



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL
ALUMINIO EN EL HORNO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
COTOPAXI**

Protocolo previo a la obtención del título de Magister en Electromecánica

Autor:

José Williams Morales Cevallos

Tutor:

Mg. Cristian Fabian Gallardo Molina

LATACUNGA – ECUADOR

2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación denominado “Análisis energético en el proceso de fundición del aluminio en el horno del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi” presentado por “Morales Cevallos José Williams”, para optar por el título magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, noviembre, 08, 2021



Mg. Cristian Fabian Gallardo Molina

C.C.: 050284769-2

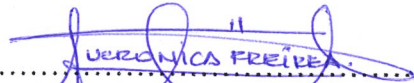
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Análisis energético en el proceso de fundición del aluminio en el horno del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, noviembre, 29, 2021



.....
PhD. Enrique Torres Tamayo
C.C.: 175712194-0
Presidente del tribunal



.....
MSc. Freire Andrade Verónica Paulina
C.C.: 050205622-9
Lector 2



.....
MSc. Corrales Bastidas Byron Paúl
C.C.: 050234776-8
Lector 3

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por bendecirme y cuidarme día a día. A mi esposa Rosmecita, por el apoyo incondicional y la paciencia que me ha brindado durante la carrera profesional. El tiempo con la familia no se negocia y soy afortunado de sentir su hombro junto al mío.

A mi madre, su ejemplo nos motiva a capacitarnos constantemente.

A mi padre, que me ve desde arriba y no me suelta la mano. En sus palabras: Dios, en vos confío.

José Morales

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la universidad pública y hago un compromiso por la educación de calidad para el desarrollo sostenible de mi ciudad y mi provincia. Y a todos los partícipes en la elaboración del presente proyecto, desde la idea inicial hasta el último ajuste de tornillos.

José Morales

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre, 08, 2021



.....
José Williams Morales Cevallos
C.C.: 050267542-4

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 08, 2021

A handwritten signature in blue ink, enclosed in an oval shape. The signature appears to read "JOSE WILLIAMS MORALES CEVALLOS".

.....
José Williams Morales Cevallos
C.C.: 050267542-4



AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Análisis energético en el proceso de fundición del aluminio en el horno del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre, 08, 2021

.....
PhD. Enrique Torres Tamayo
C.C.: 175712194-0

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Análisis energético en el proceso de fundición del aluminio en el horno del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi.

Autor: José Williams Morales Cevallos
Tutor: Mg. Cristian Fabian Gallardo Molina

RESUMEN

El presente proyecto de investigación consistió en analizar las pérdidas de calor en el proceso de fundición del aluminio utilizando dos hornos de crisol de diferente tipo de material refractario, estos hornos presentan dimensiones, capacidad y fuente calorífica igual, el primer horno de crisol fue diseñado en sus tres paredes laterales y una pared tipo techo con ladrillo rojo como aislante térmico y una cubierta metálica, tiene una abertura de $0,25 \text{ m}^2$, es decir una pared lateral abierta, para lo cual requiere una cantidad de $38,016 \text{ kW}$ para realizar el proceso de fundición del aluminio, considerando las pérdidas de calor por conducción de 8256 W , por convección $195,44 \text{ W}$ y por abertura $18,65 \text{ kW}$ generando una pérdida total de $27,136 \text{ kW}$, este horno funde 7 kg de aluminio en un tiempo de 20 minutos, por lo que el calor suministrado por el horno es de $66,66 \text{ kW}$ dando un rendimiento del $42,97 \%$, mientras tanto, el horno de crisol N. 2 presenta en sus 3 paredes laterales y una pared tipo techo dos recubrimientos de ladrillo refractario que en su mitad contiene una capa de manta cerámica, adicional en la cuarta pared lateral se implementó una compuerta de metal, dando como resultados que se necesita la cantidad de calor de $14,69 \text{ W}$ para fundir 7 kg de aluminio en donde las pérdidas por conducción son de $2915,03 \text{ W}$ y las pérdidas por convección son de $131,11 \text{ W}$, las pérdidas por abertura son despreciables y el horno de crisol suministra $74,07 \text{ kW}$ de energía calorífica a un tiempo de fundición de 18 minutos, dando como resultado un rendimiento del $80,16 \%$.

PALABRAS CLAVE: Material refractario, aluminio, horno de crisol, pérdidas de calor y energía calorífica.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Title: Energy analysis in the aluminum smelting process in the furnace of the “Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi”

Author: José Williams Morales Cevallos

Tutor: Mg. Cristian Fabian Gallardo Molina


ABSTRACT

The following research project consisted in analyzing heat losses in the aluminum smelting process using two crucible furnaces of different types of refractory material. These furnaces have the same dimensions, capacity, and heat source. The first crucible furnace was designed in its three sidewalls and a roof-type wall with red brick as thermal insulation and a metal roof it has an opening of 0.25 m², that is to say an open side wall, for which it requires an amount of 38.016 kW to carry out the aluminum smelting process, considering the conduction heat losses of 8256 W, by convection 195.44 W and per opening 18.65 kW generating a total loss of 27.136 kW. This furnace melts 7 kg of aluminum in a time of 20 minutes, so the heat supplied by the furnace is 66.66 kW performing 42.97%, meanwhile, the crucible furnace No. 2 presents in its Three side walls and a ceiling-like wall, two refractory brick linings that contain a layer of a ceramic blanket in the middle. In addition; a metal gate was implemented, in the fourth side wall resulting in the need for the amount of heat of 14.69 W to melt 7 kg of aluminum, where the conduction losses are 2915.03 W and the losses due to convection are 131.11 W, the opening losses are negligible and the crucible furnace supplies 74.07 kW of heat energy at a melting time of 18 minutes, resulting in an efficiency of 80.16%.

KEYWORDS: Refractory material, aluminum, crucible furnace, heat losses and heat energy.

Marcia Janeth Chiluisa Chiluisa con cédula de identidad número: 0502214307. Magister en: Docencia Universitaria y administración Educativa con número de registro de la SENESCYT: 1045-07-665429; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Análisis energético en el proceso de fundición del aluminio en el horno del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi. de: José Williams Morales Cevallos aspirante a Magister en Electromecánica.

Latacunga, diciembre, 07, 2021


Marcia Janeth Chiluisa Chhiluisa
0502214307



CENTRO
DE IDIOMAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del Problema	1
Formulación del problema.....	3
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Sistema de tareas en relación con los objetivos específicos.....	4
Justificación.....	6
Hipótesis.....	7
1. CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
1.1. Introducción y objetivo del capítulo.....	8
1.2. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte.....	8
1.3. Fundamentación Teórica	10
1.3.1. Fundición de metales.....	10
1.3.2. Características del aluminio	11
1.3.2.1. El aluminio en la industria.....	13
1.3.2.2. Reciclaje del aluminio	14
1.3.2.3. Fusión del aluminio con otros metales	15
1.3.2.4. Aluminio en la construcción	17
1.3.3. Proceso de función del aluminio.....	17
1.3.4. Hornos de fundición de metales.....	20
1.3.4.1. Alto horno	20
1.3.4.2. Hornos de arco eléctrico	21
1.3.4.3. Horno de resistencia.....	22
1.3.4.4. Hornos de inducción	22
1.3.4.5. Horno de cubilote.....	23
1.3.4.6. Horno de crisol.....	24
1.3.5. Fuentes de calor de hornos.....	25
1.3.5.1. Medición de temperatura en hornos.....	27
1.3.6. Análisis Térmico	27

1.3.7.	Balance energético	28
1.3.7.1.	Transferencia de calor.....	29
1.3.7.2.	Aislantes y barreras de radiación.....	30
1.3.8.	Simulación del proceso de fundición	30
1.4.	Conclusiones	31
2.	CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.1.	Introducción y objeto del capítulo.....	33
2.2.	Descripción técnica del horno de fundición de aluminio N. 1	33
2.2.1.	Expresiones térmicas aplicadas en la fundición de aluminio N. 1	34
2.2.1.1.	Cantidad de calor requerido.....	34
2.2.1.2.	Cantidad de calor entregado al aluminio	35
2.2.1.3.	Cantidad de calor absorbido por el crisol	37
2.2.1.4.	Cantidad de calor requerido para la fundición del aluminio.....	38
2.2.1.5.	Cantidad de calor perdido.....	38
2.2.1.6.	Coefficiente de transferencia de calor por convección	39
2.2.1.7.	Pérdida de calor por transferencia y aberturas.....	42
2.2.1.8.	Energía total en el horno de fundición de aluminio N. 1.....	45
2.2.1.9.	Cantidad de calor suministrado.....	46
2.2.1.10.	Rendimiento del horno de fundición N. 1.....	47
2.2.2.	Temperatura nodal en el horno de crisol N. 1.....	47
2.3.	Descripción técnica del horno de fundición de aluminio N. 2	48
2.3.1.	Expresiones térmicas aplicadas en la fundición de aluminio N. 2.....	51
2.3.1.1.	Calor requerido	51
2.3.1.2.	Calor suministrado al aluminio.....	52
2.3.1.3.	Calor que absorbe el crisol.....	52
2.3.1.4.	Calor que requiere el crisol y el aluminio.....	53
2.3.1.5.	Cantidad de calor perdido	53
2.3.1.6.	Coefficiente de transferencia de calor por convección para horno N. 2	55
2.3.1.7.	Pérdida de calor por transferencia de las paredes del horno.....	56
2.3.1.8.	Pérdida de calor por transferencia de la puerta del horno.....	60

2.3.1.9.	Energía total en el horno de fundición de aluminio N. 2.....	64
2.3.1.10.	Cantidad de calor suministrado.....	65
2.3.1.11.	Rendimiento del horno de fundición N. 2.....	65
2.3.2.	Temperatura nodal en el horno de crisol N. 2.....	66
2.4.	Conclusiones	68
3.	CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
3.1.	Introducción y objeto del capítulo.....	69
3.2.	Análisis de los resultados	69
3.2.1.	Cantidad de calor requerido por el aluminio.....	72
3.2.1.1.	Horno de fundición N. 1 (Calor aluminio)	72
3.2.1.2.	Horno de fundición N. 2 (Calor del aluminio).....	72
3.2.1.3.	Análisis del calor requerido	72
3.2.2.	Cantidad de calor requerido por el crisol	73
3.2.2.1.	Horno de fundición N. 1 (Calor en el crisol)	73
3.2.2.2.	Horno de fundición N. 2 (Calor en el crisol)	73
3.2.2.3.	Análisis del calor requerido	74
3.2.3.	Cantidad de calor para la fundición de aluminio	74
3.2.3.1.	Análisis de la cantidad de calor para la fundición del aluminio	75
3.2.4.	Pérdidas de calor por conducción	75
3.2.4.1.	Horno de fundición N. 1 (Pérdidas por conducción).....	75
3.2.4.2.	Horno de fundición N. 2 (Pérdidas por conducción).....	76
3.2.5.	Pérdidas de calor por convección.....	76
3.2.5.1.	Horno de fundición N. 1 (Pérdidas por convección)	76
3.2.5.2.	Horno de fundición N. 2 (Pérdidas por convección)	77
3.2.6.	Pérdidas de calor por abertura.....	77
3.2.7.	Pérdidas total de calor	77
3.2.7.1.	Horno de fundición N. 1 (Pérdidas totales)	77
3.2.7.2.	Horno de fundición N. 2 (Pérdidas totales)	78
3.2.7.3.	Análisis de las pérdidas totales	78
3.2.8.	Energía total para la fundición de aluminio	79
3.2.8.1.	Horno de fundición N. 1 (Energía total requerida).....	79

3.2.8.2.	Horno de fundición N. 2 (Energía total requerida).....	79
3.2.8.3.	Análisis de la energía total requerida.....	79
3.2.9.	Cantidad de calor suministrado por la fuente calorífica	80
3.2.9.1.	Horno de fundición N. 1 (Calor suministrado).....	80
3.2.9.2.	Horno de fundición N. 2 (Calor suministrado).....	80
3.2.9.3.	Análisis del calor suministrado por los hornos.....	81
3.2.10.	Rendimiento.....	82
3.2.10.1.	Horno de fundición N. 1 (Rendimiento).....	82
3.2.10.2.	Horno de fundición N. 2 (Rendimiento).....	82
3.2.10.3.	Análisis de las pérdidas totales	82
3.2.11.	Análisis por software.....	83
3.3.	Valoraciones de la investigación	85
3.3.1.	Valoración técnica.....	85
3.3.2.	Valoración ambiental y económica.....	85
3.3.3.	Valoración social.....	85
3.4.	Conclusiones de capítulo III.....	86
4.	CONCLUSIONES GENERALES.....	87
5.	RECOMENDACIONES.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características físicas del aluminio	12
Tabla 1.2 Características mecánicas del aluminio	12
Tabla 1.3 Aleaciones de aluminio con otros metales	15
Tabla 1.4 Poder calorífico de los tipos de combustible	26
Tabla 2.1 Características del horno para la fundición de aluminio	34
Tabla 2.2 Propiedades del aire a la temperatura de película	40
Tabla 2.3 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción	43
Tabla 2.4 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción	44
Tabla 2.5 Características del horno para la fundición de aluminio N. 2	49
Tabla 2.6 Elementos del sistema de control	50
Tabla 2.7 Propiedades del aire a la temperatura de película	55
Tabla 2.8 Datos para determinar la pérdida de calor por conducción	58
Tabla 2.9 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción	59
Tabla 2.10 Propiedades del aire a la temperatura de película de la cubierta metálica	61
Tabla 2.11 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción	64
Tabla 3.1 Descripción de los resultados obtenidos del horno de fundición N. 1	70
Tabla 3.2 Descripción de los resultados obtenidos del horno de fundición N. 2	71
Tabla 3.3 Descripción del calor requerido por el aluminio en el horno N. 1	72
Tabla 3.4 Descripción del calor requerido por el aluminio en el horno N. 2	72
Tabla 3.5 Descripción del calor requerido por el crisol en el horno N. 1	73
Tabla 3.6 Descripción del calor requerido por el crisol en el horno N. 2	74
Tabla 3.7 Datos obtenidos para la fundición del aluminio	75
Tabla 3.8 Datos obtenidos de la pérdida de calor por convección en el horno N. 1 ..	76
Tabla 3.9 Datos obtenidos de la pérdida de calor por convección en el horno N. 2 ..	76
Tabla 3.10 Datos obtenidos de la pérdida de calor por conducción en el horno N. 1	76
Tabla 3.11 Datos obtenidos de la pérdida de calor por conducción en el horno N. 2	77
Tabla 3.12 Datos obtenidos de la pérdida de calor por conducción en el horno N. 1	77

Tabla 3.13	Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 1	78
Tabla 3.14	Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 2	78
Tabla 3.15	Datos obtenidos de la energía total requerida en el horno N. 1	79
Tabla 3.16	Datos obtenidos de la energía total requerida en el horno N. 2	79
Tabla 3.17	Datos obtenidos de la cantidad de calor que suministra el horno N. 1	80
Tabla 3.18	Datos obtenidos de la cantidad de calor que suministra el horno N. 2	81
Tabla 3.19	Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 1	82
Tabla 3.20	Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 2	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fundición de metales	11
Figura 1.2 Aluminio estado natural.....	12
Figura 1.3 Mecanizado de metales.....	13
Figura 1.4 Reciclaje del aluminio	14
Figura 1.5 Aluminio en la construcción.....	17
Figura 1.6 Etapas del proceso de fundición del aluminio	18
Figura 1.7 Alto horno para fundición de metales.....	21
Figura 1.8 Horno de arco eléctrico para la fundición de metales	21
Figura 1.9 Horno de resistencias eléctricas para la fundición de metales.....	22
Figura 1.10 Horno de inducción para fundición de metales	23
Figura 1.11 Horno de inducción para fundición de metales	24
Figura 1.12 Horno de crisol	24
Figura 1.13 Fuente de calor eléctrica	25
Figura 1.14 Fuente de calor por combustible.....	26
Figura 1.15 Tipos de controladores de temperatura.....	27
Figura 1.16 Análisis térmico en sistemas computacionales.....	28
Figura 1.17 Tipo de transferencia de calor	30
Figura 2.1 Horno para fundición de aluminio N. 1	33
Figura 2.2 Perfil de temperaturas en el interior del horno N. 1	38
Figura 2.3 Resistencias térmicas en el horno N. 1	39
Figura 2.4 Balance de energía en el horno.....	46
Figura 2.5 Mallado del material aislante en el horno N. 1	48
Figura 2.6 Distribución de temperatura en el horno N. 1	48
Figura 2.7 Horno para fundición de aluminio N. 1	49
Figura 2.8 Crisol utilizado en el horno de fundición N. 2	53
Figura 2.9 Perfil de temperaturas en el interior del horno N. 2	54
Figura 2.10 Resistencias térmicas en el horno N. 2.....	54

Figura 2.11 Ladrillo refractario 1 y 2.....	57
Figura 2.12 Manta cerámica.....	58
Figura 2.13 Perfil de temperaturas en la puerta del horno N. 2.....	60
Figura 2.14 Resistencias térmicas en la puerta del horno N. 2.....	61
Figura 2.15 Cubierta metálica como puerta del horno N. 2.....	63
Figura 2.16 Separación de los 3 tipos de materiales refractarios del horno N. 2.....	67
Figura 2.17 Distribución de temperatura en el horno N. 2.....	67
Figura 3.1 Cantidad de calor requerido por el aluminio.....	73
Figura 3.2 Cantidad de calor requerido por el crisol.....	74
Figura 3.3 Cantidad de calor para fundir aluminio.....	75
Figura 3.4 Pérdida total de calor.....	78
Figura 3.5 Energía total requerida.....	80
Figura 3.6 Calor suministrado por los hornos.....	81
Figura 3.7 Rendimiento.....	83
Figura 3.8 Temperatura nodal en el horno de crisol N. 1.....	84
Figura 3.9 Temperatura nodal en el horno de crisol N. 2.....	84

INTRODUCCIÓN

Antecedentes: El proyecto de investigación se presenta en la Línea de Investigación #4 de la Universidad Técnica de Cotopaxi nombrada Procesos Industriales y a la Sublínea de Investigación #3 de la Maestría en Electromecánica denominada Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánicos y Uso de Fuentes Renovables de Energía.

Planteamiento del Problema

El aluminio siendo un elemento químico y un metal no ferroso, tiene ciertas propiedades que lo hacen útil en el sector de la ingeniería electromecánica, tales como su alta resistencia a la corrosión y su baja densidad.

Su fundición es un proceso de suma importancia dentro de la parte de la manufactura, ya que se pueden fabricar piezas de difícil construcción, y con la medida exacta demandada, en medio de una fase exhaustiva de producción. La temperatura es la principal variable que incide directamente sobre la fundición del aluminio, su punto de fusión es de 660 °C y para realizar este proceso se utilizan hornos de crisol.

Actualmente en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, en el laboratorio de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica existe un horno de crisol, utilizado por los estudiantes y docentes de la Institución para generar materia prima que será destinada a los procesos de mecanizado y el análisis de los procesos de tecnología de materiales para la elaboración de prácticas de laboratorio en la fundición de materiales, específicamente el aluminio.

Este horno de crisol presenta en sus 3 paredes laterales y un pared tipo techo superior ladrillo rojo y una cubierta metálica como aislantes térmicos, adicional posee una pared lateral abierta, por todo lo antes mencionado, este horno tiende a tener pérdidas excesivas de calor, en su reconstrucción se retiró todo ese material aislante para colocar material refractario y una capa de manta cerámica, adicional se implementó un pared tipo puerta metálica, con el objetivo de reducir las pérdidas de calor y mejorar su rendimiento, para lo cual se considera en el desarrollo de un análisis comparativo entre estos dos tipos de hornos.

En el proceso de fundición del aluminio utilizando hornos de crisol se pueden detectar varias causas y subcausas de relevancia, las cuales se representan por medio del diagrama de Ishikawa.

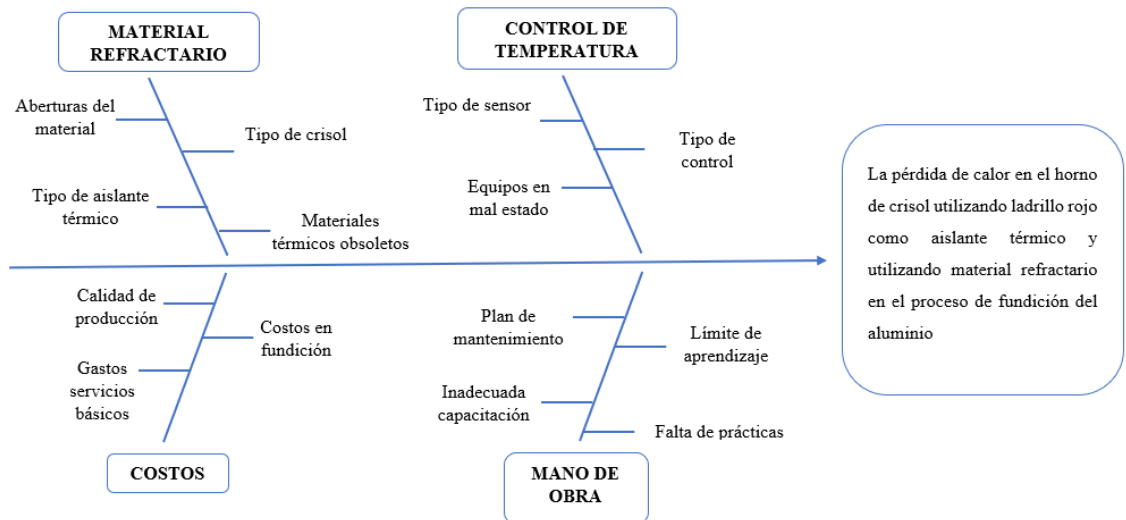


Figura 1 Diagrama de Ishikawa

La mano de obra en el proceso de fundición del aluminio presenta algunas subcausas como la inexistencia de un plan de mantenimiento, la falta de un plan de capacitación centrado en los procesos de metalurgia, esto conlleva a un límite de aprendizaje. En los costos que genera el proceso de fundición del aluminio se presentan varios detalles como la calidad del aluminio en relación al reciclaje, los gastos por la energía calorífica que es reflejada en función de la fuente generadora de calor que es el carbón vegetal.

El control de temperatura puede presentar equipos de control o instrumentos como sensores en mal estado lo que conlleva a una inestabilidad del valor de temperatura para realizar el proceso de fundición del aluminio.

Finalmente, el material refractario es la última causa principal en donde radican los tipos de aislantes térmicos que se utilizan en las paredes del horno, el tipo de crisol, las diferentes aberturas del material que inciden con las pérdidas de calor en el horno de crisol.

Variables del proceso

Las variables de estudio en la presente investigación se determinan según la relación de dependencia, variable independiente y variable dependiente. Los indicadores de estudio son los siguientes.

Tabla 1 Variables del proceso

Variable Independiente: Material Refractario			
Concepto	Categoría	Ítem	Instrumentos
Propiedad de ciertos materiales para resistir altas temperaturas sin descomponerse.	Conductividad térmica	W/m.K	Datos técnicos
	Temperatura	°C	Termocupla
	Espesor	mm	Flexómetro
Variable Dependiente: Pérdidas de calor en el horno de crisol			
Concepto	Categoría	Ítem	Instrumentos
Cantidad de calor que se pierde debido a una transferencia por conducción, convección o radiación.	Transferencia de calor	W	Ecuación
	Rendimiento térmico	%	Ecuación
	Dimensión de la cámara de combustión	m	Flexómetro
	Aberturas del horno	m	Flexómetro

Formulación del problema

La pérdida de calor en el horno de crisol utilizando ladrillo rojo como aislante térmico y utilizando material refractario en el proceso de fundición del aluminio.

Objeto de estudio

Análisis de las pérdidas de calor en el proceso de fundición del aluminio.

Campo de acción

330000 Ciencias Tecnológicas

- 3315 Tecnología metalúrgica: 331501 Aluminio
- 3311 Tecnología de la Instrumentación: 331105 Equipos Eléctricos de control
- 3316 Tecnología de productos Metálicos: 331605 Hornos
- 3328 Procesos Tecnológicos: 332818 Transferencia de calor

Objetivo General

Analizar las pérdidas de calor en el proceso de fundición del aluminio en el horno de crisol del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi utilizando diferentes tipos de material refractario aislante.

