



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.

Proyecto de investigación presentado previo de la obtención del título de Ingeniera Industrial.

Autor:

Jéssica Carmelina Mora Reinozo

Tutor:

Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas
Olmedo

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **MORA REINOZO JÉSSICA CARMELINA**, declaro ser autora de la presente propuesta Investigativa: “**RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.**”, siendo el **Ingeniero MSc. BLADIMIRO HERNÁN NAVAS OLMEDO**, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones.

Además, se certifica que las ideas, conceptos, procedimientos, y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, es de mi exclusiva responsabilidad:



.....

Mora Reinozo Jéssica Carmelina

C.C. 185011175-6

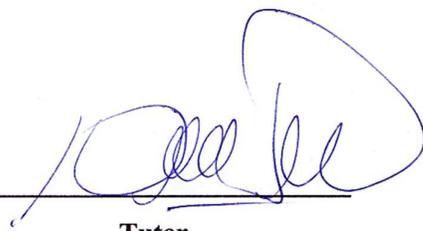
jessica.moral756@utc.edu.ec

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”, de Mora Reinozo Jéssica Carmelina con C.C 185011175-6, de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero, 2020

F. 

Tutor

Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo

C. C. 050069554-9

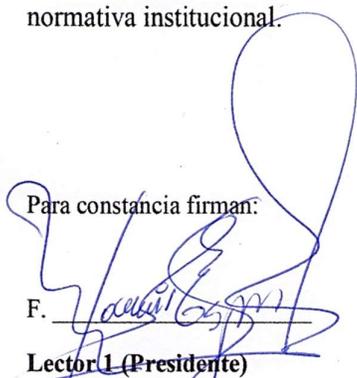
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, la postulante: Mora Reinozo Jéssica Carmelina con C.C. 185011175-6, con el título de Proyecto de titulación: “**RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero, 2020

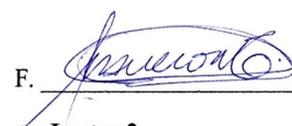
Para constancia firman:

F. 

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Ing. MSc. Xavier Espín

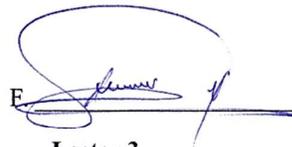
C.C. 0502269368

F. 

Lector 2

Nombre: PhD. Medardo Ulloa

C.C. 1000970325

F. 

Lector 3

Nombre: Ing. MSc. Ángel Avemañay

C.C. 0803089804



www.cedal.com.ec

AVAL EMPRESA CEDAL S.A. PLANTA LATACUNGA

CERTIFICADO

Latacunga, 12 de febrero de 2020

Quien suscribe, Ingeniero Martín Burbano F., en calidad de Gerente de Planta de la Empresa Cedal S.A. Certifico que la Srta. **JESSICA CARMELINA MORA REINOZO** con C.C. **185011175-6**, realizó en las instalaciones de la Empresa el proyecto de investigación titulado **“RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A. DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”**. En la ejecución de dicho proyecto la Srta. Jessica Mora demostró habilidades y conocimientos en su especialidad, así también generó resultados en su proyecto que serán de gran utilidad a la Empresa.

Durante su estadía la Señorita en mención, de hizo acreedora de nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y don de gentes demostrado. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, la interesada puede hacer uso de este documento en la forma que estime conveniente.

Atentamente,

Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A.

“CEDAL”

Ing. Martín Burbano F.
GERENTE DE PLANTA



Quito
Av. De La Prensa N51-270 y V. Florida
PBX: + 593 2 2432521
Fax: +593 2 2459028
P.O. Box: 1711-05183
ventasquito@corpesa.com

Durán
Lotización Las Ferias Mz. R Solar 11
Km. 4 1/2 Vía Durán - Tambo
PBX: + 593 4 281 0844
P.O. Box: 5194
ventasduran@corpesa.com

Latacunga
Av. Unidad Nacional s/n
PBX: + 593 3 2812610
Fax: +593 3 2812615
P.O. Box: 05-01-207

AGRADECIMIENTO

A Dios por otorgarme una vida llena de bendiciones, que me han permitido crecer como persona y hoy en día profesionalmente.

A mis amados padres, Franklin, que siempre estuvo apoyándome en cada paso desde que fui una niña y hasta hoy que a pesar de mis tropiezos ha estado para sostenerme.

A mi madre Bertha, que jamás me desamparó y siempre me demostró su amor en cada momento. A mis hermanos por estar ahí de manera indirecta pero acertada.

A mi hijo, Emmanuel, que siempre estuvo en las noches de estudio junto a mí.

A mi tutor Ing. MSc. Hernán Navas, Ing. Germán Correa y todo el equipo de la planta de fundición, por su ayuda y respaldo durante la realización de este proyecto.

A la empresa CEDAL S.A. por la apertura y facilidades brindadas.

Melina

DEDICATORIA

A Dios, mis padres y especialmente a mi amado hijo Emmanuel, mi motor, mi vida entera, este logro es tuyo.

Melina

Índice de Contenido

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO POR PARTE DE LA EMPRESA.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL.	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
3.1. Beneficiarios Directos.	3
3.2. Beneficiarios Indirectos.....	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
4.1 Problema.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo General	5
6.2 Objetivos específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.	7
8.1. Corporación Ecuatoriana De Aluminio CEDAL S.A.	7
8.2. Planta CEDAL Latacunga.	8
8.3. Generalidades del Aluminio.	9
8.3.1. Historia.	9

8.3.2. Generalidades.....	10
8.3.3. Tipo de aleaciones normalizadas.	11
8.3.4. Proceso de obtención del aluminio.	13
8.3.5. Residuos provocados por la fundición de aluminio.	13
8.3.6. Generalidades de la escoria.	15
8.3.7. Equipos utilizados para la recuperación de aluminio mediante fusión.	18
8.3.7. Proceso de recuperación del aluminio de las escorias.....	20
9. HIPÓTESIS.	22
9.1. Variable independiente.....	22
9.2. Variable dependiente.....	22
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
10.1. Tipos de investigación.....	22
10.2. Métodos de investigación.....	22
10.3. Técnicas de investigación.....	23
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	24
11.1. Situación actual de la empresa.....	24
11.2. Consumo de chatarra por año.	25
11.3. Dimensionamiento del horno.....	26
11.4. Cálculo de esfuerzos.....	29
11.5. Construcción.	31
11.6. Funcionamiento.....	35
11.7. Determinación de costos del proyecto	41
11.8. Costo de producción proyectado.....	43
11.9. Escenarios económicos.....	45
11.10. Análisis de pruebas.....	46
11.11. Período de recuperación de la inversión.....	46
12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	47

12.1. Impactos Económicos.....	47
12.2. Impactos Técnicos.....	47
12.3. Impactos Ambientales	47
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	48
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
14.1. Conclusiones.....	49
14.2. Recomendaciones.....	49
15. BIBLIOGRAFÍA	50
16. ANEXOS.....	52

