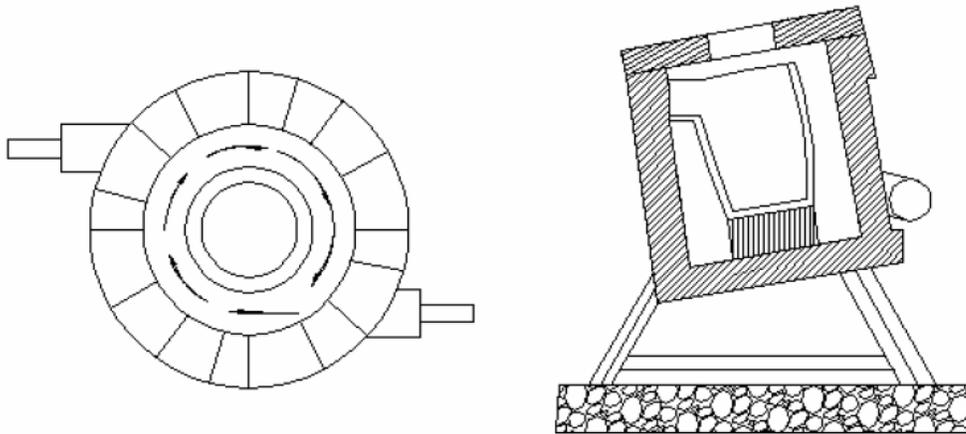


Figura 1.3.2.3.2-1 Esquema de los hornos de crisol basculante

Debido a que estos hornos disponen de una chimenea, se deben construir en un lugar donde exista una aireación adecuada.»¹¹

¹¹SALVI Giuliano._1975: La combustión teoría y aplicaciones, pp: 442-443

1.4 COMBUSTIÓN

“La combustión es una reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz.

En toda combustión existe un elemento que arde llamado combustible y otro que produce la combustión conocido como comburente, generalmente oxígeno en forma de O₂ gaseoso.

El proceso de destruir materiales por combustión se conoce como incineración.

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición, que se define como, en °C y a 1 atm, temperatura a la que los vapores de un combustible arden espontáneamente.

La temperatura de inflamación, en °C y a 1 atm es aquella que, una vez encendidos los vapores del combustible, éstos continúan por si mismos el proceso de combustión.”⁽¹²⁾

1.4.1 COMBUSTIÓN INDUSTRIAL

“La identificación de la combustión industrial con la combustión inorgánica se inicia al producirse la conversión de las plantas y organismos vivos en yacimientos de recursos combustibles que deshidratados y desgasificados 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.

La combustión inorgánica es brutal, violenta y fulgurante, pero también simple y directa, porque se efectúa a partir de los componentes de los combustibles previamente disociados;

⁽¹²⁾ COMBUSTIÓN._2011: <http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-COMBUSTIÓN>

todo ello exige que se efectúen en forma heterogénea, con ignición previa y en un estado de mayor actividad termodinámica.

1.4.2 CLASES DE REACCIONES DE COMBUSTIÓN

Las reacciones se pueden clasificar según el modo en el cual transcurran de la siguiente manera:

- Combustión NEUTRA o estequiométrica
- Combustión INCOMPLETA o imperfecta
- Combustión COMPLETA

1.4.2.1 COMBUSTIÓN NEUTRA

Es aquella que se produce cuando el aire empleado aporta la cantidad justa de oxígeno para que todos los reactivos se transformen en productos. Para que la estequiometría se cumpla, hay que considerar todos los elementos que sufren la reacción de combustión en el combustible. Cuando la reacción tenga lugar totalmente, entonces no habrá H, O, S y C, que se transformarán en productos correspondientes que irán en los gases de combustión. Como inertes aparecerá, por lo menos, el nitrógeno.

1.4.2.2 COMBUSTIÓN INCOMPLETA

Es aquella en la que por defecto en el suministro de aire no hay oxígeno necesario para que se produzca la oxidación total del carbono. Esto quiere decir que no todo el carbono se va a

transformar en CO_2 y aparecerá como producto de combustión de CO. Aparecen entonces los inquemados. Los inquemados también se pueden producir por defecto en el aparato quemador. Los inquemados se definen como la materia combustible que ha quedado sin quemar o parcialmente quemada. Pueden ser de dos clases:

- Sólidos: Carbono (hollín). Provocan un ennegrecimiento de los humos de combustión
- Gaseosos: CO, H_2

Cuando aparecen inquemados es señal de que no se ha aprovechado bien el combustible, por lo que la combustión que se está realizando es mala y se deberían tomar medidas de algún tipo para mejorarla.

En la combustión incompleta los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido de carbono. Además, pueden generarse cenizas.

1.4.2.3 COMBUSTIÓN COMPLETA

Para que se produzca una combustión completa se hace necesario aportar un exceso de aire, es decir, de oxígeno. El exceso se realiza sobre la cantidad estequiométricamente necesaria para que todos los productos combustibles sufran 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.¹³⁾

1.4.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA AIRE/COMBUSTIBLE

- Temperatura de ignición: La temperatura de ignición es la mínima temperatura a la que puede iniciarse y propagarse la combustión en un punto de una mezcla aire gas. El autoencendido de una mezcla aire gas se produce sobre los 650-700°C.
- Límites de inflamabilidad: Se entienden estos como los porcentajes de aire y gas que presentan una mezcla de ambos para que pueda iniciarse y propagarse la combustión de dicha mezcla. Normalmente se expresa en porcentaje de gas combustible en la mezcla. Tanto el exceso de combustible como de comburentes son perjudiciales para la combustión, fuera de los límites de inflamabilidad
- Velocidad de deflagración: Es la velocidad de propagación de una llama estable¹⁴⁾

¹³CLASES DE COMBUSTIÓN._2011: <http://library.thinkquest.org/27767/combus.htm>

¹⁴RODRIGUEZ J._1998: Introducción a la Termodinámica, pp: 392-398

1.5 COMBUSTIBLES.

“Se entiende como combustible, toda sustancia que es capaz de desprender calor utilizable en el curso de una relación química o física. Estos pueden ser orgánicos o nucleares.

Los combustibles orgánicos son aquellos que mediante un proceso de oxidación de sus elementos combustibles, liberan energía térmica. Los nucleares, como el uranio, 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, bagazo y otros materiales lignocelulosos y subproductos de la agricultura, silvicultura y actividades urbanas, lo cual constituyen las biomásas.

Los combustibles orgánicos fósiles pueden clasificarse en naturales, derivados y residuales. Se denominan como naturales aquellos que se encuentran en la forma que fueron extraídos: carbón, gas natural entre otros. Derivados son aquellos obtenidos 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. Residuales son los aceites combustibles que se obtienen como residuo de la destilación del petróleo crudo.

1.5.1 COMBUSTIBLES GASEOSOS.

Se denominan combustibles gaseosos a los hidrocarburos naturales y a los fabricados exclusivamente para su empleo como combustibles, y a aquellos que se obtienen como subproducto en ciertos procesos industriales y que se pueden aprovechar como combustibles.

La composición de estos varía según la procedencia de los mismos, pero los componentes se pueden clasificar en gases combustibles (CO, H₂, HC) y otros gases (N₂, CO₂, O₂).

Los combustibles gaseosos se clasifican en:

- Combustibles gaseosos naturales
- Combustibles gaseosos manufacturados.

Nos interesa conocer el porcentaje de los componentes que integran los gases. Se usan para estos los mismos procedimientos que para el análisis de los gases de combustión.

1.5.1.1 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.

1.5.2 GAS LICUADO DE PETRÓLEO.

El gas licuado de petróleo (GLP) es un hidrocarburo, derivado del petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina, este se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos de estos vapores, necesiándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido.

El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido, en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinerías, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea por auto-tanques o recipientes portátiles, en donde el gas sale en estado de vapor para poder ser utilizado. Los principales gases que forman el GLP son el propano 50% y butano 50%, que se distinguen entre sí por su composición química, presión, punto de ebullición y en su poder calorífico o de calentamiento. Cuando va ser consumido el gas inmediatamente se evapora, pasando del estado líquido al gaseoso, sucediendo aquí el fenómeno inverso al de la licuación, este se consume en forma de vapor en los quemadores, el vapor se produce al abrir la válvula de cualquier quemador conectado a un cilindro, ya que en ese momento tiende a escapar la presión del recipiente, haciendo que hierva el líquido para formar más vapor. Si el consumo de gas se prolonga también continuará hirviendo el líquido, tomando calor necesario para ello del medio ambiente, a través de las paredes metálicas del cilindro, de esta manera se consume el líquido, transformándose poco a poco en vapor hasta terminarse.

1.5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL GLP.

- No tiene color, es transparente como el agua en su estado líquido.
- No tiene olor cuando se produce y licua, pero se le agrega una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fugue, llamado etylmercaptano.
- No es tóxico, solo desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirar lo mucho tiempo.
- Es muy inflamable, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa.
- Excesivamente frío, por pasar rápidamente del estado líquido a vapor, por lo cual, al contacto con la piel producirá siempre quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.
- Es limpio, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín.
- Es más pesado que el aire, por lo que al escaparse el gas, tenderá a ocuparlas partes más bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en el área.
- Un kilo de gas licuado de petróleo equivale a 1.77 litros. Un litro de gas licuado de petróleo pesa 560 gramos.¹⁵

¹⁵ZABALA, G._ 2001: Apuntes de Combustión. Riobamba,

CAPÍTULO II

PARTE

EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

Se consideró muestras de aluminio reciclado en forma de perfiles, que los recuperamos de algunos locales comerciales que trabajan en aluminio y vidrio.

Durante las pruebas realizadas en el laboratorio, se planteó determinar los siguientes parámetros, como son: Temperatura de fusión, tiempo de fusión, cantidad de aluminio a fundir, además observar los cambios que se dan en la muestra.

La simulación se realizó utilizando una mufla en el laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias y en un Horno de crisol basculante a combustión de diesel en el taller de fundición de la Facultad de mecánica,

Para la simulación en la mufla se preparó 7 muestras de perfiles, con un peso de alrededor de 10 g cada una, las cuales se someten a la experimentación, bibliografía nos indica que el aluminio tiene un punto de fusión de 660 °C pero se decide experimentar a temperaturas de (400, 500, 600, 660, 700, 800, 900) ° C en cada temperatura y con cada muestra durante 35 minutos con intervalos de 5 minutos para observar los cambios; permitiendo obtener la siguiente información:

A los 400 °C la muestra no presenta ningún cambio durante todo el tiempo, a los 500 °C solo manifiesta un cambio en su coloración a los 5 min y luego permanece constante, a los 600 °C la muestra presenta una textura menos dura que al presionarla con un instrumento adecuado se desfragmenta pero aún sigue siendo sólido, a los 660 que se considera como el punto de fusión del aluminio presenta una consistencia aun sólida durante los 35 min, a

los 700 ° C se observa cambios en su estructura, apariencia semisólida, a los 800°C la muestra se funde a los pocos minutos y luego se mantiene constante durante 35 min, pero no muestra características de colado, esta se enfría rápidamente por ser una muestra muy pequeña, a los 900°C el metal se presenta en estado líquido, con una coloración típica algo rosado, y una fluidez necesaria para el colado, también presenta una capa de otro material, al que se lo considera como escoria.

Es necesario conocer que las muestras mantuvieron su peso antes y después de la fundición pero no se realizó la remoción de escoria.

Para eliminar algunas inquietudes, y seguir experimentando, se realizó una práctica en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica, el equipo a utilizar fue un horno de crisol basculante, cuyo combustible es diesel. En esta práctica se observa la necesidad de precalentar el horno por 20 min, hasta una temperatura de 400 °C antes de su primera carga, la cantidad de aluminio a fundir es de 16000 g los cuales se adiciona a medida que se va fundiendo el aluminio con cargas no cuantificadas, posterior a eso se colocó la cuchara en la chimenea para calentarla durante 15 minutos y además esperar que el aluminio fundido adquiriera sus características para el colado, todo este proceso desde la primera carga se lo realizó durante 49 minutos. La temperatura del horno aumentaba conforme el tiempo transcurría la última carga se adiciono a los 28 minutos momento en el cual se registró una temperatura de 795 °C luego de esto fue necesario calentar la cuchara para el colado durante 15 minutos. La temperatura de colado a los 49 minutos fue de 896 °C condiciones adecuadas en que el aluminio presenta las características necesarias para descargar el horno.

Una vez el aluminio en la cuchara se realiza la extracción de escoria, proceso que consiste en retirar la escoria del aluminio con un instrumento apropiado, observando que la mayor cantidad de escoria queda retenida en el crisol, luego se procedió a colocar el aluminio en los moldes de arena. La escoria que se queda en el crisol es retirada antes de iniciar el proceso nuevamente.

Se realiza un segundo proceso de fusión con una cantidad igual a la anterior, en este caso se desprecia un precalentamiento ya que el horno aun esta con temperaturas muy elevadas del primer proceso alrededor de 604 °C, se adiciona inmediatamente la carga de la misma manera que en la primera ocasión, pero esta vez la fusión del material se tarda menos tiempo exactamente 42 incluyendo el calentamiento de la cuchara.

2.2 METODOLOGIA

Se consideró trabajar en el laboratorio con una mufla ya que es un equipo que permite llegar de manera controlada a las condiciones que se requiere, y con muestras de aluminio reciclado, en forma de perfiles que se observa como material basura en la actualidad, la temperatura de colado estuvo comprendida entre 800 y 900 °C esto se determinó según las características que toma la muestra, en el laboratorio al llegar a temperaturas entre 800 y 900 °C la muestra se fundió en pocos minutos pero no se realizan cargas posteriores.

Se decide realizar la experimentación con cantidades mayores de aluminio y utilizando el horno de crisol basculante a combustión de diesel, en el cual se determinó con mayor claridad el tiempo de fusión, además de detectar la necesidad de un precalentamiento. Fue

importante observar que los procesos posteriores tardan menos tiempo por lo que se puede diseñar despreciando la primera carga.

2.2.1 METODOS Y TECNICAS

Los métodos y técnicas a ser empleadas durante el diseño y construcción de un horno de combustión industrial para fundir aluminio, así como los procedimientos para evaluar los datos experimentales se describen a continuación.

2.2.1.1 MÉTODOS

Se fundamenta en el método experimental, utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción ya que es necesario conocer los hechos importantes que ocurren en el proceso, es decir las variables que presenta el horno de combustión industrial para poder llegar a lo general que está identificado como la construcción, funcionamiento y rendimiento del equipo.

De manera que se pudo responder algunas interrogantes que se presentaron, como son: temperatura de fusión, el tiempo de fusión, cantidad de aluminio a fundir. Las pruebas realizadas en la mufla fueron con pequeñas muestras de material reciclado que se ubicó en crisoles pequeños, mientras que la práctica realizada en el horno de crisol fue con cantidades mayores para detectar la situación real del proceso de fundición. Además obtener datos que se puedan relacionar con la realidad.

2.2.1.2 TECNICAS

Las técnicas utilizadas son los diferentes procedimientos realizados en el laboratorio para simular el proceso y obtener datos experimentales. Las cuales se describen a continuación.

2.2.1.2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA SIMULACION DEL PROCESO DE FUSION DE ALUMINIO EN LA MUFLA

OBJETIVO	MATERIALES Y EQUIPOS	PREPARACION DE LAS MUESTRAS	PROCEDIMIENTO
<p>El presente procedimiento tiene por objeto describir el instructivo de trabajo para realizar la simulación del proceso de fusión de aluminio en una mufla</p>	<p><i>MATERIALES:</i> Crisoles Espátula Apisonador de metal Pinzas para crisol Guantes Sierra Alicate</p> <p><i>EQUIPOS</i> Balanza analítica Mufla eléctrica (220 v)</p> <p><i>SUSTANCIAS:</i> Aluminio (perfil) Cilindro de gas</p>	<p>TROZOS DE PERFILES DE ALUMINIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Con la sierra cortar trozos de aluminio pequeños • Pesar 7 muestras de 10g • Pesar el crisol • Rotular el crisol 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentar la mufla a 400 °C • Colocar una muestra en la mufla • Observar en intervalos de 5 min durante 45 min • Registrar los cambios • Aumentar la temperatura a 500 °C y realizar el procedimiento anterior con otra muestra de trozos de perfiles de aluminio. • Realizar el mismo procedimiento elevando la temperatura a 600, 660, 700, 800 y 900°C • Observar y registrar los cambios. • Dejar enfriar los crisoles • Pesar los crisoles con las muestras fundidas • Restar el peso del crisol para conocer el peso final de la muestra • Registrar los datos

2.2.1.2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA SIMULACION DEL PROCESO DE FUSION DE ALUMINIO EN EL HORNO DE CRISOL BASCULANTE A COMBUSTIÓN DE DIESEL

OBJETIVO	MATERIALES Y EQUIPOS	PREPARACION DE LAS MUESTRAS	PROCEDIMIENTO
<p>El presente procedimiento tiene por objeto describir el instructivo de trabajo para realizar la simulación del proceso de fusión de aluminio en un horno de crisol basculante a combustión de diesel</p>	<p><i>MATERIALES:</i> Cuchara para cargar el metal. Apisonador de metal Cuchara para descargar el metal fundido Equipo de protección personal Cuchara para retirar la escoria. Arena de sílice Cajas de moldeo</p> <p><i>EQUIPOS</i> Bascula Horno de crisol basculante</p> <p><i>SUSTANCIAS:</i> Aluminio (perfil)</p>	<p>Trozos de perfiles de aluminio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pesar de 16 Kg de trozos de perfiles de aluminio • Tener lista las cajas de moldeo 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentar el horno durante 20 min. • Con el pirómetro controlar la temperatura cada 5 minutos y registrar. • Al llegar a los 400 °C adicionar la primera cantidad de aluminio y continuar cargando a medida que se va fundiendo • Con el pisoneador de metal empujar el metal que se está fundiendo hacia el fondo del crisol • Controlar la temperatura en intervalos de 5 minutos. • Al finalizar la carga de los 16Kg calentar la cuchara de colado colocándola sobre la chimenea durante 10 minutos. • Registrar la temperatura de colado • Apagar el quemador y retirarlo de la cámara de combustión • Observar la coloración del aluminio fundido y si tiene una tonalidad rosada proceder al colado. • Ubicar la cuchara en la zona de

			<p>descarga</p> <ul style="list-style-type: none">• Proceder con cuidado a la descarga manipulando el horno basculante.• Retirar la escoria con la cuchara de descoriado.• Entre dos personas por los sujetadores de la cuchara transportar el aluminio y verterlo en las cajas de moldeo.• retirar la escoria del crisol del horno• adicionar la segunda carga de manera progresiva. Similar al proceso anterior, pero sin realizar el pre calentamiento ya que el horno se encuentra a Temperatura elevada
--	--	--	--

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

Los datos obtenidos son a partir de pruebas realizadas en la mufla del laboratorio de la Facultad de Ciencias y también datos obtenidos en un horno de crisol basculante que se encuentra en el laboratorio de materiales de la facultad de Mecánica.