Objetivos Específicos

- Comprender el comportamiento térmico del proceso de fundición del aluminio mediante un recopilación de información en fuentes de relevancia para establecer parámetros de operación.
- Determinar la cantidad de calor que se pierde y el rendimiento térmico utilizando expresiones matemáticas en el proceso de fundición del aluminio en los hornos de crisol.
- Comparar los resultados térmicos del horno de crisol que utiliza ladrillo rojo como material refractario con el horno de crisol que utiliza ladrillo refractario y una cubierta de manta cerámica para la fundición de aluminio.
- Verificar la distribución de la temperatura en los dos hornos de crisol para visualizar las pérdidas de calor en el proceso de fundición del aluminio.

Sistema de tareas en relación con los objetivos específicos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MÉTODOS-TÉCNICAS
Objetivo 1: Comprender el comportamiento térmico del proceso de fundición	Recopilación de información acerca del proceso de fundición del aluminio	Conocimiento actual del proceso de fundición del aluminio	Investigación bibliográfica

del aluminio mediante un recopilación de información en fuentes de relevancia para establecer parámetros de operación.	Caracterización del horno de crisol de la Institución y levantamiento de información al personal encargado en el proceso de fundición	Diagnóstico del funcionamiento del horno de crisol del Instituto	Investigación bibliográfica y de campo
<p>Objetivo 2:</p> <p>Determinar la cantidad de calor que se pierde y el rendimiento térmico utilizando expresiones matemáticas en el proceso de fundición del aluminio en los hornos de crisol.</p>	Toma de tiempos y variables térmicas del proceso de fundición del aluminio	Estandarización de los tiempos y variables térmicas en proceso de fundición del aluminio	Investigación de campo
	Utilización de expresiones matemáticas térmicas	Identificación de ecuaciones en el proceso de fundición del aluminio	Investigación bibliográfica
<p>Objetivo 3:</p> <p>Comparar los resultados térmicos del horno de crisol que utiliza ladrillo rojo como material refractario con el horno de crisol que utiliza ladrillo refractario y una cubierta de manta cerámica para la fundición de aluminio.</p>	Verificación de resultados de las expresiones matemáticas.	Comparación de resultados del proceso de fundición del aluminio	Investigación bibliográfica y de campo
	Diferenciación del proceso de fundición del aluminio en los dos hornos de crisol.	Análisis de resultados en el proceso de fundición del aluminio.	Investigación de campo

<p>Objetivo 4:</p> <p>Verificar la distribución de la temperatura en los dos hornos de crisol para visualizar las pérdidas de calor en el proceso de fundición del aluminio.</p>	<p>Simulación del proceso de fundición del aluminio</p>	<p>Resultados del proceso de fundición del aluminio.</p>	<p>Investigación de campo</p>
	<p>Experimentación en un software la simulación de las pérdidas de calor.</p>	<p>Obtención de la distribución de la temperatura en los dos hornos de crisol.</p>	<p>Investigación de campo</p>

Justificación

A nivel industrial, uno de los metales que más se utiliza en la actualidad es el Aluminio, por sus diversas propiedades mecánicas que favorecen en la fabricación de piezas como son: planchas, perfiles, tubos, varillas, productos acabados de aluminio, entre otros, considerando que la exigencia por parte de la sociedad hacia la industria es cada vez mayor debido a los beneficios que trae para su mismo desarrollo.

La fundición de metales es una de las ramas más importantes en los procesos de manufactura, gracias a ella se pueden producir piezas u objetos con el metal fundido. Debido al continuo desarrollo de la industria a nivel mundial se ha generado la necesidad de producir aluminio como materia prima en grandes cantidades como parte del mecanizado.

Un horno de crisol es el principal elemento para la fundición de este metal, en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi en los laboratorios pertenecientes a la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, cuenta con un horno de crisol en el cual se realiza la fundición de metales como el aluminio, debido a la gran cantidad de pérdidas de calor que se genera en el horno, se implementa material refractario y una manta cerámica para determinar el análisis comparativo y la reducción en las pérdidas de calor.

Para establecer con fiabilidad la eficiencia energética es fundamental determinar con precisión la energía necesaria para desarrollar el proceso, que es energía en forma de calor en el proceso de fundición del Aluminio.

Actualmente es necesario un mejoramiento de materiales por medios de procesos los cuales nos permitan mejorar sus propiedades mecánicas haciéndolos mucho más resistentes y livianos despendiendo de su aplicación.

Hipótesis

El análisis térmico entre el horno de crisol que utiliza ladrillo rojo con el horno de crisol que utiliza ladrillo refractario y una manta cerámica permitirá examinar la cantidad de pérdidas de calor al utilizar diferentes tipos de aislantes térmicos en el proceso de fundición del aluminio.

1. CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Introducción y objetivo del capítulo

En el siguiente capítulo se presenta el marco teórico que cubre los aspectos más relevantes del objeto de estudio relacionando el desarrollo del proceso de fundición del aluminio en un horno de crisol mediante la utilización de fuentes de energías caloríficas, por lo que se establece el análisis de trabajos precedentes que sustente la investigación.

En el presente capítulo se exponen los fundamentos teóricos de los procedimientos para la fundición del aluminio en hornos de crisol.

1.2. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

En la Universidad Autónoma de Nuevo León de la ciudad de Nuevo León, en México, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “MODELO MATEMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE COEFICIENTES DE TRASFERENCIA DE CALOR EN ALEACIONES DE ALUMINIO”, menciona que la condición más importante para obtener altos niveles de correlación entre simulación y piezas reales, son los coeficientes de transferencia de calor, por lo que el objetivo de este estudio es desarrollar un modelo matemático el cual permita obtener los coeficientes de transferencia de calor, al variar la composición química de las aleaciones de aluminio, considerando la base de datos termo físicos de los materiales. [1]

En la Escuela Politécnica Nacional, en Quito, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “SIMULACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA VULCAN DE LA FUNDICIÓN DE TRES DIFERENTES GEOMETRÍAS EN ALUMINIO”, el cual manifiesta que el software de simulación utilizado fue “Vulcan” en el que se pueden detallar tres parámetros importantes que son la composición de colado, temperatura y las condiciones de entrada del material, en los resultados se obtuvo un error del 24%, el cual consideran un error aceptable debido a las variables como la composición de aleación, composición de la arena del moldeo y la velocidad de verticolado que difieren de las condiciones reales al momento de la fundición. [2]

En el IV Congreso Mexiquense, en la ciudad de México, se realizó una publicación de carácter científico denominado “MANUFACTURA DE BANCA DE ALUMINIO Y SIMULACIÓN”, en el cual se generó un modelo arquitectónico, con el fin de obtener piezas resistentes al medio ambiente, se realizó una fundición del material de manera convencional y la simulación mediante elementos finitos con la finalidad de predecir el comportamiento durante servicio de funcionamiento. [3]

En la Universidad Politécnica Salesiana, en Cuenca – Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO Y PROPUESTAS DE MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE BASES DENTADAS EN LA EMPRESA PRESS FORJA S.A.”, el cual manifiesta que las características del arte de la fundición, normativas del aluminio, estado de la fundición en el Ecuador e innovaciones, se realizaron propuestas para mejorar la maquinaria existente mediante cálculos de las máquinas inyectoras, cálculos de atemperado de los moldes. Cálculo del balance energético del horno, cálculos para el consumo de GLP y el análisis de las características de composición del material. [4]

En la Escuela Politécnica de Chimborazo, en Riobamba – Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LAS FUNDICIONES DE ALUMINIO, EN BASE A LOS PROCEDIMIENTOS DE MOLDEO EN EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”, el cual manifiesta la importancia de la correcta ejecución de los métodos de moldeo ya que son una parte fundamental dentro del proceso de fundición, los cuales cumplen con los parámetros técnicos con el fin de obtener un producto de calidad. [5]

En la Universidad Técnica de Ambato, en Ambato – Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “ESTUDIO PARA DETERMINAR UN PROCEDIMIENTO QUE DISMINUYA LA POROSIDAD EN EL ALUMINIO DURANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS.”, el cual manifiesta la importancia de la reducción de

la porosidad en el aluminio al momento de su fundición, la cual es necesaria para mejorar sus propiedades mecánicas y asegurar una mejor calidad del producto. [6]

En la Universidad Técnica de Ambato, en Ambato – Ecuador, se desarrolló un proyecto de titulación denominado “MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALUMINIO RECICLADO DE PERFILERÍA APLICANDO DESGASIFICANTES QUÍMICOS”, el cual manifiesta una idea clara del uso de desgasificantes químicos en fundiciones de aluminio reciclado el cual permite el mejoramiento de las propiedades del mismo en los distintos procesos de fundición de este tipo de material. [7]

1.3. Fundamentación Teórica

1.3.1. Fundición de metales

El proceso de fundición de metales consiste en obtener un producto, introduciendo metal en estado líquido en un recipiente con la forma adecuada, llamado molde. El recipiente puede ser de arena o el recipiente puede ser metálico. [1]

El proceso de fundición de metales se aplica principalmente para obtener, piezas de gran tamaño y formas complicadas, por ejemplo: [2]

- Culatas para motores de explosión
- Bancadas para máquinas herramientas
- Hélices para buques
- Campanas, piezas inyectadas, entre otros.

La fundición de aluminio garantiza un ahorro monetario, ya que su manera de producción permite crear la cantidad exacta de material requerido. Gracias a la fundición de aluminio se fabrican aquellas piezas de difícil construcción, y con la medida exacta demandada, en medio de una fase exhaustiva de producción. [2]



Figura 1.1 Fundición de metales

Fuente: [1]

La importancia del aluminio en nuestro día a día es realmente alta; y es que se trata de un metal muy usado en todo tipo de industria. Un metal que además es reciclable 100%, pudiendo reciclarlo indefinidamente sin que pierda cualidades. Algo que sin duda alguna adquiere muchísimo atractivo en los procesos de fabricación.

Es un material realmente valioso pues es más ligero que otros metales como puedan ser el acero o el cobre. Además, cuenta con una resistencia bastante alta, por lo que sirve para construir piezas clave para diferentes máquinas pudiendo aguantar mejor el desgaste. Por último, no hay que olvidar que este metal es un excelente conductor de electricidad y de calor, no es tóxico ni tampoco magnético. Todo ello hace que el aluminio sea un bien codiciado por las empresas modernas.

1.3.2. Características del aluminio

El aluminio es un elemento químico, de símbolo “Al” y número atómico 13, es el metal no ferroso 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, vegetación y animales. [3]

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en la ingeniería mecánica, tales como su densidad (2700 Kg/m^3) y su alta resistencia a la corrosión. [4]



Figura 1.2 Aluminio estado natural

Fuente: [4]

Mediante sus aleaciones adecuadas se puede aumentar sensiblemente sus resistencia mecánica hasta los 690 MPa. Es buen conductor de la electricidad, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato. [5]

Tabla 1.1 Características físicas del aluminio

Densidad	2700 Kg/m ³
Punto de fusión bajo	660 °C
Peso atómico	26.9815
Color	Blanco brillante
Conductor de calor	SI
Conductor de electricidad	SI
Resistencia a la corrosión	SI

Fuente: [4]

Tabla 1.2 Características mecánicas del aluminio

Mecanizado	Relativamente sencillo
Producción en láminas	Delgadas y muy finas
Material dúctil	Cables eléctricos
Color	Blanco brillante

Límite de resistencia en tracción	160 – 200 MPa
Formador de aleaciones	SI
Material soldable	SI

Fuente: [5]

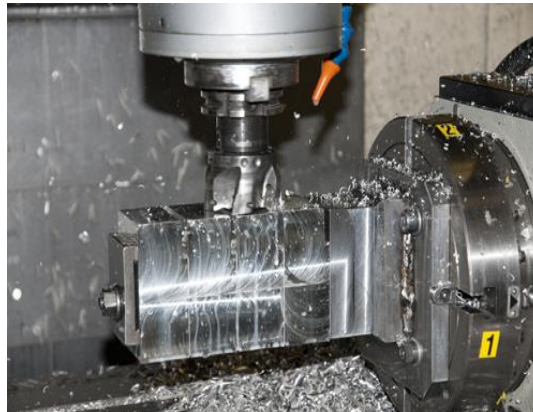


Figura 1.3 Mecanizado de metales

Fuente: [5]

1.3.2.1. El aluminio en la industria

El aluminio es un metal de gran abundancia presente en la corteza terrestre y es parte de los metales no féreos; por su ligereza, su buen comportamiento en cuanto a resistencia mecánica que permite diversas aleaciones y su alta conductividades térmica, entre otras características, es uno de los materiales más usados en la industria automotriz y aeronáutica principalmente.

El aluminio puro, casi no tiene ninguna aplicación, porque se trata de un material blando y de poca resistencia mecánica, por lo tanto, es necesario realizar tratamientos y aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir otras cualidades.

La combinación de su ligereza con resistencia y la alta conductividad eléctrica y térmica, es la propiedad que hace del aluminio y sus aleaciones, materiales de construcción muy importante para:

- Aviones.
- Automóviles.
- Máquinas de transporte
- La electrotecnia.
- La fabricación de motores de construcción.
- Utensilios de cocina (por su conductividad térmica).
- Pistones de motores de combustión interna.
- Tendidos eléctricos y electrónica (El bajo peso del aluminio y su conductibilidad hacen que sea el material de preferencia para la industria de la electricidad).

1.3.2.2. Reciclaje del aluminio

El reciclaje del aluminio es uno de los más rentables para la industria, ya que se aprovecha prácticamente la totalidad de los desechos. Emplear el aluminio reciclado para la producción de nuevas aleaciones, permite reducir hasta en un 90% la energía necesaria para transformarlo, en comparación a la energía que se requiere para extraer el material de la naturaleza. [6]



Figura 1.4 Reciclaje del aluminio

Fuente: [6]

El aluminio puede ser reciclado al 100% infinitas veces sin perder sus características originales. En Italia, país que no posee minas de bauxita, y que ha sufragado a la falta de materia prima convirtiéndose en una excelente industria de reciclaje (se encuentra

en el tercer lugar del mundo después de los EE.UU. y Japón, al mismo nivel que Alemania), el 50% del aluminio que circula es fruto del reciclaje. [12]

- **Desechos de aluminio en el ecuador**

El Censo Nacional Económico realizado en el 2010 por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), muestra las cifras del sector: son 40 establecimientos dedicados al procesamiento de desechos de metales o plásticos. De este total, 24 corresponden al de desechos metálicos. Los 40 establecimientos obtienen ventas al año de unos USD 25,8 millones. Asimismo, 34 establecimientos son únicos y existen seis sucursales. Cada sitio de estos posee, según el INEC, siete trabajadores, en promedio.

1.3.2.3. Fusión del aluminio con otros metales

A pesar de que el Aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre (luego del Oxígeno y el Silicio), es un metal relativamente nuevo, ya que está disponible comercialmente y a precio razonable.

Esto se debe a que el Aluminio se produce solamente mediante un proceso complejo que utiliza enormes cantidades de electricidad (aproximadamente 17.000 Kwh por tonelada de Aluminio). Afortunadamente, el Aluminio se puede reciclar con facilidad, particularmente a partir de latas de bebidas. [7]

Tabla 1.3 Aleaciones de aluminio con otros metales

Aleación	Descripción
50/50 Aluminio Silicio	Las aleaciones por fundición de aluminio, el silicio se ubica en segundo lugar, después del cobre. El silicio reduce la temperatura de fundición sin provocar características quebradizas, aumenta la fluidez y reduce la ruptura en caliente.

Aluminio Berilio al 2,5% - 5%	El agregado de pequeñas cantidades de berilio mejora apreciablemente la resistencia a la oxidación, tanto en el estado sólido como líquido.
Aluminio Litio al 5%	El agregado de litio a las aleaciones que contienen magnesio ayuda a evitar la formación de escorias.
Aluminio Cromo al 20%	El cromo mejora la fortaleza sin afectar de forma adversa a la ductilidad.
50/50 Aluminio Magnesio	El magnesio mejora las características mecánicas, de fabricación y de soldadura del aluminio cuando se utiliza como un agente de aleación.
Aluminio Titanio al 6%	El titanio es un refinador de grano del aluminio y mejora las propiedades mecánicas.
Ferro Aluminio al 10%	La presencia de hierro en el aluminio ayuda a reducir la ocurrencia de rupturas en caliente, mejora la resistencia ante la tensión, fluencia y la dureza y conserva la fortaleza a temperaturas elevadas.
Aluminio Níquel al 20%	El níquel aumenta la dureza y fortaleza. Aumenta las características de maquinado y ayuda a conservar una alta fortaleza a altas temperaturas.
Aluminio Manganeso al 60%	El agregado de manganeso al aluminio aumenta la fortaleza y la dureza. Resulta beneficioso con respecto a la resistencia a la corrosión.

Fuente: [7]

1.3.2.4. Aluminio en la construcción

El aluminio se ha convertido en las últimas décadas en un material muy utilizado en estructuras y construcciones, y no es de extrañar. Se trata de un material fuerte, resistente, duradero, de bajo peso y con unas características estéticas que lo hacen perfecto para numerosas aplicaciones. [8]

La mayor aplicación del aluminio en la construcción consiste en los trabajos de cancelería, ventanas, marcos, puertas, barandas, rejas, escaleras, barras, laminados, tubos, ventanas corredizas, mallas, perfiles de tabiquerías y perfiles de industriales como divisores de stand, aberturas, entre otros.



Figura 1.5 Aluminio en la construcción

Fuente: [6]

- **Ventaja del aluminio como material de construcción**

El aluminio es un material importante en el futuro de la ingeniería y arquitectura. Su bajo peso y alta resistencia, es una de sus principales ventajas en la industria de la construcción. El aluminio tiene una densidad de 2,7, lo que significa que es un tercio de la densidad del acero. La resistencia del aluminio se puede ajustar para adaptarse a cualquier uso y aplicación mediante la aleación adecuada.

1.3.3. Proceso de función del aluminio

La fundición es el procedimiento más antiguo para dar forma a los metales. Fundamentalmente radica en fundir y colar metal líquido en un molde de la forma y

tamaño deseado para que allí solidifique. Generalmente este molde se hace en arena, consolidado por un apisonado manual o mecánico alrededor de un modelo, el cual se extrae antes de recibir el metal fundido. [10]

La posibilidad de fundir un metal o una aleación depende de su composición (fijada por el intervalo de solidificación), temperatura de fusión y tensión superficial del metal fundido. Todos estos factores determinan su fluidez. Se utilizan tres tipos de fundición:

- En lingoteras: Se usa la fundición de primera fusión a la que se añaden los elementos de aleación necesarios que posteriormente se depositan en lingoteras de colada por gravedad o a presión.
- Colada continua: En este tipo se eliminan las bolsas de aire y las secreciones, tanto longitudinales como transversales. Mediante este sistema se obtienen barras, perfiles, etc.
- Fundición en moldes: Se extraen las piezas completas.

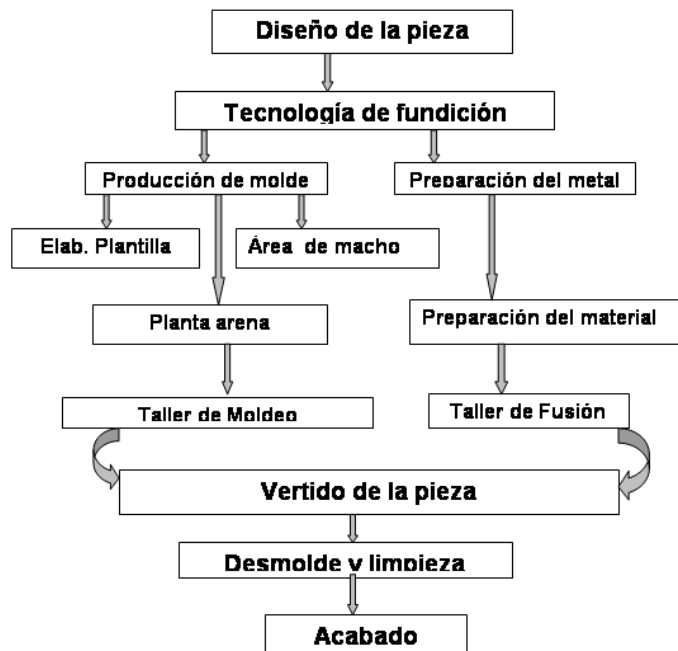


Figura 1.6 Etapas del proceso de fundición del aluminio

Fuente: [1]

Para realizar este proceso de fundido del aluminio se utiliza el horno de crisol siguiendo los siguientes pasos:

- Colocar el horno de fundición en la posición adecuada

Colocar el horno de fundición en un soporte metálico o en una superficie aislante como, por ejemplo, la gravilla, la arena o la tierra natural (el concreto se agrietaría con los derrames). Asegúrese de que la superficie pueda soportar los más de 600 °C (1220 °F) necesarios para fundir el aluminio. Evitar cualquier superficie de madera o plástico, ya que se derretirá o quemará inmediatamente. [5]

- Colocar el crisol en el horno de fundición

Asegúrese de que el crisol esté en el centro del horno de fundición. Un crisol de acero funciona mejor para fundir aluminio.

- Conecta el soplete de propano o el soplador

Si se utiliza un horno de fundición que funcione con propano, conectar el extremo del soplete (con combustible y tubos incluidos) a la abertura que hay en el lateral del horno. [6]

- Encender el horno de fundición

Dejar que el horno de fundición se caliente durante unos 10 minutos antes de meter el aluminio. La temperatura del horno de fundición debe superar los 660 °C (1220 °F). Una vez que el crisol esté al rojo vivo, el horno de fundición estará suficientemente caliente como para fundir aluminio. [11]

- Verter el aluminio en el crisol:

Una vez que el horno de fundición esté suficientemente caliente, podrás empezar a fundir aluminio. Es importante añadir nuevas latas rápidamente para crear una piscina de aluminio fundido. Esto es necesario para evitar que las latas se calienten en exceso y se transformen en gas, un proceso conocido como oxidación. [12]

- Retirar el crisol después de eliminar los desechos de la superficie:

Utiliza una vara o unas pinzas de metal para eliminar los desechos (grumos espesos de materiales no compuestos por aluminio) de la superficie del aluminio licuado. Después, extrae lentamente el crisol del horno de fundición utilizando unas pinzas de metal. Para evitar la oxidación, asegúrate de retirar el aluminio fundido del horno de fundición al menos tres minutos después de que la última pieza se haya licuado. [13]

- Verter el aluminio fundido en los moldes de acero

Se puede dejar que los lingotes de aluminio se enfríen de forma natural y, después, extraerlos de los moldes, o utilizar agua para acelerar el proceso. [16]

- Vaciar el horno de fundición una vez que se enfríe por completo

Cuando haya terminado de fundir aluminio, apaga el soplete o el soplador (siguiendo las instrucciones del fabricante) y dejar que el horno de fundición se enfríe de forma natural durante varias horas. [18]

- Calentamiento eléctrico o a gas (natural o GLP) con quemador automático, seguro y eficiente

1.3.4. Hornos de fundición de metales

En el mundo existen diversos tipos de hornos para llevar a cabo la fundición de metales, con distintos tipos de controles y utilizando diferentes tipos de fuentes de calor, el principal parámetro o variable es la temperatura.

A continuación, se presentan los distintos tipos de hornos:

1.3.4.1. Alto horno

Un alto horno es un horno especial en el que tienen lugar la fusión de los minerales de hierro y la transformación química en un metal rico en hierro llamado arrabio. Está constituido por dos troncos en forma de cono unidos por sus bases mayores. Mide de 20 a 30 metros de alto y de 4 a 9 metros de diámetro; su capacidad de producción puede variar entre 500 y 1500 toneladas diarias. [11]

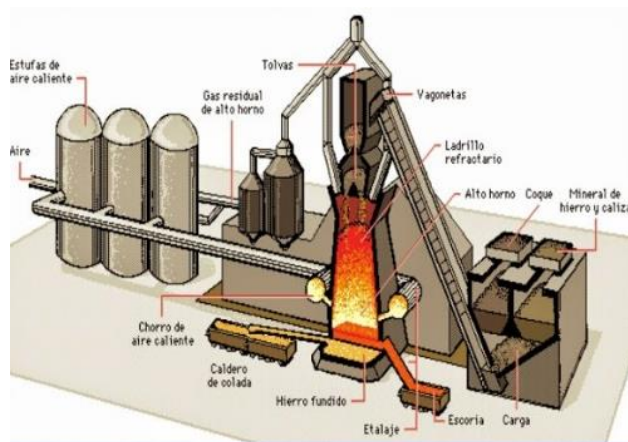


Figura 1.7 Alto horno para fundición de metales

Fuente: [11]

1.3.4.2. Hornos de arco eléctrico

Existen normalmente 3 electrodos de grafito en el horno que pueden ser de hasta 750 mm de diámetro y de 1.5 m a 2.5 m de longitud. Su altura dentro del horno se puede ajustar de acuerdo a la cantidad de metal se introduce hierro y acero junto con los ingredientes ale antes (adecuadas para tal composición deseada) y la piedra caliza (fundente) la tapa se cierra y se bajan los electrodos.