Índice de figuras

Figura 1. Logo de la empresa.....	7
Figura 2 Horno Rotativo Basculante	19
Figura 3 Esquema de un horno de reverbero	19
Figura 4 Horno eléctrico.....	20
Figura 5 Escoria fría almacenada	24
Figura 6 Base Metálica	27
Figura 7 Cilindro metálico.....	28
Figura 8 Pantalla de simulación	30
Figura 9 Pantalla de SimulationXpress	30
Figura 10 Base de simulación	31
Figura 11 Opciones de simulación	31
Figura 12 Proceso de construcción del horno	32
Figura 13 Horno vista isométrica	32
Figura 14 Quemador A	35
Figura 15 Flujograma de procesos	39
Figura 16 Diagrama de análisis de procesos.....	40
Figura 17 Base estructural	58
Figura 18 Montaje del horno.....	58
Figura 19 Ladrillo refractario.....	58
Figura 20 Ladrillo Aislante.....	58
Figura 21 Corte de ladrillo.....	58
Figura 22 Máquina cortadora de ladrillo	58
Figura 23 Construcción de la tapa.....	59
Figura 24 Quemador.....	59
Figura 25 Colocación de placa cerámica	59
Figura 26 Colocación de ladrillos aislantes	59
Figura 27 Colocación de anclajes.....	59
Figura 28 Colocación ladrillos de trabajo.....	59
Figura 29 Colocación de la tapa.....	60
Figura 30 Colocación del quemador	60
Figura 31 Tecele	60
Figura 32 Colocación de guías de tecele	60

Figura 33 Calentamiento del horno	60
Figura 34 Horno de recuperación.....	60

Índice de tablas

Tabla 1 Beneficiarios directos del proyecto.....	3
Tabla 2 Beneficiarios indirectos del proyecto.....	3
Tabla 3 Objetivos, Actividades, Resultados y Métodos	6
Tabla 4 Aleaciones de aluminio	11
Tabla 5 Composición química de aleaciones según norma ASTM B221	13
Tabla 6 Resumen de consumo de producción por año	25
Tabla 7 Material refractario	41
Tabla 8 Material metalmecánico	41
Tabla 9 Material recuperado	42
Tabla 10 Mano de obra	42
Tabla 11 Depreciación	43
Tabla 12 Carga fabril	43
Tabla 13 Materiales de receta.....	43
Tabla 14 Costo materia prima	44
Tabla 15 Resumen de producción	44
Tabla 16 Producción neta.....	44
Tabla 17 Escenarios económicos.....	45
Tabla 18 Impacto económico	47
Tabla 19 Presupuesto	48

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Capacidad del horno	25
Ecuación 2 Capacidad por turno	26
Ecuación 3 Volumen útil	26
Ecuación 4 Ecuación densidad.....	26
Ecuación 5 Calor necesario	36
Ecuación 6 Capacidad calorífica	36
Ecuación 7 Período de recuperación.....	46

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.

Autor:

Mora Reinozo Jéssica Carmelina.

RESUMEN

Cedal S.A es una compañía ecuatoriana, formada en el año de 1974 con el propósito de producir y comercializar productos de aluminio para uso estructural y arquitectónico, en el año de 1976 empieza sus actividades productivas; en la actualidad es líder en la distribución de perfiles de aluminio en el país, constando con más de 40 distribuidores en el Ecuador. A partir de 1979, mantienen una sólida presencia comercial en el hermano país de Colombia, a través de su filial VITRAL, la misma que posee distribuidores en Cali y Bogotá, ciudades principales de este país. La Corporación Ecuatoriana de Aluminio, con planta de producción Latacunga, vinculado al crecimiento y la mejora continua para la calidad de sus productos e involucrados con la protección del medio ambiente y la reutilización de sus desechos de producción, ve la necesidad de realizar la recuperación de aluminio del subproducto escoria para optimizar el rendimiento del proceso productivo, de esta manera lograr un uso eficiente y un ahorro eficaz. Actualmente se encuentra con una capacidad de producción de 50 TN diarias de billets de aluminio, pero con un índice promedio de pérdida por escoriado del 4% del total de producción. El presente proyecto *“Recuperación de aluminio del subproducto escoria para optimizar el rendimiento del proceso, generado en la empresa Cedal S.A. de la ciudad de Latacunga,* con la finalidad de proponer alternativas de solución al aprovechamiento de los desperdicios propios de un proceso. A través del diseño de un horno basculante de paredes refractarias, se busca aprovechar el residuo (escoria), con una recuperación del 18% de aluminio de segunda fusión, generando una utilidad anual para la empresa de \$70.888,90 y recobrando el capital invertido en 4 meses. También la implementación del proyecto logra mejorar el manejo de los desechos sólidos gracias a la optimización de procesos y el uso de maquinaria innovadora.

Palabras claves: reutilización, recuperación, escoria, billets, refractarias.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF SCIENCES AND APPLIED ENGINEERING

TOPIC: “RECOVERY OF ALUMINUM FROM THE SLAG BY-PRODUCT TO OPTIMIZE THE PERFORMANCE OF THE PROCESS, GENERATED IN CEDAL COMPANY S.A IN LATACUNGA CITY”.

Author:

Mora Reinozo Jéssica Carmelina.

ABSTRACT

Cedal S.A. is an Ecuadorian Company, created in 1974 with the purpose of producing and commercializing aluminum products for structural and architectural use. In 1976, it began its productive activities; at present it is the leader in the distribution of aluminum profiles in the country, with more than 40 distributors in Ecuador. Since 1979, they have maintained a solid commercial presence in the related country of Colombia, through its subsidiary VITRAL, which has distributors in Cali and Bogotá, the main cities of this country. Corporación Ecuatoriana de Aluminio, with its production in Latacunga place, linked to the growth and continuous improvement for the quality of its products and involved with the protection of the environment and the reuse of its production waste, sees the need to carry out the recovery of aluminum from the slag by-product to optimize the performance of the production process, thus achieving an efficient use and effective savings. Currently, it has a production capacity of 50 TN per day of aluminum billets, but with an average loss rate by slag of 4% of total production. The present project "Recovery of aluminum from the slag by-product to optimize the performance of the process, generated in the company Cedal S.A. in Latacunga city, with the purpose of proposing alternative solutions to the use of the waste typical of a process. Through the design of a tilting furnace with refractory walls, the aim is to take advantage of the waste (slag), with an 18% recovery of second melting aluminum, generating an annual profit for the company of \$70,888.90 and recovering the invested capital in 4 months. The implementation of the project also improves the management of solid waste thanks to the optimization of processes and the use of innovative machinery.

KEYWORDS: Reuse, Recovery, Slag, Billets, Refractories.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del Proyecto Tecnológico al Idioma Inglés presentado por la señorita estudiante **MORA REINOZO JESSICA CARMELINA** de la **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título versa **“RECUPERACIÓN DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO, GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A. DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical de idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente certificado de la manera ética que estime conveniente.