2.3.1 DIAGNOSTICO

Las pruebas realizadas, proporcionan datos de tiempo de fusión, temperatura de fusión y cantidad de aluminio a fundir, la simulación realizada es de tipo discontinuo, al igual que el horno que se construirá, en la mufla se preparó muestras pequeñas con las cuales se observó a diferentes temperaturas a partir de 400° C que cambios se verifica en la muestra hasta llegar a la fusión. De la misma manera se realizó el ensayo en el horno de crisol.

2.3.2 DATOS

Los datos que se obtuvieron en la simulación se presentan a continuación en las siguientes tablas:

2.3.2.1 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LA MUFLA CON MUESTRAS DE PERFILES DE ALUMINIO

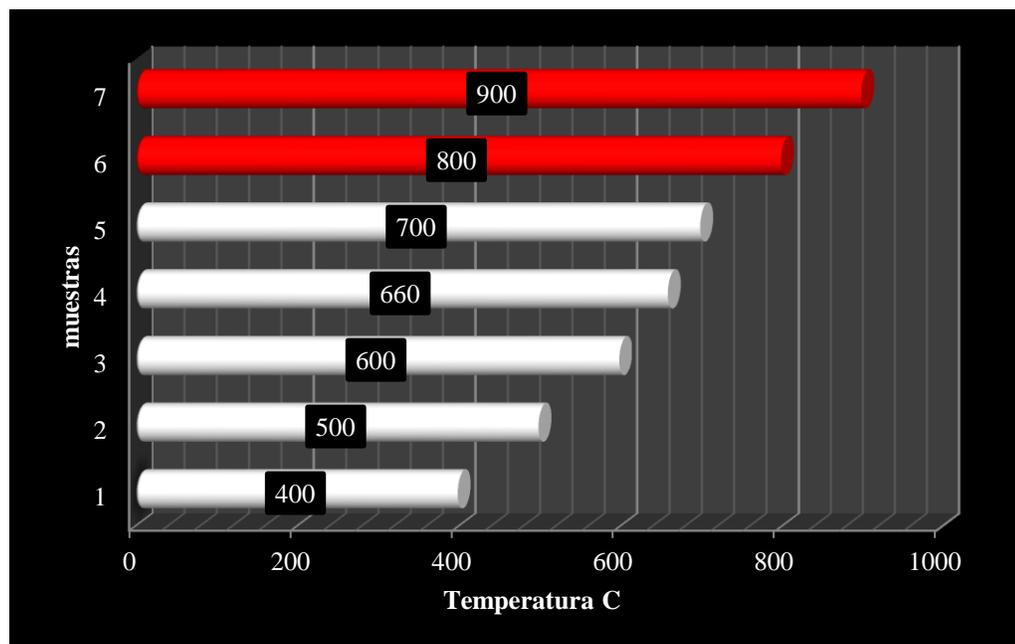
TABLA 2.3.2.1-1

Datos experimentales obtenidos en la mufla con muestras de perfiles de aluminio a diferentes temperaturas y tiempos con carga de 10 g

	TEMPERATURA (°C)						
Tiempo (min)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	MUESTRA 7
5	400	500	600	660	700	800	900
10	400	500	600	660	700	800	900
15	400	500	600	660	700	800	900
20	400	500	600	660	700	800	900
25	400	500	600	660	700	800	900
30	400	500	600	660	700	800	900
35	400	500	600	660	700	800	900

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 2.3.2.1-1. Diagrama de los datos experimentales obtenidos en la mufla con muestras de perfiles de aluminio a diferentes temperaturas y tiempos con carga de 10g



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

2.3.2.2 DATOS EXPERIMENTALES DE CALENTAMIENTO DE LA MUFLA

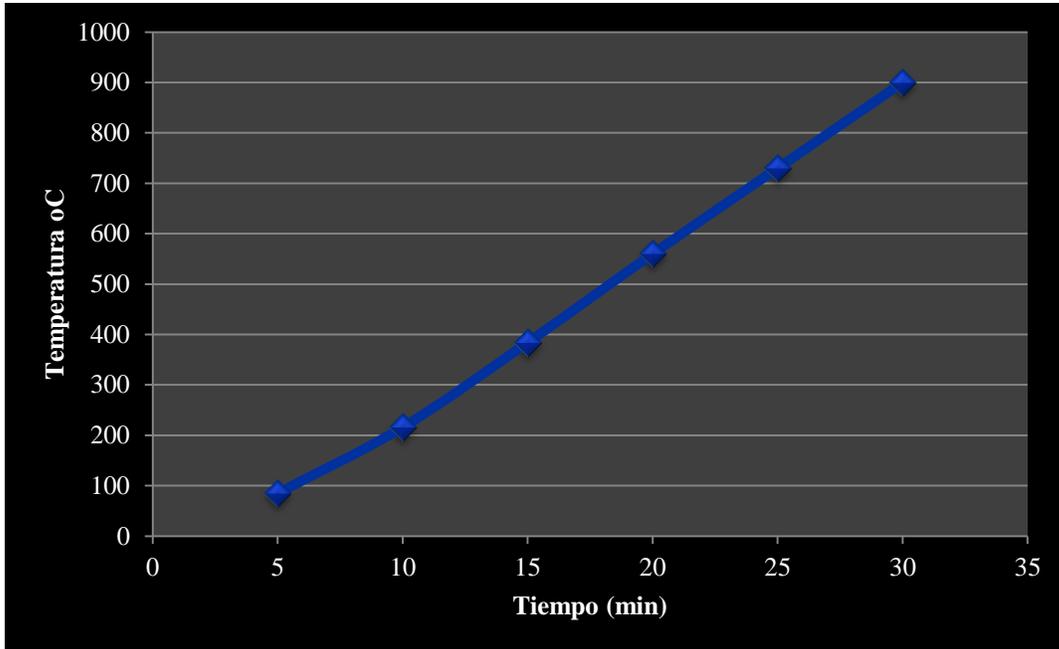
TABLA 2.3.2.2-1

DATOS EXPERIMENTALES DE CALENTAMIENTO DE LA MUFLA

Tiempo de calentamiento (min)	Temperatura (°C)
5	85
10	216
15	384
20	560
25	730
30	900

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 2.3.2.2-1 Diagrama de los datos experimentales de calentamiento de la mufla



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

2.3.2.3 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN EL HORNO DE CRISOL BASCULANTE

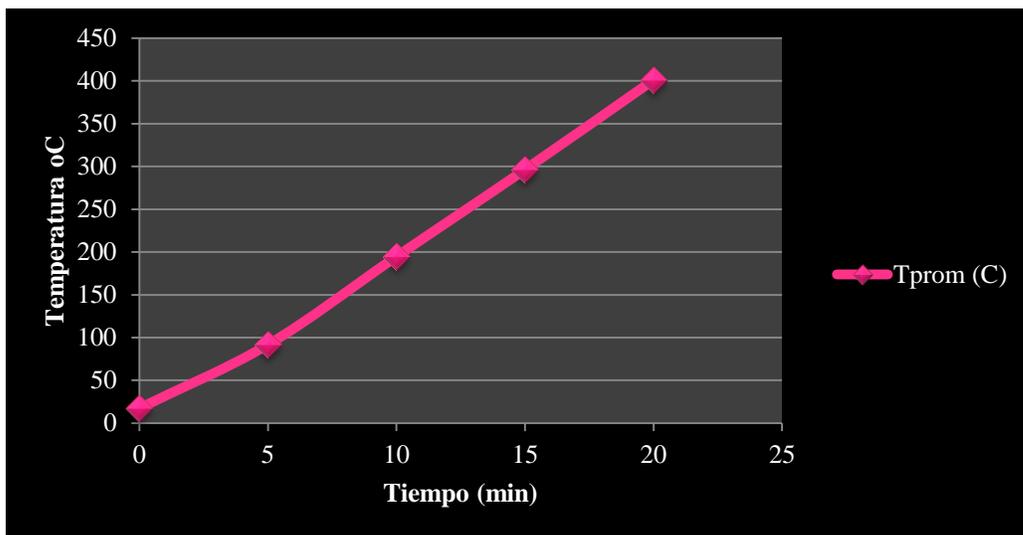
TABLA 2.3.2.3-1

Datos obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel. Calentamiento del horno

Tiempo de calentamiento (min)	Temperatura de calentamiento (°C)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
0	17	18	17	17.3333333
5	92	93	90	91.6666667
10	193	195	196	194.666667
15	296	296	297	296.333333
20	403	400	400	401

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 2.3.2.3-1 Diagrama de los datos obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel. Calentamiento del horno



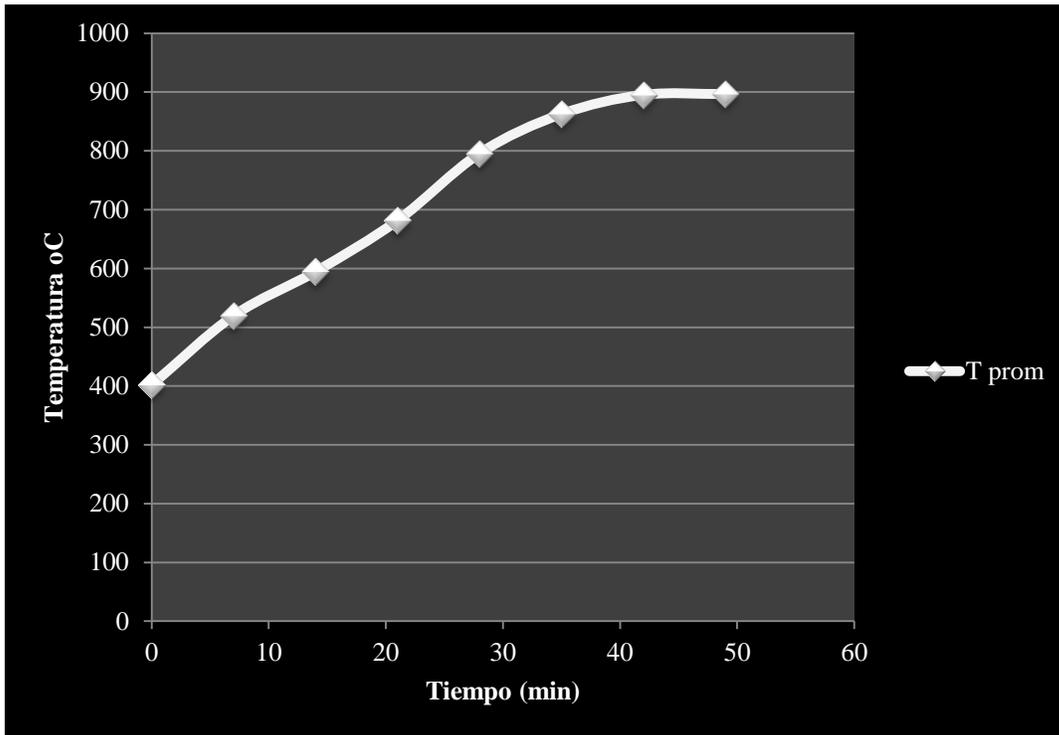
Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

TABLA 2.3.2.3-3**Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión a diesel carga 1****(16 kg)**

Tiempo de fundición (min)	Temperatura del Horno (°C)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
0	400	403	403	402
7	487	485	587	519.666667
14	593	596	595	594.666667
21	682	681	682	681.666667
28	795	795	797	795.666667
35	863	862	863	862.666667
42	894	897	895	895.333333
49	898	896	896	896.666667

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 2.3.2.3-3 Diagrama de los datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel carga 1 (16 kg)



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

TABLA 2.3.2.3-4

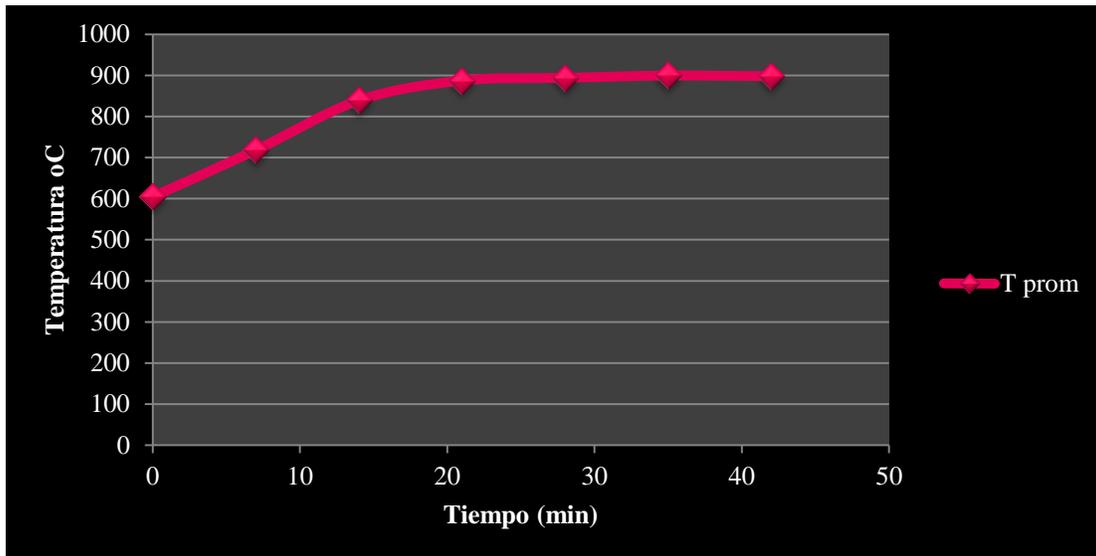
Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel carga 2

(16 kg)

Tiempo de fundición (min)	Temperatura del Horno (°C)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
0	604	606	604	604.666667
7	718	717	719	718
14	839	838	840	839
21	887	887	888	887.333333
28	895	893	894	894
35	900	898	901	899.666667
42	897	899	898	898

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 2.3.2.3-4 Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión de diesel carga 2 (16 kg)



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

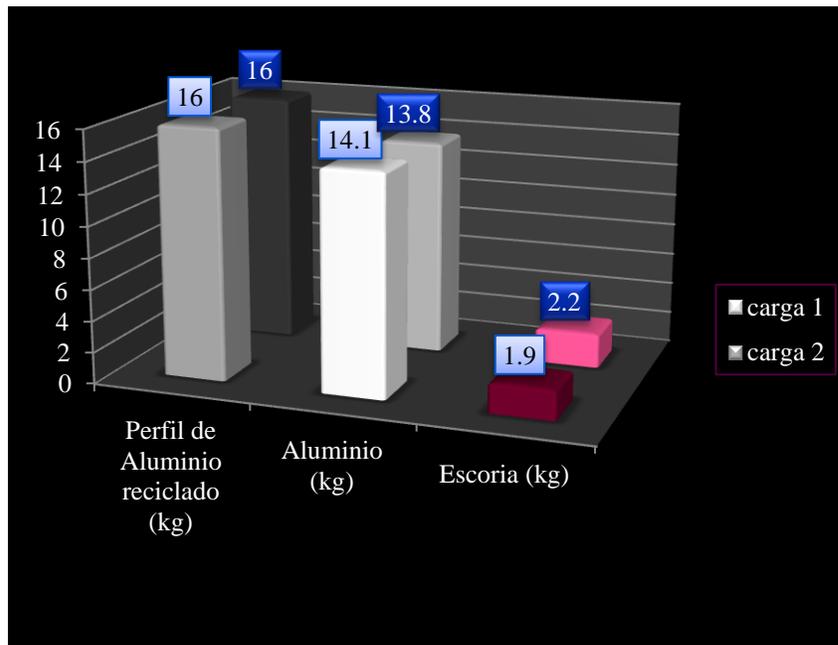
TABLA 2.3.2.3-5

Datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión a diesel carga 1 y carga 2

Carga	Ingreso de material	Producto	
	Perfil de aluminio reciclado (kg)	Aluminio (kg)	Escoria (kg)
1	16	14.1	1.9
2	16	13.8	2.2

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 2.3.2.3-5 Diagrama de los datos experimentales obtenidos en el horno de crisol de combustión a diesel carga 1 y carga 2



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

2.3.3 MATRIZ DE TOMA DE DECISIÓN

**TABLA 2.3.3-1
MATRIZ DE TOMA DE DECISIÓN**

CONDICIÓN CONSTANTE	T1	T2	T3
Temperatura (900 °C)	-	-	-
Flujo calor (10541.04Kcal/h)	500	660	900
Carga (16 KG)	500	660	900
Tiempo (0.75 h)	900	900	900

2.3.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

**TABLA 2.3.4-1
IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES**

Variables		Constantes	
Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Flujo de calor (kcal/h)	Cantidad de aluminio a fundir (kg)
20 - 900	0 – 45	10541.04	16

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y

RESULTADOS

3. CÁLCULOS Y RESULTADO

3.1 DISEÑO DE INGENIERIA

El diseño consiste en especificar tamaño, temperatura, tiempo, carga metálica, calor necesario, materiales y todo cuanto sea necesario para realizar la fusión del aluminio cumpliendo establemente con determinadas condiciones de producción, calidad y seguridad.

En la práctica tenemos que cuantificar una serie de variables del proceso como son:

- Temperatura
- Tiempo
- Carga Metálica

Con esta información se podrá entonces decidir:

- Las dimensiones del equipo
- Materiales de construcción.
- Requerimiento de calor.

3.1.1 CÁLCULO TEORICO DEL EQUIPO

3.1.1.1 GENERALIDADES

Para fundir metales no ferrosos es necesario un equipo que soporte elevadas temperaturas, en el caso del aluminio se requiere mantener al metal protegido de la contaminación de la combustión, motivo por el cual la teoría e investigaciones realizadas manifiestan que para pequeñas cantidades el equipo recomendado es el horno de crisol, el mismo que debe estar diseñado y construido para soportar y sobrepasar las condiciones del proceso.

En los requerimientos del diseño, se detallan las variables a ser consideradas para el diseño del equipo.