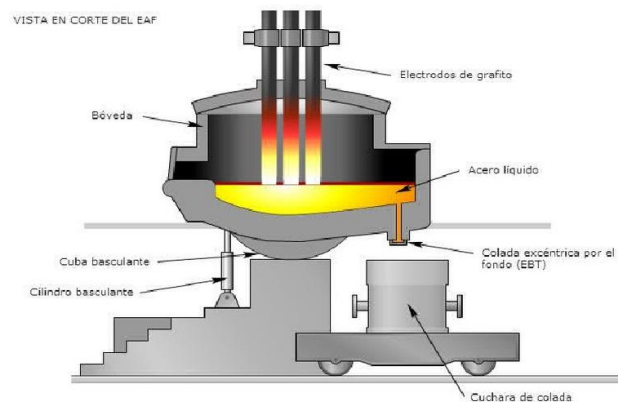


Figura 1.8 Horno de arco eléctrico para la fundición de metales

Fuente: [12]

Se establece la conexión y dentro de un periodo de aproximadamente 2 horas el metal se funde (el tiempo varía de acuerdo a las necesidades), la corriente es desconectada,

se elevan los electrodos, el horno es inclinado y el metal fundido es vaciado en un recipiente de traslado hacia moldes. La capacidad de los hornos eléctricos va de 60 a 90 toneladas de acero. [12]

1.3.4.3.Horno de resistencia

En este tipo de hornos el calor es originado por la corriente que recorre los hilos de los electrodos de aleaciones múltiples especiales o de grafito envueltos en espiral o doblados en forma de “S”, esto con el fin de que puedan desarrollar la máxima longitud en el mínimo espacio. La temperatura máxima de trabajo que pueden resistir para un trabajo continuo se encuentra entre los 1000 y 1300 °C.



Figura 1.9 Horno de resistencias eléctricas para la fundición de metales

Fuente: [13]

Los hornos son de construcción distinta según el empleo que se vaya a dar. Este tipo de horno se utiliza actualmente en fundiciones que trabajan con aleaciones ligeras porque en el mismo se puede regular automáticamente la necesaria temperatura de trabajo. [13]

1.3.4.4. Hornos de inducción

Un horno de inducción usa corriente alterna a través de una bobina que genera un campo magnético en el metal, el resultado de la corriente inducida causa un rápido calentamiento y la fusión del metal. El campo de fuerza electromagnético provoca una acción de mezclado en el metal líquido. Además, el metal no está en contacto directo

con ningún elemento de calefacción, se puede controlar cuidadosamente el ambiente donde tiene lugar la fusión.

El resultado es una fundición de alta calidad y pureza. Los hornos de inducción se usan para casi cualquier aleación cuyos requerimientos de calidad sean importantes. Sus aplicaciones para fundir aleaciones de acero, hierro gris nodular y aluminio son las más comunes. [14]



Figura 1.10 Horno de inducción para fundición de metales

Fuente: [14]

1.3.4.5. Horno de cubilote

Un cubilote es un horno cilíndrico vertical de acero recubierto de refractario, es el más usado en la fundición de hierro colado. La carga que utiliza está constituida por hierro, coque, fundente y otros elementos de aleación que se cargan a través de una puerta ubicada en la parte superior. El coque constituye el combustible para calentar el horno a través de las aberturas cerca del fondo de la carcasa, se introduce aire forzado para la combustión del coque.

El fundante es cal, compuesto alcalino que reacciona con la ceniza de coque y otras impurezas para formar la escoria, que sirve para cubrir la fundición, protegiéndola de reaccionar con la atmosfera interior del cubilote y reduciendo las pérdidas de calor. Los cubilotes operan de manera continua, tiene elevadas velocidades de fusión y producen grandes cantidades de metal líquido. [15]

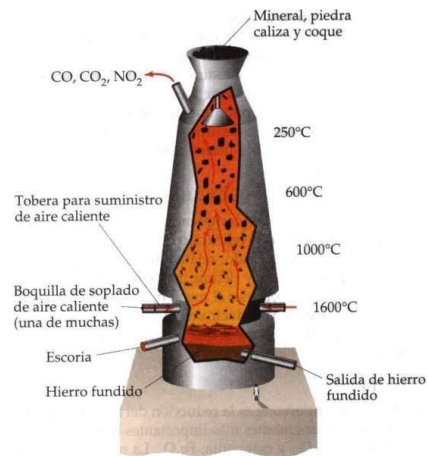


Figura 1.11 Horno de inducción para fundición de metales

Fuente: [15]

1.3.4.6. Horno de crisol

En estos hornos el metal se funde en un crisol, los mismos que son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras sustancias, provistos de una tapa para cierre hermético, que una vez cargados y cerrados se caldean, utilizando combustibles sólidos, líquido o gaseosos. [16]



Figura 1.12 Horno de crisol

Fuente: [18]

La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos para elaborar metales, que probablemente se empleará siempre por la economía de su instalación sobre todo para fundir pequeñas cantidades. [17]

1.3.5. Fuentes de calor de hornos

Los hornos de crisol pueden ser operados básicamente a través de energía eléctrica o de combustibles. En relación con la energía eléctrica, los hornos más comunes son de resistencia y de inducción, mientras tanto los combustibles se puede utilizar una serie de formas diferentes. [17]

Dependiendo de la calidad que se exija a la masa fundida, la productividad y la eficiencia energética, se pueden usar distintos tipos de calentamiento. En principio, pueden usarse hornos con calentamiento eléctrico o por combustible. En contexto y desde el punto de vista de los costes, los niveles locales de precios son determinantes para el tipo de energía elegido. [19]

Cada forma de energía sea eléctrica o en forma de combustible, posee sus ventajas y desventajas que deben ser aprovechadas o evitadas de acuerdo con las condiciones de producción exigidas. [20]

- Calentamiento eléctrico: la regulación de este calentamiento es pausada y precisa, no se contamina con las emisiones del calentamiento por combustible, pueden alcanzar hasta un 85% más de potencia que un horno por calentamiento de combustible.



Figura 1.13 Fuente de calor eléctrica

Fuente: [18]

- Calentamiento por combustible: es idóneo para el servicio de fundición previa, especialmente cuando cuentan con evacuación de gases de combustión a través del borde del crisol, cuando se persigue un alta cantidad de la masa fundida, es aconsejable usar una evacuación lateral de los gases de combustión.



Figura 1.14 Fuente de calor por combustible

Fuente: [18]

Tabla 1.4 Poder calorífico de los tipos de combustible

Combustible	Tipo	Poder Calorífico (kcal/kg)
Sólido	Leña	3800
	Carbón mineral	4000 a 6000
	Coque de fundición	6200 a 7500
	Coque de petróleo	8000
	Carbón vegetal	6500 a 7000
Líquido	Gasolina	10200
	Petróleo Diesel	11000 kcal/litro
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
Gaseoso	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000

Fuente: [5]

1.3.5.1. Medición de temperatura en hornos

La exactitud con que se mida y controle la temperatura determinará el éxito de la operación de algunos procesos metalúrgicos, como la fundición y el tratamiento térmico. También tendrá un profundo efecto sobre las propiedades de resistencia de muchos metales y aleaciones. Normalmente la temperatura del proceso de fundición es aceptable que se encuentre en un rango de un ± 5 °C. [18]

Se necesita una indicación o registro continuo de la temperatura, los instrumentos que se utilicen pueden ser de dos tipos. [21]

- Los sistemas mecánicos que funcionan esencialmente por efecto de la expansión de un metal, un líquido, un gas o vapor.
- Los sistemas eléctricos que funcionan por medio de la resistencia eléctrica medida, un termo par, la radiación o pirómetros.



Figura 1.15 Tipos de controladores de temperatura

Fuente: [22]

1.3.6. Análisis Térmico

En análisis térmico ha sido usado como una herramienta de control de calidad desde hace tiempo en las plantas de fundición de aluminio. Se ha reconocido que el análisis de la curva de enfriamiento y su primera derivada tienen parámetros que son utilizados en programas de simulación para mejorar su precisión. [22]

Los desarrollos en el análisis de la curva de enfriamiento tienden la aplicación de derivadas de orden superior han mostrado que la técnica del análisis térmico puede aplicarse para el cálculo de precipitados en el proceso de solidificación. [16]

Los parámetros de temperaturas no son fáciles de medirlas superficiales en la práctica para poder determinarlas ya que, estas no son iguales a la temperatura del aire o gas en contacto con la superficie y varían considerablemente. Se determina la temperatura exterior de las capas superficiales de las paredes pueden variar sustancialmente con respecto a la temperatura del aire y es la temperatura de la capa de la pared interior que frecuentemente es inferior a la temperatura en la cámara de combustión. [23]

Los parámetros que se toman en cuenta son:

- Temperatura exterior
- Temperatura de fusión
- Temperatura de calentamiento
- Capacidad del horno
- Temperatura de vertido

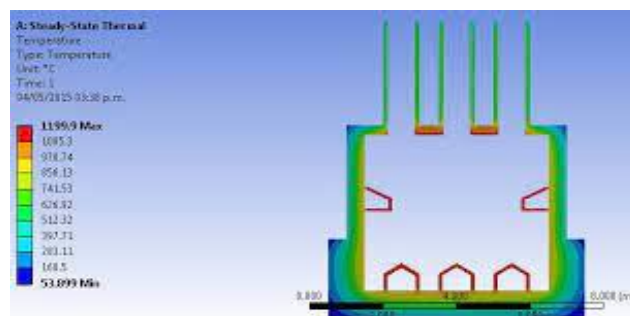


Figura 1.16 Análisis térmico en sistemas computacionales

Fuente: [22]

1.3.7. Balance energético

El balance energético de un horno varía fundamentalmente de un horno continuo a uno intermitente. En los hornos continuos interviene la producción en kg/h o en tn/h, mientras que en los intermitentes es más importante la carga introducida en cada operación en kg o tn. [23]

La temperatura en los hornos continuos es prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo, y la temperatura de la carga varia a lo largo del horno desde la entrada hasta la salida. [24]

En los hornos intermitentes la temperatura de la carga varía a lo largo del tiempo, pero se mantiene en todo el horno en un instante dado. [25]

En los hornos intermitentes deben distinguirse lo siguiente:

- Los procesos en los que la temperatura de regulación del horno permanece prácticamente constante.
- Los procesos en los que la temperatura del horno sigue un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento sin extraer la carga del interior del horno.

Debe aclararse que el concepto de temperatura del horno es bastante convencional: [5]

- Los elementos calefactores (llamas o resistencias eléctricas) tendrán la mayor temperatura.
- La carga, incluso al final del periodo de calentamiento, estará a menor temperatura.
- El revestimiento tendrá probablemente, una temperatura mayor a la de la carga e inferior a la de los elementos calefactores.

1.3.7.1. Transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. [1]

El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción, aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. [24]

- La conducción: es la transferencia de calor a través de un objeto sólido, e lo que hace que el asa de un atizador se caliente, aunque sólo la punta esté en fuego.

- La convección: transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes, es la causa de que en una olla con agua se caliente toda el agua, aunque sólo su parte inferior está en contacto con la llama.
- La radiación: transferencia de calor por electromagnetismo, principal mecanismo por el que un fuego calienta la habitación.

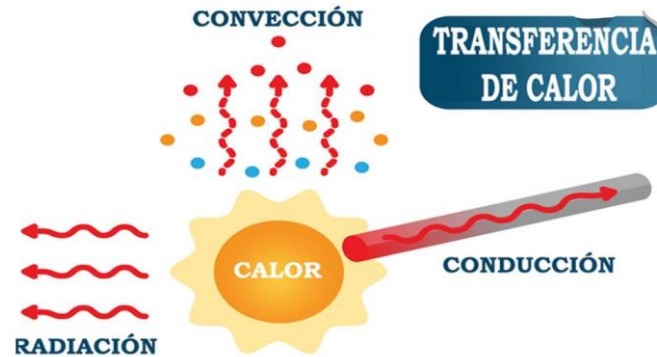


Figura 1.17 Tipo de transferencia de calor

Fuente: [3]

1.3.7.2. Aislantes y barreras de radiación

La transferencia de calor no puede impedirse, pero sí hacerse más lenta, a través de la utilización de ciertos y determinados materiales. Esto se debe a que todos los materiales transfieren de un modo u otro el calor, pero no al mismo ritmo ni con la misma facilidad.

Aquellos que lo transmiten rápida y eficazmente son llamados conductores térmicos. Por el contrario, aquellos que lo hacen lenta y trabajosamente, se denominan aislantes térmicos (conducción y convección) o barreras (radiación). [26]

1.3.8. Simulación del proceso de fundición

La simulación de procesos de fundición consiste en reproducir en un ámbito computacional todas las etapas involucradas en el proceso de obtención de una, tanto para materiales ferrosos como no ferrosos: la generación del modelo, la fabricación del molde y el diseño del proceso (por gravedad, inyección u otra técnica). [16]

Las principales ventajas de la simulación son:

- Detección en forma virtual de posibles defectos de fundición.
- Ensayo de soluciones en forma interactiva y rápida antes de fundir.
- Minimización de la técnica prueba-error.
- Obtención de información de variables físicas (presión, velocidad, temperatura) en zonas que por lo general es casi imposible medir en un proceso real.
- Permite visualizar como sería el llenado del molde y la solidificación del metal.
- Estimación de las propiedades mecánicas, esfuerzos térmicos y distorsiones, así como de la microestructura resultante de las piezas.
- Se mejora la productividad y calidad del producto, disminuyendo el tiempo de desarrollo de nuevos diseños y desarrollando partes de mayor complejidad.
- Definir alternativas de proceso de fundición a utilizar.

La implementación de los programas de simulación computacional en los procesos de fundición establece una nueva forma de encarar el diseño de las piezas. Ahora debe incluirse dentro del esquema productivo una nueva etapa: la simulación, la cual tendría como herramienta fundamental el programa de simulación. [19]

Bajo este nuevo esquema, se establece un flujo de información interactiva entre las divisiones o sectores involucrados en los procesos de fundición que redundará en una optimización del proceso y por ende en la reducción de costos productivos. [24]

1.4. Conclusiones

- Conocer los distintos tipos hornos que son usados para la fundición del aluminio y las características del mismo, donde la fundición de metales es una de las ramas más importantes en los procesos de manufactura ya que gracias a ella se pueden producir piezas u objetos con el metal fundido.
- Una vez analizado todas las características del aluminio y su proceso de fundición en el horno de crisol, conociendo que este trabaja a elevadas temperaturas con respecto a las de fusión, este provoca varias pérdidas de calor debido a diversos factores que conllevan a tener una temperatura inestable en

dicho proceso. El cual se pretende mejorar a través del aprovechamiento de esta energía.

- Se conseguirá establecer con fiabilidad la eficiencia energética la cual es fundamental determinar con precisión ya que esta energía es necesaria para desarrollar este proceso y aprovechar al máximo el uso del horno.

2. CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción y objeto del capítulo

El conocimiento de los procesos térmicos y el desarrollo de expresiones matemáticas que permitan observar el comportamiento de los fenómenos físicos es un tema investigativo primordial para el desarrollo actual de las industrias. La fundición del aluminio depende de diferentes parámetros que deben ser considerados para la modelación matemática del proceso térmico, la variable principal que se necesita medir y controlar es la temperatura.

Para el presente capítulo se plantea con objetivo; establecer los métodos, procedimientos y condiciones experimentales que fundamentan las propiedad a investigar brindando la solución al problema planteado.

2.2. Descripción técnica del horno de fundición de aluminio N. 1

Para realizar el análisis energético del horno de fundición de aluminio N. 1 se debe caracterizar el estado en el que se encuentra, por lo que en la figura 2.1 se puede observar la estructura física del horno que está presente en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi.



Figura 2.1 Horno para fundición de aluminio N. 1

Tabla 2.1 Características del horno para la fundición de aluminio

Descripción	Característica
Fuente de calor	Carbón vegetal
Calor específico del aluminio	960 J/kg.°C
Calor latente de fusión	398,69 kJ/kg
Dimensión del horno	Altura: 156 cm; largo: 90 cm; ancho 70 cm.
Dimensión de la cámara de combustión	Altura: 53 cm; largo: 50 cm; ancho 50 cm.
Material refractario	Ladrillo
Dimensión del material refractario	300 x 200 x 150 mm
Control de temperatura	No
Flujo de aire	Blower
Calor específico del crisol	1,29 kJ/kg.°C

2.2.1. Expresiones térmicas aplicadas en la fundición de aluminio N. 1

A continuación, se presentan las expresiones térmicas que se utilizan para desarrollar un análisis térmico en el horno de fundición de aluminio.

2.2.1.1. Cantidad de calor requerido

Es necesario conocer la cantidad de calor que necesita el horno para llevar a cabo el proceso de fundición del aluminio, por lo tanto, se aplica la ecuación 1.

$$Q_{req} = Q_{Al} + Q_{ab\ crisol} \quad \text{Ec. 1}$$

En donde:

- Q_{req} = Cantidad de calor requerido [kJ]
- Q_{Al} = Cantidad de calor entregado al aluminio [kJ]

- $Q_{ab \text{ crisol}} =$ Cantidad de calor absorbido por el crisol [kJ]

2.2.1.2. Cantidad de calor entregado al aluminio

Para determinar la cantidad de calor que se entrega al aluminio, es necesario conocer los siguientes aspectos:

- Se necesita conocer la cantidad de calor para elevar la temperatura de 20 °C (temperatura ambiente considerada) a 660 °C (temperatura de fusión del aluminio).
- Determinar el valor del calor necesario para que el aluminio realice el proceso de calor latente que consiste en el cambio de su estado de sólido a líquido.
- Garantizar que el aluminio permanezca en condiciones adecuadas para ser vertido en los diferentes moldes, para ello se considera que debe alcanzar una temperatura de 800 °C.

Se aplican las siguientes ecuaciones:

- **Cantidad de calor para elevar 20 °C a 660°C**

$$Q_1 = C \cdot m \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 2}$$

En donde:

- $Q_1 =$ Cantidad de calor para elevar 20 °C a 660 °C [kJ]
- $C =$ Calor específico [kJ/kg.K]
- $m =$ masa [kg]
- $\Delta T =$ variación de temperatura [K]

Conociendo el valor del calor específico del aluminio que según la tabla 2.1 es de 960 J/kg.°C, la masa de aluminio requerida para la fundición es de 7 kg y la elevación de la temperatura es de 20 °C a 660 °C se puede obtener lo siguiente.

$$Q_1 = 960 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 7 \text{ kg} \cdot (660 - 20) ^\circ C$$

$$Q_1 = 4\,300,8 \text{ kJ}$$

- **Cantidad de calor para cambio de fase**

$$Q_2 = m \cdot \gamma \quad \text{Ec. 3}$$

En donde:

- Q_2 = Cantidad de calor para cambio de fase [kJ]
- γ = Calor latente del aluminio [kJ/kg]
- m = masa [kg]

Conociendo el valor del calor latente de fusión del aluminio que según la tabla 2.1 es de 398,69 kJ/kg y la masa de aluminio que es de 7 kg, se puede obtener lo siguiente.

$$Q_2 = 398,69 \frac{kJ}{kg} \cdot 7 kg$$

$$Q_2 = 2\,790,83 kJ$$

- **Cantidad de calor para alcanzar la temperatura de colado**

$$Q_3 = C \cdot m \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 4}$$

En donde:

- Q_3 = Cantidad de calor para alcanzar la temperatura de colado [kJ]
- C = Calor específico [kJ/kg.K]
- m = masa [kg]
- ΔT = variación de temperatura [K]

Conociendo el valor del calor específico del aluminio que es de 960 J/kg.°C, la masa de aluminio requerida para la fundición es de 7 kg y la elevación de la temperatura que es de 660 °C a 800 °C se puede obtener lo siguiente.

$$Q_3 = 960 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 7 kg \cdot (800 - 660) ^\circ C$$

$$Q_3 = 940,8 kJ$$

- **Cantidad de calor entregado al aluminio total**

La cantidad de calor total que se entrega al aluminio se determina por medio de la sumatoria del valor del calor para elevar de 20 °C a 660 °C, el valor del cambio de fase y el valor del calor para alcanzar la temperatura de colado, para lo cual se utiliza la siguiente expresión matemática.

$$Q_{T\ al} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{Ec. 5}$$

$$Q_{T\ al} = 4\ 300,9\ kJ + 2\ 790,83\ kJ + 940,8\ kJ$$

$$Q_{T\ al} = 8032,53\ kJ$$

2.2.1.3. Cantidad de calor absorbido por el crisol

Es indispensable conocer la cantidad de calor que absorbe el crisol del horno de fundición N.1, por lo tanto, se utiliza la siguiente expresión matemática.

$$Q_{ab\ crisol} = C \cdot m \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 6}$$

En donde:

- $Q_{ab\ crisol}$ = Cantidad de calor absorbido por el crisol [kJ]
- C = Calor específico del crisol [kJ/kg.K]
- m = masa del crisol [kg]
- ΔT = variación de temperatura [K]

Conociendo el valor del calor específico del crisol empleado que según la tabla 2.1 es de 127,9 kJ/kg.°C, la masa del crisol es de 5 kg y la elevación de la temperatura de 20 °C (temperatura ambiente) a 800 °C (temperatura de colado del aluminio) se puede obtener lo siguiente.

$$Q_{ab\ crisol} = 1,29 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 5\ kg \cdot (800 - 20) \ ^\circ C$$

$$Q_{ab\ crisol} = 5\ 031\ kJ$$

2.2.1.4. Cantidad de calor requerido para la fundición del aluminio

Para determinar la cantidad de calor que se requiere para realizar el proceso de fusión del aluminio es necesario desarrollar la sumatoria del calor requerido y el calor absorbido por el crisol y dividirlo para un tiempo considerado de fundición de 20 min, para lo cual se utiliza la siguiente expresión matemática.

$$Q_{fundición} = \frac{Q_{T\ al} + Q_{ab\ crisol}}{t} \quad \text{Ec. 7}$$

$$Q_{fundición} = 10,88\ kW$$

2.2.1.5. Cantidad de calor perdido

Es importante conocer la cantidad de calor que se pierde en el proceso de fundición del aluminio utilizando el horno de crisol N. 1, para lo cual se analizan los siguientes perfiles de temperatura.

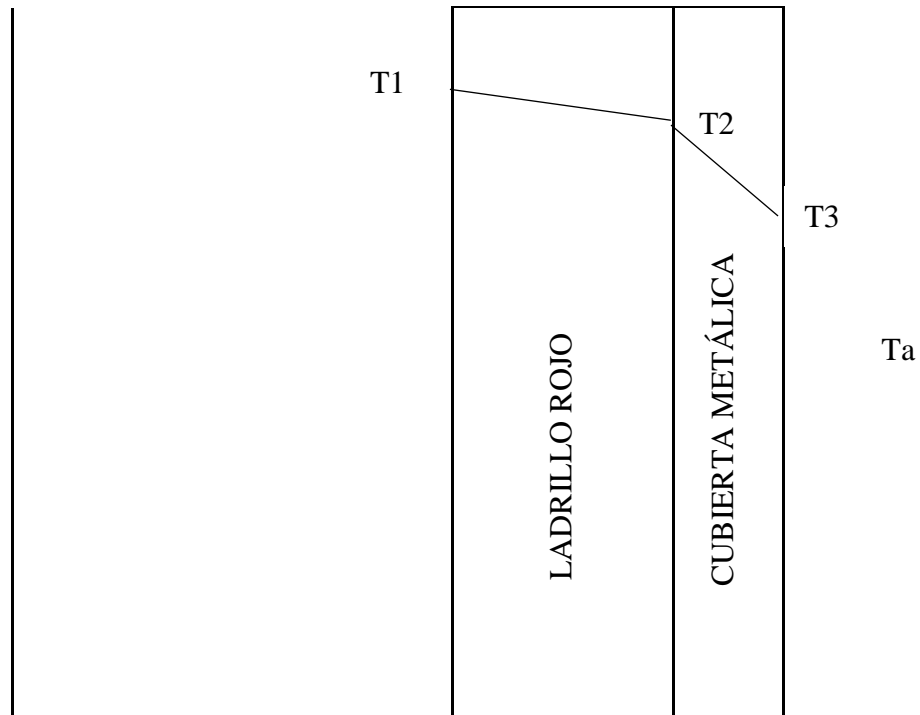


Figura 2.2 Perfil de temperaturas en el interior del horno N. 1

De la figura 2.2 se puede destacar lo siguiente:

- T1: Temperatura de la pared interior del horno [°C]
- T2: Temperatura del ladrillo rojo y la chapa metálica [°C]
- T3: Temperatura exterior del horno [°C]
- Ta: Temperatura ambiental [°C]

En la siguiente figura se puede observar las resistencias térmicas para determinar la transferencia de calor en las paredes planas compuestas por los diferentes materiales.