Latacunga, 12 de febrero del 2020

Atentamente,


Msc. Alison Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501801252



1. INFORMACIÓN GENERAL.

1.1. Título del proyecto:

RECUPERACIÓN DE ALUMINIO DEL SUBPRODUCTO ESCORIA PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO GENERADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.

1.2. Fecha de inicio:

Septiembre 2019

1.3. Fecha de finalización:

Febrero 2020

1.4. Lugar de ejecución:

Av. Unidad Nacional y Manuelita Sáenz, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Zona 3, Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A.

1.5. Unidad Académica que auspicia:

Facultad Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

1.6. Carrera que auspicia:

Ingeniería Industrial

1.7. Equipo de trabajo:

Tutor:

- Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo.
- **Correo:** hernan.navas@utc.edu.ec

Autor:

- Mora Reinozo Jéssica Carmelina
- **Correo:** jessica.mora1756@utc.edu.ec

1.8. Área de conocimiento:

Este proyecto se relaciona de acuerdo a los campos de las ciencias y las tecnologías de la UNESCO:

- Tecnología Industrial.
- Procesos Industriales.

Plan Nacional del Buen Vivir, de acuerdo al:

- Eje 2. Sistema Económico Sostenible al Servicio de la Sociedad y el Ambiente.
- Objetivo 5. Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria.

Líneas de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se relaciona con la cuarta línea:

- Procesos Industriales.

Líneas de investigación de la Carrera de Ingeniería Industrial se relaciona con la primera línea:

- Procesos productivos.

Sublínea de la Carrera de Ingeniería Industrial:

- Optimización de los procesos productivos.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Actualmente la industria ecuatoriana está evolucionando y mejorando todos sus procesos productivos, a fin de conseguir un producto de alta calidad para competir a nivel internacional con productos similares, de igual manera el área de Fundición de la empresa Cedal S.A. se ha iniciado un proceso de análisis y optimización en sus recursos.

Los procesos de fundición no ferrosos tales como el aluminio producen escorias, las cuales son inevitables en cualquier proceso productivo. La escoria posee muchos usos comerciales y casi nunca es desechada, por lo cual existen diferentes formas de procesar dicho material. El primer proceso que ha sido tomado en cuenta en el proyecto es la recuperación mediante la fundición de la escoria con la ayuda de fundentes para separar los depósitos de aluminio y las arenas.

La propuesta investigativa de “Recuperación de aluminio del subproducto escoria para optimizar el rendimiento del proceso generado en la empresa Cedal S.A. de la ciudad de Latacunga”; y a través del horno basculante con paredes refractarias son partes fundamentales del proyecto para la obtención de un aluminio de segunda fusión.

Por medio del resultado obtenido se alcanza reducir el costo de producción de los billets de aluminio, también se mejora el manejo de desechos sólidos que se generan en la planta de Fundición; es importante mencionar que se maximizará las utilidades para la empresa.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.

3.1. Beneficiarios Directos.

El presente proyecto muestra como beneficiarios directos a todas las personas que forman parte de la empresa CEDAL S.A; con un total de 250 personas; puesto que con la optimización del rendimiento del proceso se obtendrá un menor costo de producción obteniendo así una mejor utilidad al final del año contable.

Tabla 1 Beneficiarios directos del proyecto

Beneficiarios Directos.		
Hombres	Mujeres	Total
207	5	212

Elaborado por: Jessica Mora (2020).

3.2. Beneficiarios Indirectos.

Las personas que habitan en los alrededores de la empresa CEDAL S.A son beneficiarios de dicho proyecto puesto que la implementación del horno basculante permitirá reducir las emisiones tóxicas que proviene de la escoria y promueven un mejor manejo de los desechos sólidos.

Tabla 2 Beneficiarios indirectos del proyecto

Beneficiarios Indirectos.		
Hombres	Mujeres	Total
60	50	120

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

Hoy en día, debido al constante crecimiento del sector de la construcción, las empresas referentes a esta área buscan mejorar sus procesos productivos y la calidad de sus productos, con el fin de reducir sus costos y mantener un adecuado uso de recursos direccionado al manejo de desechos sólidos, de esta forma fomentando una producción responsable con el medio ambiente.

La empresa Cedal cuenta con una planta de fundición de aluminio, la cual procesa aluminio de aleación 6063, aleación 6005 o semiestructural y aleación 6061 estructural. Su proceso comienza con la recepción de materiales que serán ingresados al horno de fundido, tales como la chatarra blanca o negra, aluminio primario, magnesio y silicio; los cuales son ingresados para su fusión en la primera cámara (Melting), este proceso se lo lleva a cabo a una temperatura superior a los 660 °C; luego pasa a la segunda cámara de colado (Casting). Al ser un horno de colada continua horizontal, la adición del Tibor (titanio – boro), se lo realiza en el canal de moldeo que guían la aleación para después pasar a la unidad desgasificadora que inyecta nitrógeno a la solución. La formación de los billets de aluminio se lo lleva a cabo en moldes de cobre que cuentan con un sistema de lubricación y refrigeración con agua, los cuales se ubican en la base del Tundish; y dirigen el producto final hacia la mesa de moldeo horizontal.

La fabricación de billets de aluminio cuenta con un problema propio de la fundición del material, la escoria. Es notorio que a lo largo de los años este desperdicio ha logrado disminuirse hasta un 4 % del total de la producción, pero continúa siendo una pérdida económica para la empresa y un problema ambiental, motivo por el cual nace el presente proyecto que permitirá no sólo obtener un mejor manejo de desechos sólidos con el procesamiento de la escoria en caliente, sino también ayuda a disminuir el costo de producción de los billets de aluminio por medio de las utilidades que representará anualmente.

4.1 Problema.

¿Cómo recuperar de la escoria el aluminio para optimizar el rendimiento del proceso y evitar desperdicio en la empresa Cedal S.A. de la ciudad de Latacunga?

6. OBJETIVOS.

6.1. Objetivo General.

- Recuperar el aluminio del subproducto escoria para optimizar el rendimiento del proceso, generado en la empresa Cedal S.A de la ciudad de Latacunga, para aumentar la productividad e ingreso económico del mismo.