3.1.1.2 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Para diseñar el horno, se parte de las variables reales de trabajo, las mismas que se adquieren durante la simulación en equipos similares, a continuación se indican estas variables:

- Cantidad de material a fundir
- Temperatura de operación
- Tiempo de operación
- Cantidad de calor requerido

3.1.2 CÁLCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

3.1.2.1 BALANCE SIMULTÁNEO DE MASA Y ENERGIA

3.1.2.1.1 BALANCE DE MASA

Se basa en la ley de conservación de la materia que establece que la masa de un sistema permanece siempre constante, por lo tanto:

$$\textit{Entrada} = \textit{Salida} + \textit{Acumulación} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.1-1}$$

Donde:

Entrada =Masa del metal a ser fundido 16 kg,

Salida =Masa del metal fundido 14 Kg.

Acumulación =Masa de la escoria 2 Kg.

Reemplazando en la Ec. 3.1.2.1.1-1 se tiene:

$$16 \textit{ kg} = 14 \textit{ Kg} + 2 \textit{ Kg}$$

$$16 \textit{ kg} = 16 \textit{ Kg}$$

3.1.2.1.2 BALANCE DE ENERGÍA.

De la ley de la conservación de la energía, se afirma que el calor liberado por el combustible en un horno es igual a la suma del calor necesario para el proceso de calentamiento, más las pérdidas de calor que tengan lugar en el horno.

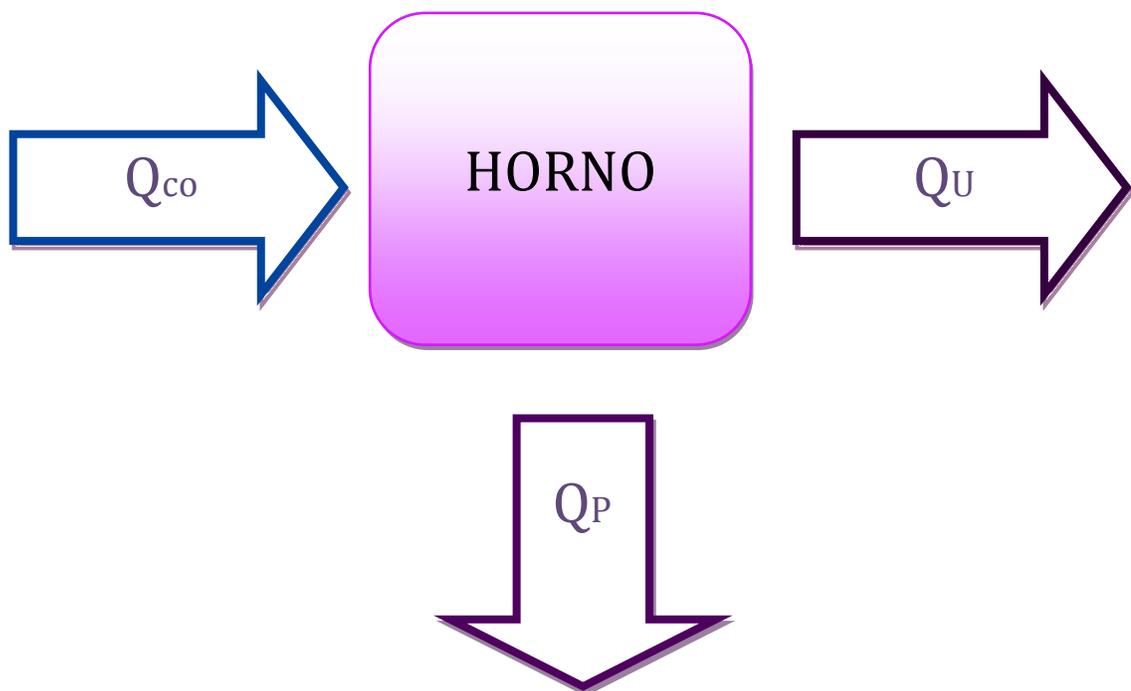


Figura 3.1.2.1.2-1 Balance de energía del equipo.

$$Q_{co} = Q_U + Q_p \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2-1}$$

Donde:

Q_{co} = Calor liberado por el combustible (Kcal/h)

Q_p = Calor total perdido en el horno (Kcal/h)

Q_U = Calor útil para la cocción (Kcal/h)

3.1.2.1.2.1 CÁLCULO DEL CALOR UTIL

Para obtener el calor útil se va a tomar en cuenta los siguientes parámetros:

$$Q_U = Q_{carga\ metalica} + Q_{Absorve\ crisol} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.1-1}$$

Q_U = Calor útil para la fusión (Kcal/h)

$Q_{carga\ metalica}$ = Calor que se entrega a la carga metálica (Kcal/h)

$Q_{Absorve\ crisol}$ = Calor que es ABSORBIDO por el crisol (Kcal/h)

3.1.2.1.2.1.1 CÁLCULO DEL CALOR QUE HA DE ENTREGARSE A LA CARGA METALICA

$$Q_{carga\ metalica} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.1.1-1}$$

En este caso se debe hacer las consideraciones siguientes:

- Conocer el calor Q_1 que se necesita para elevar de los 20 °C temperatura ambiente, hasta los 660 °C temperatura de fusión del Aluminio.
- Se incluye también el calor Q_2 producto del calor latente de fusión por el peso de la carga.
- Se recomienda que la temperatura del metal fundido para que pueda estar en condiciones óptimas de colado y ser puesto en moldes adecuados, debe tener alrededor de 800 °C, este será otro dato que se incluye para encontrar la cantidad de calor que se necesita para fundir la carga metálica.

Entonces se tiene reemplazando en la Ec. 1.2.4.1-1:

$$Q_1 = \frac{m\ c_p\ (T_f - T_o)}{t} \quad \text{Ec. 1.2.4.1-1}$$

DONDE:

Q_1 = Calor necesario para elevar la temperatura de 20 °C a 660 °C

m = Peso de la carga 16 Kg

C_p = Calor específico 0,25 Kcal/Kg°C

T_f = Temperatura de fusión 660 °C

T_o = Temperatura ambiente 20 °C

t = Tiempo de fusión 0,75 h

$$Q_1 = \frac{16 * 0,25 * (660 - 20)}{0,75}$$

$$Q_1 = 3413,33 \text{ Kcal}/h$$

$$Q_2 = \frac{m\lambda}{t} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.1.1-2}$$

Q_2 = Cantidad de calor necesario para producir un cambio de fase

m = Peso de la carga 16 kg

λ = Calor latente del Aluminio 95,29 Kcal/Kg

t = Tiempo de fusión 0,75 h

$$Q_2 = \frac{16 * 95,29}{0,75}$$

$$Q_2 = 2032,85 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_3 = \frac{m \text{ Cp } (Tf - To)}{t} \quad \text{Ec. 1.2.4.1-1}$$

Q_3 = Calor necesario para llegar a la temperatura de colado

m = Peso de la carga 16 Kg

Cp = Calor específico del Al 0,25 Kcal/Kg°C

Tf = Temperatura de colado 800 °C

To = Temperatura de fusión 660 °C

t = Tiempo de fusión 0,75 h

$$Q_3 = \frac{16 * 0,25 * (800 - 660)}{0,75}$$

$$Q_3 = 746,66 \text{ Kcal/h}$$

Por lo tanto la cantidad de calor total requerida que se ha de entregar a la carga metálica será la sumatoria de los calores individuales obtenidos anteriormente.

$$Q_{carga\ metalica} = 3413,33 + 2032,85 + 746,66$$

$$Q_{carga\ metalica} = 6192,84\ Kcal/h$$

3.1.2.1.2.1.2 CALOR ABSORBIDO POR EL CRISOL

Es importante calcular el calor absorbido por el crisol durante el funcionamiento, para lo cual se decidió seleccionar un crisol de grafito, dado que este tiene capacidad de fusión suficiente para 16 Kg.

Por consiguiente el calor absorbido por el crisol se calculara de la siguiente manera

$$Q_{Absorve\ crisol} = \frac{m\ Cp\ (Tf-To)}{t} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.1.2 - 1}$$

DONDE

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

m = Peso del crisol 6 Kg

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

T_f =Temperatura de fusión 900 °C

Temperatura aproximada a la que puede estar el crisol cuando el metal fundido esté a punto de colado, es decir a 800 °C

T_o = Temperatura ambiente 20 °C

$t = 0,75$ h

$$Q_{Absorve\ crisol} = \frac{6 * 0,31 (900 - 20)}{0,75}$$

$$Q_{Absorve\ crisol} = 2152,4 \text{ Kcal/h}$$

CALOR ÚTIL PARA LA COCCIÓN

$$Q_U = Q_{carga\ metalica} + Q_{Absorve\ crisol} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.1-1}$$

Donde:

Q_U = Calor útil para la cocción Kcal/h.

$Q_{carga\ metalica}$ = Calor que se entrega a la carga metálica 6192,84 Kcal/h.

$Q_{Absorve\ crisol}$ = Calor que es ABSORBIDO por el metal 2152,4 Kcal/h.

$$Q_U = 6192,84 + 2152,4$$

$$Q_U = 8345,24 \text{ Kcal/h}$$

3.1.2.1.2.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR

Es importante que la cantidad de calor que pasa a la carga sea de gran magnitud; para de esta manera economizar en lo que ha combustible se refiere, y se puede conseguirlo analizando las pérdidas de calor que se producen, en las paredes cilíndricas y planas del horno tanto por conducción como por convección del horno.

Se debe tomar en cuenta que para realizar el cálculo de las pérdidas de calor en las paredes del horno estas ya deben estar dimensionadas, dichas dimensiones se encuentran en el numeral 3.1.2.2.

3.1.2.1.2.2.1 PERFIL DE TEMPERATURAS

Se considera un perfil de temperaturas, correspondiente a la transferencia de calor por conducción en estado estacionario del cual se obtendrán las medidas fundamentales del horno.

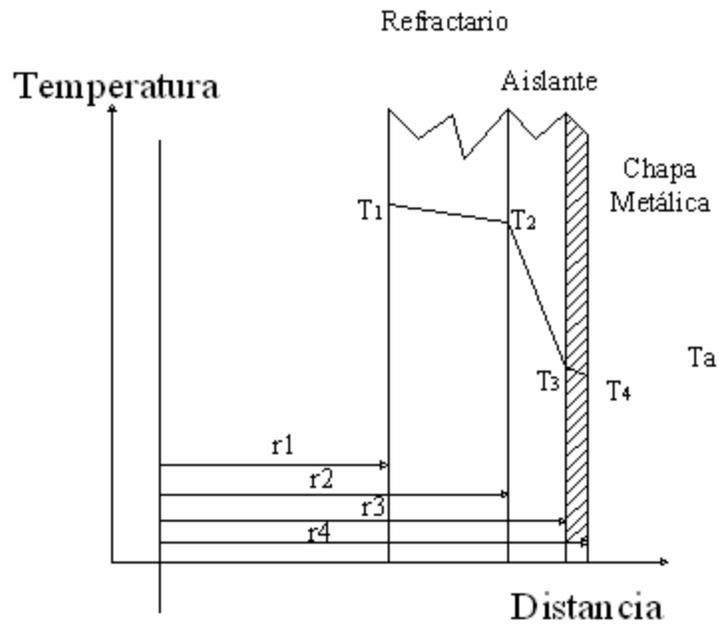


Figura 3.1.2.1.2.2.1-1

Perfil de temperaturas en el interior del Horno.

La simbología correspondiente al gráfico anterior es:

T_1 = Temperatura de la pared interior del horno ($^{\circ}$ C).

T_2 = Temperatura de la intercara del refractario con la capa aislante ($^{\circ}$ C).

T_3 = Temperatura de la pared aislante y la chapa metálica del horno ($^{\circ}$ C).

T_4 = Temperatura exterior del horno ($^{\circ}$ C).

T_a = Temperatura del medio ambiente ($^{\circ}$ C).

r_1 = Radio interior del horno (m).

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

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

r_4 = Radio exterior del horno (m).

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

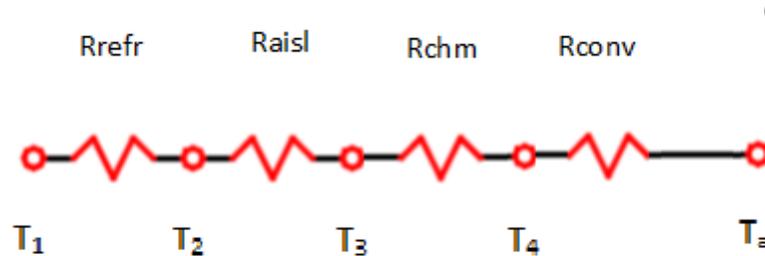


Figura 3.1.2.1.2.2.1-2.

Esquema de resistencias analógicas para el Horno

La simbología correspondiente a la figura anterior es:

R_{refra} = Resistencia en el ladrillo refractario.

R_{aisl} = Resistencia en la capa aislante.

R_{chm} = Resistencia en la chapa metálica.

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

Por lo tanto las siguientes ecuaciones son las que rigen este proceso:

CONDUCCIÓN

- Paredes Planas:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{k \cdot A}} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2-1}$$

- Paredes cilíndricas:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{1}{2\pi L} \left[\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k} \right]} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2-2}$$

CONVECCIÓN

- Paredes planas

$$Q = \frac{(T_4 - T_A)}{Ah} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2-3}$$

- Paredes cilíndricas:

$$Q = \frac{(T_4 - T_A)}{\frac{1}{2\pi r_4 L h}} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2-4}$$

3.1.2.1.2.2.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.

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

- Paredes Planas
- Paredes Cilíndricas

Se desarrolla en primer lugar la temperatura de película que en su fórmula corresponde a:

$$T_p = \frac{T_A + T_4}{2} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.2-1}$$

Donde:

T_p = Temperatura de Película

$T_A = \text{Temperatura ambiente} = 20^\circ \text{C} = 293^\circ \text{K}$

$T_4 = \text{Temperatura de la chapa metálica} = 60^\circ \text{C} = 323^\circ \text{K}$

Entonces la temperatura de película es:

$$T_p = \frac{293 + 323}{2}$$

$$T_p = 313^\circ \text{K}$$

Con esta temperatura se evalúan propiedades del aire, en estas condiciones así se tiene:

TABLA 3.1.2.1.2.2-1

Propiedades del aire con temperaturas de película

Temperatura °K	Viscosidad cinemática ν (m^2/s)	Conductividad Térmica k ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}$)	α (m^2/s)	Constante de Prank
313	$1,72 \times 10^{-5}$	27.26×10^{-3}	$24,42 \times 10^{-6}$	0.70
379	1.95×10^{-5}	28.0×10^{-3}	2.76×10^{-5}	0.72

Fuente: INCROPERA F; Fundamentos de Transferencia de Calor

Se considera que la convención es libre con una capa turbulenta para confirmar las condiciones de capa turbulenta obtenemos el número de Rayleigh

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_A)L^3}{\nu\alpha} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.2-1}$$

Donde:

Ra = Número de Rayleigh

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

T_s = Temperatura de salida 333 °K

T_A = Temperatura Ambiente 293 °K

L = Altura $0,457 \text{ m}$

ν = Viscosidad cinemática

$$\alpha = 24.42 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$Ra = \frac{9,8 * 0,0319489 * (333 - 293) * 0,457^3}{1,72x10^{-5} * 24,42x10^{-6}}$$

$$Ra = 284587763,8$$

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

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{8}{27}}} \right] \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.2-2}$$

Donde:

Ra = Número de Rayleigh 284587763,8

Pr = Número de Prank 0,7

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 * 284587763,8^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,7}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{8}{27}}} \right]$$

$$Nu = 65,97$$

Se tiene:

$$hc = \frac{Nu * k}{L} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.2-3}$$

Donde:

hc = Coeficiente de transferencia de calor por convección

Nu = Número de Nusselt 65,97

L = Altura 0,457 m

$$hc = \frac{65,97 * 27,26 \times 10^{-3}}{0,457}$$

$$hc = 3,93 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

COEFICIENTE EN LA TAPA INFERIOR DEL HORNO (BASE)

Para la tapa inferior del horno se considera iguales condiciones de temperatura que en las paredes cilíndricas, en consecuencia las propiedades del aire bajo estas condiciones son iguales.