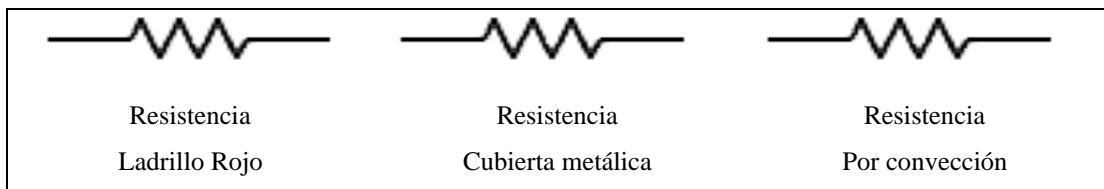


Figura 2.3 Resistencias térmicas en el horno N. 1

2.2.1.6. Coeficiente de transferencia de calor por convección

Considerando las dimensiones del horno de crisol N. 1 se debe calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección para paredes planas, por lo cual primero se determina la temperatura de película con la siguiente expresión matemática.

$$T_p = \frac{T_a + T_3}{2} \quad \text{Ec. 8}$$

En donde:

- T_p = Temperatura de película [°K]
- T_a = Temperatura ambiente [°K]
- T_3 = Temperatura de la chapa metálica [°K]

Conociendo el valor de la temperatura ambiente que es de 20 °C (293 °K) y el valor de la temperatura de la chapa metálica que es de 60 °C (333 °K), se puede obtener lo siguiente.

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

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

Con el valor de la temperatura determinada por medio de la ecuación 8 se puede obtener las propiedades de la aire con temperatura de película.

Tabla 2.2 Propiedades del aire a la temperatura de película

Temperatura [°K]	Viscosidad cinemática [m ² /s]	Conductividad térnica [W/m.°K]	α [m ² /s]	Constante de Prandtl
313	17,19 x 10 ⁻⁶	27,26 x 10 ⁻³	24,42 x 10 ⁻⁶	0,705

• **Cálculo del número de Rayleigh**

$$R_a = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_a) \cdot L^3}{V \cdot \alpha} \quad \text{Ec. 9}$$

En donde:

- R_a = Número de rayleigh
- g = gravedad [m/s²]
- T_s = Temperatura de salida [°K]
- T_a = Temperatura ambiente [°K]
- L = Altura [m]
- V = Viscosidad cinemática [m²/s]
- α = 24,42 x 10⁻⁶ [m²/s]
- β = 1 / T_p

Conociendo el valor de la gravedad que es de 9,81 m²/s, el valor de la temperatura de salida 333 °K, el valor de la temperatura ambiente que es de 20 °C (293 °K), la altura del horno que es de 0,53 m, y el valor de la viscosidad cinemática que según la tabla 2.2. es de es de 17,19 x 10⁻⁶ [m²/s], se puede obtener lo siguiente.

$$Ra = \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,00311948 \cdot (333 - 293) \cdot 0,53^3}{17,19 \times 10^{-6} \cdot 24,42 \times 10^{-6}}$$

$$Ra = 434127479,5$$

El valor del resultado de la expresión matemática Ec. 9 que corresponde al número de Rayleigh es superior a 10^9 , por lo tanto, se considera un flujo turbulento para lo cual la expresión del Número de Nusselt corresponde a la siguiente:

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}} \right]^2 \quad \text{Ec. 10}$$

En donde:

- Ra = Número de Rayleigh
- Pr = Número de Prandtl

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 \cdot (434127479,5)^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,705}\right)^{9/16}\right)^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 95$$

• **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección**

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad \text{Ec. 11}$$

En donde:

- h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m².°K]

- Nu = Número de Nusselt
- k = Conductividad térmica [W/m.°K]
- L = Altura [m]

$$h_c = \frac{95 \cdot 27,26 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0,53 m}$$

$$h_c = 4,886 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

2.2.1.7. Pérdida de calor por transferencia y aberturas

Las pérdidas de calor presentes en el horno de fundición de aluminio N. 1 se las determina a través de las 4 paredes del horno, 3 laterales y 1 superior.

- **Pérdida de calor por conducción**

$$Q_{p \text{ cond}} = \frac{T1 - T3}{\left(\frac{e_{refra}}{k_{refra} \cdot A_{refr}} \right) + \left(\frac{e_{ch.metal}}{k_{ch.metal} \cdot A_{ch.metal}} \right)}$$

Ec. 12

En donde:

- $Q_{p \text{ cond}}$ = Pérdida por conducción [W]
- T1 = Temperatura interna del horno [°K]
- T3 = Temperatura en la chapa metálica [°K]
- L = Altura [m]
- k_{refra} = Conductividad térmica del ladrillo rojo [W/m.°K]
- $k_{ch. metal}$ = Conductividad térmica de la chapa metálica [W/m.°K]
- e_{refra} = Espesor del ladrillo rojo [m]
- $e_{ch. metal}$ = Espesor de la chapa metálica [m]
- A_{refra} = Área del ladrillo rojo [m²]
- $A_{ch. metal}$ = Área de la chapa metálica [m²]

Tabla 2.3 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción

Descripción	Valores
temperatura interna del horno	800 °C (1073 °K)
temperatura de la cubierta metálica	60 °C (333 °K)
Altura del horno	0,53 m
conductividad térmica del ladrillo rojo	1,34 W/m.°K
conductividad térmica de la cubierta metálica	63,9 W/m.°K
espesor del ladrillo rojo	15 cm
Espesor de la cubierta metálica	4 mm
Área del ladrillo rojo	2500 cm ²
Área de la cubierta metálica	2500 cm ²

$$Q_{p\ cond} = \frac{1073\ ^\circ K - 333\ ^\circ K}{\left(\frac{0,15\ m}{1,34\ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \cdot 0,25\ m^2} \right) + \left(\frac{0,004\ m}{63,9\ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \cdot 0,25\ m^2} \right)}$$

$$Q_{p\ cond} = 2064\ W$$

• **Pérdida de calor por convección**

$$Q_{p\ conv} = \frac{T3 - Ta}{\frac{1}{A \cdot h}} \quad \text{Ec. 13}$$

En donde:

- $Q_{p\ conv}$ = Pérdida por convección [W]
- Ta = Temperatura ambiental [°K]
- $T3$ = Temperatura en la chapa metálica [°K]

- A = Área [m]
- h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m.°K]

Tabla 2.4 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción

Descripción	Valores
Temperatura ambiental	20 °C (293 °K)
Temperatura de la cubierta metálica	60 °C (333 °K)
Área	0,25 m ²
Coeficiente de transferencia de calor por convección	4,886 W/(m ² ·°K)

$$Q_{p\ conv} = \frac{333\ ^\circ K - 293\ ^\circ K}{\frac{1}{0,25\ m^2 \cdot 4,886\ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}}$$

$$Q_{p\ conv} = 48,86\ W$$

- **Pérdida de calor por aberturas**

Se debe determinar la cantidad de calor que se pierde por las aberturas presentes en el horno de fundición de aluminio N. 1, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q_{ab} = \sigma \cdot (T_G^4 - T_a^4) \cdot (AET) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde

- Q_{ab} = es el calor que pierde a través de aberturas [W]
- σ = constante Stefan-Boltzmann [$5,67 \times 10^{-8}$ W/m².K⁴]
- T_G = temperatura interna del horno [°K]
- T_a = temperatura ambiente [K]
- AET = es el área total por donde pierde calor [m²]

Conociendo que la temperatura de los gases es de 800 °C, la temperatura ambiente es de 20 °C y el área es de 0,25 m² se puede obtener lo siguiente.

$$Q_{ab} = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot (1073^4 - 293^4) \cdot 0,25 m^2$$

$$Q_{ab} = 18\,685,32 W$$

- **Pérdida de calor total en el horno de fundición de aluminio N. 1**

Este valor se determina a través de la sumatoria de todas las pérdidas de calor calculadas anteriormente, recordando que se debe considerar las 4 paredes del horno.

$$Q_{p\ total} = (4\ paredes) \cdot Q_{p\ cond} + (4\ paredes) \cdot Q_{p\ conv} + Q_{ab} \quad \text{Ec. 15}$$

$$Q_{p\ total} = (4) \cdot 2064 W + (4) \cdot 48,86 W + 18\,685,32 W$$

$$Q_{p\ total} = 27,136 kW$$

2.2.1.8. Energía total en el horno de fundición de aluminio N. 1

Para conocer la cantidad de calor que se necesita para la fundición del aluminio, incluido las pérdidas en el horno de crisol N. 1, considerando que se establece un trabajo de 20 min se evalúa por medio de un balance de energía de la siguiente manera.

$$Q_{TOTAL} = Q_{fundición} + Q_{p\ total} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde

- $Q_{fundición} = 10,88 kW$
- $Q_{p\ total} = 27,136 kW$

$$Q_{TOTAL} = 10,88 kW + 27,136 kW$$

$$Q_{TOTAL} = 38,016 kW$$

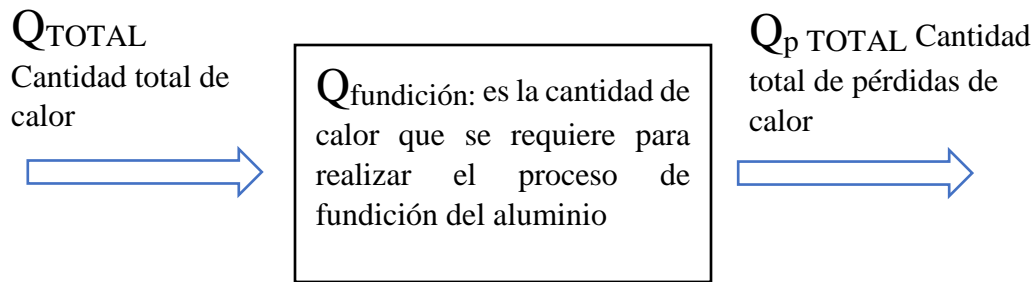


Figura 2.4 Balance de energía en el horno

2.2.1.9. Cantidad de calor suministrado

Se procede a calcular la cantidad de calor que suministra la fuente calorífica para llevar a cabo el proceso de fundición del aluminio, por lo tanto, se aplica la ecuación 17.

$$Q_s = \frac{P \cdot m}{t} \quad \text{Ec. 17}$$

En donde:

- Q_s = Cantidad de calor suministrado [kJ]
- P = Poder calorífico [kJ/kg]
- m = masa [kg]
- t = tiempo [s]

El valor del poder calorífico del carbón vegetal oscila entre los 29 000 kJ/kg y 35 000 kJ/kg, por lo tanto, para el cálculo se utiliza un valor medio que es de 32 000 kJ/kg, el valor de la masa del carbón utilizado es de 2,5 kg, se puede obtener el siguiente resultado.

$$Q_s = \frac{32\,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 2,5 \text{ kg}}{1200 \text{ s}}$$

$$Q_s = \frac{80\,000 \text{ kJ}}{1200 \text{ s}}$$

$$Q_s = 66,66 \text{ kW}$$

2.2.1.10. Rendimiento del horno de fundición N. 1

El rendimiento del horno de fundición de aluminio N.1 se puede determinar por medio de la siguiente expresión matemática.

$$\eta = \frac{Q_S - Q_{TOTAL}}{Q_S} \cdot 100 \% \quad \text{Ec. 18}$$
$$\eta = \frac{66,66 \text{ kW} - 38,016 \text{ kW}}{66,66 \text{ kW}} \cdot 100 \%$$
$$\eta = 42,97 \%$$

2.2.2. Temperatura nodal en el horno de crisol N. 1

La distribución de las temperaturas nodales a través del ladrillo rojo y la cubierta metálica se desarrollaron por medio de un software de simulación, permitiendo visualizar en diferentes puntos del material aislante la temperatura a la que se encuentran.

Para el desarrollo de la simulación se utilizaron técnicas de simplificación, ya que el horno tiene iguales dimensiones, se aplicó la simetría, de esta manera se puede realizar un análisis en una representación bidimensional.

El proceso de simulación inicia con la implementación de cuadrículas con longitudes de 0,05 m cada cuadro, adicional se realiza un trazo de punto y líneas para separar las áreas de los dos tipos de materiales, sus características se presentan a continuación:

Ladrillo rojo:

- Conductividad térmica: 1,34 W/m.K
- Espesor: 15 cm
- Temperatura interior: 800 °C = 1073 °K

Cubierta metálica: 63,9 W/m.K

- Conductividad térmica: 63,9 W/m.K
- Espesor: 5 mm
- Temperatura exterior: 60 °C = 333 °K

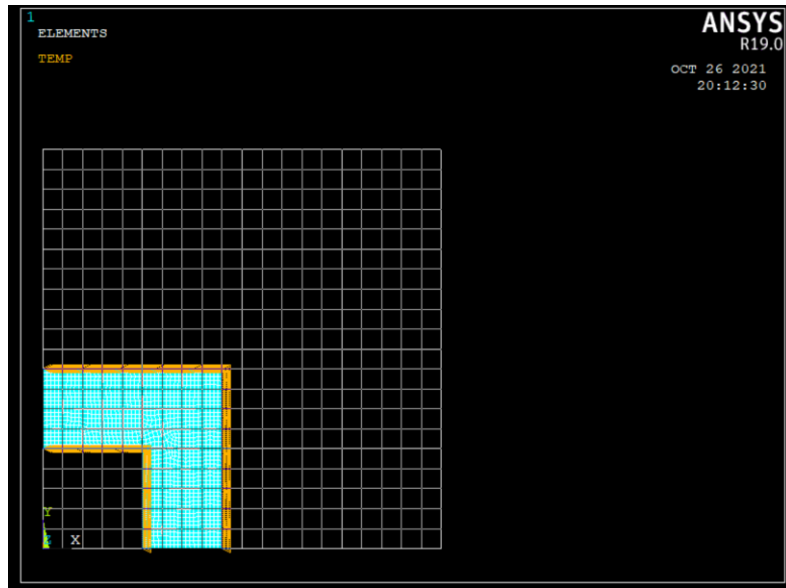


Figura 2.5 Mallado del material aislante en el horno N. 1

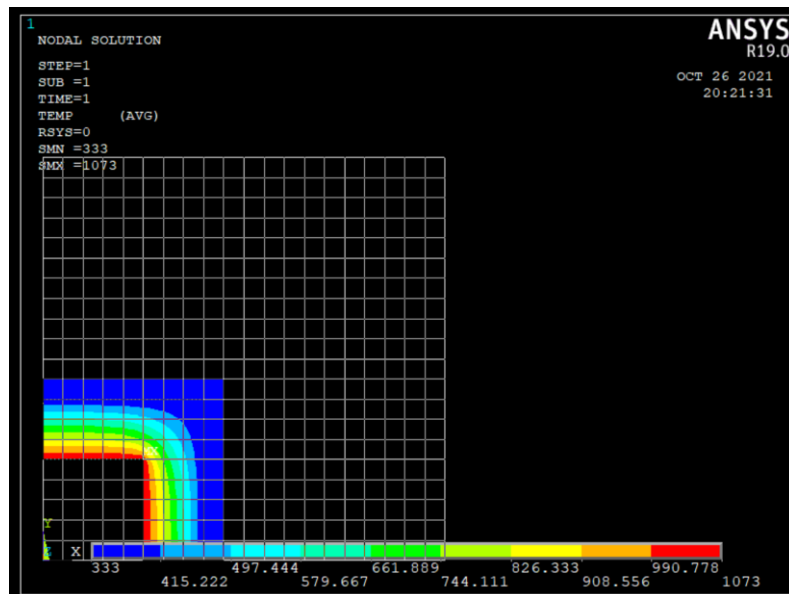


Figura 2.6 Distribución de temperatura en el horno N. 1

2.3. Descripción técnica del horno de fundición de aluminio N. 2

Es necesario realizar una caracterización técnica del horno de fundición de aluminio N. 2 para emplear y desarrollar las diferentes expresiones matemáticas térmicas de tal manera que se pueda analizar y comparar con el horno de fundición N. 1.

A continuación, se presenta el estado físico del horno de fundición de aluminio N. 2.



Figura 2.7 Horno para fundición de aluminio N. 1

Tabla 2.5 Características del horno para la fundición de aluminio N. 2





Descripción	Característica
Fuente de calor	Carbón vegetal
Calor específico del aluminio	960 J/kg.°C
Calor latente de fusión	398,69 kJ/kg
Dimensión del horno	Altura: 156 cm; largo: 90 cm; ancho 70 cm.
Dimensión de la cámara de combustión	Altura: 53 cm; largo: 50 cm; ancho 50 cm.
Material refractario	Ladrillo refractario Manta cerámica Cubierta metálica
Dimensión del material refractario	300 x 180 x 140 mm


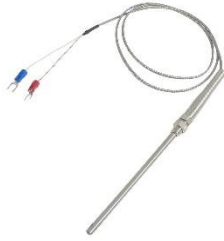

Control de temperatura	Control On/Off
Flujo de aire	Blower
Masa del crisol	6 kg
Calor específico del crisol	962,96 J/kg.°C

- **Elementos utilizados para el sistema de control de temperatura**

El tipo de control que se utiliza para la temperatura en el horno de crisol es un control ON/OFF, la salida del controlador está encendida o apagada, sin un estado intermedio, en la siguiente tabla se puede observar los elementos utilizados para el control.

Tabla 2.6 Elementos del sistema de control

Cantidad	Detalle	Descripción fotográfica
1	Luces indicadoras	
1	Interruptor Termomagnético 20 A	
1	Selector de dos posiciones	
1	Tablero eléctrico	

1	Controlador de temperatura	
1	Termocupla tipo k	
Control de temperatura		
		

2.3.1. Expresiones térmicas aplicadas en la fundición de aluminio N. 2

A continuación, se presentan las expresiones térmicas que se utilizan para desarrollar un análisis térmico en el horno de fundición de aluminio N. 2.

2.3.1.1. Calor requerido

Para determinar la cantidad de calor que necesita el horno para la fundición del aluminio, se aplica la ecuación 1.

2.3.1.2. Calor suministrado al aluminio

Es necesario volver a aplicar los 3 aspectos conocidos anteriormente:

- **Cantidad de calor para elevar 20 °C a 660°C**

Como el horno de fundición de aluminio N. 2, presenta los mismos valores para determinar la cantidad de calor de elevación de temperatura de 20 °C a 660 °C se obtiene por medio de la ecuación 2 lo siguiente.

$$Q_1 = 4\,300,8 \text{ kJ}$$

- **Cantidad de calor para cambio de fase**

Aplicando la ecuación N. 3 se obtiene el valor del cambio de fase del aluminio, por lo tanto, se obtiene que:

$$Q_2 = 2\,790,83 \text{ kJ}$$

- **Cantidad de calor para alcanzar la temperatura de colado**

Mediante el desarrollo de la ecuación N. 4 se obtiene el valor de la temperatura del colado, el cual es:

$$Q_3 = 940,8 \text{ kJ}$$

- **Cantidad de calor entregado al aluminio**

Utilizando la expresión matemática N. 5 se determina el valor del calor que se entrega al metal “aluminio”.

$$Q_{T\,al} = 8032,53 \text{ kJ}$$

2.3.1.3. Calor que absorbe el crisol

Para conocer el valor del calor que absorbe el crisol del horno N. 2 se aplica la expresión matemática N. 6, conociendo el valor del calor específico del crisol empleado que según la tabla 2.5 es de 962,96 J/kg.°C, la masa del crisol es de 6 kg y la elevación

de la temperatura de 20 °C (temperatura ambiente) a 800 °C (temperatura de colado del aluminio) se puede obtener lo siguiente.

$$Q_{ab\ crisol} = 962,96 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 6\ kg \cdot (800 - 20) \ ^\circ C$$

$$Q_{ab\ crisol} = 4\ 506,65\ kJ$$



Figura 2.8 Crisol utilizado en el horno de fundición N. 2

2.3.1.4. Calor que requiere el crisol y el aluminio

El calor establecido del crisol y el aluminio se determina por medio de la expresión matemática N. 7, considerando un tiempo de 18 min, se obtiene lo siguiente:

$$Q_{fundición} = \frac{8\ 032,53\ kJ + 4\ 506,65\ kJ}{1080\ s}$$

$$Q_{fundición} = 11,61\ kW$$

2.3.1.5. Cantidad de calor perdido

Para determinar la cantidad de calor que se pierde en el proceso de fundición del aluminio utilizando el horno de crisol N. 2, se emplea un análisis de las paredes que se utilizan como: ladrillo refractario, manta cerámica y cubierta metálica, se puede visualizar en la siguiente figura.

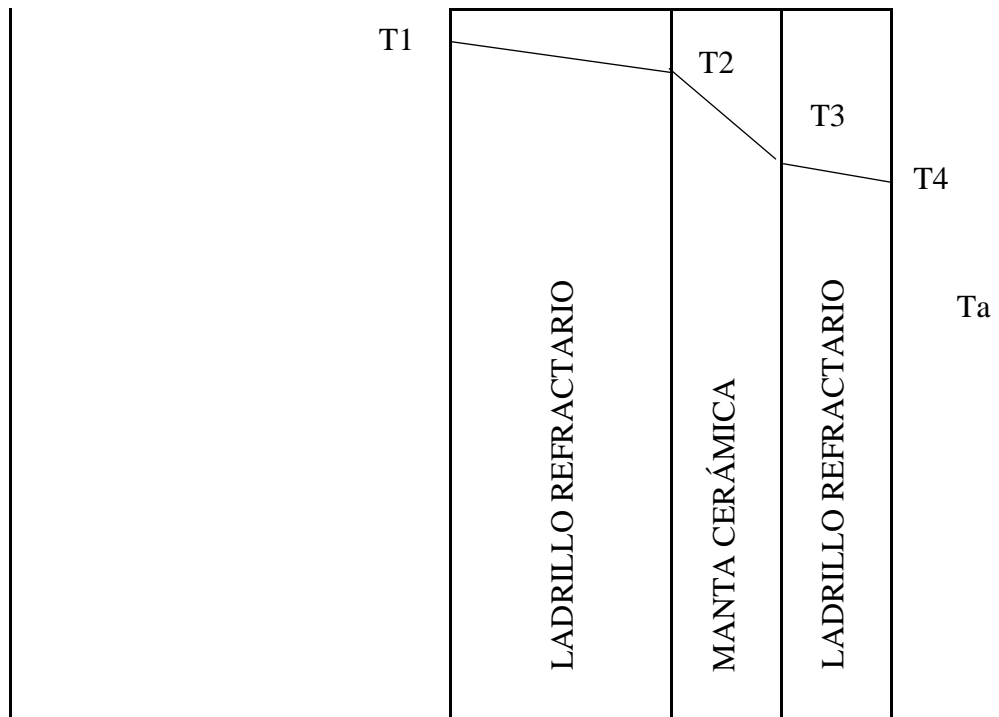


Figura 2.9 Perfil de temperaturas en el interior del horno N. 2

De la figura anterior se puede destacar lo siguiente:

- T_1 : Temperatura de la pared interior del horno [$^{\circ}\text{C}$]
- T_2 : Temperatura de la manta cerámica [$^{\circ}\text{C}$]
- T_3 : Temperatura de ladrillo refractario 2 [$^{\circ}\text{C}$]
- T_4 : Temperatura exterior del horno [$^{\circ}\text{C}$]
- T_a : Temperatura ambiental [$^{\circ}\text{C}$]

En la siguiente figura se puede observar las resistencias térmicas para la evaluación de la transferencia de calor por unidad de longitud en paredes planas.