6.2 Objetivos específicos.

- Determinar la cantidad de escoria en toneladas/año para el dimensionamiento del horno de recuperación.
- Diseñar un horno basculante de recuperación de aluminio para la optimización del rendimiento del proceso.
- Realizar el análisis de costo del proyecto para la determinación de los recursos utilizados y la depreciación de la máquina.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 3 Objetivos, Actividades, Resultados y Métodos.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
-Determinar la cantidad de escoria en toneladas/año para el dimensionamiento del horno de recuperación.	-Revisión de históricos de consumo de chatarras del área de Fundición. -Determinación de las cantidades promedio de escoria.	-Consumos de chatarras promedio y por periodos de tiempo. -Cantidad promedio de escoria anual y mensual.	-Reporte de consumo anual de chatarras. -Histórico de escoria en toneladas y porcentaje.
-Diseñar un horno basculante de recuperación de aluminio para la optimización del rendimiento del proceso.	-Dimensionar el horno basculante de recuperación de aluminio. -Realizar el cálculo de esfuerzos y las deformaciones que resistirá el horno basculante, por medio de SOLIDWORKS.	-Obtener un esquema gráfico del horno que servirá como guía para el montaje y unión de las piezas. -Analizar los esfuerzos que tolerará la estructura, para evitar deformaciones que afecten el normal desempeño de la maquinaria.	-Planos estructurales del horno. -Cálculo de esfuerzos y deformaciones por medio de simulación express en SOLIDWORKS.
-Realizar el análisis costo del proyecto para la cuantificación del beneficio económico.	-Determinación de costos fijos y variables requeridos para la construcción del horno y su funcionamiento. -Determinación de la utilidad que adquiere la empresa en base al índice de recuperación de aluminio	-Indicadores económicos que representa el funcionamiento del horno. -Indicadores de utilidad que representa la máquina.	-Tabla de análisis de costos. -Cálculo económico del beneficio del uso del horno.
Elaborado	por:	Jessica	Mora (2020)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.

8.1. Corporación Ecuatoriana De Aluminio CEDAL S.A.

En el año 1974 se constituyó la Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A., empresa de capital ecuatoriano, con la misión de fabricar y comercializar extrusiones de aluminio para el mercado nacional e internacional. Sus actividades productivas comienzan en el año de 1976, enfocados al mercado interno con extrusiones de aluminio para uso arquitectónico. Posteriormente, se incorporan nuevas técnicas de extrusión, produciendo y comercializando perfilería de aluminio de uso estructural. (CEDAL, 2019) (Pág. 1)

Figura 1. Logo de la empresa



Fuente: Página principal de la Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A., Latacunga. Disponible en <http://cedal.com.ec/producción.html>.

La Corporación ecuatoriana de Aluminio, a través de su empresa filial C.I VITRAL, comercializadora de perfilería de aluminio, cuenta con tres centros de distribución en el hermano país Colombia, en las ciudades de Cali y Bogotá. En el año de 1986, se crea ESTRUSA, dedicada a la fabricación y montaje de sistemas de ventanería y estructuras de aluminio y vidrio en Ecuador. Para el año 1992, se consolida el grupo CORPESA, holding que actualmente agrupa unidades estratégicas de negocio comprendidas por: CEDAL, ESTRUSA, C.I. VITRAL, TRANSALUMINIO y COLECSIS. Posteriormente, en el año de 1996 CEDAL, integra a la producción su planta de pintura electrostática en su planta de la ciudad de Latacunga. Su producción está dirigida a contratos de maquila con empresas especializadas. En el año 2006, CEDAL, oferta a su clientela productos complementarios a las perfilería de aluminio, como son: vidrio flotado, láminas de aluminio, paneles de aluminio compuesto Vitralbond, entre otros. A inicios del 2009, se inaugura la planta de Fundición, en CEDAL Latacunga. En el año 2012 se implementa una nueva fábrica extrusora de

aluminio en la provincia de Guayas, que gracias al uso de ingeniería de punta y una adecuada distribución, se logra duplicar la capacidad instalada a 18.000 TON/año. (CEDAL, 2019)(Pág. 1)

8.2. Planta CEDAL Latacunga.

En la ciudad de Latacunga se encuentra situada la fábrica de producción, la cual consta con un horno de fundición de doble cámara de operación de colada continua, dos líneas de extrusión, una línea de anodizado, el área de pintura electrostática horizontal y una planta de tratamiento de agua, las cuales se detallan a continuación:

8.2.1. Fundición. - El aluminio al ser un material 100% reciclable, por medio de chatarras y perfilería rechazada permite ser materia prima de los hornos de fundido, para la creación de billets de aluminio.

8.2.2. Extrusión. - Los billets de aluminio ingresan a las prensas a una temperatura de 480°C y 550°C, y por medio de compresión, pasan a través de una matriz la cual forma al perfil de aluminio.

8.2.3. Anodizado. - Este proceso permite a los perfiles de aluminio adquirir un recubrimiento de óxido de aluminio. En el mercado existen diferentes tonalidades.

8.2.4. Pintura electrostática. - Mediante este proceso se deposita electrostáticamente pintura en polvo sobre el perfil de aluminio, que posteriormente será llevado a un horno de curado, formando una sola película de pintura.

8.2.5. Empaque y despacho. - Los perfiles de aluminio CEDAL son empacados en fundas de polietileno por medio de personal capacitado, el cual inspecciona que las piezas no se encuentren dañadas y puedan llegar sus puntos de distribución de la forma adecuada, cuidando la calidad los productos.

8.2.6. Matricería. - Esta área se ocupa del mantenimiento y limpieza de las matrices que son empleadas en el proceso de extrusión. Actualmente CEDAL cuenta con más de 3300 diseños y muchos de ellos son de uso exclusivo de su distinguida clientela.

8.2.7. Planta de tratamiento. - CEDAL al ser una empresa comprometida con el medio ambiente, cuenta con una planta de tratamiento de agua certificada.

8.3. Generalidades del Aluminio.

8.3.1. Historia.

El aluminio es uno de los metales no ferromagnéticos más abundante de la tierra, ubicándose en el tercer lugar. Su porción 8% supera con mucho a la del hierro 5%, cobre, estaño entre otros. En tiempos remotos, este material fue considerado un metal precioso más valioso que el oro. Por medio de reducciones con cloruro aluminico-sódico con sodio, a mediados del siglo XIX se obtuvo pequeñas cantidades de aluminio puro; procedimiento desarrollado por Saint-Claire, basándose en trabajos de Oersted y Wohler. En el año de 1882 el aluminio fue considerado un material de asombrosa rareza con una tasa de producción alrededor del mundo de 2 toneladas anuales. Por medio de la invención del dinamo por parte de Siemens en el año de 1866 se adecua una técnica adecuada para producir la electrólisis del aluminio. La invención del proceso de Hall Héroult² en 1886, abarato el proceso de extracción de aluminio a partir del material, y conjuntamente con el proceso de Bayer (proceso que permite la obtención de óxido de aluminio puro partir de la bauxita). La producción mundial de aluminio llego a los dos millones debido al impulso de la II Guerra Mundial, desde ese entonces se ha incrementado la producción superando al resto de metales no ferrosos. En la actualidad, el proceso de obtención de aluminio se lleva a cabo en dos etapas, obtención de alúmina por medio del proceso Bayer y posteriormente electrólisis del óxido para obtener aluminio. (Henaó, 2010) (Pág. 242)

8.3.2. Generalidades.

El aluminio es un metal de color plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815, posee un punto de fusión de 660 °C y un punto de ebullición de 2,467 °C. Su densidad relativa es de 2,7 kg/m³. Es un metal muy electropositivo y extremadamente reactivo. Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que lo protege de la corrosión. (Urrutia, 2019) (Pág. 2)

Características mecánicas. - El aluminio es un material blando, considerado en la escala de Mohs: 2-3-4; muy maleable, por lo que permite la realización de láminas delgadas y cables de tipo eléctrico. Posee una tracción de 160-200 N/mm² en estado puro. El duraluminio fue una de las primeras aleaciones endurecidas conocidas para aplicaciones industriales de tipo estructural.