Evaluando el número de Rayleigh con la ecuación 3.1.2.1.2.2.2-1 se tiene el siguiente valor con la siguiente consideración del valor de L.

$$L = \frac{A_s}{P} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.2-3}$$

Donde se tiene que:

L = Longitud de la placa

A_s = Área superficial de la placa $0,33\text{m}^2$

P = Perímetro de placa $2,04$ m

$$L = \frac{0,33}{2,04}$$

$$L = 0,16\text{m}$$

El número de Rayleigh tiene como valor:

$$Ra = 1,28 \times 10^7$$

De acuerdo ha consideraciones de placas horizontales con superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría se tiene que el número de Nusselt corresponde a:

$$Nu = 0,15 Ra^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 27,77$$

Evaluando en la ecuación 3.1.2.1.2.2.2-3 del coeficiente de convección se tiene:

$$hc = 4,65 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

COEFICIENTE EN LAS TAPA SUPERIOR DEL HORNO

Siguiendo el mismo procedimiento anterior se considera una Temperatura de película de 336°K, y $T_4 = 106^\circ\text{C} = 379^\circ\text{C}$

Evaluando en la ecuación 3.1.2.1.2.2.2-3 del coeficiente de convección se tiene el siguiente valor con las siguientes consideraciones:

$$L = 0,12m$$

$$Ra = 8822778,5$$

$$Nu = 25,2$$

$$hc = 5,7 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

3.1.2.1.2.2.3 PÉRDIDA DE CALOR EN LAS PAREDES DEL CILINDRO

- **POR CONDUCCIÓN**

$$Q_{\text{Conducción}} = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{1}{2\pi L} \left[\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_{\text{refra}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{\text{ceramica}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_{\text{chapa}}} \right]} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.3-1}$$

Donde:

T_1 = Temperatura en la CÁMARA de combustión 1173 °K

T_4 = Temperatura en la chapa metálica 333°K

L = Altura del horno 0,457 m

k_{refra} = Conductividad Térmica del ladrillo refractario 0,3(W/m°K)

k_{ceramica} = Conductividad Térmica de la manta cerámica 0,068(W/m°K)

k_{chapa} = Conductividad Térmica de la chapa metálica 63,9(W/m°K)

r_1 = Radio inicial 0,183m

r_2 = Radio r_1 + el espesor del ladrillo refractario 0,297 m

r_3 = Radio r_2 + el espesor de la manta cerámica 0,3224 m

r_4 = Radio r_3 + el espesor de la chapa metálica 0,3254 m

$$Q_{\text{Conducción}} = \frac{(1173 - 333)}{\frac{1}{2\pi * 0,457} \left[\frac{\ln\left(\frac{0,297}{0,183}\right)}{0,3} + \frac{\ln\left(\frac{0,3224}{0,297}\right)}{0,068} + \frac{\ln\left(\frac{0,3254}{0,3224}\right)}{63,9} \right]}$$

$$Q_{\text{Conducción}} = 854,55 \text{ W}$$

- **POR CONVECCIÓN**

$$Q_{conveccion} = \frac{(T4-TA)}{\frac{1}{2\pi r_4 L h}} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.3-2}$$

Donde:

T_A =Temperatura Ambiente 293 °K

T_4 =Temperatura en la chapa metálica 333 °K

L =Altura del horno 0,457 m

h_c =Coeficiente de calor por convección 3,93 (W/m²°K)

$$Q_{conveccion} = \frac{(333 - 293)}{\frac{1}{2\pi * 0,354 * 0,457 * 3,93}}$$

$$Q_{conveccion} = 146,8W$$

PÉRDIDA DE CALOR TOTAL EN LAS PAREDES DEL CILINDRO

$$Q_{T_{CILINDRO}} = Q_{Conduccion} + Q_{conveccion} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.3-3}$$

$$Q_T = 844,55 + 146,8$$

$$Q_{T_{CILINDRO}} = 1001,36 W$$

3.1.2.1.2.2.4 PÉRDIDA DE CALOR EN LA BASE DEL HORNO

- POR CONDUCCIÓN

$$Q_{\text{Conducción}} = \frac{(T_1 - T_4)}{\left(\frac{e_{\text{refr}}}{k_{\text{refr}} * A} + \frac{e_{\text{chapa}}}{k_{\text{chapa}} * A} \right)} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.4-1}$$

Donde:

T_1 = Temperatura en la CÁMARA de combustión 1173 °K

T_4 = Temperatura en la chapa metálica 333 °K

A = Área de la tapa 0,33 m

k_{refra} = Conductividad Térmica del ladrillo refractario 0,3 (W/m°K)

k_{chapa} = Conductividad Térmica de la chapa metálica 63,9 (W/m°K)

e_{refr} = Espesor del material refractario 0,12 m

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

$$Q_{\text{Conducción}} = \frac{(1173 - 333)}{\left(\frac{0,12}{0,3 * 0,33} + \frac{0,003}{63,9 * 0,33} \right)}$$

$$Q_{\text{Conducción}} = 692,91 \text{ W}$$

- **POR CONVECCIÓN**

$$Q_{convección} = \frac{(T4-TA)}{Ah} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.4-2}$$

Donde:

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

TA =Temperatura Ambiente 293 °K

A = Área de la tapa 0,33 m

h_c =Coeficiente de calor por convección 4,65 (W/m²°K)

$$Q_{convección} = \frac{(333 - 293)}{0,295 * 4,65}$$

$$Q_{convección} = 26,06 \text{ W}$$

PÉRDIDA DE CALOR TOTAL EN LA BAS DEL HORNO

$$Q_{TBASE} = Q_{Conducción} + Q_{conveccion} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.4-3}$$

$$Q_{TBASE} = 692,91 + 26,06$$

$$Q_{TBASE} = 718,98 \text{ W}$$

3.1.2.1.2.2.5 PÉRDIDA DE CALOR EN LA TAPA SUPERIOR DEL HORNO

- POR CONDUCCIÓN**

$$Q_{Conducción} = \frac{(T1-T4)}{\left(\frac{e_{refr}}{K_{refr}*A} + \frac{e_{chapa}}{K_{chapa}*A}\right)} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.5-1}$$

Donde:

$T1$ =Temperatura en la CÁMARA de combustión 1173 °K

$T4$ =Temperatura en la chapa metálica 379 °K

A = Área de la tapa 0,19 m

k_{refra} = Conductividad Térmica del ladrillo refractario 0,3 (W/m°K)

k_{chapa} =Conductividad Térmica de la chapa metálica 63,9 (W/m°K)

e_{refr} = Espesor del material refractario 0,06 m

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

$$Q_{\text{Conducción}} = \frac{(1173 - 379)}{\left(\frac{0,06}{0,3 * 0,19} + \frac{0,003}{63,9 * 0,33}\right)}$$

$$Q_{\text{Conducción}} = 754,12 \text{ W}$$

- **POR CONVECCIÓN**

$$Q_{\text{convección}} = \frac{(T_4 - T_A)}{A h_c}$$

Ec. 3.1.2.1.2.2.5-2

Donde:

T_4 =Temperatura en la chapa metálica 379 °K

T_A =Temperatura Ambiente 293 °K

A = Área de la tapa 0,19 m

h_c =Coeficiente de calor por convección 5,7 (W/m²°K)

$$Q_{\text{convección}} = \frac{(379 - 293)}{0,19 * 5,7}$$

$$Q_{\text{convección}} = 79,40 \text{ W}$$

PÉRDIDA DE CALOR TOTAL EN LA BASE DEL HORNO

$$Q_{TAPPA} = Q_{Conducción} + Q_{conveccion} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.5-3}$$

$$Q_{TAPPA} = 692,91 + 26,06$$

$$Q_{TAPPA} = 833,53 \text{ W}$$

3.1.2.1.2.2.6 PÉRDIDA DE CALOR TOTAL EN EL HORNO

$$Q_{PERDIDO_{TOTAL}} = Q_{TCILINDRO} + Q_{TBASE} + Q_{TAPPA} \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2.2.6-1}$$

$$Q_{PERDIDO_{TOTAL}} = 1001,36 + 718,98 + 833,53$$

$$Q_{PERDIDO_{TOTAL}} = 2553,88 \text{ W}$$

$$Q_{PERDIDO_{TOTAL}} = 2195,8 \text{ Kcal/h}$$

3.1.2.1.2.3 CÁLCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA

$$Q_{co} = Q_U + Q_p \quad \text{Ec. 3.1.2.1.2-1}$$

$$Q_{co} = 8345,24 + 2195,8$$

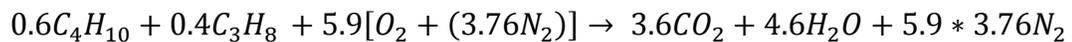
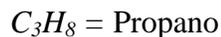
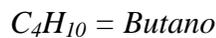
$$Q_{co} = 10541,04 \text{ kcal/h}$$

3.1.2.2 CÁLCULOS DE COMBUSTIÓN

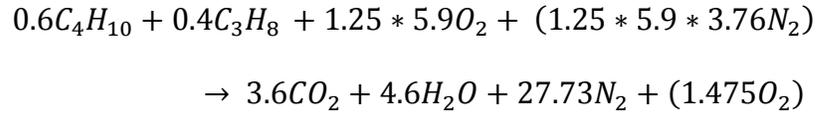
3.1.2.2.1 AIRE TEÓRICO – COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE.

La cantidad mínima de aire necesaria para oxidar los reactivos se conoce con el nombre de aire teórico. Cuando la combustión se lleva a cabo con el aire teórico esta debe ocurrir íntegramente, en la práctica esto resulta imposible. Se necesita más oxígeno del teóricamente necesario para lograr la combustión u oxidación total de los reactivos, se requiere entonces un exceso de aire, pues cada porción de combustible por ejemplo una gota debe hallarse estrictamente rodeada por un número de moléculas de oxígeno mayor que el necesario para asegurar la oxidación de todas las moléculas del hidrocarburo. Este exceso de aire generalmente se expresa como un porcentaje del aire teórico y se denomina coeficiente de exceso de aire.

En este caso se va a tomar un valor medio del exceso de aire de 25%, por que las condiciones ambientales de donde se va instalar el equipo así lo requieren, la combustión del GLP (según información del Ministerio de Energía y Minas contiene 60% de butano y 40% de propano) en presencia de 100% de aire se tiene:



Con un exceso de aire del 25 % es decir 125% de aire obtendremos:



Análisis volumétrico de los productos de la combustión.

Siendo el número total de moles de los productos de la combustión:

$$n_T = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{N_2} + n_{O_2} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.1-1}$$

$$n_T = 3.6 + 4.6 + 27.73 + 1.475$$

$$n_T = 37.41 \text{ moles}$$

El análisis volumétrico de los productos de la combustión es:

$$Y_I = \frac{n_I}{n_T} = \frac{P_I}{P_T} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.1-2}$$

$$Y_{CO_2} = \frac{3.6}{37.41} = 0.096$$

$$Y_{H_2O} = \frac{4.6}{37.405} = 0.123$$

$$Y_{N_2} = \frac{27.73}{37.41} = 0.741$$

$$Y_{CO_2} = \frac{1.475}{37.41} = 0.039$$

Relación aire-combustible.

$$r_{a/c} = \frac{n_{aire}}{n_{comb}} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.1-3}$$

$$r_{a/c} = \frac{n_{aire} * M_{aire}}{n_{comb} * M_{comb}} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.1-4}$$

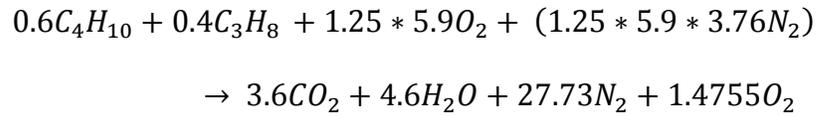
Donde:

n = número de moles.

M = masa molar en Kg. / Kg.mol

De la ecuación Ec. 3.1.2.2.1-3 para 125 % de aire teórico se tiene.

EN BASE MOLAR



$$r_{a/c} = \frac{1.475 + 27.73}{0.6 + 0.4} = 29.205 \frac{moles_{aire}}{moles_{comb}}$$

$$r_{c/a} = \frac{1}{29.205} = 0.0285 \frac{moles_{comb}}{moles_{aire}}$$

EN BASE DE MASA

Butano C_4H_{10} $M = 58.124 \text{ Kg. / Kg.mol}$

Propano C_3H_8 $M = 44.097 \text{ Kg. / Kg.mol}$

Aire $M = 28.97 \text{ Kg. / Kg.mol}$

$$r_{a/c} = \frac{29.205 * 28.97}{0.6 * 58.124 + 0.4 * 44.097} = 16.37 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb}}$$

$$r_{c/a} = \frac{1 * 102.22}{29.205 * 28.97} = 0.121 \frac{Kg_{comb}}{Kg_{aire}}$$

3.1.2.2.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

El consumo de combustible, o el gasto de combustible se calculan en base al consumo calórico del horno, y el poder calórico inferior del combustible, para esto se utiliza la siguiente ecuación.

$$\dot{m}_c = \frac{Q}{H_d} \quad \text{Ec. 3.1.2.2-1}$$

Donde:

m_c = Gasto de combustible en Kg/h

Q = Consumo calórico del horno Kcal/h

H_d = Poder Calorico inferior del gas GLP 9785.6 Kcal/Kg

$$\dot{m}_c = \frac{10541,04 \text{ Kcal/h}}{9785,6 \text{ kcal/Kg}_c}$$

$$\dot{m}_c = 1,077 \text{ kg/h}$$

El flujo del gas será:

$$\dot{V}_c = \dot{m}_c * V \quad \text{Ec. 3.1.2.2-2}$$

Donde:

\dot{V}_c =Flujo de combustible en m³/h

V =Volumen específico del combustible en m³/kg

$$\dot{V} = 1,077 * 0,461$$

$$\dot{V} = \mathbf{0.50 \text{ m}^3/\text{h}}$$

3.1.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO

3.1.2.3.1 DIMENSIONES INICIALES

Se decide seleccionar el crisol, para conocer sus características y a partir de estas iniciar el diseño.

TABLA 3.1.2.2.1-1

CARACTERÍSTICAS DEL CRISOL

CARACTERISTICAS	Material	h	De_{sup}	P
	del crisol	(cm)	(cm)	(kg)
	Grafito	25	21,6	6

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Donde:

h = Altura

D_{sup} = Diámetro superior

D_{inf} = Diámetro inferior

P = Peso del crisol

3.1.2.3.2 DETERMINACIÓN DEL ANCHO O ESPESOR DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Literatura especializada en hornos, contiene la información para la determinación del ancho o espesor de la cámara de combustión, para lo cual se requiere 3 parámetros importantes:

- Capacidad de calentamiento Kg/hm^2
- Contenido Calórico del metal $Kcal/kg$
- Espacio de combustión $Kg/segm^3$

CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO

Para los hornos de crisol viene dado por la siguiente formula

$$Cc = \frac{m}{t * Superficie\ calentada} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.2-1}$$

DONDE:

m = Peso calentado 16 kg

t = Tiempo de fusion 0,75 h

Para encontrar la superficie calentada, aplicamos las características del crisol, así tenemos:

$$superficie\ calentada = \text{Área lateral} * \text{Área de la base} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.2 - 2}$$

$$\text{Área Lateral} = \pi * h * De_{sup} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.2-3}$$

DONDE:

$\pi = 3,141592$

h = Altura del crisol 25 cm

De_{sup} = Diámetro exterior superior 21,6cm

$$\text{Área Lateral} = 3,14 * 25 * 21,6$$

$$\text{Área Lateral} = 1696,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área Lateral} = 0,17\text{m}^2$$

$$\text{Área de la base} = \pi * R^2 \quad \text{Ec. 3.1.2.2.2-4}$$

DONDE:

$$\pi = 3,14$$

R = Radio de la base

$$\text{Área de la base} = 3,14 * 5,5^2\text{cm}^2$$

$$\text{Área de la base} = 0,01 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie calentada} = 0,17\text{m}^2 + 0,01\text{m}^2$$

$$\text{Superficie calentada} = 0,18 \text{ m}^2$$

$$Cc = \frac{16}{0,75 * 0,18}$$

$$Cc = 119 \text{ kg/hm}^2$$

CONTENIDO CALÓRICO

EL contenido calórico de los metales viene dado en curva y está dado en función de su máxima temperatura a la que está sometido durante el proceso de fundición.

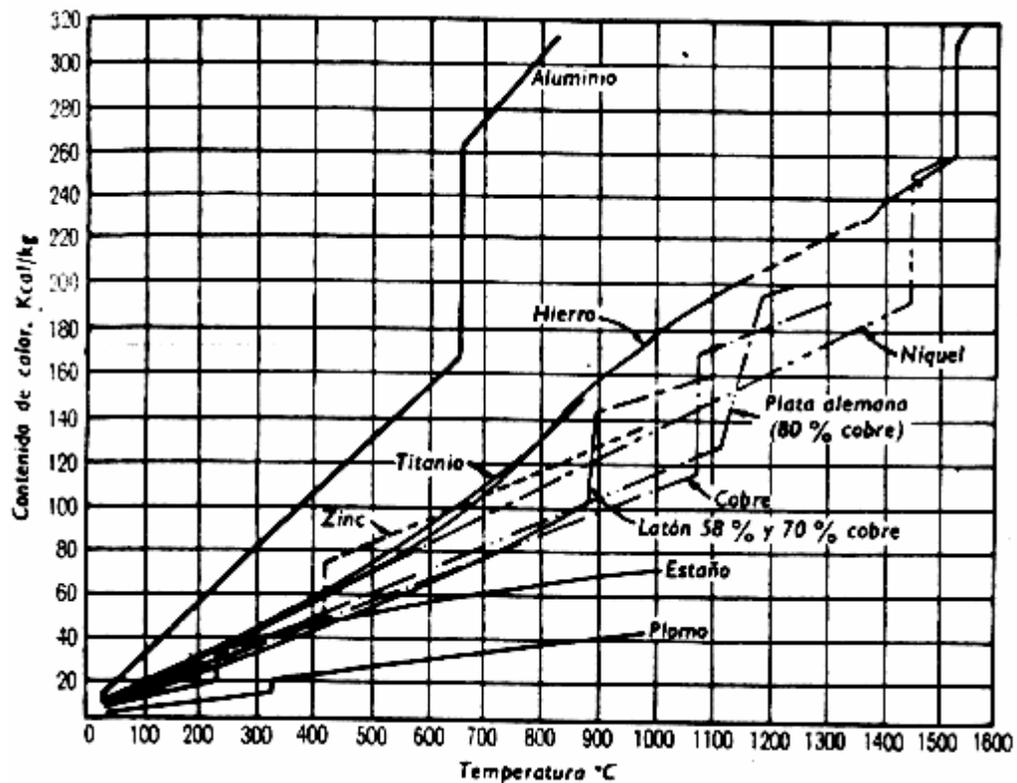


FIGURA 3.1.2.2.2-1. CONTENIDO DE CALOR DE LOS METALES A DIFERENTES TEMPERATURAS.

Fuente: TRINKS

De la figura 3.1.2.2.2-1 observamos que el contenido calórico del Aluminio a 800 C corresponde a un valor de 320 Kcal/Kg

ESPACIO DE COMBUSTIÓN

Se relaciona con el volumen necesario para que se complete la combustión a lo que nos limitaremos a encontrar un valor aproximado, debido a un gran número de variables que afectan a la velocidad del mismo.

En bibliografía relacionada con la combustión, informan algunas alternativas, que pueden producirse durante el funcionamiento y por consiguiente su espacio de combustión así por ejemplo:

- Mezcla incompleta de aire combustible 13,34 Kcal/segm³

- Mezcla parcialmente de combustible y aire, combustible grueso y aire frío 53,59 kcal/segm³

- Buena mezcla de combustible y aire, buena utilización de la cámara de combustión, atomización muy fina y pulverización del combustible, aire frío. 88,97 kcal/segm³

- Mezcla completa o pre mezcla de aire combustible, utilización perfecta del espacio de combustión 141,11 kcal/segm³

- Mezcla completa o pre mezcla de aire combustible, 239,66 kcal/segm³
 utilización perfecta del espacio de combustión,
 atomización muy fina de combustible, aire a 538 C

Para nuestro trabajo, consideramos que se debe tener una mezcla completa de aire combustible, lo que implica luego de los antecedentes escritos nos acercamos al 4 ítem. Es decir un espacio de combustible de 141,11 Kcal/segm³.