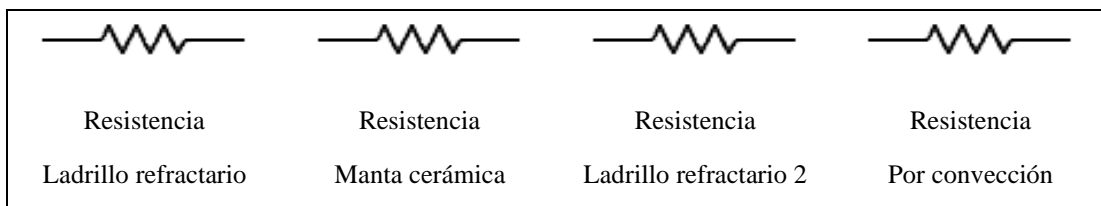


Figura 2.10 Resistencias térmicas en el horno N. 2

2.3.1.6. Coeficiente de transferencia de calor por convección para horno N. 2

Se debe determinar el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección para paredes planas, primeramente, se debe encontrar la temperatura de película con la expresión matemática N. 8

Conociendo el valor de la temperatura ambiente que es de 20 °C (293 °K) y el valor de la temperatura del material refractario 2 que es de 40 °C (313 °K), se puede obtener lo siguiente.

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

$$T_p = 303 \text{ }^\circ\text{K}$$

Tabla 2.7 Propiedades del aire a la temperatura de película

Temperatura [°K]	Viscosidad cinemática [m ² /s]	Conductividad térmica [W/m.°K]	Difusividad térmica [m ² /s]	Constante de Prandtl
303	16,08 x 10 ⁻⁶	25,88 x 10 ⁻³	22,08 x 10 ⁻⁶	0,7282

- **Cálculo del número de Rayleigh**

Para determinar el número de Rayleigh se aplica la ecuación N. 8, en la que se conoce el valor de la gravedad que es de 9,81 m²/s, el valor de la temperatura de salida 313 °K, el valor de la temperatura ambiente que es de 20 °C (293 °K), la altura del horno que es de 0,53 m, y el valor de la viscosidad cinemática que según la tabla 2.6, es de 16,08 x 10⁻⁶ [m²/s], se puede obtener lo siguiente.

$$R_a = \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0033 \cdot (313 - 293) \cdot 0,53^3}{16,08 \times 10^{-6} \cdot 22,08 \times 10^{-6}}$$

$$R_a = 271214251,4$$

El resultado del número de Rayleigh es superior a 10^9 , por lo tanto, se considera un flujo turbulento para lo cual se aplica la ecuación N. 10 para encontrar el valor del Número de Nusselt.

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 \cdot (271214251,4)^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,7282} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 82,71$$

- **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección**

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección se aplica la ecuación N. 11 en la que se tiene como resultado lo siguiente.

$$h_c = \frac{82,71 \cdot 25,88 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0,53 m}$$

$$h_c = 4,038 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

2.3.1.7. Pérdida de calor por transferencia de las paredes del horno

Las pérdidas de calor presentes en el horno de fundición de aluminio N. 2 se las determina a través de las 5 paredes del horno, 4 laterales y 1 superior.

- **Pérdida de calor por conducción**

$$Q_{p\ cond} = \frac{T1 - T4}{\left(\frac{e_{refra}}{k_{refra} \cdot A_{refra}} \right) + \left(\frac{e_{manta}}{k_{manta} \cdot A_{manta}} \right) + \left(\frac{e_{refra\ 2}}{k_{refra\ 2} \cdot A_{refra\ 2}} \right)} \quad \text{Ec. 19}$$

De acuerdo con la figura 2.9 se puede determinar el valor de la pérdida de calor por conducción por medio de la expresión matemática N. 19.

En donde:

- $Q_{p\ cond}$ = Pérdida por conducción [W]
- T_1 = Temperatura interna del horno [°K]
- T_4 = Temperatura del ladrillo refractario 2 [°K]
- L = Altura [m]
- k_{refra} = Conductividad térmica del ladrillo refractario [W/m.°K]
- k_{manta} = Conductividad térmica de la manta cerámica [W/m.°K]
- $k_{refra\ 2}$ = Conductividad térmica del ladrillo refractario 2 [W/m.°K]
- e_{refra} = Espesor del ladrillo refractario [m]
- e_{manta} = Espesor de la manta [m]
- $e_{refra\ 2}$ = Espesor del ladrillo refractario 2 [m]
- A_{refra} = Área del ladrillo refractario [m²]
- A_{manta} = Área de la manta cerámica [m²]
- $A_{refra\ 2}$ = Área del ladrillo refractario 2 [m²]



Figura 2.11 Ladrillo refractario 1 y 2



Figura 2.12 Manta cerámica

Tabla 2.8 Datos para determinar la pérdida de calor por conducción

Descripción	Valores
Temperatura interna del horno	800 °C (1073 °K)
Temperatura del ladrillo refractario 2	40 °C (313 °K)
Altura del horno	0,53 m
Conductividad térmica del ladrillo refractario	0,3 W/m.°K
Conductividad térmica de la manta cerámica	0,068 W/m.°K
Conductividad térmica del ladrillo refractario 2	0,6 W/m.°K
Espesor del ladrillo refractario	14 cm
Espesor de la manta cerámica	5 cm
Espesor del ladrillo refractario 2	10 cm
Área del ladrillo refractario, manta cerámica y ladrillo refractario 2	2500 cm ²

$$Q_{p\ cond} = \frac{1073\ ^\circ K - 313\ ^\circ K}{\left(\frac{0,14\ m}{0,3\ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \cdot 0,25\ m^2}\right) + \left(\frac{0,05\ m}{0,068\ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \cdot 0,25\ m^2}\right) + \left(\frac{0,1\ m}{0,6\ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \cdot 0,25\ m^2}\right)}$$

$$Q_{p\ cond} = 134,72\ W$$

• **Pérdida de calor por convección**

$$Q_{p\ conv} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{A \cdot h}} \quad \text{Ec. 20}$$

En donde:

- $Q_{p\ conv}$ = Pérdida por convección [W]
- T_a = Temperatura ambiental [$^\circ K$]
- T_4 = Temperatura del ladrillo refractario 2 [$^\circ K$]
- A = Área [m]
- h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m. $^\circ K$]

Tabla 2.9 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción

Descripción	Valores
Temperatura ambiental	20 $^\circ C$ (293 $^\circ K$)
Temperatura de la cubierta metálica	40 $^\circ C$ (313 $^\circ K$)
Área	0,25 m ²
Coeficiente de transferencia de calor por convección	4,038 W/(m ² . $^\circ K$)

$$Q_{p\ conv} = \frac{313\ ^\circ K - 293\ ^\circ K}{\frac{1}{0,25\ m^2 \cdot 4,038\ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}}$$

$$Q_{p\ conv} = 20,19\ W$$

2.3.1.8. Pérdida de calor por transferencia de la puerta del horno

Para determinar la cantidad de calor que se pierde por la puerta del horno de crisol N.2 se realiza un análisis de transferencia de calor por conducción y convección, como se muestra en la siguiente figura.

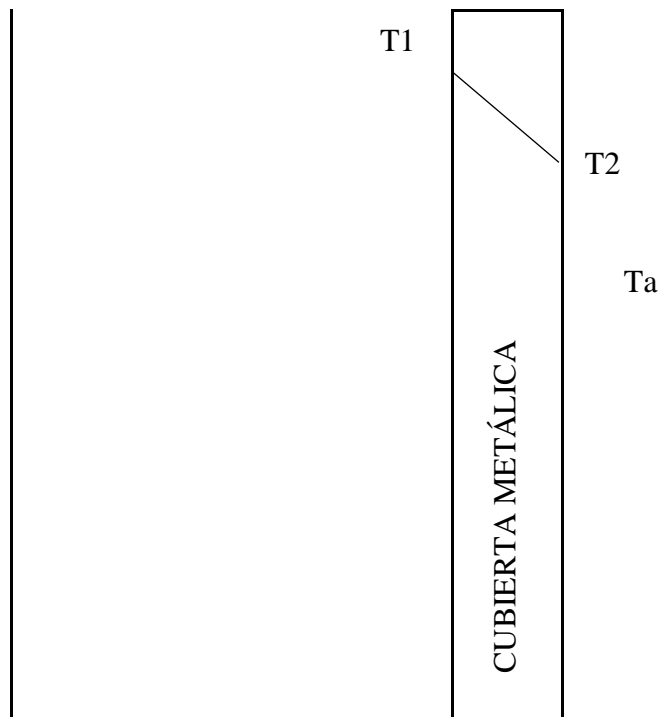


Figura 2.13 Perfil de temperaturas en la puerta del horno N. 2

De la figura anterior se puede destacar lo siguiente:

- T1: Temperatura interna del horno [°C]
- T2: Temperatura de la cubierta metálica [°C]
- Ta: Temperatura ambiental [°C]

Se puede observar en la siguiente figura las resistencias térmicas para la evaluación de la transferencia de calor por conducción y convección en paredes planas.

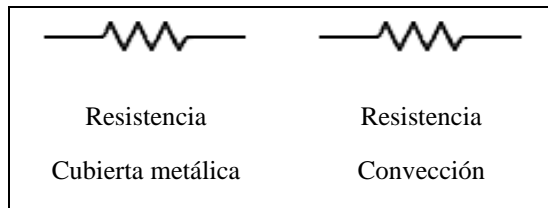


Figura 2.14 Resistencias térmicas en la puerta del horno N. 2

• **Temperatura de película**

El valor de la temperatura ambiente es de 20 °C (293 °K) y el valor de la temperatura de la cubierta metálica es de 70 °C (343 °K), se puede obtener lo siguiente.

$$T_p = \frac{293 \text{ }^\circ\text{K} + 343 \text{ }^\circ\text{K}}{2}$$

$$T_p = 318 \text{ }^\circ\text{K}$$

Tabla 2.10 Propiedades del aire a la temperatura de película de la cubierta metálica

Temperatura [°K]	Viscosidad cinemática [m ² /s]	Conductividad térmica [W/m.°K]	Difusividad térmica [m ² /s]	Constante de Prandtl
318	17,50 x 10 ⁻⁶	26,99 x 10 ⁻³	24,16 x 10 ⁻⁶	0,7241

• **Cálculo del número de Rayleigh**

Aplicando la expresión matemática N. 9, para determinar el número de Rayleigh, se tiene de datos lo siguiente:

- Gravedad que es de 9,81 m²/s
- Temperatura de salida 318 °K
- Temperatura ambiente que es de 20 °C (293 °K),
- Altura del horno que es de 0,53 m
- Valor de la viscosidad cinemática que es de 17,50 x 10⁻⁶ [m²/s]

$$R_a = \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,003144 \cdot (318 - 293) \cdot 0,53^3}{17,50 \times 10^{-6} \cdot 24,16 \times 10^{-6}}$$

$$Ra = 271232203,3$$

El resultado del número de Rayleigh es superior a 10^9 , por lo tanto, se considera un flujo turbulento para lo cual se aplica la ecuación N. 10 para encontrar el valor del Número de Nusselt.

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 \cdot (271232203,3)^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,7241} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 82,648$$

- **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección**

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección se aplica la ecuación N. 11 en la que se tiene como resultado lo siguiente.

$$h_c = \frac{82,648 \cdot 26,99 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0,53 m}$$

$$h_c = 4,208 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

- **Pérdida de calor por conducción**

De acuerdo con la figura 2.13 se puede determinar el valor de la pérdida de calor por conducción por medio de la expresión matemática N. 21.

$$Q_{p\ cond} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{e_{cub\ metal}}{k_{cub\ metal} \cdot A_{cub\ metal}} \right)} \quad \text{Ec. 21}$$

En donde:

- $Q_{p\ cond}$ = Pérdida por conducción [W]

- T_1 = Temperatura interna del horno [$^{\circ}\text{K}$]
- T_2 = Temperatura de la cubierta metálica [$^{\circ}\text{K}$]
- $K_{\text{cub metal}}$ = Conductividad térmica del ladrillo refractario [$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{K}$]
- $E_{\text{cub metal}}$ = Espesor del ladrillo refractario [m]
- $A_{\text{cub metal}}$ = Área del ladrillo refractario [m^2]



Figura 2.15 Cubierta metálica como puerta del horno N. 2

$$Q_{p\ cond} = \frac{1073\ ^{\circ}\text{K} - 343\ ^{\circ}\text{K}}{\left(\frac{0,005\ \text{m}}{65,1\ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^{\circ}\text{K}} \cdot 0,25\ \text{m}^2} \right)}$$

$$Q_{p\ cond} = 2\ 376,15\ \text{W}$$

- **Pérdida de calor por convección**

$$Q_{p\ conv} = \frac{T_2 - T_a}{\frac{1}{A \cdot h}} \quad \text{Ec. 22}$$

En donde:

- $Q_{p\ conv}$ = Pérdida por convección [W]
- T_a = Temperatura ambiental [$^{\circ}\text{K}$]
- T_2 = Temperatura de la cubierta metálica [$^{\circ}\text{K}$]
- A = Área [m]

- h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m.°K]

Tabla 2.11 Datos para el cálculo de la pérdida de calor por conducción

Descripción	Valores
Temperatura ambiental	20 °C (293 °K)
Temperatura de la cubierta metálica	70 °C (343 °K)
Área	0,25 m ²
Coeficiente de transferencia de calor por convección	4,028 W/(m ² ·°K)

$$Q_{p\ conv} = \frac{343\ ^\circ K - 293\ ^\circ K}{\frac{1}{0,25\ m^2 \cdot 4,028\ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}}$$

$$Q_{p\ conv} = 50,35\ W$$

- **Pérdida de calor total en el horno de fundición de aluminio N. 2**

Este valor se determina a través de la sumatoria de todas las pérdidas de calor calculadas anteriormente, recordando que se debe considerar las 4 paredes del horno con material refractario y una pared de tipo cubierta metálica.

$$Q_{p\ total} = (4\ p) \cdot Q_{p\ cond} + (4\ p) \cdot Q_{p\ conv} + Q_{p\ cond(cub\ metal)} + Q_{p\ conv(cub\ metal)} \quad \text{Ec. 23}$$

$$Q_{p\ total} = (4) \cdot 134,72\ W + (4) \cdot 20,19\ W + 2\ 376,15\ W + 50,35\ W$$

$$Q_{p\ total} = 3046,14\ W$$

2.3.1.9. Energía total en el horno de fundición de aluminio N. 2

Para conocer la cantidad de calor que se necesita para la fundición del aluminio, incluido las pérdidas en el horno de crisol N. 2, considerando que se establece un trabajo de 18 min se evalúa por medio de un balance de energía de la siguiente manera.

$$Q_{TOTAL} = Q_{fundición} + Q_{p\ total} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde

- $Q_{fundición} = 11,64 \text{ kW}$

- $Q_{p\ total} = 3,04614 \text{ kW}$

$$Q_{TOTAL} = 11,64 \text{ kW} + 3,04614 \text{ kW}$$

$$Q_{TOTAL} = 14,69 \text{ kW}$$

2.3.1.10. Cantidad de calor suministrado

El valor del poder calorífico del carbón vegetal es de 32 000 kJ/kg, el valor de la masa del carbón utilizado es de 2,5 kg y el tiempo se considera de 18 min, por lo tanto, se puede obtener el siguiente resultado.

$$Q_s = \frac{32\ 000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 2,5 \text{ kg}}{1080 \text{ s}}$$

$$Q_s = \frac{80\ 000 \text{ kJ}}{1080 \text{ s}}$$

$$Q_s = 74,07 \text{ kW}$$

2.3.1.11. Rendimiento del horno de fundición N. 2

El rendimiento del horno de fundición de aluminio N.2 se puede determinar por medio de la siguiente expresión matemática.

$$\eta = \frac{Q_s - Q_{TOTAL}}{Q_s} \cdot 100 \% \quad \text{Ec. 25}$$

$$\eta = \frac{74,07 \text{ kW} - 14,69 \text{ kW}}{74,07 \text{ kW}} \cdot 100 \%$$

$$\eta = 80,16 \%$$

2.3.2. Temperatura nodal en el horno de crisol N. 2

La distribución de las temperaturas en los diferentes puntos a través de las dos capas del ladrillo refractario y la manta cerámica se realizan con la ayuda de un software de simulación, permitiendo visualizar la temperatura del material refractario a la que se encuentran.

Para el desarrollo de la simulación se utilizaron técnicas de simplificación, ya que el horno tiene iguales dimensiones, se aplicó la simetría, de esta manera se puede realizar un análisis en una representación bidimensional.

El proceso de simulación inicia con la implementación de cuadrículas con longitudes de 0,05 m cada cuadro, adicional se realiza un trazo de punto y líneas para separar las áreas de los dos tipos de materiales, sus características se presentan a continuación:

Ladrillo refractario 1:

- Conductividad térmica: 0,3 W/m.K
- Espesor: 15 cm
- Temperatura interior: 800 °C = 1073 °K

Manta cerámica:

- Conductividad térmica: 0,068 W/m.K
- Espesor: 5 mm

Ladrillo refractario 2:

- Conductividad térmica: 0,6 W/m.K
- Espesor: 10 mm
- Temperatura exterior: 40 °C = 313 °K

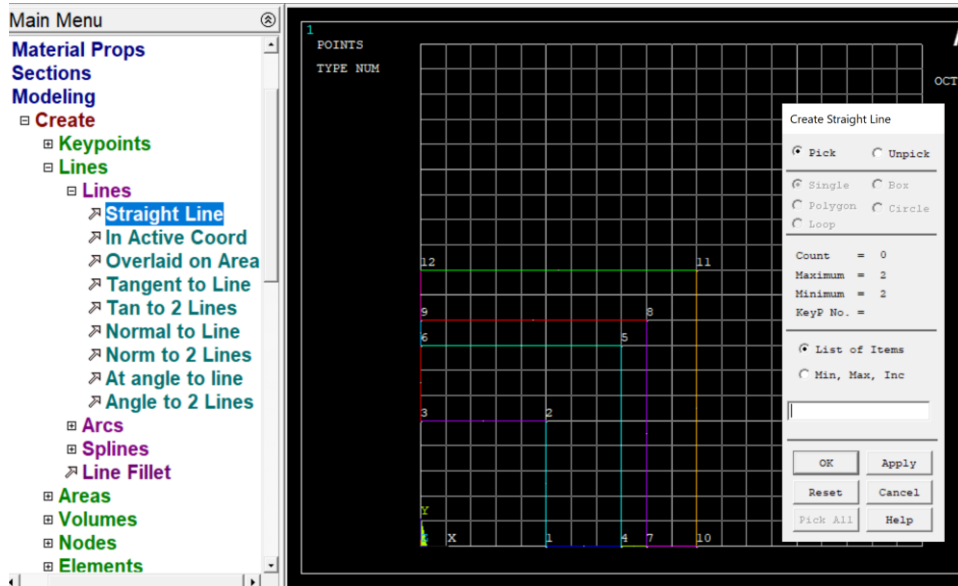


Figura 2.16 Separación de los 3 tipos de materiales refractarios del horno N. 2

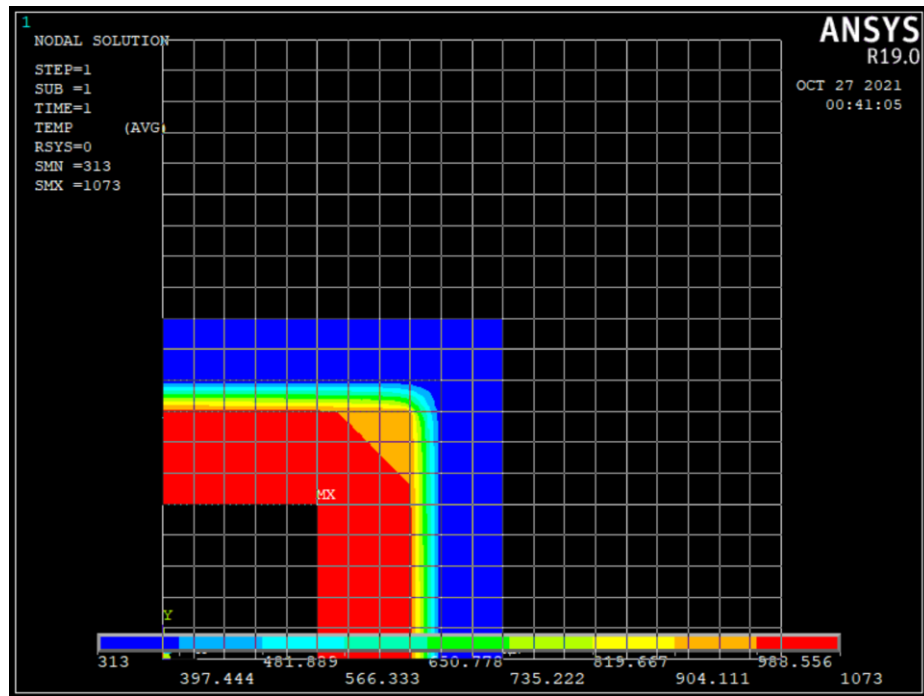


Figura 2.17 Distribución de temperatura en el horno N. 2

2.4. Conclusiones

- Se propone un método para el cálculo del proceso térmico del horno de crisol N. 1 y N. 2 teniendo en cuenta el análisis de ecuaciones primordiales que permiten elaborar una comparación energética, bajo las condiciones de operación según requerimientos.
- Se establecieron los métodos, procedimientos y condiciones experimentales, que fundamentan las propiedades a investigar para argumentar la fundición del aluminio con los diferentes tipos de materiales refractarios existentes.

3. CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción y objeto del capítulo

Es necesario considerar distintos criterios, valoraciones y resultados a partir de la resolución de expresiones matemáticas y el desarrollo de simulaciones por software que justifiquen el análisis térmico en los diferentes tipos de horno de crisol para la fundición de aluminio.

El presente capítulo plantea analizar los resultados obtenidos detallando los fundamentos científicos e interpretando los valores térmicos del horno de crisol N. 1 y N. 2 para la fundición de aluminio.

3.2. Análisis de los resultados

A continuación, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos en el anterior capítulo entre el horno de crisol N. 1 que contiene ladrillo como material refractario y posee una pared lateral de abertura con el horno de crisol N. 2 que presenta material refractario y una manta cerámica como aislantes térmicos, adicional una pared lateral del horno se considera como la puerta que es una cubierta metálica.

En la tabla 3.1 se presenta una descripción de los indicadores con sus respectivos valores del horno de crisol para la fundición del aluminio N. 1 en el que menciona: el tipo de fuente calorífica, la cantidad de calor requerido por el aluminio, la cantidad de calor que requiere el crisol, el tiempo de fundición, la cantidad de calor para la fundición del metal, la pérdida de calor por conducción, por convección y por aberturas, las pérdidas totales, la energía necesario para fundir el aluminio, la cantidad de calor que genera el horno y el rendimiento.

En la tabla 3.2 se detalla de igual manera los indicadores del horno de crisol para la fundición del aluminio N. 2, que sustenten la comparación entre estos dos hornos de tal manera que se pueda realizar un análisis energético comparativo con sus ventajas y desventajas para conducir a la finalización del proyecto de investigación.