Características químicas. - El aluminio posee una característica única entre los metales debido a su elevado estado de oxidación, al contacto con el aire se recubre una capa de óxido de aluminio o también llamada Alúmina proporcionando resistencia a la corrosión y durabilidad. Esta capa se la realiza de forma artificial por medio del proceso de anodizado.

Aleaciones del aluminio. - Las aleaciones de aluminio con materiales tales como: magnesio, silicio, zinc, cobre, entre otros; ayudan a que el material mejore sus propiedades mecánicas. Dado a las diferentes aleaciones que se presentaron a lo largo de los años, hoy en día se ha clasificado por series, para una mejor diferenciación. (Aprendizaje México, 2008)(Pág. 2)

Tabla 4 Aleaciones de aluminio.

Serie	Designación	Aleante principal	Principales compuestos en la aleación
Serie 1000	1XXX	99% al menos de Al	
Serie 2000	2XXX	Cobre	Al_2Cu-Al_2CuMg
Serie 3000	3XXX	Manganeso	Al_6Mn
Serie 4000	4XXX	Silicio	
Serie 5000	5XXX	Magnesio	Al_3Mg_2
Serie 6000	6XXX	Magnesio y Silicio	Mg_2Si
Serie 7000	7XXX	Zinc	$MgZn_2$
Serie 8000	8XXX	Otros elementos	

Elaborado por: Jessica Mora, 2020.

Fuente: (AISI-SAE,2019)

8.3.3. Tipo de aleaciones normalizadas.

Las aleaciones de aluminio forjado se encuentran clasificadas en dos grupos, los cuales se detallan a continuación:

8.3.3.1. Aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico.

Según la normativa AISI-SAE las aleaciones son:

- **Aleaciones 1xxx.** Son aleaciones que contienen el 99% de aluminio puro, con impurezas tales como el hierro y el silicio en mínimas cantidades. Su resistencia es de aproximadamente 90 MPa.
- **Aleaciones 3xxx.** Esta aleación contiene como elemento principal el manganeso con un 1,2%. Su resistencia es de aproximadamente 110 MPa en condiciones de recocido; utilizado frecuentemente para la fabricación de recipientes a presión y trabajos de laminación.

- **Aleaciones 5xxx.** En esta aleación se encuentra un 2,5% de magnesio y un 0,25% de cromo, presenta una resistencia de 193 MPa en condiciones de recocido; sus aplicaciones típicas son en estructuras de camiones, autobuses, usos en la marina, tubos hidráulicos, ente otros.

8.3.3.2. Aleaciones de aluminio forjado con tratamiento térmico.

Las aleaciones de aluminio poseen una característica única, puesto a que con el tiempo el material tiende a ganar dureza; motivo por el cual se ha creado procesos térmicos que aceleran dicho proceso. En este grupo sobresalen tres principales:

- **Aleaciones 2xxx.** Esta aleación posee una composición química de 4,4% de cobre, 15 % magnesio y un 0,6 manganeso. Su resistencia es de aproximadamente 442 MPa; utilizado frecuentemente para la fabricación de estructuras de aviones.
- **Aleaciones 6xxx.** Los principales elementos de esta aleación son el magnesio y el silicio. Alcanza una resistencia de 290 MPa, utilizado para la creación de perfiles y estructuras en general.
- **Aleaciones 7xxx.** Los aleantes principales de esta serie son el zinc, magnesio y cobre. Con un tratamiento T6, adquiere una resistencia de 504 MPa y su uso es frecuente en aviones y otras estructuras. (Castillo, 2007)(Pág.20)

8.3.3.3. Aleaciones producidas en la empresa CEDAL S.A.

Dentro de la planta de fundición de la empresa CEDAL S.A. se producen billets de aluminio de la serie 6XXX; los cuales son: 6063 para perfilaría arquitectónica, 6005 de tipo estructural y la última aleación desarrollada la 6061 de tipo estructural de alta resistencia.

- **Aleación 6063.** En esta aleación se controla como aleantes principales; el silicio y el magnesio, para la formación adecuada de siliciuro de magnesio (Mg_2Si). Esta serie es utilizada para la creación de puertas, ventanas, cortinas, mamparas, entre otros.
- **Aleación 6005.** De uso estructural, los niveles de los aleantes tales como el silicio y el magnesio se elevan para conseguir una mayor dureza.
- **Aleación 6061.** Esta aleación fue recientemente desarrollada en la planta de fundición de la ciudad de Latacunga la cual es de tipo estructural de alta resistencia, en la cual se encuentra presente como aleantes el magnesio, silicio y el cobre.

Tabla 5 Composición química de aleaciones según norma ASTM B221

Composición química de aleaciones según norma ASTM B221								
	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Cr	Ti
6063	Máx 0,35	0,20-0,60	0,45-0,90	Máx 0,10	Máx 0,10	Máx 0,10	Máx 0,10	Máx 0,05
6005	Máx 0,35	0,60-0,90	0,40-0,60	Máx 0,10	Máx 0,10	Máx 0,10	Máx 0,10	Máx 0,05

Elaborado por: Jessica Mora, 2020.

Fuente: (Cedal departamento de Fundición, 2020)

8.3.4. Proceso de obtención del aluminio.

Diagrama de flujo del proceso de fundición. (Ver anexo 3)

8.3.5. Residuos provocados por la fundición de aluminio.

Las arenas de descarte son, en el proceso en general y en los residuos sólidos en particular, uno de los efluentes más abundantes generados por esta actividad, y por tanto objeto de atención. Si consideramos las toneladas de arenas de descarte generadas respecto de las toneladas de pieza producida, tenemos que en las aleaciones de hierro y

acero la relación es 1:1, mientras que en las de aluminio es 4:1. En base a estos datos, actualmente se disponen en algún lugar unas 2.978,5 t de residuos de arenas por mes provenientes de fundiciones ferrosas, y al menos unas 122 t de residuos de arenas provenientes de fundiciones no ferrosas. (Sosa, 2013)(Pág. 33)

Las escorias son un subproducto del proceso de fundición de la mena para purificar los metales. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento. Se suele utilizar como mecanismo de eliminación de residuos en la fundición de metal, también se la emplea con otros propósitos, como el control de temperatura durante la fundición y minimizar el re oxidación del metal líquido final antes de pasar al molde. (Castells, 2000)(Pág. 45)

Los procesos de fundición ferrosos y no ferrosos producen distintas escorias. Por ejemplo, la fundición del cobre y el plomo, no ferrosa, está diseñada para eliminar el hierro y la sílice que suelen darse en estos minerales, y se separa en forma de escoria basada en silicato de hierro. Por otro lado, la escoria de las acerías, en las que se produce una fundición ferrosa, se diseña para minimizar la pérdida de hierro y por tanto contiene principalmente calcio, magnesio y aluminio.