Conocidos estos parámetros se puede determinar el ancho o espesor de la cámara de combustión:

$$e = \frac{Cc * \text{Contenido calorico}}{\text{espacio de combustion}} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.2-4}$$

$Cc = \text{Capacidad de calentamiento } 119 \text{ Kg/hm}^2$

$\text{Contenido Calórico} = 320 \text{ Kcal/Kg}$

$\text{Espacio de combustión} = 141,11 \text{ Kcal/segm}^3$

$$e = \frac{119 * 320}{141,11}$$

$$e = 270 \frac{\text{seg m}}{h}$$

$$e = 7,5 \text{ cm}$$

3.1.2.3.3 DETERMINACIÓN DEL DIAMETRO INTERIOR TOTAL DEL HORNO

Se determina el diámetro interior total del horno con la siguiente Ecuación:

$$Di_t = 2e + Dsup_c \quad \text{Ec. 3.1.2.2.3-1}$$

e = Espesor de la cámara de combustión 7,5 cm

$Dsup_c$ = Diametro superior del crisol 21,6 cm

$$Di_t = (2 * 7,5) + 21,6$$

$$Di_t = 36,6 \text{ cm}$$

$$ri_t = 18,3 \text{ cm}$$

3.1.2.3.4 DETERMINACIÓN DEL DIAMETRO EXTERIOR DEL HORNO.

Para establecer el diámetro exterior se necesita conocer el espesor de la pared refractaria, espesor de la manta cerámica y chapa metálica que dispondrá el horno para lo cual se hará una selección de ladrillo refractario, manta cerámica (aislante) y chapa metálica; conjuntamente un análisis de transferencia de calor de tal forma que se obtenga una temperatura adecuada en la coraza metálica. La selección depende de muchos factores tales como: funcionamiento, diseño del horno, vida o duración y costo.

3.1.2.3.4.1 ESPESOR DE LAS PAREDES CILÍNDRICAS DEL HORNO

Para la selección de espesores se debe mantener criterios de construcción, montaje y operatividad.

- **Espesor capa refractaria:** 0.114 m.
- **Espesor manta cerámica:** 0.0254 m.
- **Espesor Chapa metálica:** 0.003 m.

$$r_4 = r_{i_t} + e_{refr} + e_{m\ ceramica} + e_{chapa} \quad \text{Ec. 3.1.2.2.4-1}$$

$$r_4 = 0,183 + 0,114 + 0,0254 + 0,003$$

$$r_4 = 0,3254m$$

$$Dext = r_4 * 2 \quad \text{Ec. 3.1.2.2.4-2}$$

DONDE:

$$r_4 = \text{Radio Total del horno } 0,3254 \text{ m}$$

$$Dext = 0,3254 * 2$$

$$Dext = 0,6508m$$

$$Dext = 65,08cm$$

3.1.2.3.5 ALTURA DEL HORNO

Tiene relación con la ubicación del quemador, que según la industria de la construcción de hornos Morgan sugiere una altura de 9 a 12 cm desde la base del horno.

Según este criterio se construirá la base que soporta el crisol a 10 cm

Por lo tanto tenemos:

$$\textit{Altura del horno} = L_{\textit{BASE HORNO}} + L_{\textit{CILINDRO HORNO}} + L_{\textit{TAPA HORNO}}$$

Ec. 33

Donde:

$$L_{\textit{BASE HORNO}} = \textit{Longitud de la base 10,3 cm}$$

$$L_{\textit{CILINDRO HORNO}} = \textit{Longitud del cilindro 45,70 cm}$$

$$L_{\textit{TAPA HORNO}} = \textit{Longitud tapa del horno 6 cm}$$

$$\textit{Altura del horno} = 62 \textit{ cm}$$

$$\textbf{ALTURA DEL HORNO} = \quad \quad \quad \textbf{0,6 m}$$

3.1.2.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

3.1.2.4.1 CARACTERISTICA DEL CRISOL

El recipiente que contiene el metal liquido dentro del horno se denomina crisol, existe diferentes tamaños, materiales y dimensiones.

Los materiales con los cuales se elaboran los crisoles, son variados pero en su mayoría son el Carburo de Silicio y el grafito

3.1.2.4.1.1 SELECCIÓN DEL CRISOL

Para una adecuada selección del crisol se debe conocer el tipo de aleación o metal que se va a fundir, el combustible a emplear, el tipo de horno que se tiene, además que el material con el cual es fabricado el crisol presente una excelente conductividad térmica y una buena resistencia a la acción de escorias.

- El metal a fundir es aluminio
- El combustible es GLP
- El horno es de crisol basculante
- Cantidad de metal a fundir es 16 Kg

Los crisoles de grafito vienen en una gran variedad de formas, tamaños y formulas refractarias para muchas operaciones de fundición y retención. Los crisoles de paredes delgadas son adecuados para echar colados pesados y aluminio fundido, su diseño permite una gran capacidad y rápida 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 construir un equipo didáctico, acorde a la cantidad de aluminio que se desea fundir, está construido de grafito, el mismo que presenta una excelente conductividad térmica.

3.1.2.4.2 MATERIAL REFRACTARIO

3.1.2.4.2.1 LADRILLO REFRACTARIO

En el presente caso las exigencias de refractario no son tan críticas como para un horno de fundición de hierro, donde tiene que ver la resistencia a la abrasión y choque térmico.

Pero se debe tomar en cuenta que por efecto del calor circulante se generan en los ladrillos refractarios tres fenómenos: expansión, conducción y ablandamiento.

Especialmente con lo que se relaciona a expansión térmica que es el responsable de los esfuerzos compresivos en los ladrillos; y como se conoce, todo material refractario conforme se calienta se aproxima a su temperatura de fusión y comienza a perder fortaleza cohesionar y reblandece.

Se decide diseñar en función de ladrillo refractario ya que en bibliografía 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 forma de arco para el cilindro ideal para una temperatura máxima de 1300 °C.

- Dimensiones del ladrillo refractario: 230*114*64/55mm

Siendo el espesor del ladrillo de 11,4 cm

Para la base del horno se utilizó ladrillo recto de la marca ALFADOMUS.

- Dimensiones del ladrillo refractario: 228*100*60 mm

3.1.2.4.2.2 CONCRETO REFRACTARIO

En el presente diseño se utiliza para rellenar los espacios obtenidos entre ladrillo y ladrillo, la marca utilizada es hydrecon 3200 de 25 Kg este material no permanecerá en contacto directo con el calor producto de la combustión, las características principales que le definen son:

- Excelente resistencia mecánica a elevadas temperaturas y mínima contracción por secamiento.
- Elevada resistencia a la desintegración por choques térmicos a altas temperaturas.
- Bajo coeficiente de expansión térmico.

3.1.2.4.3 MANTA CERÁMICA

Se emplea como material aislante el producto conocido como manta cerámica.

Las características más importantes que definen este material son:

- Conductividad térmica baja.
- Temperatura máxima que soporta, ligeramente mayor a la temperatura de trabajo.
- Alto grado de aislamiento.

Las características de las propiedades de este tipo de materiales se hallan en la literatura técnica específica, pero se ha determinado para el presente diseño que se utilizara una manta con un espesor de 0,254 cm

3.1.2.4.4 CHAPA METÁLICA

El objetivo principal de las placas de acero, constituye en formar una estructura de soporte para sostener y proteger la parte interna.

El espesor de la plancha planteado a utilizar es de 3 mm

3.1.2.4.5 QUEMADOR

Se conoce que el horno va a llegar a una temperatura de 900°C. Es por eso que en la parte posterior consta de un motor al cual está unido un ventilador el mismo que proporciona la cantidad de aire necesaria. Posee una electroválvula para gas, la cual provee de seguridad al equipo y solo permite trabajar conectado a un suministro de energía. Además tiene dos electrodos y una bobina de chispa los cuales forman el sistema de encendido, todos estos

elementos ubicados de manera adecuada permiten mantener el control del quemador a través de un breque un botón de encendido, y una válvula que regula el paso de gas.

Como accesorio adicional hay una centralina de gas la misma que permite conducir al gas desde dos cilindros hacia el quemador, la centralina posee una serie de válvulas que permiten tener otro control de los cilindros, el gas es conducido por una manguera de 300 psi para gas.

3.1.2.4.6 TERMOCUPLA E INDICADOR DE TEMPERATURA.

Tomando en cuenta que la variable a ser controlada en el proceso es la temperatura a la que va a ser sometida la carga de aluminio se procede a instalar en el equipo una termocupla con su respectivo indicador de temperatura.

Las condiciones determinantes para la selección de la termocupla, es conocer la temperatura máxima que va alcanzar el horno, en este caso la temperatura va a ser de 900 °C. De acuerdo el valor de la temperatura requerida, nos damos cuenta que una termocupla tipo K es la óptima para nuestra necesidad, debido a que su rango de funcionamiento va hacer de 150 a 1000° C.

Las señales captadas por este sensor de temperatura, tienen que ser expresadas en un indicador, así que una vez seleccionada la termocupla, procedemos a seleccionar el indicador, el modelo que se ajusta a la termocupla tipo K es 72*72 tipo K.

3.1.2.5 COSTOS DEL EQUIPO

3.1.2.5.1 GENERALIDADES

Los proyectos de planeación, diseño, y construcción requieren de un análisis económico el cual permite visualizar de mejor manera la información referente a la inversión que requiere la realización del proyecto. Por lo tanto se describe a continuación:

3.1.2.5.2 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL HORNO.

TABLA 3.1.2.5.1

Materiales utilizados para la construcción y ensamblaje del horno.

MATERIAL	DESCRIPCION	DIRECCIÓN	CNT	UNI D	PRECI O UNID (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Crisol red diamond/Indi	grafito AL-18 (A-20)	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A. Guayaquil, vía a Daule Km 6 ½ Av. principal	1	Unid	75	75
Ladrillo refractario arco 1	230*114*64/55mm Al>40%(1300 oC)	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A. Guayaquil, vía a Daule Km 6 ½ Av. principal	40	Unid	4.68	187.2
Ladrillo refractario recto	228*100*60 mm alfadomus	ALMACENES PÉREZ Guayaquil, Av. Quito # 1526 entre Sucre y Colon	38	Unid	1.2	45.6
Mortero refractario	cemento UNV super	LA LLAVE, Guayaquil, Av. Juan Tanca Marengo Km. 2 ½ s/n y Av. Agustín Freire	30	kg	1.07	32.1
Concreto refractario	hydrecon 3200 25 Kg (1760 oC)	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A. Guayaquil, vía a Daule Km 6 ½ Av. principal	50	Kg	2.36	118
Manta cerámica	manta f/ceram 1/2" 1.260 C 7620*610mm (6LB/P3)	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A. Guayaquil, vía a Daule Km 6 ½ Av. principal	1	Caja	36	36
Plancha de acero inoxidable	3mm (4*8) brillante	MEGAHIERRO S.A. Guayaquil, Av. Quito 2212 y Capitán Nájera	1	Unid	66.41	66.41
Palillo electrodo	308-L 3/32 A/inox indura	MEGAHIERRO S.A. Guayaquil, Av. Quito 2212 y Capitán Nájera	20	Unid	0.31	6.3
Tecele	1/2 ton	CASA FERRETERIA FONG, Quevedo, Av. 7 7 de Octubre # # 818 y Novena	1	Unid	24.43	24.43
Chumaceras	1 pulgada diámetro	MULTICOMERCIO CENTRO, San Miguel de Bolívar	2	Unid	12	24
Platinas de hierro	2*1/8	San miguel de Bolivar	2	Unid	12	24
Termocupla	tipo K 0-800C 9.5	DIPRELSA, Guayaquil, Av. Francisco de Orellana y Demetrio Aguilera Malta, Solar 14, Mz. 670 Alborada sexta etapa	1	Unid	91.88	63.88
Control de temperatura digital	72*72 tipo K	DIPRELSA, Guayaquil, Av. Francisco de Orellana y Demetrio Aguilera Malta, Solar 14, Mz. 670 Alborada sexta etapa	1	Unid	110.47	91.47
Tablero liviano	30*30*16 cm	DIPRELSA, Guayaquil, Av. Francisco de Orellana y Demetrio Aguilera Malta, Solar 14, Mz. 670 Alborada sexta etapa	1	Unid	27.9	27.9
Quemador automático	alta temperatura	TALLER INDUSTRIAL TECNIAGRO, Quevedo, Vía a San Carlos Km. 1 ½ Principal s/n	1	Unid	750	750
Centralina de gas	alta presión	TALLER INDUSTRIAL TECNIAGRO, Quevedo, Vía a San Carlos Km. 1 ½ Principal s/n	1	Unid	75	75
manómetro	medidor de presión	MAQUINARIAS HENRIQUES C.A. Guayaquil, vía a Daule Km 6 ½ Av. principal	1	Unid	12	12
estructura metálica	tubo cuadrado 2*2" /2*4"	San Miguel de Bolívar	2	Unid	120	120
cilindro de gas	15 Kg azul	CENTRO DE DISTRIBUCION AGIPGAS CUIMBORAZO	2	Unid	60	120
TOTAL						1899.29

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

3.1.2.5.3 RECURSOS HUMANOS

TABLA 3.1.2.5.3-1

Recursos humanos

DENOMINACIÓN	COSTOS (\$)
Construcción y ensamblaje del equipo	500
TOTAL	500

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

3.1.2.5.4 RECURSOS MATERIALES

TABLA 3.1.2.5.4-1

Recursos materiales

DENOMINACION	COSTOS (\$)
Materiales y suministros de oficina	200
Materiales utilizados para la construcción y ensamblaje del horno	1899.29
Varios	300
TOTAL	2399.29

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

3.1.2.5.6 RECURSOS TOTALES

TABLA 3.1.2.5.6-1

Recursos totales

DENOMINACIÓN	COSTO (\$)
Recursos Humanos	500
Recursos materiales	2399.29
SUBTOTAL	2899.29
Imprevistos 10%	289.929
TOTAL	3189.219

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

El gasto de inversión total del equipo es de: \$ 3189.219 (tres mil ciento ochenta y nueve dólares con 22 centavos)

3.1.2.5.7 GASTOS DE OPERACIÓN DEL HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO.

DENOMINACION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Trozos de Perfiles de Aluminio	16	Kg	0.45	7.2
Gas	1	unidad	2	2
TOTAL				9.2

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

El gasto para la operación del Horno de fundición de Aluminio es de \$ 9.2 (nueve dólares con 2 centavos) Considerando que se utilizara como un equipo de laboratorio de enseñanza didáctica.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE

RESULTADOS

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez construido el equipo se realizó las pruebas para calibrar, verificar y validar su funcionamiento. Se realizó pruebas de calentamiento del horno, además de fundir los perfiles de aluminio reciclado. Se decide fundir 16 Kg que es la carga para la cual se diseñó el horno y de esta manera obtener las curvas características del horno, con los parámetros de tiempo, temperatura y consumo de combustible y se graficó curvas de tiempo - temperatura y la segunda tiempo-consumo de combustible. Se realizaron tres pruebas en cada ocasión para demostrar su arranque en frío y la segunda carga se realiza con horno en caliente.

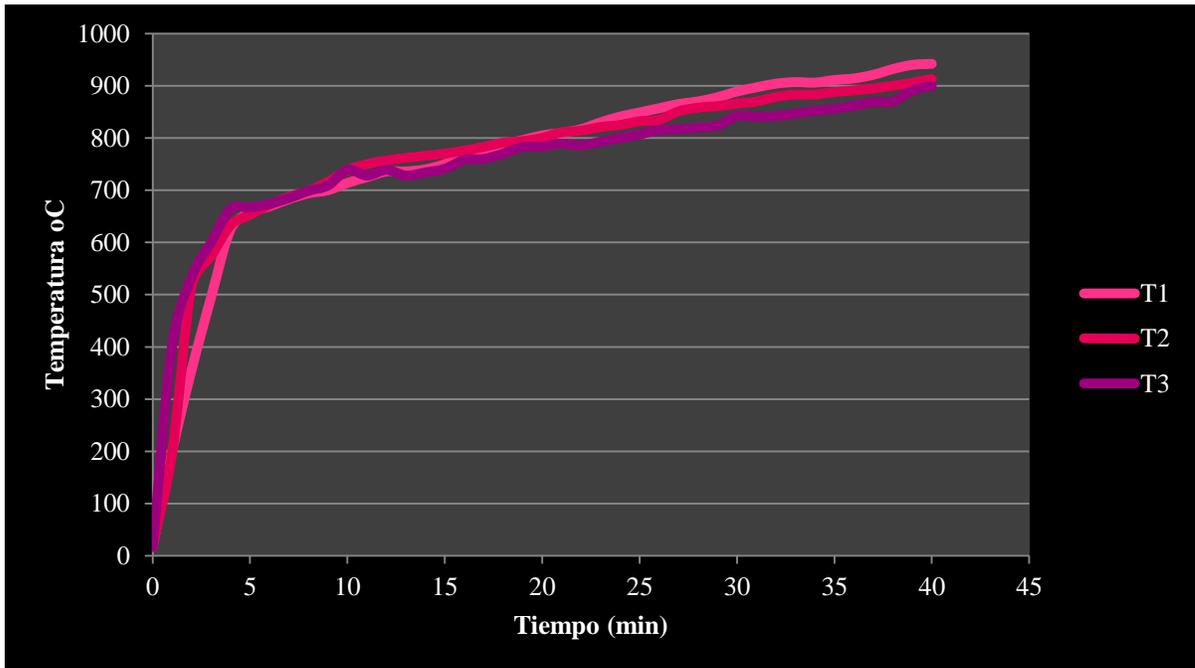
TABLA 4-1**Datos de tiempo y temperatura de operación del horno (arranque en frío)**

Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T prom (°C)
0	17	19	17	17.7
1	200	197	403	266.7
2	356	516	534	468.7
3	495	573	600	556.0
4	625	633	664	640.7
5	657	653	667	659.0
6	669	672	674	671.7
7	683	687	685	685.0
8	694	699	699	697.3
9	700	716	709	708.3
10	714	738	739	730.3
11	725	750	728	734.3
12	736	757	739	744.0
13	736	762	728	742.0
14	740	766	734	746.7
15	750	770	741	753.7
16	764	776	758	766.0
17	774	783	760	772.3
18	787	791	770	782.7
19	796	794	783	791.0

20	805	800	784	796.3
21	810	811	789	803.3
22	817	814	786	805.7
23	830	821	793	814.7
24	841	825	800	822.0
25	849	832	807	829.3
26	857	835	815	835.7
27	865	851	817	844.3
28	870	858	820	849.3
29	878	861	824	854.3
30	889	866	842	865.7
31	897	870	841	869.3
32	904	879	842	875.0
33	907	883	847	879.0
34	906	883	852	880.3
35	911	888	856	885.0
36	914	891	862	889.0
37	921	895	869	895.0
38	932	900	870	900.7
39	940	906	891	912.3
40	942	913	900	918.3