Tabla 3.1 Descripción de los resultados obtenidos del horno de fundición N. 1



Horno de fundición de aluminio N. 1	
	
Descripción	Valor
Fuente calorífica	Carbón vegetal
Cantidad de calor requerido por el aluminio	8032,53 kJ
Cantidad de calor requerido por el crisol	5031 kJ
Tiempo de fundición	20 min
Cantidad de calor para la fundición del metal	10,88 kW
Pérdida de calor por conducción por pared	4 x 2064 W
Pérdida de calor por convección por pared	4 x 48,86 W
Pérdida de calor por abertura	18 685,32 W
Pérdida total de calor	27,136 W
Energía total necesaria para la fundición del aluminio	38,016 W
Cantidad de calor suministrado	66,66 kW
Rendimiento	42,97 %

Tabla 3.2 Descripción de los resultados obtenidos del horno de fundición N. 2

Horno de fundición de aluminio N. 2	
	
Descripción	Valor
Fuente calorífica	Carbón vegetal
Cantidad de calor requerido por el aluminio	8032,53 kJ
Cantidad de calor requerido por el crisol	4506,65 kJ
Tiempo de fundición	18 min
Cantidad de calor para la fundición del metal	11,61 kW
Pérdida de calor por conducción por pared	$4 \times 134,72 \text{ W} + 2376,15 \text{ W}$
Pérdida de calor por convección por pared	$4 \times 20,19 \text{ W} + 50,35 \text{ W}$
Pérdida total de calor	3046,14 W
Energía total necesaria para la fundición del aluminio	14,69 W
Cantidad de calor suministrado	74,07 kW
Rendimiento	80,16 %

3.2.1. Cantidad de calor requerido por el aluminio

3.2.1.1. Horno de fundición N. 1 (Calor aluminio)

Para el horno de crisol utilizado en la fundición de aluminio N. 1, se requiere la siguiente cantidad de calor y se considera un tiempo de 20 min, para lo cual los datos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.3 Descripción del calor requerido por el aluminio en el horno N. 1

Calor requerido por el aluminio en kJ	8032,53 kJ
Tiempo	20 min = 1200 s
Calor requerido por el aluminio en kW	6,693 kW

3.2.1.2. Horno de fundición N. 2 (Calor del aluminio)

Por otra parte, para el horno de crisol utilizado en la fundición de aluminio N. 2, se requiere la siguiente cantidad de calor y se considera un tiempo de 18 min, para lo cual los datos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Descripción del calor requerido por el aluminio en el horno N. 2

Calor requerido por el aluminio en kJ	8032,53 kJ
Tiempo	18 min = 1080 s
Calor requerido por el aluminio en kW	7,437 kW

3.2.1.3. Análisis del calor requerido

Al desarrollar la fundición del aluminio, la cantidad de calor requerida en kJ es la misma para el horno de crisol N. 1 y N. 2, la diferencia radica en la unidad de tiempo, para lo cual, el horno N. 1 obtiene un tiempo de 20 min consiguiendo 6,693 kW, mientras que el horno N. 2 presenta un tiempo de 18 min consiguiendo 7,437 kW, estos datos se pueden visualizar en la siguiente figura.

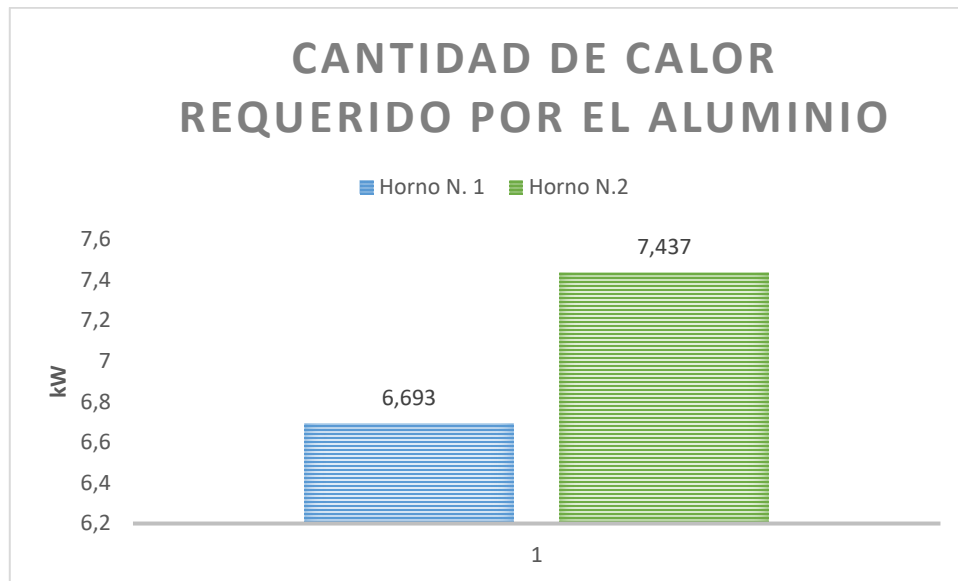


Figura 3.1 Cantidad de calor requerido por el aluminio

3.2.2. Cantidad de calor requerido por el crisol

3.2.2.1. Horno de fundición N. 1 (Calor en el crisol)

Para el horno de crisol utilizado en la fundición de aluminio N. 1, se requiere la siguiente cantidad de calor para el crisol, considerando de igual manera los 20 min obteniendo los siguientes datos se detallan en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Descripción del calor requerido por el crisol en el horno N. 1

Calor requerido por el crisol en kJ	5031 kJ
Tiempo	20 min = 1200 s
Calor requerido por el crisol en kW	4,192 kW

3.2.2.2. Horno de fundición N. 2 (Calor en el crisol)

Mientras tanto para el horno de crisol N. 2 a un tiempo de 18 min (1080 s), se obtiene la siguiente cantidad de calor expresada en kJ y kW, para lo cual los datos se detallan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Descripción del calor requerido por el crisol en el horno N. 2

Calor requerido por el aluminio en kJ	4506,65 kJ
Tiempo	18 min = 1080 s
Calor requerido por el aluminio en kW	4,172 kW

3.2.2.3. Análisis del calor requerido

Al desarrollar la fundición del aluminio, el crisol del horno de fundición N. 1 necesita una cantidad de 4,192 kW, mientras tanto el crisol del horno de fundición N. 2 necesita una cantidad de 4,172 kW, estas cantidades aproximadamente son similares, por presentar en el crisol características semejantes, estos datos se pueden visualizar en la siguiente figura.

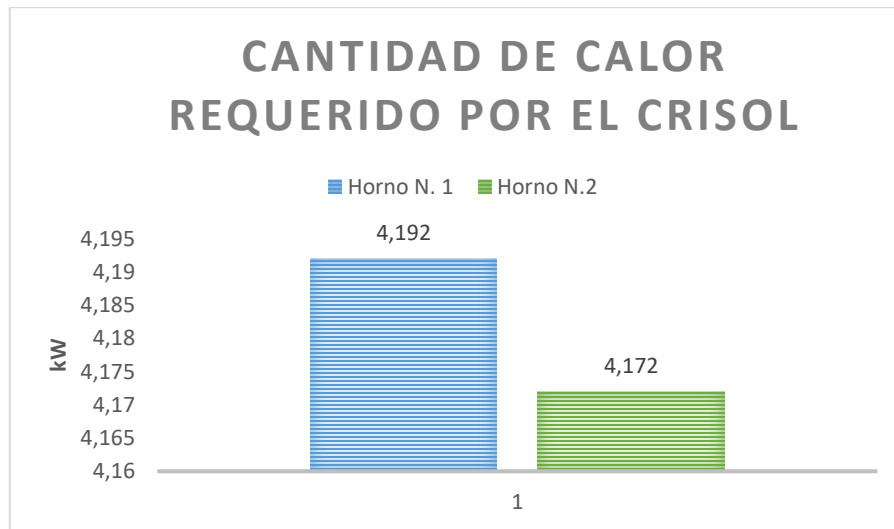


Figura 3.2 Cantidad de calor requerido por el crisol

3.2.3. Cantidad de calor para la fundición de aluminio

Una vez determinado el análisis de la cantidad de calor necesaria para el aluminio y para el crisol, se procede al análisis de la cantidad de calor para la fundición del aluminio, estos valores se detallan en la siguiente tabla, tanto para el horno de fundición N. 1 y N. 2.

Tabla 3.7 Datos obtenidos para la fundición del aluminio

Calor requerido para la fundición del aluminio en el Horno N. 1	10,88 kW
Calor requerido para la fundición del aluminio en el Horno N. 2	11,61 kW

3.2.3.1. Análisis de la cantidad de calor para la fundición del aluminio

Para desarrollar la cantidad de calor para fundir aluminio, el horno de crisol N. 1 necesita 10,88 kW mientras que el horno de crisol N. 2 necesita 11,61 kW, estos valores determinados no incluyen las pérdidas de calor, por lo tanto, son valores ideales, los datos se pueden visualizar en la siguiente figura.

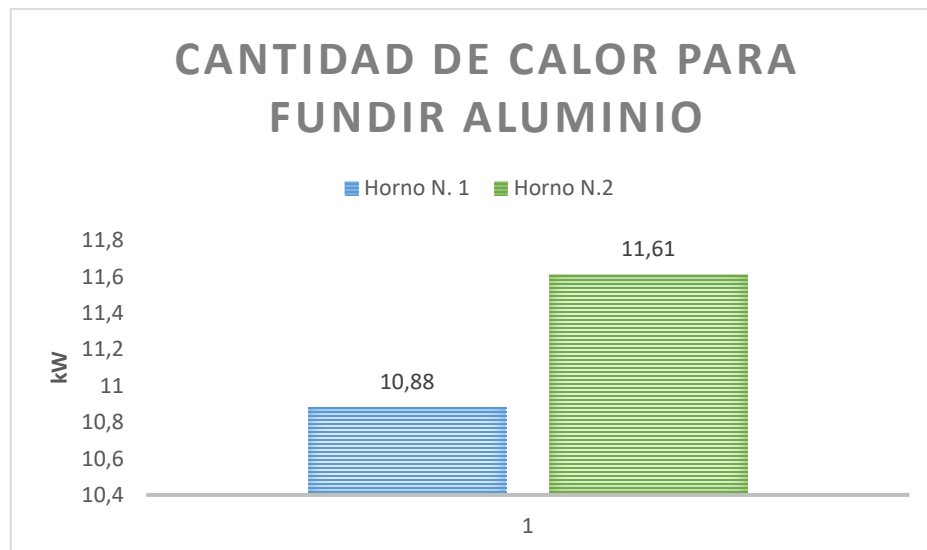


Figura 3.3 Cantidad de calor para fundir aluminio

3.2.4. Pérdidas de calor por conducción

3.2.4.1. Horno de fundición N. 1 (Pérdidas por conducción)

El horno de crisol N. 1 presenta 3 paredes laterales y una pared tipo techo, en el que utiliza ladrillo rojo y una cubierta metálica como aislantes térmicos, de esta manera se puede constatar los siguientes datos detallados en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Datos obtenidos de la pérdida de calor por convección en el horno N. 1

Pérdida de calor por pared	2064 W
Pérdida de calor (4 paredes)	8256 W

3.2.4.2. Horno de fundición N. 2 (Pérdidas por conducción)

El horno de crisol N. 2 presenta 4 paredes laterales y una pared de tipo techo, las 3 paredes laterales y la pared tipo techo utilizan ladrillo refractario y una capa de manta cerámica como aislantes térmicos, mientras que una pared se utiliza como puerta con un recubrimiento solamente de metal, los datos se detallan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Datos obtenidos de la pérdida de calor por convección en el horno N. 2

Pérdida de calor por pared de material refractario	134,72 W
Pérdida de calor por pared de material refractario (4 paredes)	539,88 W
Pérdida de calor por pared de cubierta metálica	2376,15 W

3.2.5. Pérdidas de calor por convección

3.2.5.1. Horno de fundición N. 1 (Pérdidas por convección)

De las 4 paredes que presenta el horno de crisol N. 1, se determina el valor de las pérdidas por convección, para lo cual se realizaron los siguientes cálculos precedentes: temperatura de película, número de Rayleigh, número de Nusselt, y el coeficiente de transferencia de calor por convección, las pérdidas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.10 Datos obtenidos de la pérdida de calor por conducción en el horno N. 1

Pérdida de calor por pared	48,86 W
Pérdida de calor (4 paredes)	195,44 W

3.2.5.2. Horno de fundición N. 2 (Pérdidas por convección)

En el horno de crisol N. 2 de igual manera se desarrollaron los mismos cálculos precedentes para determinar el valor de las pérdidas por convección, detallados en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Datos obtenidos de la pérdida de calor por conducción en el horno N. 2

Pérdida de calor por pared de material refractario	20,19 W
Pérdida de calor por pared de material refractario (4 paredes)	80,76 W
Pérdida de calor por pared de cubierta metálica	50,35 W

3.2.6. Pérdidas de calor por abertura

El horno de crisol N. 1 presenta una gran abertura en una de las paredes laterales, por lo tanto, tiene una cantidad considerable de pérdida de calor, esto hace que para el proceso de fundición de aluminio el horno requiera mayor cantidad de calor, perjudicando el rendimiento térmico.

El horno de crisol N. 2 fue diseñado sin presentar ningún tipo de abertura, por lo tanto, las pérdidas de calor para este horno son despreciables.

Tabla 3.12 Datos obtenidos de la pérdida de calor por conducción en el horno N. 1

Pérdida por abertura (Horno N. 1)	18 685,32 W
Pérdida por abertura (Horno N. 2)	0 W

3.2.7. Pérdidas total de calor

3.2.7.1. Horno de fundición N. 1 (Pérdidas totales)

El valor de la pérdida total de calor que presenta el horno de crisol N. 1, es la sumatoria de las pérdidas por convección, pérdidas por conducción y las pérdidas por abertura, de todas las paredes que está constituido el horno, por lo que se detalla a continuación.

Tabla 3.13 Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 1

Descripción	Valor
Pérdida de calor total	27,136 kW

3.2.7.2. Horno de fundición N. 2 (Pérdidas totales)

En el horno de fundición N. 2 no se consideran las pérdidas por abertura, por lo tanto, el valor total es la sumatoria entre las pérdidas por convección y las pérdidas por conducción, de esta manera obteniendo el siguiente valor detallado en la tabla 3.14

Tabla 3.14 Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 2

Descripción	Valor
Pérdida de calor total	3046,14 W

3.2.7.3. Análisis de las pérdidas totales

Como se observa en la figura 3.4, existe una gran diferencia en las pérdidas de calor entre los dos hornos de crisol, toda radica por la gran abertura que presenta el horno de crisol N. 1 y el tipo de material refractario que es de ladrillo rojo, mientras que el horno de crisol N. 2 no presenta aberturas y posee alrededor de sus paredes material refractario incluido una manta cerámica permitiendo que el calor no se escape.

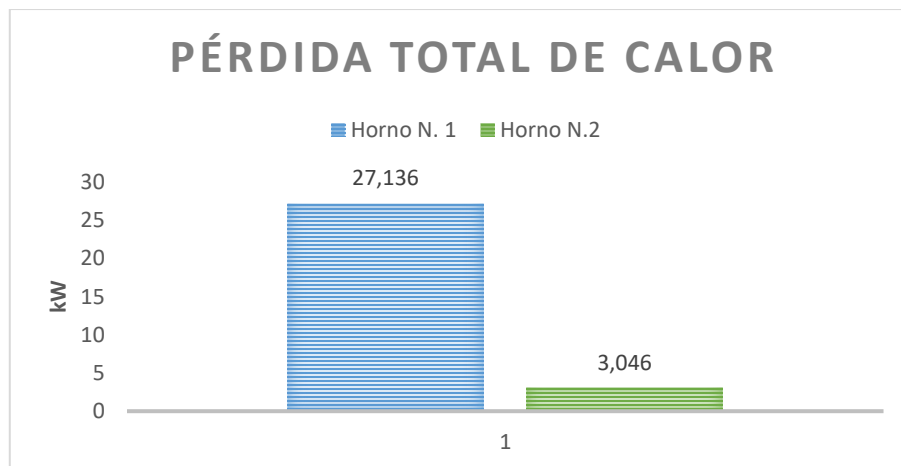


Figura 3.4 Pérdida total de calor

3.2.8. Energía total para la fundición de aluminio

3.2.8.1. Horno de fundición N. 1 (Energía total requerida)

Para determinar la cantidad de energía mínima que necesita el horno de crisol N. 1 para realizar el proceso de fundición del aluminio, incluidas las pérdidas de calor por convección, conducción y aberturas, es necesario realizar la sumatoria de las pérdidas totales, la cantidad de calor que requiere el aluminio y la cantidad de calor que requiere el crisol, como se realizó mediante la ecuación 16, se detalla a continuación.

Tabla 3.15 Datos obtenidos de la energía total requerida en el horno N. 1

Descripción	Valor
Energía total requerida	38,016 kW

3.2.8.2. Horno de fundición N. 2 (Energía total requerida)

En el horno de crisol N. 2 de igual manera se realizó una sumatoria de las pérdidas totales, la cantidad de calor requerida por el aluminio y el crisol para conocer el valor de la energía total que necesita el horno para cumplir con el proceso de fundición del aluminio, este valor se lo determinó por medio de la ecuación 24 y en la tabla 3.16 se encuentran sus detalles.

Tabla 3.16 Datos obtenidos de la energía total requerida en el horno N. 2

Descripción	Valor
Energía total requerida	14,69 kW

3.2.8.3. Análisis de la energía total requerida

En la figura 3.5, se presenta un análisis gráfico que menciona que el horno de crisol N. 1 necesita 38,016 kW para cumplir con el proceso de fundición del aluminio, mientras tanto el horno de crisol N. 2 solamente necesita 14,69 kW, lo que significa que el horno N. 1 necesita una mayor cantidad de calor, esto sucede por tener una gran cantidad de pérdidas.

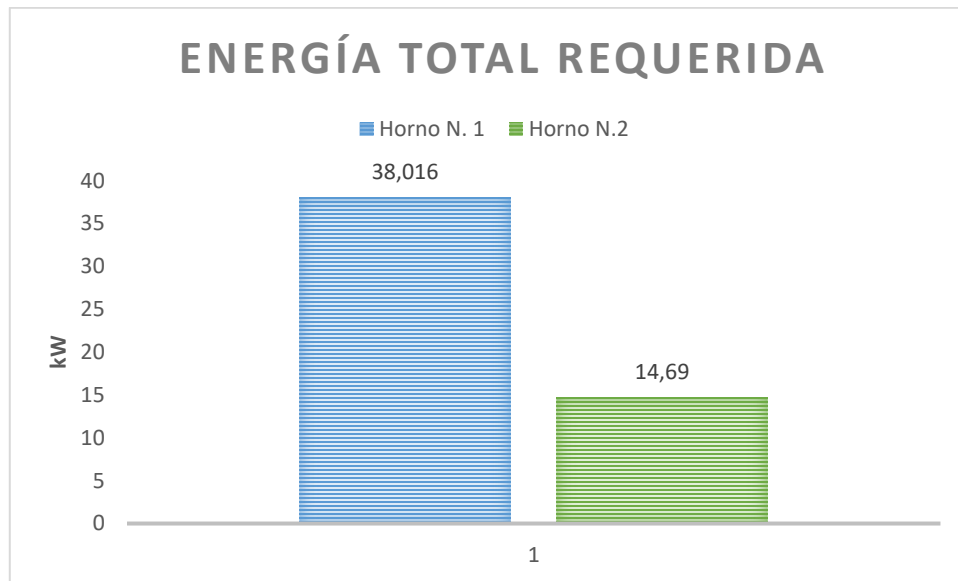


Figura 3.5 Energía total requerida

3.2.9. Cantidad de calor suministrado por la fuente calorífica

3.2.9.1. Horno de fundición N. 1 (Calor suministrado)

Conociendo que la fuente calorífica del horno de crisol N. 1 es el carbón vegetal y cuya masa es de 2,5 kg a un tiempo de 20 min, se obtiene el valor de la cantidad de calor que suministra el horno, aplicando la ecuación 17 se puede obtener como resultado lo siguiente.

Tabla 3.17 Datos obtenidos de la cantidad de calor que suministra el horno N. 1

Descripción	Valor
Calor suministrado en kJ	80 000 kJ
Tiempo	20 min = 1200 s
Calor suministrado en kW	66,66 kW

3.2.9.2. Horno de fundición N. 2 (Calor suministrado)

En el horno de fundición N. 2 de igual manera se tiene el carbón vegetal como fuente calorífica a la misma cantidad de 2,5 kg considerando un tiempo de 18 min, por lo

tanto, el valor del calor que suministra el horno determinado por la ecuación 17 se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3.18 Datos obtenidos de la cantidad de calor que suministra el horno N. 2

Descripción	Valor
Calor suministrado en kJ	80 000 kJ
Tiempo	18 min = 1080 s
Calor suministrado en kW	74,07 kW

3.2.9.3. Análisis del calor suministrado por los hornos

Como se detalla en la figura 3.6, el horno de crisol N. 2 presenta una mayor cantidad de suministro de calor con un valor de 74,07 kW, mientras tanto, el horno de crisol N. 1 solamente suministra 66,66 kW, esta diferencia radica en el tiempo de fundición del aluminio que cada horno entrega.

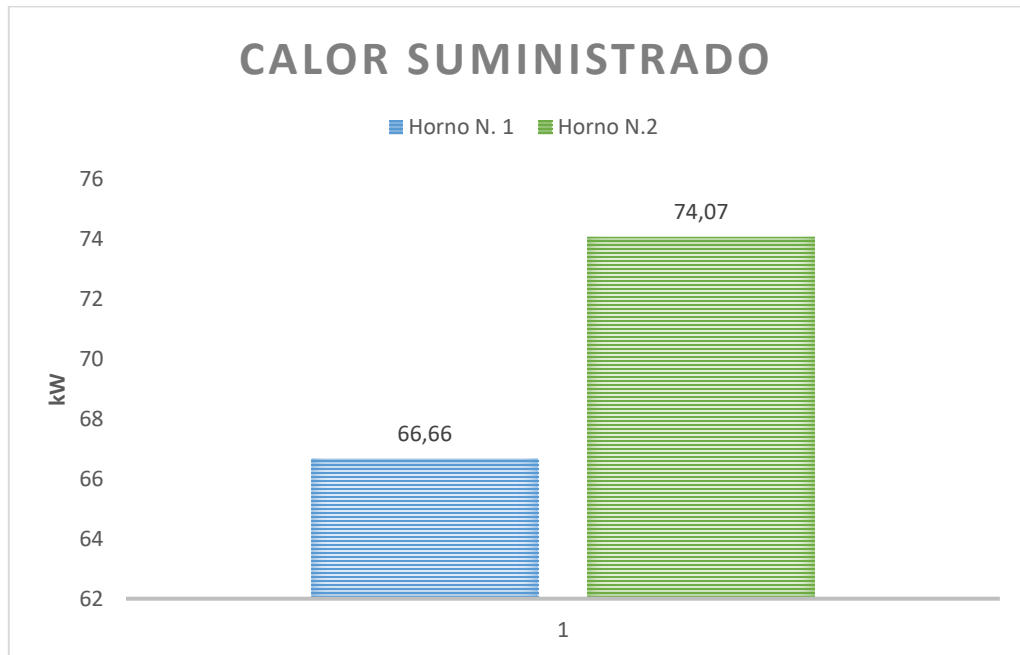


Figura 3.6 Calor suministrado por los hornos

3.2.10. Rendimiento

3.2.10.1. Horno de fundición N. 1 (Rendimiento)

El rendimiento del horno de crisol N. 1 se lo determinó por medio de la expresión matemática N. 18, en la que menciona que al relacionar la diferencia del calor suministrado por el horno y la energía total requerida entre el calor suministrado se obtiene los siguientes valores de tallados en la tabla 3.19.

Tabla 3.19 Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 1

Descripción	Valor
Rendimiento	0,4297
	42,97 %

3.2.10.2. Horno de fundición N. 2 (Rendimiento)

De igual manera al relacionar las variables mencionadas anteriormente, pero con los datos obtenidos del horno de fundición N. 2 se puede detallar en la tabla 3.20 lo siguiente:

Tabla 3.20 Datos obtenidos de la pérdida de calor total en el horno N. 2

Descripción	Valor
Pérdida de calor total	0,8016
	80,16 %

3.2.10.3. Análisis de las pérdidas totales

En la figura 3.7, se puede analizar el detalle gráfico de los rendimientos correspondientes al horno de crisol N. 1 y N. 2, el cual menciona que por tener mayor cantidad de pérdidas de calor el horno de crisol N. 1 tiene un rendimiento bajo de 42,97 %, mientras que el horno de crisol N. 2 posee un rendimiento del 80,16 %, este valor

en considerable ya que en su diseño se utilizó material de tipo refractario y no se dejó ningún tipo de abertura.