Las escorias son un subproducto indeseable en todos los procesos que involucran el aluminio y el bronce fundido y dependiendo de las condiciones de trabajo, representa entre el 2 y el 10% del peso del metal colado. Están constituidas principalmente por la capa oxidada que se forma sobre la superficie del metal fundido y por un porcentaje variable en el caso del aluminio (30-60%) atrapado mecánicamente. (Hena, 2010)(Pág. 243)

La escoria tiene muchos usos comerciales y raramente se desecha. A menudo se vuelve a procesar para separar algún otro metal que contenga. Los restos de esta recuperación se pueden utilizar como balasto para el ferrocarril y como fertilizante. Se ha utilizado como metal para pavimentación y como una forma barata y duradera de fortalecer las paredes inclinadas de los rompeolas para frenar el movimiento de las olas. A

menudo se utiliza escoria granular de alto horno en combinación con el mortero de cemento Pórtland como parte de una mezcla de cemento. Este tipo de escoria reacciona con el agua para producir propiedades cementosas. El mortero que contiene escoria granular de alto horno desarrolla una gran resistencia durante largo tiempo, ofreciendo una menor permeabilidad y mayor durabilidad. (Henaó, 2010)(Pág. 245)

8.3.6. Generalidades de la escoria.

8.3.6.1. Definiciones.

La escoria es inherente en todo proceso productivo que implique la fundición de algún material ferroso y no ferroso, en este caso el aluminio, la misma que puede ser controlada por medio de la materia prima implicada, el tipo de horno, ajustes del quemador, temperaturas y condiciones propias del trabajo, entre otros.

Los óxidos de los componentes de la aleación o también llamada escoria, tiende a atrapar aluminio líquido y también, si no es retirada adecuadamente en los procesos anteriores al vaciado de las piezas, podría ser la causa de inclusiones no metálicas, también la cantidad de esta escoria es un indicador de la cantidad de mermas que se tienen de la carga metálica, el desarrollo de innumerable cantidad de fundentes a lo largo de los últimos 20 años hace necesario que los fundidores de aluminio conozcan las diferentes características de un fundente que dependerán de la parte del proceso donde será utilizado en el manejo del aluminio. (Seoáñez, 2000)(Pág. 23)

8.3.6.2. Tipos de escoria.

Las escorias procedentes de la metalurgia más conocidas son las siguientes:

- **Escoria blanca.** - Poseen un alto contenido de aluminio metálico (alrededor del 80% en peso), es producida por el aluminio industrial primario industrial.

- **Escoria negra.** - Son escorias de baja calidad producido por el aluminio secundario industrial que contiene alrededor de 5-20% de Al y una gran cantidad de sales solubles.
- **Escoria salina.** - Este tipo de escoria es aquella que contiene entre 5 % y 10 % de Al.

8.3.6.3. Proceso de desescoriado.

Durante el proceso, la escoria de aluminio se forma en la superficie del metal fundido expuesto al aire durante su fusión. La escoria es una mezcla de aluminio metal y productos no metálicos como óxidos, nitruros y carburos de aluminio, sales y otros óxidos metálicos, en función del tipo de combustible, la carga o la marcha del horno. La operación de des-escoriado conlleva un arrastre de aluminio metal (5-55%) en la escoria. Dado el precio del metal, este se recupera por métodos mecánicos como el prensado y químicos. (Crespo, 2015) (Pág. 54)

El desescoriado es el proceso mediante el cual un operador retira los fundentes semisólidos contaminados, sacándolos con un cucharón de la superficie de la masa fundida. Esta operación se la realiza cuando las cantidades de escoria son aceptables para su extracción. La acumulación de este material puede ocasionar su combustión puesto a que posee una facilidad de oxidación. Esto puede ocasionar grandes problemas dentro del horno, puesto que se encendería todo el aluminio metálico contenido, lo cual ocasiona un aumento en las mermas del total de producción. Durante las operaciones normales de fusión, se genera una espuma formada por óxidos de aluminio y de magnesio, si este elemento está presente; esta espuma se denomina también escoria "grasa" y puede contener porcentajes muy elevados, (90 a 95%), de aluminio en forma metálica. Es muy conveniente que esta espuma formada se mantenga pastosa y de color metálico durante todo el proceso de conducción del aluminio líquido hasta el momento de desescorear. (Rodríguez, 2005)(Pág. 60)

8.3.6.4. Composición de la escoria.

Composición básica de las escorias de aluminio son las siguientes:

- Óxidos de aluminio
- Nitruros de aluminio
- Aluminio atrapado
- Elementos de aleación.

Al poseer todos estos componentes, la escoria es considerada un desecho de producción aprovechable, puesto que contiene aproximadamente de un 30 a 60 % del total de su peso. Este material se lo procesa mediante hornos de fundición con la adición de fundentes, por lo general se lo realiza en hornos rotativos con sistema de quemadores a gas o diésel.

El volumen de estas escorias existentes en el mundo, poseen niveles elevados, por lo que su aprovechamiento es necesario en las industrias. La tecnología del plasma térmico, cuenta con el siguiente proceso: en el horno rotativo se provoca una oxicomustión, mediante el cual se eleva la temperatura, permitiendo de esta forma introducir la escoria, manteniendo variaciones de temperaturas bajas y altas; al alcanzar los 500 °C, se procede a suprimir la fuente de oxicomustión y se inserta plasma en atmósfera inerte siendo esta la nueva fuente de energía, se debe llegar a la temperatura de proceso la cual es superior o igual a 800 °C. El sistema presentado es muy ventajoso, puesto que presenta mejoras como:

- Recuperación del 15 al 20 % más de aluminio.
- Reducción de un 30 a 40 % de emisión de gases.
- Reducción de 2/3 del consumo energético específico.
- Reducción del volumen de residuos.

El plasma térmico es una opción muy ventajosa y a corto plazo sus aplicaciones de recuperación son muy versátiles y ayudaran a multiplicar ganancias. (Espinosa, 2014)(Pág. 15)

8.3.7. Equipos utilizados para la recuperación de aluminio mediante fusión.

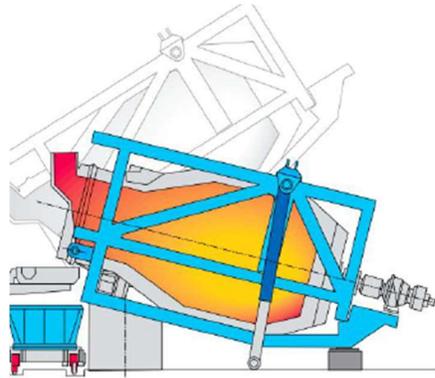
Los procesos de recuperación de aluminio deben evitar el contacto de la chatarra y las escorias de fundición con el oxígeno. Existen dos tipos de fusión la primera se realiza en presencia de sales fundentes y la segunda en ausencia de las mismas. Generalmente, los hornos más utilizados en el reciclaje de aluminio con sales fundentes son el horno rotario, horno de reverbero y los hornos eléctricos.