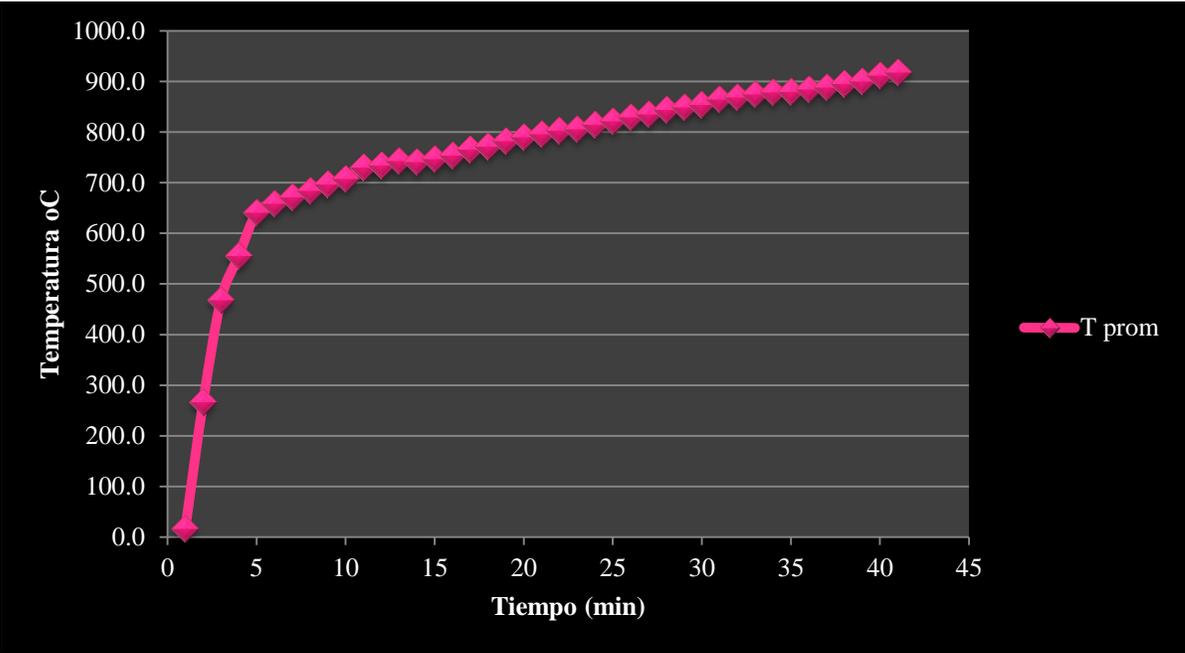
Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 4-1 Diagrama de tiempo y temperatura de operación del horno (arranque en frío)



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 4-2. Diagrama de tiempo y temperatura promedio de operación del horno



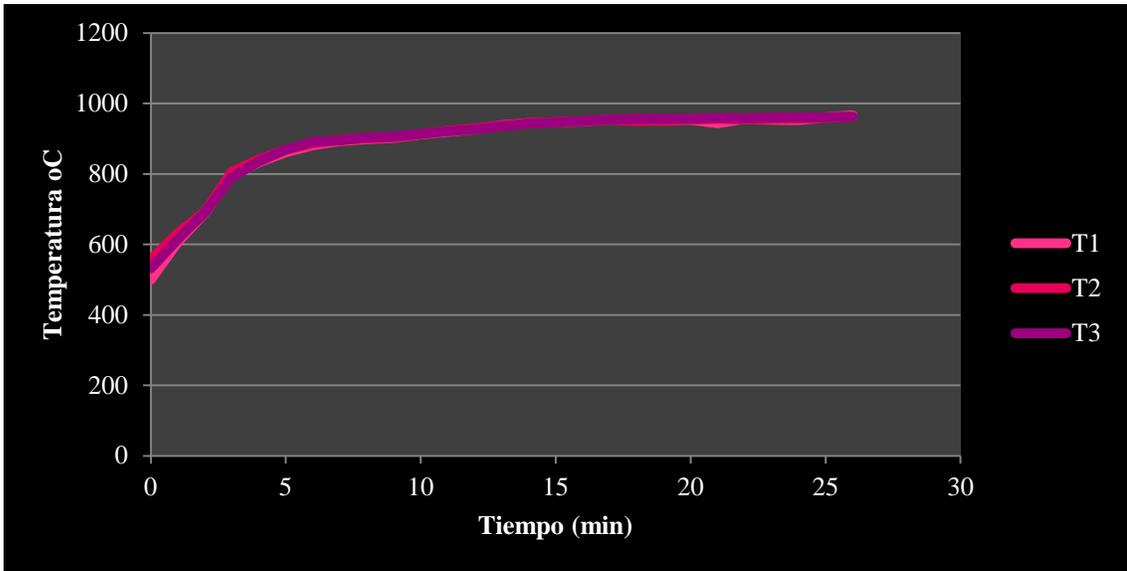
Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

TABLA 4-2**Datos de tiempo y temperatura de operación del horno (en caliente)**

Tiempo (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T Prom (°C)
0	500	557	532	529.7
1	607	632	615	618.0
2	689	694	691	691.3
3	795	806	790	797.0
4	833	841	835	836.3
5	862	869	869	866.7
6	881	887	891	886.3
7	893	897	895	895.0
8	899	901	903	901.0
9	902	904	906	904.0
10	912	913	914	913.0
11	919	923	921	921.0
12	927	929	927	927.7
13	938	937	935	936.7
14	945	945	943	944.3
15	946	947	946	946.3
16	949	950	950	949.7
17	955	954	955	954.7
18	953	950	956	953.0
19	951	952	956	953.0
20	954	955	957	955.3
21	944	956	959	953.0
22	956	955	958	956.3
23	954	956	960	956.7
24	953	957	961	957.0
25	961	959	961	960.3
26	966	963	963	964.0

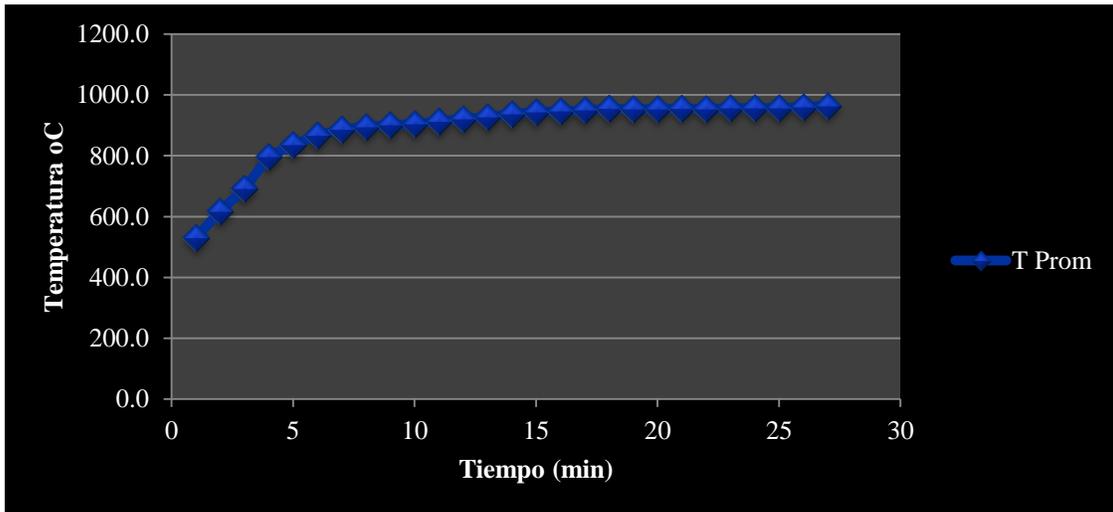
Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 4-3 Diagrama de tiempo y temperatura de operación del horno (en caliente)



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 4-4 Diagrama de tiempo y temperatura promedio del horno (en caliente)



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

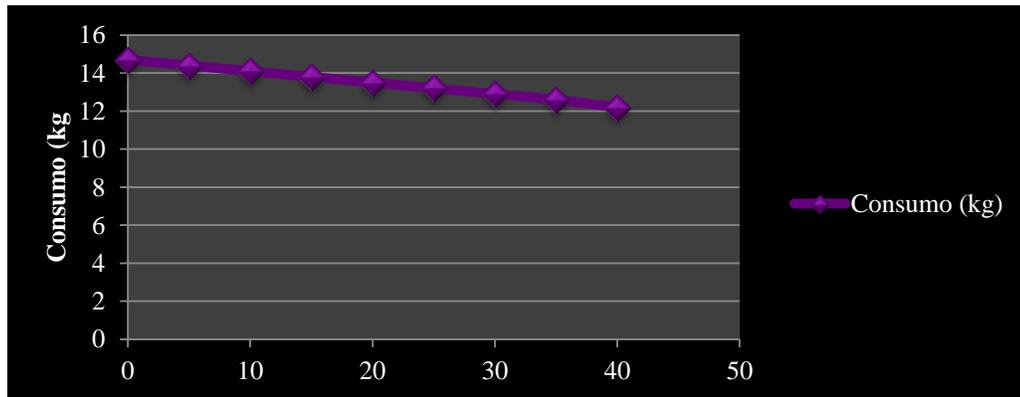
TABLA 4-3

Datos de consumo de gas durante el tiempo de operación

Tiempo (min)	Consumo (kg)
0	14.7
5	14.4
10	14.1
15	13.8
20	13.5
25	13.2
30	12.9
35	12.6
40	12.2

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 4-5. Diagrama del consumo de gas durante el tiempo de operación



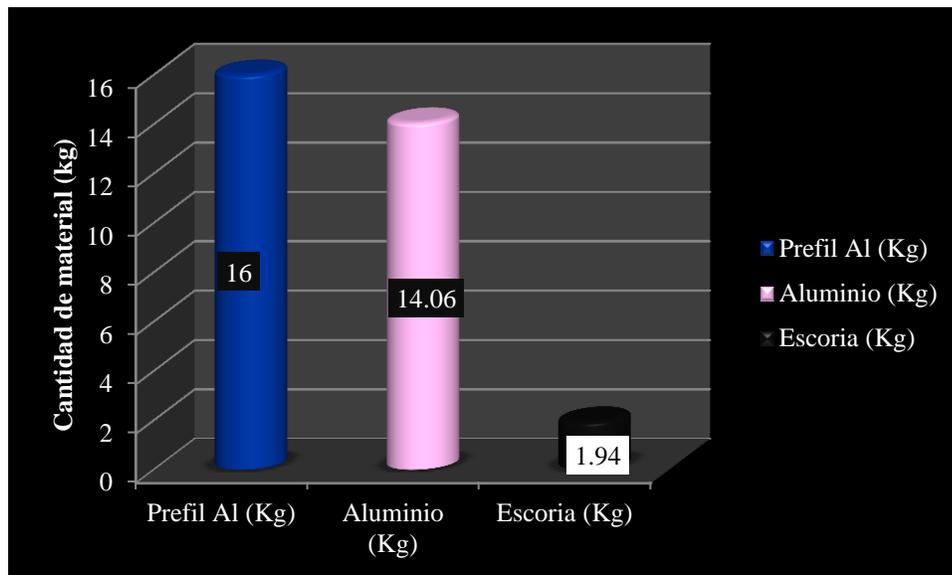
Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

TABLA 4-4
Datos cantidad de material en el proceso

		Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Promedio
Entrada	Perfil Al (Kg)	16	16	16	16
Salida	Aluminio (Kg)	14.08	14.2	13.9	14.06
	Escoria (Kg)	1.92	1.8	2.1	1.94

Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

Figura 4-6. Diagrama de la cantidad de material en el proceso



Fuente: Diego Mestanza – Viviana Lara

INTERPRETACION DE RESULTADOS

En el diagrama de tiempo y temperatura promedio de operación del horno desde su arranque en frío se identifica claramente dos zonas una de calentamiento rápido del horno la cual manifiesta que a los 5 minutos alcanza una temperatura alrededor de 600°C, posterior a esto tarda alrededor de 35 minutos hasta alcanzar una temperatura de 900°C se puede manifestar también que existe una tercera zona, no registrada en los datos pero que sería la de enfriamiento cuando el quemador se apaga, en este caso desciende la temperatura hasta unos 500 °C

El Diagrama de tiempo y Temperatura promedio del horno para la segunda carga cuando aún se encuentra a los 500 °C muestra un calentamiento rápido hasta los 700 °C, posterior a esto la curva tiene incrementos cortos de temperatura que tarda alrededor de 20 minutos en llegar a los 900 °C

La información acerca del consumo de gas que proporciona la gráfica nos muestra que para fundir la carga de aluminio se requiere alrededor de 6 kg de gas ya que se utiliza dos cilindros de gas

Finalmente el diagrama de barras correspondiente a la entrada de material reciclado y a la salida del producto nos indica que por cada 16 Kg de perfiles de Aluminio se obtiene 14.06 Kg de Aluminio y 1.94 Kg de escoria.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un horno de combustión industrial para fundir aluminio de 16 kg de capacidad, por la facilidad para realizar una práctica a nivel de laboratorio, se utilizaron los criterios de diseño como: diámetro del crisol (22cm), diámetro de la cámara de combustión (7.5 cm) diámetro del horno (65.7cm) determinando el requerimiento del espesor del material aislante, la altura del Horno incluyendo base y tapa (61.7cm) además de la cantidad de calor requerida para fundir la carga (10541 Kcal/h) y la cantidad de calor que se pierde por las paredes (2195 kcal/h)
- Mediante la simulación del proceso de fundición realizada en el laboratorio con la utilización de la mufla se determinó que entre 400°C y 700°C las muestras de aluminio sufren ciertos cambios sin llegar a fundirse, luego de alcanzar temperaturas entre 800°C y 900°C se determinó que la carga de aluminio se fundió y presenta características de colado. Mediante las pruebas realizadas en el horno de crisol basculante en el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH se determinó de manera más real las condiciones de fundición del aluminio como la cantidad de aluminio que se funde, el tiempo de calentamiento (20 min) hasta llegar a 400°C, el tiempo de fundición (50min) la temperatura a la cual se requiere llegar (900°C), las características de colado (coloración rosada del aluminio fundido), la segunda carga permite despreciar el calentamiento ya que el horno aún permanece caliente en este caso el proceso tarda 42 minutos

- Se identificó las variables de proceso mediante la simulación y una selección de acuerdo a las condiciones del proceso las mismas que son: temperatura de fusión (900°C), tiempo de fusión (0.75Horas), cantidad de aluminio a fundir (16 Kg) y calor necesario para fundir dicha carga (12736 Kcal/h), las variables identificadas permitieron desarrollar los cálculos de ingeniería para dimensionar, seleccionar los materiales adecuados y construir el horno de combustión industrial para fundir aluminio.
- Una vez identificadas las variables de proceso, se planteó los cálculos de ingeniería para el diseño del horno de fundición de Aluminio, Calculando la cantidad de calor requerida (12736 Kcal/h) incluyendo las Pérdidas, los espesores de la pared refractaria (11.4cm), de la manta cerámica (2.54 cm), de la chapa metálica (0.03cm), los mismos que a través del diseño permitieron reducir considerablemente las pérdidas de calor por las paredes y determinar las dimensiones del horno como el diámetro total (65.7cm), la altura (61.7 cm)
- La capacidad del horno se estableció en primera instancia al decidir fundir la cantidad de 16 kg considerando esta una cantidad adecuada para una práctica de laboratorio y en base a este criterio se seleccionó el crisol, a partir de las dimensiones de este y mediante cálculos se pudo establecer las dimensiones del horno y los requerimientos de calor

- El tipo de materiales se seleccionó de acuerdo a los requerimientos y parámetros que se establecieron en el diseño de ingeniería para fundir 16 kg de Aluminio; Se seleccionó un crisol de grafito red diamond AL-18 (A-20) para 16 kg cuya composición química soporta y supera las condiciones del proceso, Ladrillo refractario arco 1 (230*114*64/55mm Al>40%(1300 oC)) ladrillo refractario recto (228*100*60 mm alfadomus), Mortero refractario (cemento UNV unv super), Concreto refractario (hydrecon 3200 25 Kg (1760 oC)), Manta cerámica (manta f/ceram 1/2" 1.260 C 7620*610mm (6LB/P3)), Plancha de acero inoxidable (3mm (4*8) brillante), Tecla (1/2 ton), para el sistema de control de temperatura se seleccionó una Termocupla (tipo K 0-800C 9.5), Indicador de temperatura digital (72*72 tipo K), Tablero liviano (30*30*16 cm), para generar la cantidad de calor necesaria se adquirió un quemador automático de alta presión (modelo QG1)
- El requerimiento presupuestario se determinó, haciendo un estudio de los recursos humanos, recursos materiales, además del 10% de imprevistos, necesitando un presupuesto de \$ 3189, 22 para el desarrollo de esta investigación con el diseño y construcción del Horno de combustión industrial para fundir aluminio.
- Con el diseño de ingeniería realizado se adquirió los materiales necesarios y se construyó y ensambló el equipo con las características requeridas y condiciones de operación.

- Se realizó la validación del equipo, además de registrar los datos de su operación en tiempo real, evidenciando un perfecto funcionamiento el cual permitió finalizar esta investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe buscar que los laboratorios dedicados a la enseñanza de los procesos de fabricación, tengan los mejores equipamientos de forma que los estudiantes puedan observar en detalle los avances tecnológicos aplicados en nuestro medio.
- Se recomienda construir un lugar apropiado para el horno, ya que la emisión de gases de combustión, así como el calor y la llama que sale por la chimenea requieren un lugar amplio.
- Tener cuidado que la temperatura de trabajo no supere por largos periodos los 900°C ya que podría deteriorar la termocupla, de ser así se recomienda sacarla del horno.
- Tener cuidado al momento de encender el quemador, realizar el arranque seguro del equipo para evitar accidentes.