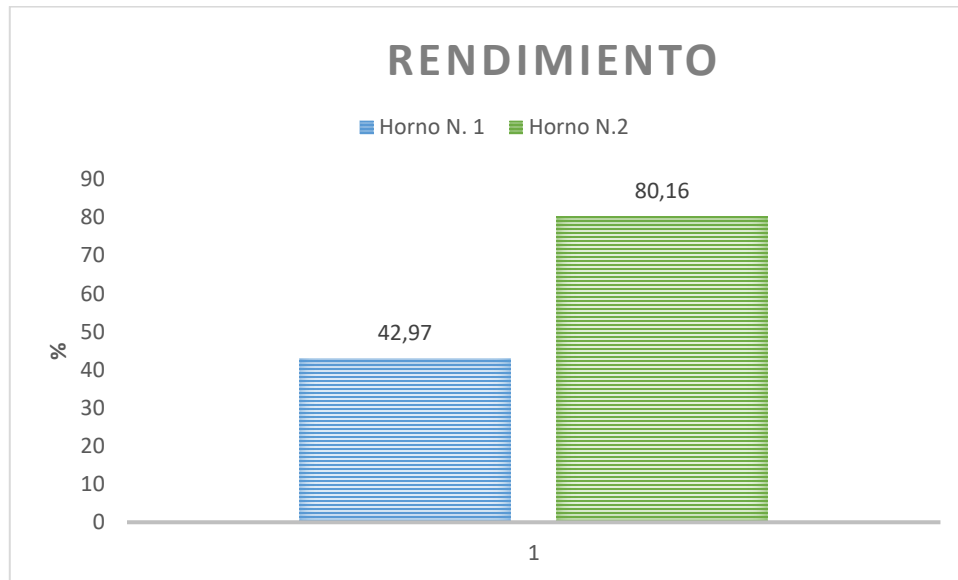


Figura 3.7 Rendimiento

3.2.11. Análisis por software

El software de simulación que se utilizó es ANSYS que cuenta con una licencia educativa para estudiantes de ingeniería, maestrías y doctorados en formación técnica para la resolución de problemas.

De acuerdo con la figura 3.8, en el horno de crisol N. 1 la temperatura interna de 1073 °K, desciende notablemente a partir del primer centímetro de espesor del ladrillo rojo teniendo temperaturas de 908,56 y 826,33 °K, en el segundo espesor se obtiene temperaturas de 744,11 °K, 661,88 °K y 579,66 °K obteniendo un descenso de 100 °K aproximadamente, para el tercer espesor en el cual termina el ladrillo rojo y empieza la cubierta metálica mantiene temperaturas entre 579,66 y 415,22 °K para que finalmente en el último espesor se mantenga la temperatura de 333 °K.

En la figura 3.9 se tiene la distribución nodal de la temperatura en el horno de crisol N. 2, menciona que en todo el primer ladrillo refractario mantiene una temperatura de 988,55 °K, en la parte de la manta cerámica tiene una disminución desde 904,11 °K

hasta los 397,44 °K para que finalmente en el ladrillo refractario 2 mantenga una temperatura de 313 °K.

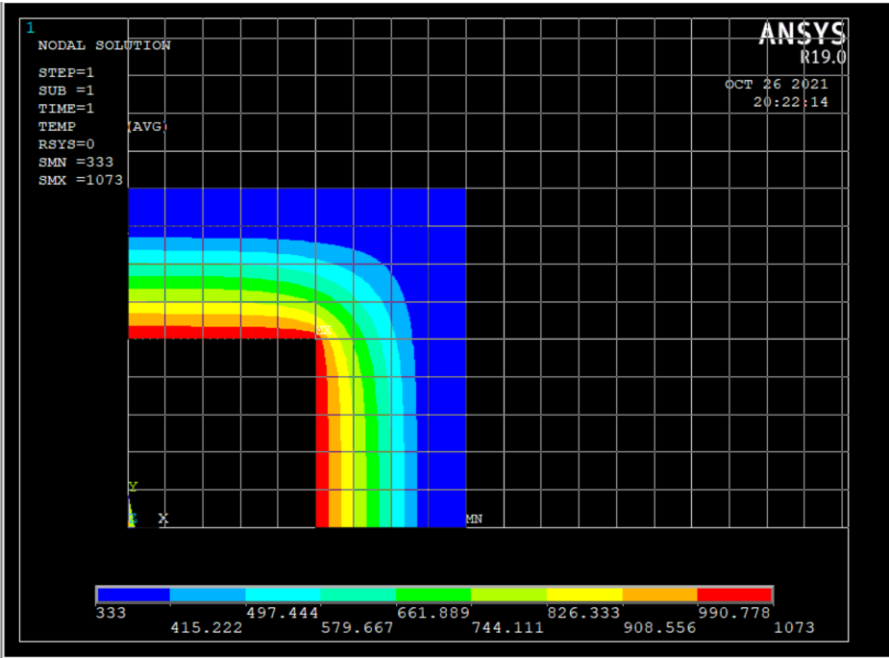


Figura 3.8 Temperatura nodal en el horno de crisol N. 1

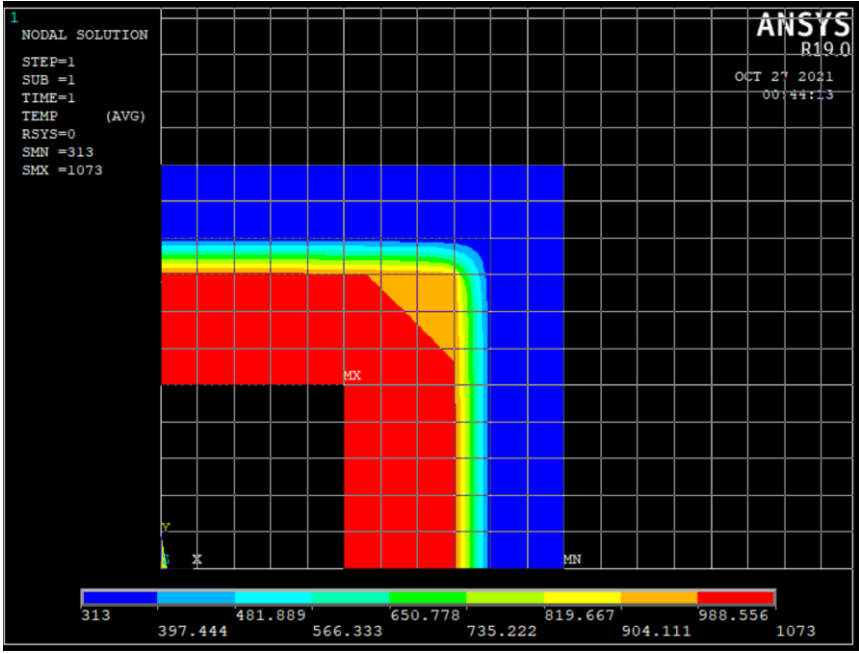


Figura 3.9 Temperatura nodal en el horno de crisol N. 2

3.3. Valoraciones de la investigación

3.3.1. Valoración técnica

El proceso de fundición del aluminio radica en la utilización de un horno de crisol que debe ser compuesto por paredes de materiales refractarios como (ladrillo refractario, manta cerámica, mortero refractario, entre otros), que cumplan la función de aislantes térmicos con el objetivo de mantener la cantidad de calor internamente en el horno y reducir las pérdidas de calor, estos tipos de materiales se puede seleccionar dependiendo del valor de la temperatura que se va a emplear, del espesor, de la conductividad térmica y del valor económico.

3.3.2. Valoración ambiental y económica

Es importante mencionar que el aluminio que se utilizó para desarrollar su proceso de fundición en los dos hornos de crisol es de tipo reciclable, causando de esta manera un gran impacto ambiental, debido a que se puede obtener un producto terminado o deseado de acuerdo a los moldes en los que se vierta el colado.

La fundición de aluminio para ser reutilizado presenta varios tipos de ventajas ecológicas y económicas, conociendo que este material reciclado requiere el 95 % menos de energía en comparación con el material de primera, así como también es importante conocer que el aluminio se puede reciclar de manera indefinida con la oportunidad de generar ingresos económicos.

3.3.3. Valoración social

Detrás de la parte técnica y la aplicación de los métodos de investigación, existe una valoración social al poner en conocimiento a los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi acerca de los procesos metalúrgicos y los distintos tipos de materiales refractarios que se pueden utilizar para reducir las pérdidas de calor en el proceso de fundición del aluminio, como impacto adicional fomentar el emprendimiento para la creación de nuevas fuentes de trabajo contribuyendo de manera económica y social al sector.

3.4. Conclusiones de capítulo III

- Se realizaron los procedimientos de cálculo para determinar la cantidad de calor que se genera en el horno de crisol N. 1 y N. 2, sus pérdidas de calor por conducción y por convección, y el rendimiento térmico.
- La utilización de ladrillo rojo como aislante térmico provoca una cantidad de pérdida de calor mayoritaria en comparación de utilizar ladrillo refractario y una capa de manta cerámica.

4. CONCLUSIONES GENERALES

- Para el proceso de fundición del aluminio se utilizaron dos hornos de crisol presentes en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, considerando que el aluminio tiene su punto de fusión a $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ se elevó la temperatura hasta $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ logrando obtener una temperatura para su vertido, en el horno de crisol N. 1 se funden 7 kg de aluminio en 20 minutos, mientras que el horno de crisol N. 2 lo realiza en 18 minutos y para determinar sus pérdidas de calor es necesario conocer el tipo de material refractario que cada horno posee en su construcción.
- Se describieron las expresiones matemáticas térmicas como la cantidad de calor que requiere el aluminio, la cantidad de calor que requiere el crisol, las pérdidas por conducción, convección y aberturas, la energía total requerida para la fundición del aluminio, el calor suministrado por la fuente calorífica y el rendimiento, para su posterior resolución en función a las características de cada uno de los hornos de crisol como son el tipo de material refractario, temperatura interna del horno, temperatura ambiental, conductividad térmica y medidas de la cámara de combustión.
- Por medio de una análisis comparativo entre los dos hornos de crisol se establece que, para el horno de crisol N. 1 se necesita una cantidad de calor total para la fundición del aluminio de 38,016 kW, esto por presentar una pérdida de calor de 27,136 kW, esta gran cantidad de calor radica en tener una pared de $0,25\text{ m}^2$ totalmente abierta, adicional en las paredes restantes se utiliza ladrillo rojo como aislante térmico, obteniendo así un rendimiento del 42,97%, mientras que el horno de crisol N. 2 compuesto por ladrillo refractario y una manta cerámica presenta una cantidad total para la fundición del aluminio de 14,69 kW y en sus pérdidas de calor un valor de 3046,14 W, logrando un rendimiento del 80,16 %.

- Mediante la simulación de las pérdidas de calor se puede constatar la diferencia de utilizar una capa de ladrillo rojo y una cubierta metálica en las paredes del horno de crisol N. 1 logrando una pérdida de calor de 8451,44 kW sin tomar en cuenta las pérdidas de calor por abertura, mientras que en el horno de crisol N. 2 se puede destacar que a través de 2 capas de ladrillo refractario en el medio de ellas una capa de manta cerámica estas pérdidas de calor se reducen a 3046,14 W.

5. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar un recubrimiento de material refractario en la cubierta metálica que funciona como puerta del horno de crisol N. 2 para obtener resultados mucho mejores en relación a las pérdidas de calor calculadas anteriormente.
- Es necesario realizar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo en el horno de crisol N. 2, mediante inspecciones continuas a los equipos eléctricos y materiales refractarios, con el objetivo de alargar la vida útil del horno de crisol.
- Utilizar las expresiones matemáticas planteadas y la aplicación por software como metodologías para futuras investigaciones o diseños en construcción en donde se requiera el cálculo de parámetros fundamentales del proceso de fundición de metales en general.
- Considerar una posible investigación del proceso de fundición del aluminio o de metales en general en función de las diferentes fuentes caloríficas como pueden ser, el gas licuado de petróleo, por resistencias eléctricas, a través de combustibles como Diesel o gasolina, entre otros.

Referencias

- [1] J. A. Alvayer Hernandez y C. A. Huevo Huevo, «Diseño de un horno de fundición de aluminio,» Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://ichmussnochweiserscheissen.files.wordpress.com/2011/02/ponencia-disec3b1o-de-un-horno-de-fundicion-de-aluminio.pdf>.
- [2] S. G. y. G. d. C. S.L., «Gestión de compras- industrial sourcing,» Soluciones Globales y Gestión de Compras S.L., 10 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.gestiondecompras.com/es/productos/fundicion/fundicion>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [3] C. D. Castro Lisintuña, «Construcción de un molde metálico con noyo para la fundición de aleaciones de aluminio,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4966/1/CD-4505.pdf>.
- [4] V. Chura Uruchi, «Conformado de una pieza de aluminio: moldeo en arena verde, fundición y colada,» [En línea]. Available: http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v10n16/v10n16_a03.pdf.
- [5] Y. Díaz y H. Rodríguez, «Estimación de la eficiencia energética del horno de cocción de la Empresa de cerámica blanca Sna José,» Octubre 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/328280992_Estimacion_de_la_eficiencia_energetica_del_horno_de_coccion_de_la_Empresa_de_Ceramica_Blanca_San_Jose.
- [6] inforeciclaje, «www.inforeciclaje.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.inforeciclaje.com/reciclaje-aluminio.php>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].

- [7] Belmontmetals, «www.belmontmetals.com,» 2020. [En línea]. Available: belmontmetals.com/es/categoria-producto/aleaciones-de-aluminio/. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [8] Codeval, «www.codeval.es,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.codeval.es/el-aluminio-como-material-de-construccion/>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [9] U. Mexico, «www.ulbrinox.com.mx,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ulbrinox.com.mx/blog/usos-y-aplicaciones-industriales-del-aluminio>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [10] I. M. Hayle, «Recamlaser.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://recamlaser.com/es/que-es-la-fundicion-de-aluminio/#:~:text=La%20fundici%C3%B3n%20de%20aluminio%20se,y%20forma%20del%20molde%20utilizado..> [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [11] K. Martyn, «Industproces.blogspot.com,» 2020. [En línea]. Available: <http://industproces.blogspot.com/2015/05/tipos-de-hornos-para-la-fundicion-de.html>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [12] N. C. Silva, «es.slideshare.net,» 26 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/virllly95/hornos-de-fundicion-46331521>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [13] Directindustry, «www.directindustry.es,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/ceradel-industries/product-68368-1042811.html>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [14] E. H. Induction, «Electroheatinduction.com.mx,» 2017. [En línea]. Available: <https://electroheatinduction.com.mx/que-es-un-horno-de-induccion/>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].

- [15] E. Rincon, «emersonrincon.blogspot.com,» 15 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://emersonrincon.blogspot.com/2015/10/hornos.html>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [16] A. Escudero García, «MODELO MATEMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN ALEACIONES DE ALUMINIO HIPOEUTÉCTICAS,» Julio 2016. [En línea]. Available: <http://eprints.uanl.mx/15719/1/1080238126.pdf>.
- [17] S. Ferrer Castán, «Análisis energético y exergético del proceso de cocción de composiciones cerámicas,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=116179>.
- [18] M. R. Wandurraga Bautista y J. C. Nieto Palma, «Diseño y construcción de un prototipo de horno para la realización del proceso stir casting con aleaciones de aluminio,» 2016. [En línea]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10392/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20HORNO%20PARA%20LA%20REALIZACI%C3%93N%20DEL%20PROCESO%20STIR%20CASTING%20CON%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [19] H. Galvan Alatorre , «Procesos de moldeo para fundir piezas en aluminio,» Julio 2009. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4570/1/PROCESOSMOLDEO.pdf>.
- [20] A. R. Garrido Meneses, «Determinación de la metodología para la obtención de aluminio de fundición maquinables sin porosidades,» Julio 2011. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3955>.

- [21] A. Valverde y J. Monteagudo, «Evaluación de la eficiencia energética de una horna que utiliza como combustible cascarilla de arroz,» Diciembre 2007. [En línea]. Available: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4049>.
- [22] F. M. Pando y C. M. Zapatan, «Análisis del proceso de fundición de aluminio y propuestas de mejoras en la eficiencia de producción de bases dentadas en la empresa Press Forja S.A.,» 2012. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2129>.
- [23] E. A. Auces y J. A. Rodríguez, «Cálculo de las necesidades de energía en un horna de revelo de esfuerzos.,» [En línea]. Available: <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/download/375/385>.
- [24] E. E. Suntaxi Loachamin y C. D. Torres Riascos, «Diseño y construcción de un horna crisol para fundición de aluminio con una capacidad de 15 Kg/h a una temperatura de 800 °C utilizando GLP,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7226>.
- [25] D. Sanchez Huerta, M. Flores Baez y M. Doñu Ruiz, «Manufactura de banca de aluminio y simulación,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/281958804_MANUFACTURA_DE_BANCA_DE_ALUMINIO_Y_SIMULACION.
- [26] Concepto.de, «concepto.de,» 2020. [En línea]. Available: <https://concepto.de/transferencia-de-calor/#ixzz6ZBwDgimD>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [27] L. E. Acevedo García, «Universidad de Zaragoza, E. U. de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza,» 2015. [En línea]. Available:

<https://zaguán.unizar.es/record/6498?ln=es#>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].

- [28] 2. ESSS, «www.esss.co,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.esss.co/es/ansys-simulacion-computacional/>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [29] E. D. Huaca Delgado, «Simulación mediante el programa VULCAN de la fundición de tres diferentes geometrías en aluminio,» Octubre 2011. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4327>.
- [30] F. M. Pando Bacuilima y C. M. Zapatán Palacios, «Análisis del proceso de fundición de aluminio y propuestas de mejoras en la eficiencia de producción de bases dentadas en la empresa PRESS FORJA S.A.,» Junio 2012. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2129>.
- [31] J. Riveros Pariona, «Estudio de parámetros para la instalación de un horno reverbero a gas natural para fusión de chatarras de aluminio en el taller de metalurgia del ISTP,» 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/590>.
- [32] F. R. Revelo Guerrero, «Selección de la mezcla de moldeo optima para fundición de aluminio con el uso de modelos gasificables,» Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4405>.
- [33] G. O. C. CALDERÓN, «Repositorio ESPOCH,» 29 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1015/1/85T00195.pdf>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].

- [34] «Repositorio UTA,» 31 Julio 2013. [En línea]. Available: dspace.uta.edu.ec/AndreyAlexander/tesis-de-aluminio-3. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].
- [35] M. Logística, «www.masterlogistica.es,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.masterlogistica.es/el-aluminio-sus-caracteristicas-y-propiedades/>. [Último acceso: 26 Septiembre 2020].

ANEXOS

ANEXO 1 DISEÑO DEL HORNO DE CRISOL N. 1



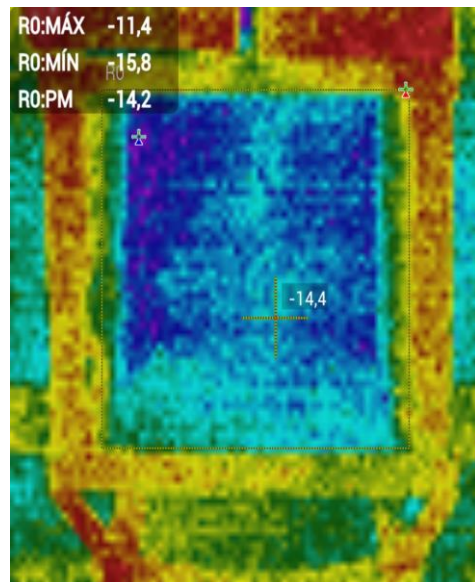
**ANEXO 2 PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO EN EL HORNO DE
CRISOL N. 1**



ANEXO 3 COLADA DE ALUMINIO EN EL HORNO DE CRISOL N. 1

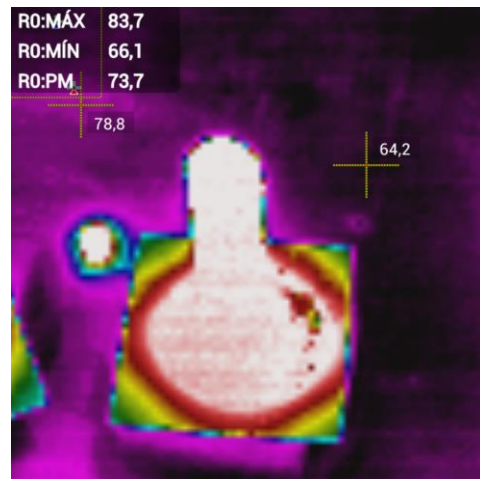
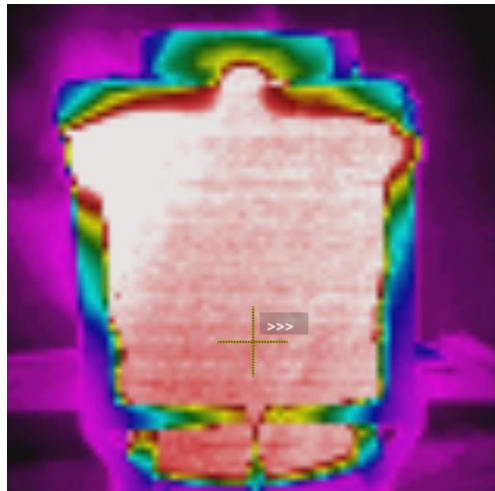
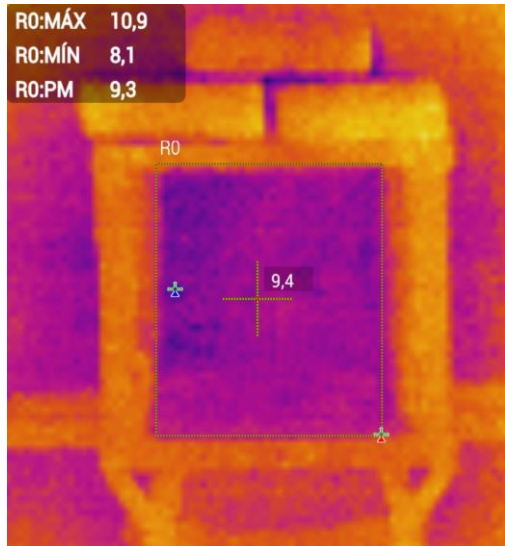
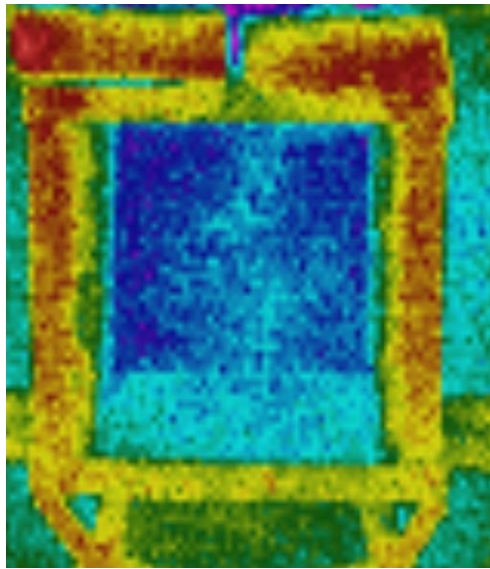


ANEXO 4 MEDICIONES DE TEMPERATURA EN EL HORNO DE CRISOL N 1



ANEXO 5 CÁMARA TERMOGRÁFICA APLICADA AL HORNO DE CRISOL N.