Debido a factores medio ambientales respecto a disposición de los residuos de fusión, existen procesos alternativos para la recuperación de aluminio. El principio de éstos es evitar la presencia de oxígeno dentro del horno, esto se puede lograr en hornos con calentamiento por antorcha de plasma, hornos de arco eléctrico y la fusión con mejoramiento de quema utilizando oxígeno. (MacKezie, 2003) (Pág. 50)

8.3.7.1. Horno Rotatorio Basculante.

El Horno Rotativo Basculante FARB es un Horno de última generación para el reciclado de todo tipo de escorias y chatarras de aluminio y de otros metales no férricos.

El Horno FARB es un Horno de fusión con un mínimo consumo de sales. Actualmente, el FARB representa la solución más avanzada y competitiva del mercado, gracias a sus cortos ciclo de proceso, bajo consumo en sales y alto rendimiento de recuperación de metal. El FARB utiliza un sistema de combustión a oxy-gas y el procesamiento de “escorias secas”. Estas dos características, en combinación con el carácter basculante del Horno, permiten que el FARB funda más rápido y eficientemente, con ciclos de 2 a 3 horas, con una eficiencia del combustible entre un 75-80%, y un rendimiento en la utilización del Horno de un 98%. (Insertec, 2019) (Pág. 2)

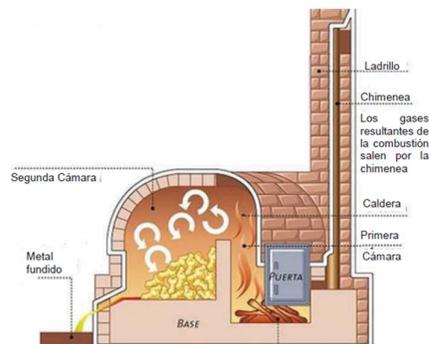
Figura 2 Horno Rotativo Basculante

Fuente: (Insertec, 2019)

8.3.7.2. Horno de reverbero.

Este tipo de horno, la energía se produce por quemadores que utilizan combustibles líquidos o gaseoso. El hogar de quema de combustible se encuentra en un extremo y opuesto a éste la chimenea. La llama formada incide directamente sobre la carga metálica con el fin de provocar su fusión; por tanto, la carga se calienta tanto por contacto con los gases caliente como por el calor de radiación en la bóveda.

Los hornos de reverbero, se caracterizan por ser de poca altura y gran longitud. La variación en el diseño incluye la capacidad de inclinaciones, alimentación frontal o superior y la posibilidad de múltiples cámaras de combustión. Su uso está destinado a procesamiento de desechos de aluminio a media y gran escala. En la Figura 3, se muestra una representación de este tipo de horno. (Boeckenhauer, 2020) (Pág.45)

Figura 3 Esquema de un horno de reverbero

Fuente: (Boeckenhauer ,2020)

8.3.6.3. Horno eléctrico.

Los hornos eléctricos representan una alternativa para la fundición de desechos de aluminio a baja escala. Una de las ventajas de uso es la calidad del producto recuperado, al no existir combustión en el ambiente se evita el riesgo de inclusiones en el aluminio metálico. Además, se reducen las emisiones gaseosas contaminantes. Sin embargo, los costos de electricidad son más altos que los provocados al utilizar equipos que usan combustibles fósiles. (Schlesinger, 2006)

Figura 4 Horno eléctrico



Fuente: (Schlesinger, 2006)

8.3.7. Proceso de recuperación del aluminio de las escorias.

El proceso tradicional de recuperación de aluminio metálico es en horno rotativo con la adición de sales (NaCl , KCl , CaF_2), que favorecen a la separación de metal y evitan su oxidación. Durante este tratamiento con sales para extraer el aluminio, se genera un residuo rico en sales y compuesto de aluminio (denominado NMP, non-metallic product) de difícil manejo dado que algunos compuestos de aluminio reaccionan con el agua dando hidrogeno, metano y amonio. Una de las soluciones viables ante el uso de este desecho ya procesado es la calcinación a una temperatura de $982\text{ }^\circ\text{C}$, para la obtención de materias primas de alta refracteriedad (espinela MgAl_2O_4 y coridón), de esta forma se logra la obtención de ladrillos refractarios. El tratamiento de las escorias entre $1150\text{ }^\circ\text{C}$ y $1280\text{ }^\circ\text{C}$ permite eliminar impurezas del residuo final como AlN , FeSO_3 , AlCl_3 . Otro método de recuperación de aluminio de las escorias de fusión es mediante plasma, evitando así el uso de sales fundentes, si bien su residuo contiene AlN .

8.3.7.1 Fundentes.

Los fundentes son necesarios en la fundición de escorias, puesto que se requiere una elevada temperatura; se conoce 3 tipos principalmente los cuales son:

- Fundentes de cobertura.
- Fundentes de escoriado.
- Fundentes de limpieza.

a) Fundentes de Cobertura.

Este fundente está definido para las fundiciones de aluminio, ayuda a la prevención de la oxidación del metal y evita la absorción de hidrógeno. Su característica de fusión oscila entre los 420 a 600 °C. Este fundente se encuentra en forma sólida y líquida.

b) Fundentes de Escoreo.

Los fundentes de escoreo son empelados para retirar la escoria del metal fundido. Mediante la exotermicidad controlada del fundente, se puede separar de forma óptima el aluminio de la escoria. En el mercado existen una gran variedad de marcas con características exotérmicas, la recomendación es evaluar el fundente valuando el % de aluminio en la escoria, la cantidad de escoria generada y la compatibilidad química del fundente con la aleación base, sobre todo en aquellas que se requieren bajos niveles de Ca, Na, u otros elementos. (Figuerola, 2009)(Pág. 3)

c) Fundentes de Limpieza.

Los fundentes de limpieza tienen como objetivo principal eliminar los óxidos del metal, este es diseñado para la limpieza del metal que promueve una escoria ligera menos seca que el fundente de escoreo. Todos los fundentes requieren ser agitados enérgicamente para establecer un buen contacto entre los materiales. (Figuerola, 2009) (Pág. 3)

9. HIPÓTESIS.

¿Qué cantidad de aluminio, a partir de escoria se podrá recuperar para la optimización del rendimiento del proceso?

9.1. Variable independiente.

Optimización del rendimiento del proceso.

9.2. Variable dependiente.

Cantidad de aluminio recuperado.