- Para la utilización didáctica se requiere conseguir arena y moldes para que se pueda obtener productos terminados los mismos que crearan el interés del estudiante para realizar la práctica.
- Para que la vida útil del ladrillo refractario, pueda tener un mayor rango de tiempo se hace necesario realizar después de cierto tiempo un masillado con un mortero apropiado, cuyo tipo es para ladrillos silico-aluminosos, de marca ERECO.
- Se recomienda utilizar equipo de protección y seguridad industrial básicos para trabajar en ambientes de temperatura elevada y sobre todo para fundición de metales como son gafas de protección y guantes de amianto.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CENGEL.,A.**, Transferencia de calor., 2ª.ed., Ciudad de México – México., McGraw-Hill., 1975., Pp 271 – 274
2. **INCOPRERA.,F.**, Fundamentos de la Transferencia de Calor., 4ª.ed., Ciudad de México – México., Prentie Hall., 1975., Pp 440-443
3. **RODRIGUEZ.,J.**, Introducción a la Termodinámica., Madrid - España., 1998 Pp 392 – 398
4. **SALVI.,G.**, La combustión teoría y aplicaciones., 2a.ed., Madrid- España Tamburini., 1975., Pp 440 – 443
5. **TRINKS.,M.**, Hornos Industriales., 2ª.ed., Ciudad de México – México., Urmo., 1976., Pp 209
6. **BUÑAY.,J.**,Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición de bronce (Tesis)., 1989., Pp 5-6

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

7. ALUMINIO
<http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>
2011 – 05 – 16
8. APLICACIONES Y USOS DEL ALUMINIO
http://www.aiim.es/publicaciones/bol2/16_Aluminio.pdf
2011 – 05 – 16

9. COMBUSTIÓN

<http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-combustion>

2011 – 05 – 08

10. CLASES DE COMBUSTIÓN

<http://library.thinkquest.org/27767/combust.htm>

2011 – 05 – 10

11. FUSION DE ALUMINIO

http://www.utp.edu.co/~publio17/laboratorio/fusion_al.htm

2011 – 06 – 23

12. HORNO REVERBERO

<http://www.emison.es/hornos/pdf/fundicio/horno%20de%20reverbero.pdf>

2011 – 03 – 16

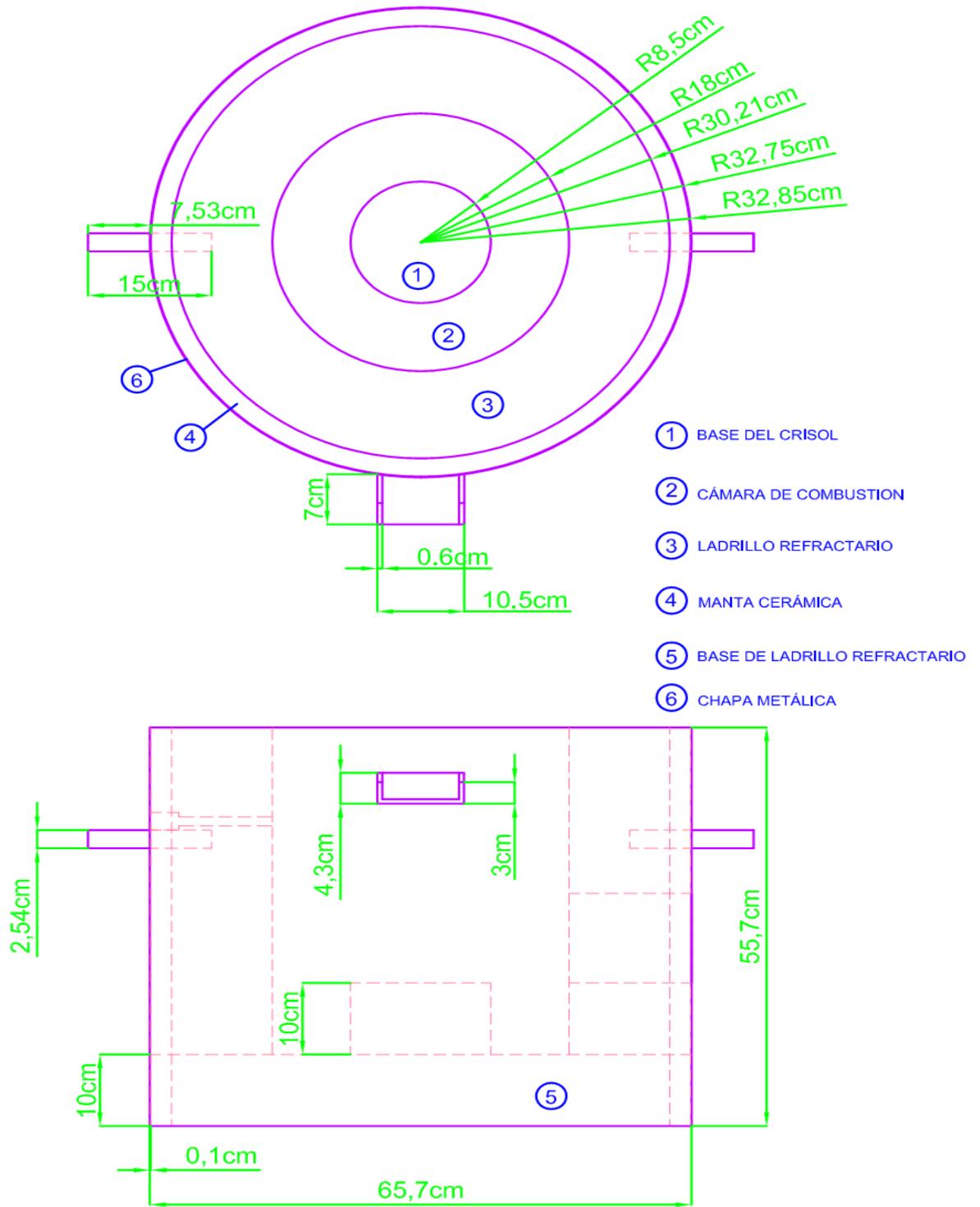
13. RECICLAJE DE ALUMINIO

http://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_aluminio

2011 – 06 - 24

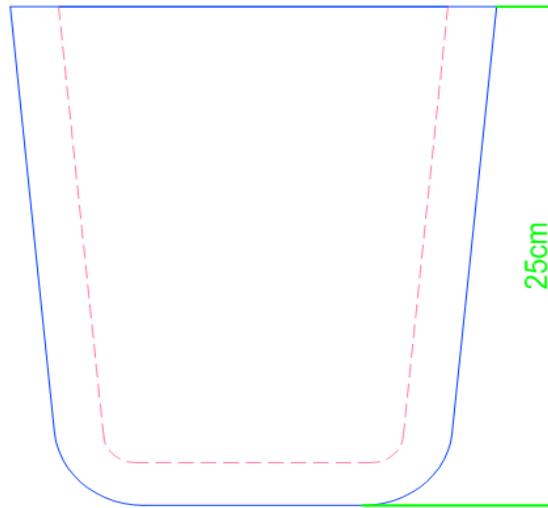
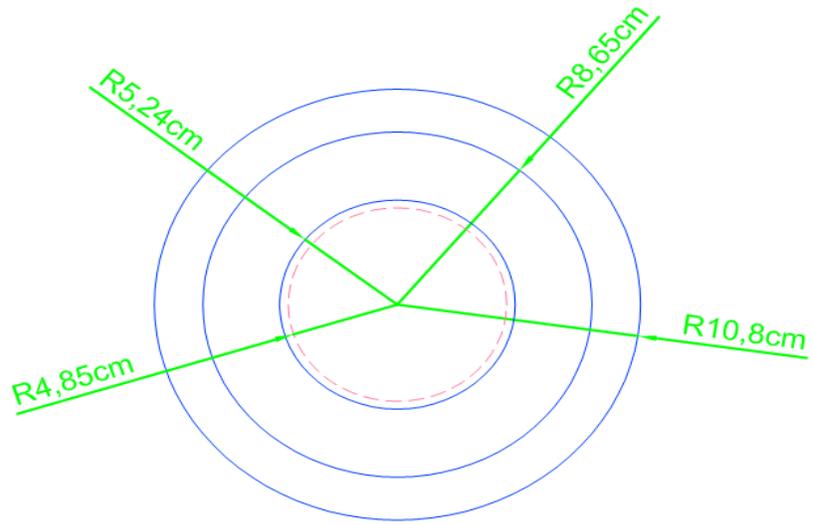
ANEXOS

ANEXO 1



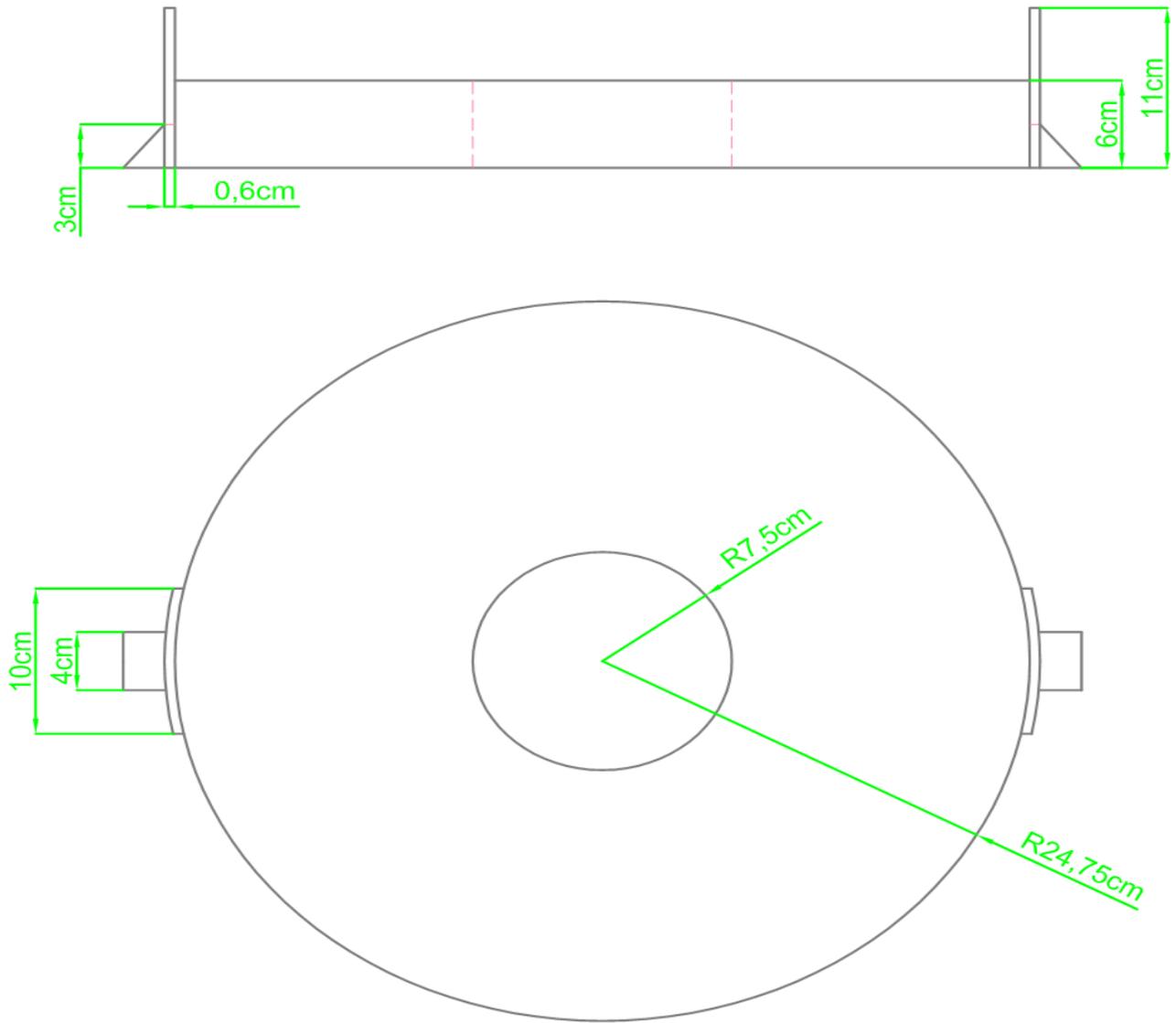
NOTA	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Viviana Lara Diego Mestanza	HORNO DE FUNDICIÓN		
	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por calificar		Lamina 01	Escala 1:13	Fecha 2012/01/12

ANEXO 2



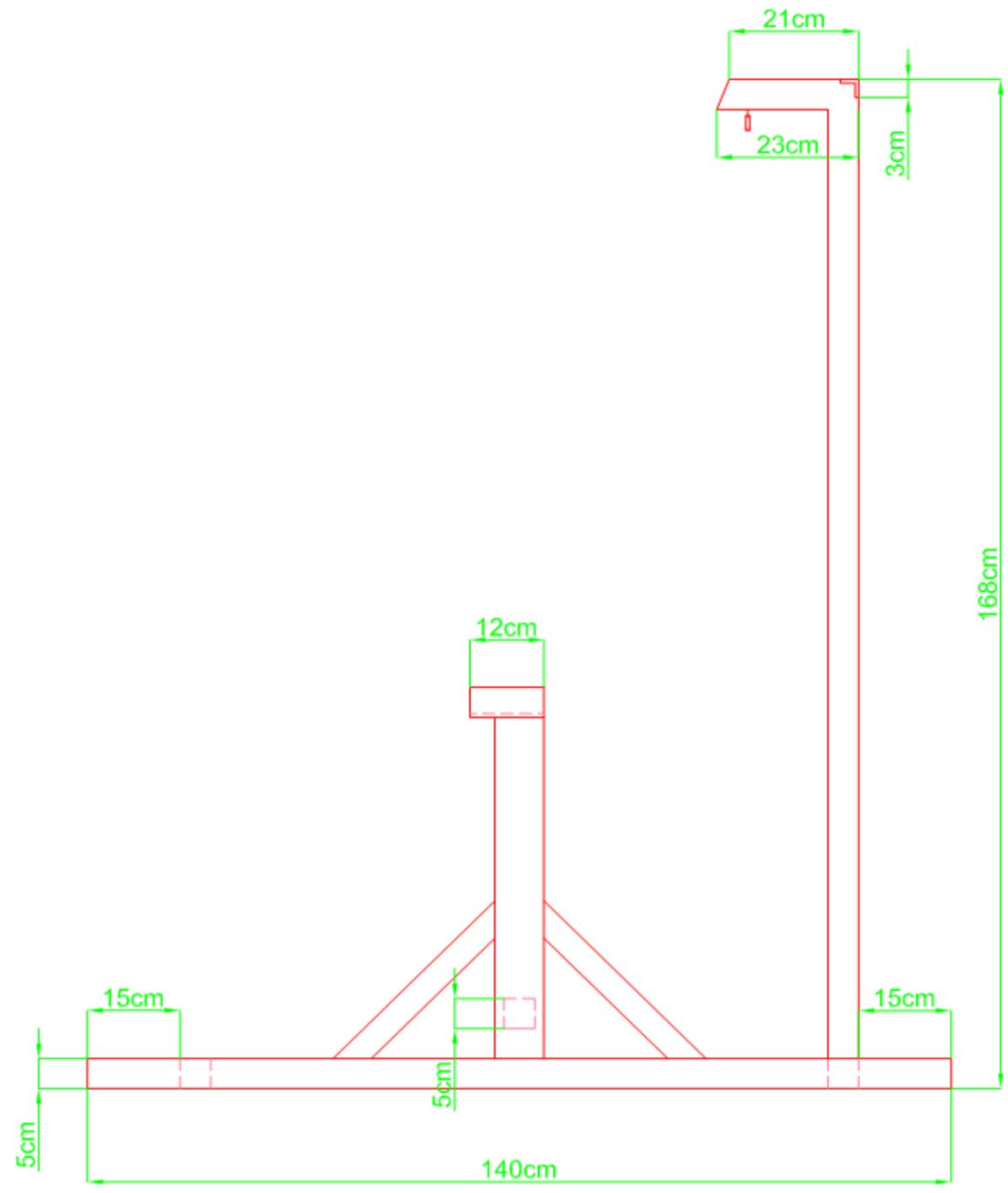
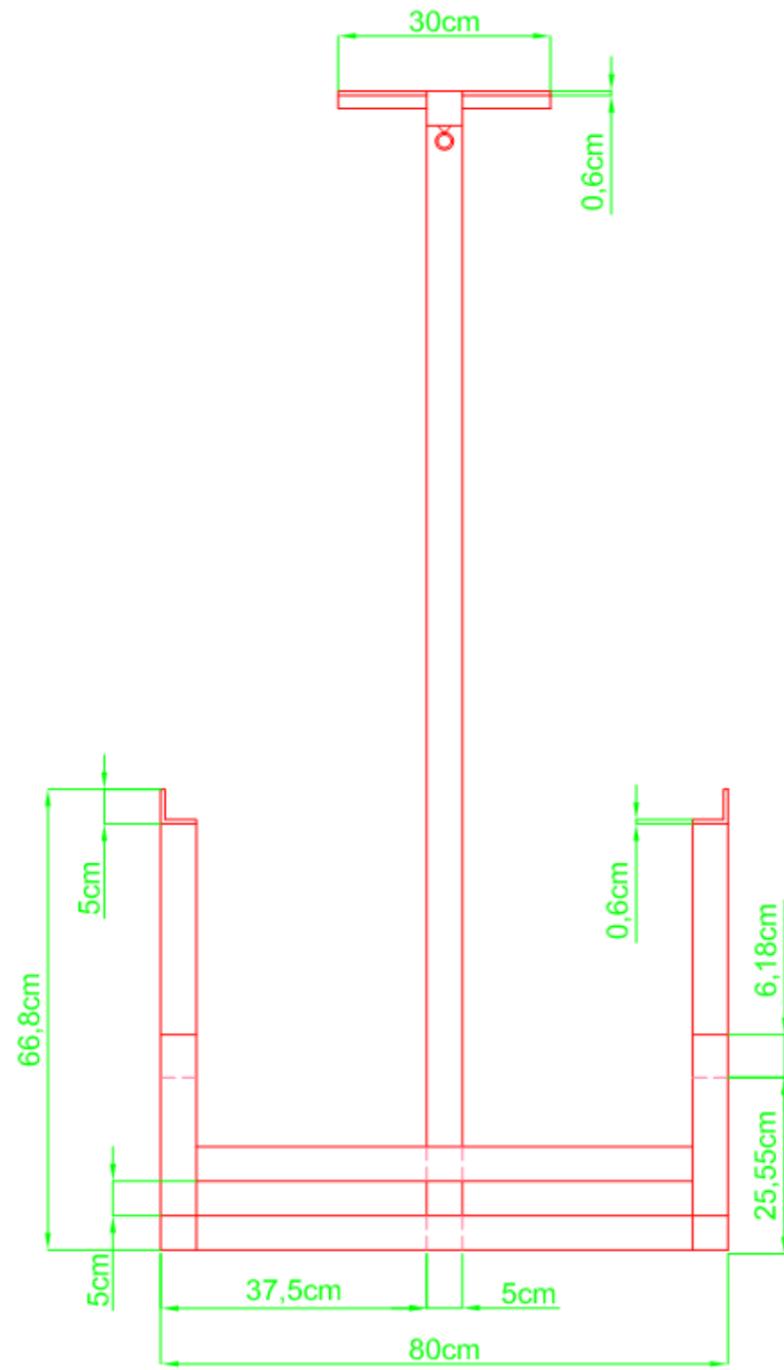
NOTA	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por certificar</td> <td><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Aprobado</td> <td><input type="checkbox"/> Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: Viviana Lara Diego Mestanza</p>	CRISOL		
<input type="checkbox"/> Por certificar		<input type="checkbox"/> Por eliminar									
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información										
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar										
	Lamina 02	Escala 1:3	Fecha 2012/01/12								