1



ANEXO 6 DISEÑO DEL HORNO DE CRISOL N. 2



ANEXO 7 MATERIAL REFRACTARIO PARA EL HORNO DE CRISOL N. 2



ANEXO 8 PRUEBAS DE TEMPERATURA EN EL HORNO DE CRISOL N. 2



ANEXO 9 HORNO DE CRISOL N 2



ANEXO 10 FUNDICIÓN DEL ALUMINIO EN EL HORNO DE CRISOL N. 2



ANEXO 11 PROPIEDADES DEL AIRE A 1 ATM DE PRESIÓN

TABLA B-6

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico C _p , J/kg·K	Conductividad térmica k, W/m·K	Difusividad térmica α , m ² /s	Viscosidad dinámica μ , kg/m·s	Viscosidad cinemática ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
-150	2,866	983	0,01171	4,158 x 10 ⁻⁶	8,636 x 10 ⁻⁶	3,013 x 10 ⁻⁶	0,7246
-100	2,038	966	0,01582	8,036 x 10 ⁻⁶	1,189 x 10 ⁻⁶	5,837 x 10 ⁻⁶	0,7263
-50	1,582	999	0,01979	1,525 x 10 ⁻⁵	1,474 x 10 ⁻⁵	9,319 x 10 ⁻⁶	0,7440
-40	1,514	1002	0,02057	1,356 x 10 ⁻⁵	1,527 x 10 ⁻⁵	1,008 x 10 ⁻⁵	0,7436
-30	1,451	1004	0,02134	1,465 x 10 ⁻⁵	1,579 x 10 ⁻⁵	1,087 x 10 ⁻⁵	0,7425
-20	1,394	1005	0,02211	1,578 x 10 ⁻⁵	1,630 x 10 ⁻⁵	1,169 x 10 ⁻⁵	0,7408
-10	1,341	1006	0,02288	1,696 x 10 ⁻⁵	1,680 x 10 ⁻⁵	1,252 x 10 ⁻⁵	0,7387
0	1,292	1006	0,02364	1,818 x 10 ⁻⁵	1,729 x 10 ⁻⁵	1,338 x 10 ⁻⁵	0,7362
5	1,269	1006	0,02401	1,880 x 10 ⁻⁵	1,754 x 10 ⁻⁵	1,382 x 10 ⁻⁵	0,7350
10	1,246	1006	0,02439	1,944 x 10 ⁻⁵	1,778 x 10 ⁻⁵	1,426 x 10 ⁻⁵	0,7336
15	1,225	1007	0,02476	2,009 x 10 ⁻⁵	1,802 x 10 ⁻⁵	1,470 x 10 ⁻⁵	0,7323
20	1,204	1007	0,02514	2,074 x 10 ⁻⁵	1,825 x 10 ⁻⁵	1,516 x 10 ⁻⁵	0,7309
25	1,184	1007	0,02551	2,141 x 10 ⁻⁵	1,849 x 10 ⁻⁵	1,562 x 10 ⁻⁵	0,7296
30	1,164	1007	0,02588	2,208 x 10 ⁻⁵	1,872 x 10 ⁻⁵	1,608 x 10 ⁻⁵	0,7282
35	1,145	1007	0,02625	2,277 x 10 ⁻⁵	1,895 x 10 ⁻⁵	1,655 x 10 ⁻⁵	0,7268
40	1,127	1007	0,02662	2,346 x 10 ⁻⁵	1,918 x 10 ⁻⁵	1,702 x 10 ⁻⁵	0,7255
45	1,109	1007	0,02699	2,416 x 10 ⁻⁵	1,941 x 10 ⁻⁵	1,750 x 10 ⁻⁵	0,7241
50	1,092	1007	0,02735	2,487 x 10 ⁻⁵	1,963 x 10 ⁻⁵	1,798 x 10 ⁻⁵	0,7228
60	1,059	1007	0,02808	2,632 x 10 ⁻⁵	2,008 x 10 ⁻⁵	1,896 x 10 ⁻⁵	0,7202
70	1,028	1007	0,02881	2,780 x 10 ⁻⁵	2,052 x 10 ⁻⁵	1,995 x 10 ⁻⁵	0,7177
80	0,9994	1008	0,02953	2,931 x 10 ⁻⁵	2,096 x 10 ⁻⁵	2,097 x 10 ⁻⁵	0,7154
90	0,9718	1008	0,03024	3,086 x 10 ⁻⁵	2,139 x 10 ⁻⁵	2,201 x 10 ⁻⁵	0,7132
100	0,9458	1009	0,03095	3,243 x 10 ⁻⁵	2,181 x 10 ⁻⁵	2,306 x 10 ⁻⁵	0,7111
120	0,8977	1011	0,03235	3,565 x 10 ⁻⁵	2,264 x 10 ⁻⁵	2,522 x 10 ⁻⁵	0,7073
140	0,8542	1013	0,03374	3,898 x 10 ⁻⁵	2,345 x 10 ⁻⁵	2,745 x 10 ⁻⁵	0,7041
160	0,8148	1016	0,03511	4,241 x 10 ⁻⁵	2,420 x 10 ⁻⁵	2,975 x 10 ⁻⁵	0,7014
180	0,7788	1019	0,03646	4,593 x 10 ⁻⁵	2,504 x 10 ⁻⁵	3,212 x 10 ⁻⁵	0,6992
200	0,7459	1023	0,03779	4,954 x 10 ⁻⁵	2,577 x 10 ⁻⁵	3,455 x 10 ⁻⁵	0,6974
250	0,6746	1033	0,04104	5,890 x 10 ⁻⁵	2,760 x 10 ⁻⁵	4,091 x 10 ⁻⁵	0,6946
300	0,6158	1044	0,04418	6,871 x 10 ⁻⁵	2,934 x 10 ⁻⁵	4,765 x 10 ⁻⁵	0,6935
350	0,5664	1056	0,04721	7,892 x 10 ⁻⁵	3,101 x 10 ⁻⁵	5,475 x 10 ⁻⁵	0,6937
400	0,5243	1069	0,05015	8,951 x 10 ⁻⁵	3,261 x 10 ⁻⁵	6,219 x 10 ⁻⁵	0,6948
450	0,4880	1081	0,05298	1,004 x 10 ⁻⁴	3,415 x 10 ⁻⁵	6,997 x 10 ⁻⁵	0,6965
500	0,4565	1093	0,05572	1,117 x 10 ⁻⁴	3,563 x 10 ⁻⁵	7,806 x 10 ⁻⁵	0,6986
600	0,4042	1115	0,06093	1,352 x 10 ⁻⁴	3,846 x 10 ⁻⁵	9,515 x 10 ⁻⁵	0,7037
700	0,3627	1135	0,06581	1,598 x 10 ⁻⁴	4,111 x 10 ⁻⁵	1,133 x 10 ⁻⁴	0,7092
800	0,3289	1153	0,07037	1,855 x 10 ⁻⁴	4,362 x 10 ⁻⁵	1,326 x 10 ⁻⁴	0,7149
900	0,3008	1169	0,07465	2,122 x 10 ⁻⁴	4,600 x 10 ⁻⁵	1,529 x 10 ⁻⁴	0,7206
1000	0,2772	1184	0,07868	2,398 x 10 ⁻⁴	4,826 x 10 ⁻⁵	1,741 x 10 ⁻⁴	0,7260
1500	0,1990	1234	0,09599	3,908 x 10 ⁻⁴	5,817 x 10 ⁻⁵	2,922 x 10 ⁻⁴	0,7478
2000	0,1553	1264	0,11113	5,664 x 10 ⁻⁴	6,630 x 10 ⁻⁵	4,270 x 10 ⁻⁴	0,7539

Nota: Para gases ideales, C_p, k, μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se divide ν y α entre P (en atm)

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8

ANEXO 12 DATOS TÉCNICOS DEL MORTERO REFRACTARIO

	HOJA DE DATOS DE APLICACIÓN	996
	MARCA: CERABOND-40-S	Edición: 12 de Agosto, 2011
<i>Praça Louis Ensch, 240 P.O. Box 25 32210-050 Cidade Industrial – Contagem – MG – Brasil</i>	<i>Teléfono: + 55 31 3368 1228 Fax: + 55 31 3333 0768 e-mail: export@magnesita.com.br</i>	

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Mortero refractario de sílice-alúmina, seco, pega al aire.
Temperatura máxima de uso: 1550°C.

PRINCIPALES APLICACIONES

Asentamiento de ladrillos y material aislante, ambos de sílice-alúmina.

PLAZO DE ALMACENAMIENTO

El plazo de almacenamiento de 365 días es el período de tiempo durante el cual el producto, en su embalaje original y almacenado en condiciones adecuadas, mantiene sus características esenciales de aplicación y desempeño, sin modificaciones que contraindiquen su uso.
Para obtener informaciones adicionales consulte el Manual de Embalaje de Magnesita Refratários S.A.

MÉTODOS DE APLICACIÓN

-Cuidados:

Durante el manejo y carga del producto evitar generación de polvo. Usar un respirador con filtro mecánico, guantes, gafas, vestimenta adecuada y demás equipos de seguridad. No permitir el contacto del producto con el cuerpo. Para obtener informaciones adicionales consultar la Hoja de Seguridad 996.

-Equipo de mezcla:

Usar mezclador de muela o palas de raspar. Para mezcla con las manos se puede utilizar caja de albañil.

-Humidificación y aplicación:

Después de cargar el producto en el contenedor, agregar agua potable y mezclar durante 10 minutos al menos. Asegurar una consistencia cremosa y homogénea, con buena trabajabilidad.

Cuchara – agregar 24 hasta 28 litros de agua potable por cada 100kg del producto seco y mezclar durante 10 minutos al menos.

Relleno de juntas – diluir el mortero con agua potable y extender horizontalmente en la superficie con utilización de una paleta.

Pintura refractaria – diluir el mortero con agua potable y aplicar con un cepillo o por pulverización. Para obtener una cobertura perfecta, la sugerencia es aplicar 3 capas del producto con un intervalo de tiempo adecuado entre las aplicaciones para obtener una buena pega.

-Secado y calentamiento:

Deben ser tomados acorde la curva de secado y calentamiento del equipo.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Las informaciones adicionales de este folleto se basan en el estado de la técnica de nuestro conocimiento. Se suministran de buena fe, con el objeto de optimizar el desempeño del producto, no se deben confundir con garantías y podrán sufrir modificaciones sin aviso previo. Contacte nuestra área comercial.

APROBACIÓN

Centro de Investigaciones y Desarrollo

ANEXO 13 DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL REFRACTARIO



Ficha de Información de Seguridad de Productos Químicos

Marca: CERABOND-40-S

Versión del documento: Copia no controlada

Edición: 11 de Abril, 2016

1-IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Código del producto: 996

Nombre del producto: CERABOND-40-S

Magnesita Refratários S.A.

Dirección: Praça Louis Ensich, 240 - Contagem-MG - CEP. 32210-902

Teléfono: +55 31 3368-1430

Fax: +55 31 3333-1261

E-mail: pobrant@magnesita.com.br

2-COMPOSICIÓN Y INFORMACIONES SOBRE LOS INGREDIENTES

Descripción del producto:

Mortero refractario de sílice-alúmina, seco, pega al aire.

Temperatura máxima de uso: 1550°C.

Fórmula química:

NA.

Composición química teórica:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O
49.70%	44.80%	2.60%	2.00%	0.40%

Registro CAS (Chemical Abstract Service):

NA

Códigos de referencia (NFPA / GHS etc.):

Salud:

1 - Precaución: puede ser irritante.

Inflamabilidad:

0 - Estable: no combustible.

Reactividad:

0 - Estable: no reacciona con agua.

Riesgo específico:

NA

Protección personal:

3 - Vestimenta adecuada a la actividad, con el uso de respirador con filtro mecánico para exposición a polvo, guantes de seguridad y gafas de seguridad.

3 – IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Efectos en la salud:

De la forma como se suministra a los clientes, este producto no presenta riesgo a la salud. Durante el montaje o desmonte del revestimiento se podrá generar polvo.

Particulados insolubles y polvos minerales: baja toxicidad, pueden causar irritaciones en la piel, ojos, mucosas y vías respiratorias, acorde concentración, grado y tiempo de la exposición.

Sílice: la exposición al sílice cristalino, en cualquiera de sus estructuras polimórficas, arriba del límite de tolerancia ocupacional, puede causar enfermedades pulmonares, irritación de la piel y de las mucosas. La inhalación prolongada a polvos conteniendo sílice libre puede resultar en el desarrollo de la silicosis. El sílice (cuarzo) e clasificado como A2 en ACGIH.

Óxido de aluminio: Neumoconiosis A4 ACGIH.

Dióxido de titanio: puede ser irritante para las vías respiratorias, clasificado como A4 en ACGIH.

Óxido de hierro: causa enfermedades pulmonares, clasificado como A4 en ACGIH.

Efectos al medio ambiente:

Hidratación y lixiviación pueden causar la liberación de material particulado. Evite contacto continuo del material con agua.

Efectos físicos y químicos:

NA

Peligros específicos:

NA

4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS AUXILIOS

Contacto con los ojos:

Lávalos inmediatamente con agua limpia y fría, en cantidad y tiempo suficientes para causar alivio.

Contacto con la piel y la mucosa:

Lave con agua y jabón neutro.

Inhalación:

Suministre aire puro. Mantenga libres las vías respiratorias.

Ingestión:

No ofrezca nada por la boca. No provoque vómitos.

Informaciones para el médico:

Producto básico.

Tras ejecutar las medidas iniciales, comuníquelo al médico o encamínelo al servicio especializado o a uno hospital, inmediatamente.

5 - MEDIDAS DE COMBATE AL FUEGO

Medios para combate al fuego:

NA

Recomendaciones para el combate al fuego:

Por tratarse de un producto refractario, no presenta riesgo de explosión y combustión.

Recomendación especial:

Producto no combustible y no inflamable.

Para embalaje combustible, use extintor clase A (aparos de papel y madera) o B (líquidos inflamables).

6 - MEDIDAS DE CONTROL PARA DERRAMAMIENTO O ESCAPE

Precaución personal:

Evite vestimenta adecuada a la actividad..

Remoción de fuentes de ignición:

NA

Control de polvo:

Use extinción/ventilación adecuada para mantener el nivel de polvo inferior al TLV recomendado por ACGIH.

Prevención de la inhalación y del contacto con la piel, mucosa e ojos:

Use respiradores con filtro mecánico para exposición al polvo, vestimenta adecuada a la actividad, guantes de seguridad y gafas de seguridad.

Precauciones al medio ambiente:

Recoja el material y déle el destino adecuado. Acondiciónelo y manténgalo en un área protegida para evitar lixiviación por el agua.

Métodos de limpieza:

Barredura, aspiración y lavaje.

7 – MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo:

Use los equipos de protección individual y colectiva indicados.

Almacenamiento:

Apílelo como máximo en 2 niveles. Evite humedad y calor.

Materiales seguros para el embalaje:

NA

8 - CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Protección respiratoria:

Respiradores con filtro mecánico para exposición al polvo.

Protección de las manos:

Guantes de seguridad.

Protección de los ojos:

Gafas de seguridad.

Protección de la piel y del cuerpo:

Vestimenta adecuada a la actividad.

Medidas de ingeniería:

Use extinción/ventilación adecuada para mantener el nivel de polvo inferior al TLV recomendado por ACGIH, o por la NR 15 del decreto 3214/78 del Ministerio del Trabajo y Empleo – Br, o en los términos de la legislación aplicable.

Se recomienda la higiene personal después de cada jornada de trabajo. Se podrán indicar otras medidas de higiene y equipos de protección individual y colectiva en función del lugar y de las condiciones de aplicación.

Límites de la exposición ocupacional:

Ocupacional - 1 – Partículas (insolubles / baja solubilidad) No Esp. De Outra Forma (PNOS) – TLV/BEIs ACGIH TLV/TWA

Ocupacional - Partículas inhalables - 10 mg/m³ - TLVs/Bels ACGIH TLV/TWA

Ocupacional - Partículas respirables - 3 mg/m³ - TLVs/Bels ACGIH TLV/TWA

Ocupacional - 2 - Polvos minerales - NR15 - Decreto 3214/78 MT

Ocupacional - Polvos totales - 24 / (% cuarzo + 3) - mg/m³ - NR 15 del Decreto 3214/78 MTE

Ocupacional - Polvos respirables - 8 / (% cuarzo + 2) - mg/m³ - NR 15 del Decreto 3214/78 MTE

9 - PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

Forma: mortero refractario.

Color: gris.

Olor: terroso.

pH: NA

Punto de ebullición °C: NA

Porción de temperatura de ebullición °C: NA

Porción de destilación °C: NA

Punto de fusión °C: NA

Temperatura de descomposición °C: NA

Punto de fulgor °C: NA

Temperatura de auto-ignición °C: NA

Límite inferior de explosividad - LIE °C: NA

Límite superior de explosividad - LSE °C: NA

Punto de combustión °C: NA

Presión del vapor: NA

Densidad del vapor: NA

Densidad aparente suelta: ND

Densidad aparente compacta: ND

Solubilidad: sí.

Coefficiente de participación octanol/agua: NA

Tasa de la evaporación: NA

10 – ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: estable.

Reacciones peligrosas: NA

Inhibidores de reacciones peligrosas: NA

Productos con peligro de descomposición: NA

11 - INFORMACIONES TOXICOLÓGICAS

Toxicidad aguda:

Puede ser irritante para la piel, mucosas y vías respiratorias.

Efectos locales:

Puede ser irritante para la piel, mucosas y vías respiratorias.

Sensibilización:

NA

Toxicidad crónica:

Puede ser irritante para la piel, mucosas y vías respiratorias.

Neumoconiosis (silicosis) A2 ACGIH; Neumoconiosis Al₂O₃ A4 ACGIH; Neumoconiosis Fe₂O₃ A4 ACGIH.

Efectos por la exposición de corta duración:

Puede ser irritante para la piel, mucosas, ojos y vías respiratorias.

12 - INFORMACIONES ECOLÓGICAS

Movilidad: NA

Persistencia/Degradabilidad: NA

Bio acumulación: NA

Comportamiento esperado del medio ambiente: material inerte.

Posible impacto ambiental/eco-toxicidad: NA

13 - CONSIDERACIONES SOBRE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN

Restos de producto:

Recójalos y dispóngalos adecuadamente evitando sedimentación.

Embalajes utilizados del producto:

A los embalajes fabricados con materiales combustibles se les debe dar disposición y tratamiento específicos.

14 - INFORMACIONES SOBRE TRANSPORTE

Número de ONU:	Clase y subclase del riesgo:	Cód. Clase y subclase del riesgo:
No registrado.	NA	
EMS	Grupo del embalaje:	Número del riesgo:
NA	NA	

Nombre del fabricante o importador:

MAGNESITA REFRAATÁRIOS S.A.

Riesgo subsidiario:

NA

Recomendaciones especiales:

Se recomienda consultar los organismos competentes sobre el destino adecuado de los residuos.

15 – REGLAMENTACIONES

Producto no reglamentado para el transporte.

GHS/ONU Oficial

ABNT/NBR 14725

16 - OTRAS INFORMACIONES

Nota 01: Esta Ficha de información de seguridad del producto químico - FISPQ se suministra para información y orientación del usuario. Las informaciones que figuran en ella se obtuvieron en fuentes reconocidas como confiables, estando sujetas a variaciones y se aplican al producto en su embalaje original.

Nota 02: La empresa no es responsable por pérdida y daños en consecuencia directa o indirecta del uso del producto, ya que las condiciones y métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición efectivamente aplicados están fuera de su control. Las informaciones que figuran en esta hoja podrán sufrir modificaciones sin aviso previo. Póngase en contacto con la nuestra área comercial.

Nota 03: TTLV - Threshold Limit Values

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists - Edición 2011 – TLVs/BELs

NR15 - Decreto 3214/78 - Ministerio del Trabajo y Empleo - Br.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Res. 357 - 17/03/2005

PNOS - Particulates Not Otherwise Specified

TWA - Time Weighted Average.

STEL - Short-Term Exposure Limit

CAS – Chemical Abstracts Service

ANEXO 14 DATOS TÉCNICOS DE LA MANTA CERÁMICA


MAXIAL 42-M

Información general	
Clasificación	Producto de Chamota tipo FC40 ISO 10081-1
Materia prima	Chamota
Tipo de aglomeración	Cerámico
Información adicional	alta resistencia a CO

Análisis Químicos			
Al₂O₃	Fe₂O₃	SiO₂	TiO₂
44.0%	1.4%	51.0%	2.3%
Determinado sobre muestra calcinada (1025 °C / 1877 °F) según EN ISO 12677			

Propiedades físicas				
Densidad aparente		2,28	[g/cm ³]	EN 993-1
Porosidad abierta		18,0	[vol%]	EN 993-1
Resistencia a la comp. en frío		50,0	[N/mm ²]	EN 993-5
Resist. a la flexión en frío		8,0	[N/mm ²]	EN 993-6
Res. a la flex.en cal.(1250 °C / 2282 °F)		2,8	[N/mm ²]	EN 993-7
Variación perm. lin. (1400 °C / 2552 °F)		0,45	[%]	EN 993-10
Refractariedad bajo carga T_{0,5}		1300	[°C]	ISO 1893
- con carga		0,200	[N/mm ²]	
Res. al choque térmico agua		30	[ciclos]	DIN 51068-1
Conductividad térmica	500 °C / 932 °F	1,30	[W/mK]	Dr. Klasse
	750 °C / 1382 °F	1,35	[W/mK]	Dr. Klasse
	1000 °C / 1832 °F	1,40	[W/mK]	Dr. Klasse
CO-resistencia (clase)		A		ASTM C288
Módulo de deformación		10.000	[N/mm ²]	

ANEXO 15 TEMPERATURAS NODALES EN EL HORNO DE CRISOL N. 1

 PRNSOL Command

File

PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

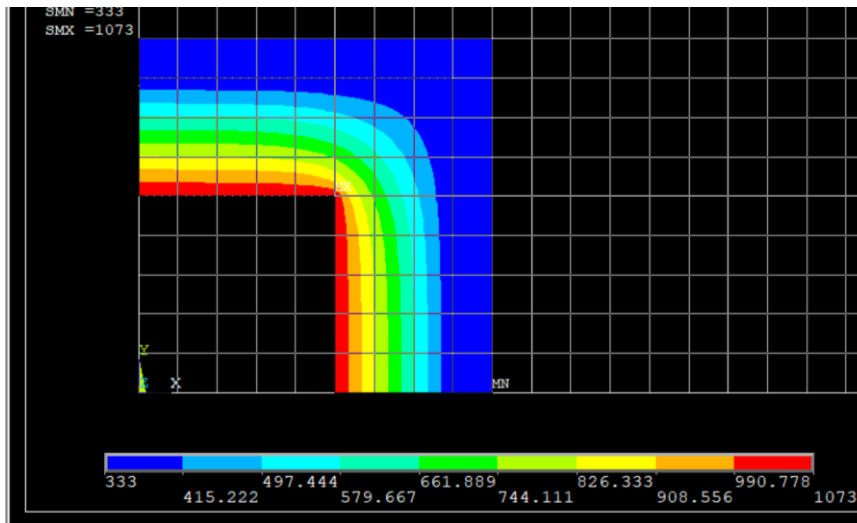
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	1073.0
2	1073.0
3	1073.0
4	1073.0
5	1073.0
6	1073.0
7	1073.0
8	1073.0
9	1073.0
10	1073.0
11	1073.0
12	1073.0
13	1073.0
14	1073.0
15	1073.0
16	1073.0
17	1073.0
18	1073.0
19	1073.0
20	1073.0
21	1073.0
22	1073.0
23	1073.0
24	1073.0
25	1073.0
26	1073.0
27	1073.0
28	1073.0
29	1073.0
30	1073.0
31	1073.0
32	1073.0
33	1073.0
34	1073.0
35	1073.0
36	1073.0
37	1073.0
38	1073.0
39	1073.0

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
40	1073.0
41	1073.0
42	1073.0
43	1073.0
44	1073.0
45	1073.0
46	1073.0
47	1073.0
48	1073.0
49	1073.0
50	1073.0
51	1073.0
52	338.10
53	1048.4
54	1023.8
55	999.18
56	974.58
57	949.98
58	925.39
59	900.81
60	876.23
61	851.66
62	827.11
63	802.56
64	778.02
65	753.50
66	728.98
67	704.48
68	679.99
69	655.51
70	631.04
71	606.58
72	582.14
73	557.70
74	533.28
75	508.86
76	484.45
77	460.05
78	435.65



ANEXO 16 TEMPERATURAS NODALES EN EL HORNO DE CRISOL N. 2

PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
1	1073.0
2	1073.0
3	1073.0
4	1073.0
5	1073.0
6	1073.0
7	1073.0
8	1073.0
9	1073.0
10	1073.0
11	1073.0
12	1073.0
13	1073.0
14	1073.0
15	1073.0
16	1073.0
17	1073.0
18	1073.0
19	1073.0
20	1073.0
21	1073.0
22	1073.0
23	1073.0
24	1073.0
25	1073.0
26	1073.0
27	1073.0
28	1073.0
29	1073.0
--	----

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE	TEMP
5110	315.33
5111	315.33
5112	315.31
5113	315.31
5114	315.30
5115	315.28
5116	315.27
5117	315.26
5118	315.25
5119	315.23
5120	315.20
5121	315.18
5122	315.15
5123	315.13
5124	315.09
5125	315.06
5126	315.02
5127	314.98
5128	314.93
5129	314.88
5130	314.82
5131	314.75
5132	314.68
5133	314.60
5134	314.51
5135	314.42
5136	314.33
5137	314.24
5138	314.14
5139	314.05
5140	313.96
5141	313.86
5142	313.77