ANEXO 3



NOTA	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	TAPA DEL HORNO		
	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado	REALIZADO POR: Viviana Lara Diego Mestanza	Lamina 03	Escala 1:2,5	Fecha 2012/01/12
	<input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por calificar				

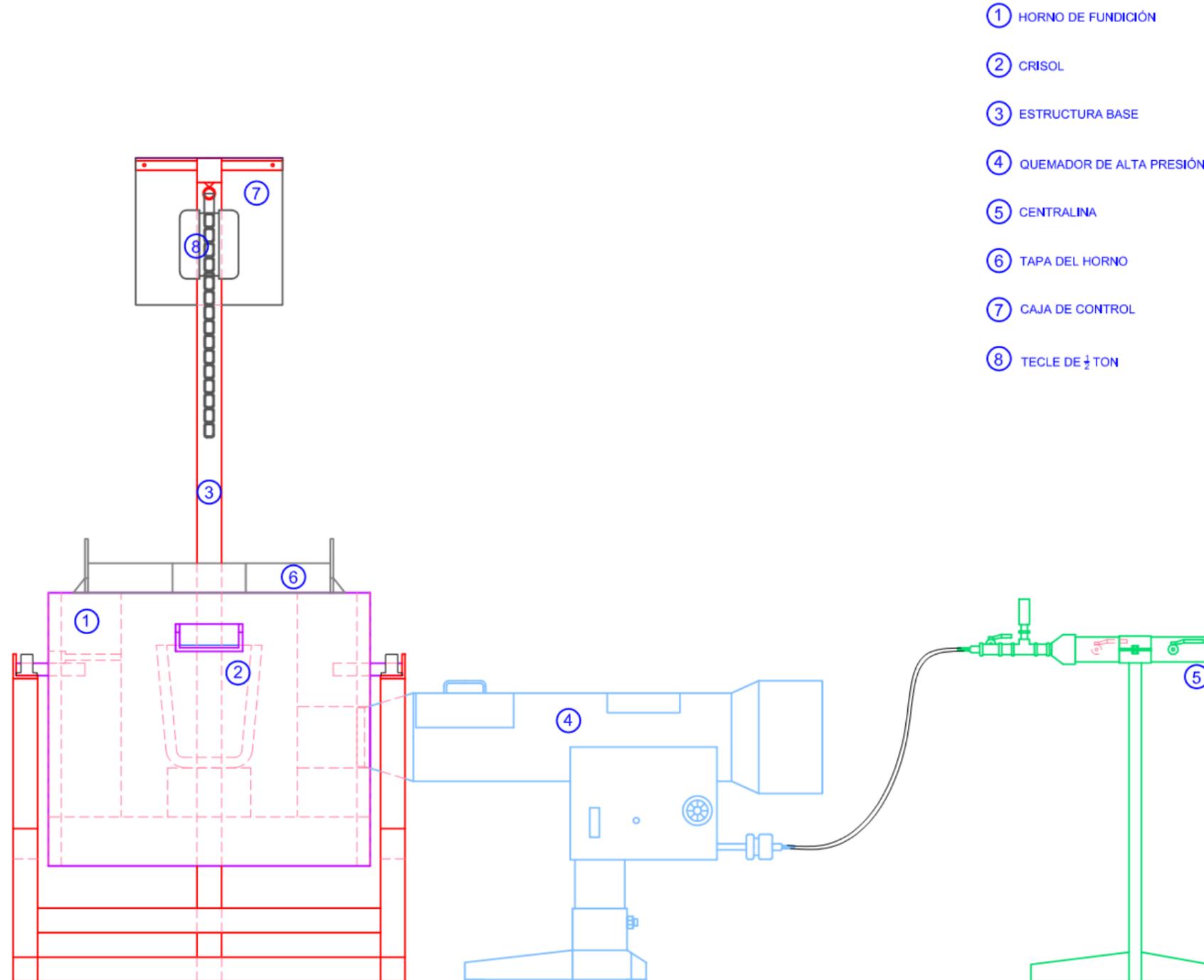
ANEXO 4



-  50 mm x 50 mm x 2mm (tubo)
-  80 mm x 50 mm x 1,5mm (tubo)

NOTA	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Viviana Lara Diego Mestanza	ESTRUCTURA BASE		
	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar		Lamina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	04	1:10	2012/01/12	
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar				

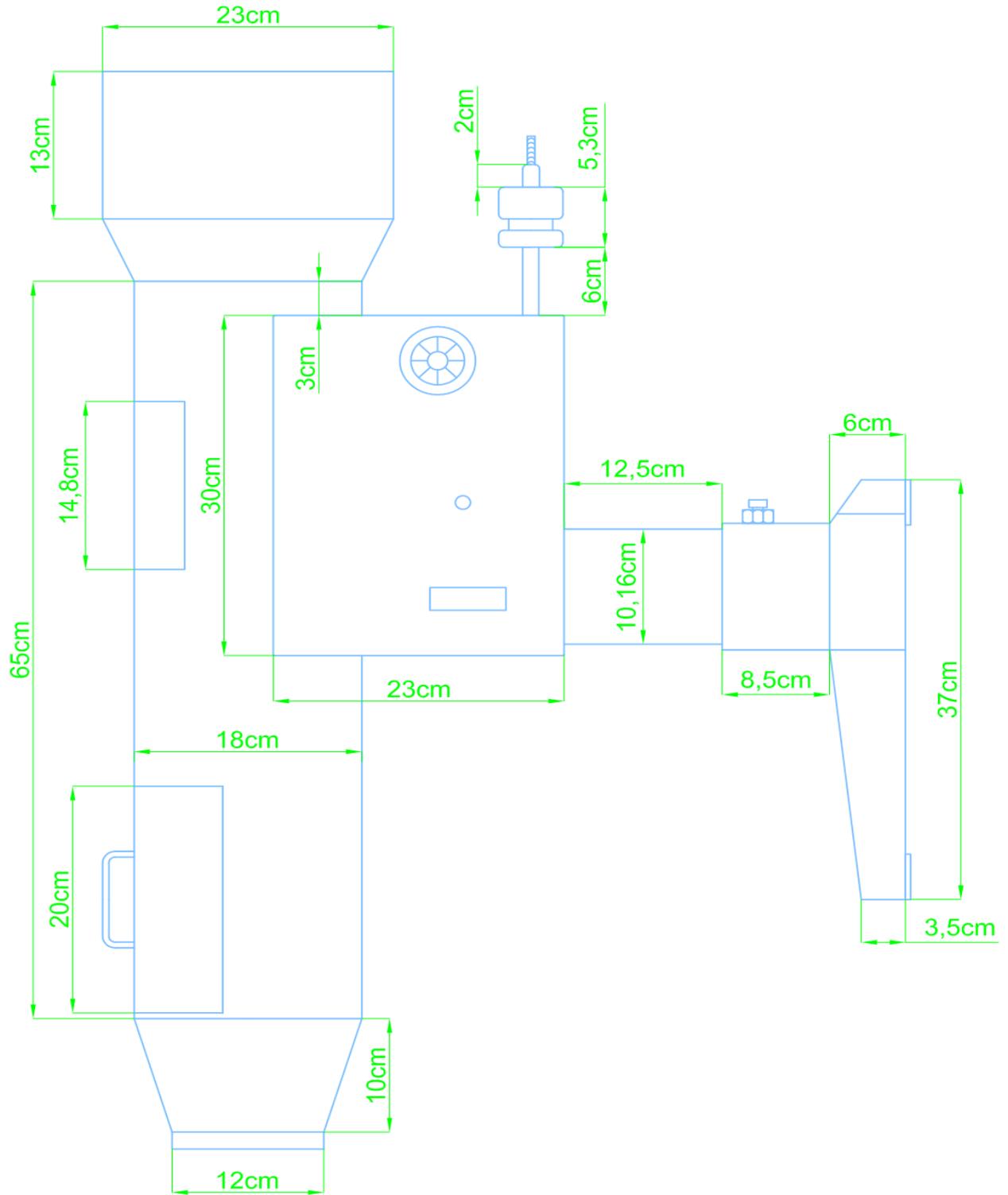
ANEXO 5



- ① HORNO DE FUNDICIÓN
- ② CRISOL
- ③ ESTRUCTURA BASE
- ④ QUEMADOR DE ALTA PRESIÓN
- ⑤ CENTRALINA
- ⑥ TAPA DEL HORNO
- ⑦ CAJA DE CONTROL
- ⑧ TECLE DE $\frac{1}{2}$ TON

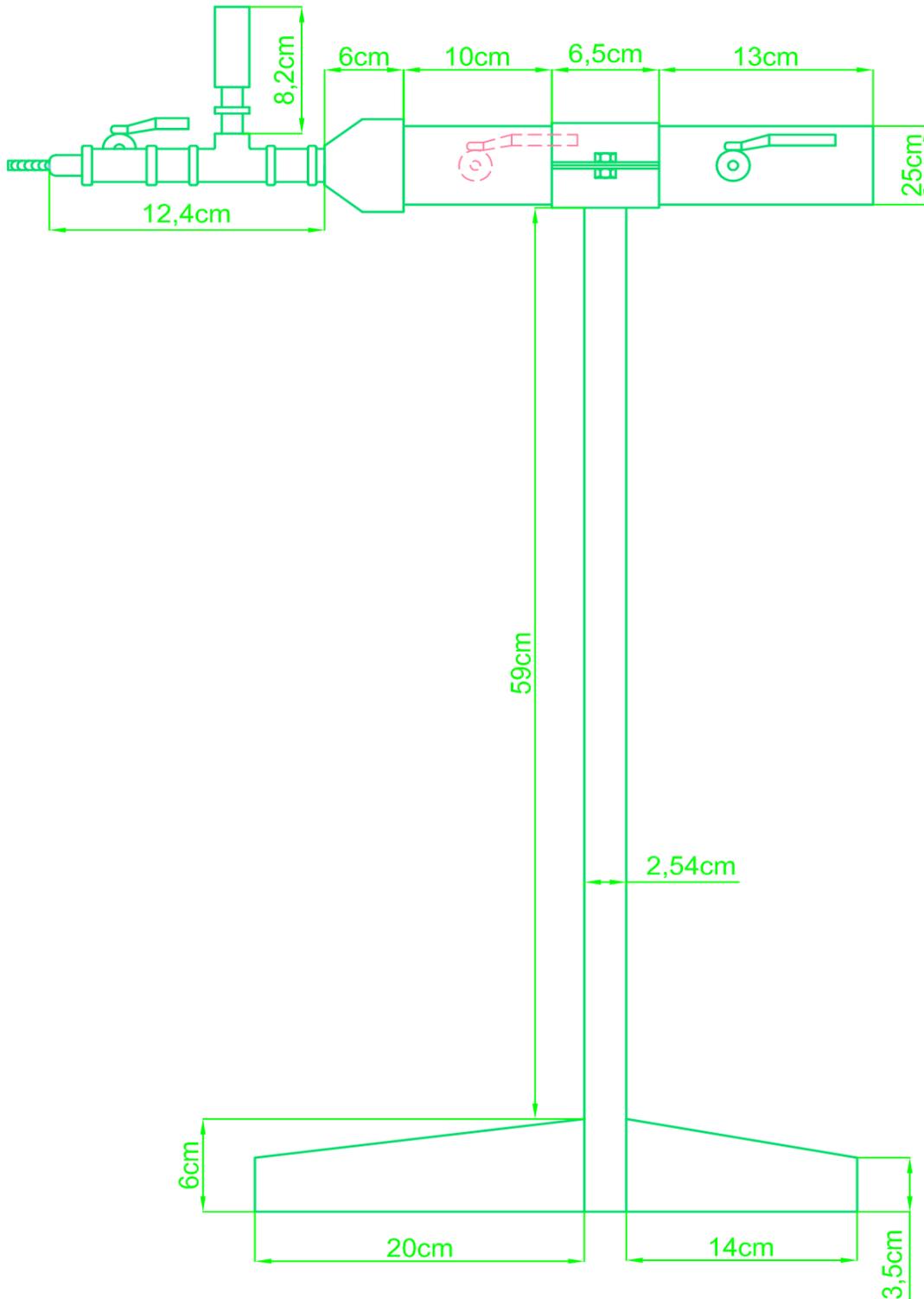
NOTA	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA			CONJUNTO		
	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	REALIZADO POR: Vilma Lara Diego Mestanza			Lamina 05	Escala 1:10	Fecha 2012/01/12
	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información						
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar						

ANEXO 6



NOTA	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por certificar</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por eliminar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Para información</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Aprobado</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Por certificar	<input type="checkbox"/>	Por eliminar	<input type="checkbox"/>	Por aprobar	<input type="checkbox"/>	Para información	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Por calificar	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: Viviana Lara Diego Mestanza</p>	<p>QUEMADOR DE ALTA PRESIÓN</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1193 2051 1315 2098">Lamina 06</td> <td data-bbox="1315 2051 1417 2098">Escala 1:5</td> <td data-bbox="1417 2051 1546 2098">Fecha 2012/01/12</td> </tr> </table>	Lamina 06	Escala 1:5	Fecha 2012/01/12
<input type="checkbox"/>	Por certificar	<input type="checkbox"/>	Por eliminar															
<input type="checkbox"/>	Por aprobar	<input type="checkbox"/>	Para información															
<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Por calificar															
Lamina 06	Escala 1:5	Fecha 2012/01/12																

ANEXO 7



NOTA	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por certificar</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por eliminar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Para información</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Aprobado</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Por certificar	<input type="checkbox"/>	Por eliminar	<input type="checkbox"/>	Por aprobar	<input type="checkbox"/>	Para información	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Por calificar	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: Viviana Lara Diego Mestanza</p>	<p>CENTRALINA DE GAS</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1171 2074 1283 2112">Lamina 01</td> <td data-bbox="1283 2074 1382 2112">Escala 1:2,5</td> <td data-bbox="1382 2074 1492 2112">Fecha 2012/01/12</td> </tr> </table>	Lamina 01	Escala 1:2,5	Fecha 2012/01/12
<input type="checkbox"/>	Por certificar	<input type="checkbox"/>	Por eliminar															
<input type="checkbox"/>	Por aprobar	<input type="checkbox"/>	Para información															
<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Por calificar															
Lamina 01	Escala 1:2,5	Fecha 2012/01/12																

ANEXO 8

ENSAMBLAJE DEL HORNO



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	ENSAMBLAJE DEL HORNO								
a) Estructura Metálica b) Pared refractaria	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por certificar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Aprobado</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar	REALIZADO POR: Diego Mestanza Viviana Lara	Lámina 08	Escala	Fecha 2012/01/22
<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar										
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información										
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar										

ANEXO 9

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO		
a) Manta Cerámica b) Chapa Metálica	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	REALIZADO POR: Diego Mestanza Viviana Lara	Lámina 09	Escala	Fecha 2012/01/22

ANEXO 10

QUEMADOR Y CENTRALINA



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	QUEMADOR Y CENTRALINA								
a) Quemador b) Centralina	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por certificar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Aprobado</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar	REALIZADO POR: Diego Mestanza Viviana Lara	Lámina 10	Escala	Fecha 2012/01/22
<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar										
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información										
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar										

ANEXO 11

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Diego Mestanza Viviana Lara	SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA		
a) Indicador b) Termocupla			<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	Lámina 11	Escala

ANEXO 12

HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO		
a y b) Horno de Fundición de Aluminio	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	REALIZADO POR: Diego Mestanza Viviana Lara	Lámina 12	Escala	Fecha 2012/01/22

ANEXO 13

FUNDICIÓN DE ALUMINIO



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	FUNDICIÓN DE ALUMINIO								
a) Aluminio Fundido b) Producto	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por certificar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Aprobado</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar	REALIZADO POR: Diego Mestanza Viviana Lara	Lámina 13	Escala	Fecha 2012/01/22
<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar										
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información										
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar										

ANEXO 14

MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO DE COMBUSTION INDUSTRIAL PARA FUNDIR ALUMINIO

PROCEDIMIENTO PARA ARRANQUE SEGURO DEL QUEMADOR

- Revisar que todas las válvulas se encuentren cerradas.
- Conectar la centralina a sus respectivos cilindros de gas.
- Conectar el quemador y el indicador de temperatura a una fuente de suministro de energía de 110 voltios.
- Abrir la válvula proveniente de un cilindro.
- Abrir la válvula de salida de la centralina
- Activar la electro válvula del quemador.
- Mantener abierta la cámara de encendido
- Con cuidado proceder a abrir la válvula del quemador levemente y presionar el botón de encendido.
- Ubicar el quemador en la cámara de ingreso de calor del horno.
- Con cuidado ir abriendo la válvula del quemador hasta alcanzar la máxima potencia.
- Cerrar la cámara de encendido.

PROCEDIMIENTO PARA FUNDIR ALUMINIO

- Pesar 16 kg de perfiles de aluminio.
- Calentar el horno a 600 °C
- Agregar las cargas de aluminio a medida que este es fundido.
- Una vez terminada las cargas. Calentar la cuchara en la chimenea del horno.
- Esperar que el horno llegue a 900°C y que el aluminio muestre características de colado.
- Apagar el quemador.
- Ubicar la cuchara o los moldes para la recepción del aluminio.
- Utilizando el tecele con cuidado voltear el horno y vaciar el aluminio
- Dejar enfriar los moldes, luego sacar el aluminio y pesar tanto el aluminio como la escoria