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Tipos de investigación

En la presente investigación se utilizó lo siguiente:

10.1.1. Investigación descriptiva

La investigación descriptiva permitió determinar la situación actual acerca de la utilización de la escoria, por medio de datos adquiridos en campo y antecedentes emitidos por la empresa, que permitieron establecer los problemas que atraviesa actualmente dicha organización a causa del desalojo de este material sin utilizarlo de forma óptima para la reducción del costo de producción, de esta manera aprovechar los conocimientos sobre materiales refractarios y construcción estructural para darle una solución viable. El presente proyecto busca determinar las causas y resultados que se obtienen por medio de la implementación del horno de recuperación de aluminio.

10.2. Métodos de investigación

10.2.1. Método cuantitativo

El presente método se lo aplica al trabajar con datos históricos para la determinación de las cantidades de escoria que se extraen en la planta de fundición de Cedal S.A., de esta forma se logra establecer el volumen útil del horno que se requiere para procesar dicho material. Con la creación de un horno basculante para la fusión de escoria en caliente, se logra recuperar un 20 % de aluminio, el cual implica la optimización del proceso productivo llevado a cabo en dicha empresa, puesto que

alcanza reducir el costo total de producción y crea un uso eficiente de los residuos (escoria).

10.3. Técnicas de investigación

10.3.1. Observación

La técnica de la observación permite identificar en primera instancia la forma de aprovechamiento de la escoria dentro de la planta de Fundición, el proceso de desescoriado, su enfriamiento y desalojo. De esta forma se define el diagrama de flujo de procesos que puede seguir el operario para el funcionamiento del horno de recuperación de escoria.

10.3.2. Técnica bibliográfica.

Esta técnica se basa en la recopilación de información relevante en fuentes primarias como son documentos, libros, revistas, publicaciones científicas y periódicos. La indagación acerca de la construcción y funcionamiento de los hornos recuperadores de aluminio, comienza en la obtención de documentación similar sobre la implementación de sistemas o equipos empleados en la optimización de la escoria de aluminio.

10.3.3. Fichaje.

El fichaje es una técnica auxiliar de todas las demás técnicas empleada en investigación científica; consiste en registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, las cuales, debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que se recopila en una investigación por lo cual constituye un valioso auxiliar en esa tarea, al ahorra mucho tiempo, espacio y dinero. (Ferrer, 2010)

Mediante esta técnica se pueden registrar los datos de producción mediante una ficha de chequeo el cual ayuda al cumplimiento del primer objeto planteado en la investigación.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

11.1. Situación actual de la empresa.

Se conoce que alrededor de los años la empresa ha tenido pérdidas de más de 100.000 dólares americanos o más, debido a que no es posible eliminar los desperdicios del proceso como lo es la escoria. Volúmenes vendidos, con una rentabilidad posterior muy baja, de unos centavos por kilo. Con todo ello las pérdidas de este metal se reflejaba en el costo de producción elevado.

En la planta de fundición, se identifica el proceso que lleva el desescoriado, los tiempos implicados y el desalojo de la misma. El retiro del material se lo realiza mediante contratación externa, actualmente lo venden en 0.01 centavo de dólar.

Figura 5 Escoria fría almacenada



Fuente: Cedal (2020)

La escoria se la encuentra en una bodega de almacenamiento que solo cuenta con una cubierta y una puerta corrediza la cual protege a dicho material permitiendo que disminuya su temperatura durante un tiempo de 5 horas, para posteriormente ser clasificadas por la empresa tercerizada y recolectada en contenedores siendo la disposición final otorgada por la empresa.

11.2. Consumo de chatarra por año.

Año	Consumo Chatarra (t)	Generación de Escoria (t)	Generación Viruta (t)	%Consumo	% Escoria	% Viruta
2014	11.052	376	84	96%	3,40%	0,76%
2015	8.078	219	50	97%	2,72%	0,62%
2016	10.811	333	72	96%	3,08%	0,66%
2017	12.753	576	79	95%	4,52%	0,62%
2018	11.808	604	70	94%	5,11%	0,59%
2019	10.399	608	72	93%	5,85%	0,69%
Prom. anual	10.817	453	71	95,23%	4,11%	0,66%
Prom. mensual	901	38	6	95,16%	4,19%	0,66%

Tabla 6 Resumen de consumo de producción por año

Elaborado por: Jéssica Mora (2020)

En la tabla N°6, se muestra datos relevantes de los consumos de producción realizados en los últimos 5 años y la generación de desperdicios del proceso los cuales son: la escoria y la viruta. Según los datos históricos presentados por le empresa Cedal S.A. de la ciudad de Latacunga muestra un promedio anual de generación de escoria de 453 toneladas siendo el 4.11% del total de la producción. Es notable mencionar que el promedio mensual de escoria es de 38 toneladas es decir el 4.19%. Se considera a partir del consumo de chatarra puesto que es el material que ingresa directo al horno, por ende, representa la pérdida para la empresa.

Al existir un desperdicio promedio del 4.11%, el volumen útil del horno debe poseer una capacidad de 1.71 toneladas diarias.

Para lo cual se realiza el siguiente cálculo:

Ecuación 1 Capacidad del horno

$$\text{Capacidad del horno} = \frac{\text{Toneladas prom mensual}}{\text{Dias laborables}}$$

$$\text{Capacidad del horno} = \frac{38 \text{ t}}{22 \text{ día}}$$

$$\text{Capacidad del horno} = 1.71 \text{ t/día}$$

El proceso de desescoriado llevado a cabo dentro de la planta de fundición se lo realiza dos veces al día por lo cual la cantidad presentada de la capacidad del horno de 1.71 t/día, se la divide para el número de veces que el material es retirado del horno.

Ecuación 2 Capacidad por turno

$$\text{Capacidad del horno por turno} = \frac{\text{Capacidad del horno diario}}{\text{Turno}}$$

$$\text{Capacidad del horno por turno} = \frac{1.71 \text{ t/día}}{3}$$

$$\text{Capacidad del horno por turno} = 0.57 \text{ t/ turno}$$

Es decir, por turno se debe procesar aproximadamente 0.57 toneladas de escoria (570 kg.)

A partir de este valor realizamos el cálculo del volumen útil del horno que se requiere.

Ecuación 3 Volumen útil

$$v = \pi r^2 h$$

Fuente: (Sánchez,2019)

$$v = \pi(0.40m)^2(1.20m)$$

$$v = 0.6031m^3$$

Ecuación 4 Ecuación densidad

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Fuente: (National Aeronautic,2013)

$$m = \delta * v$$

$$m = (2700 \frac{kg}{m^3})(0.6031 m^3)$$

$$m = 1628.60 \text{ kg}$$

Es importante mencionar que la mayor parte de escoria recuperada empleada como materia prima es el 90% del total desescoriado ya que se aprovechará las escoria blancas y negras en su mayoría; puesto que son las que contienen mayor cantidad de aluminio retenido. Esto da como resultado un peso total de la materia prima de 1.539 kg.

11.3. Dimensionamiento del horno.

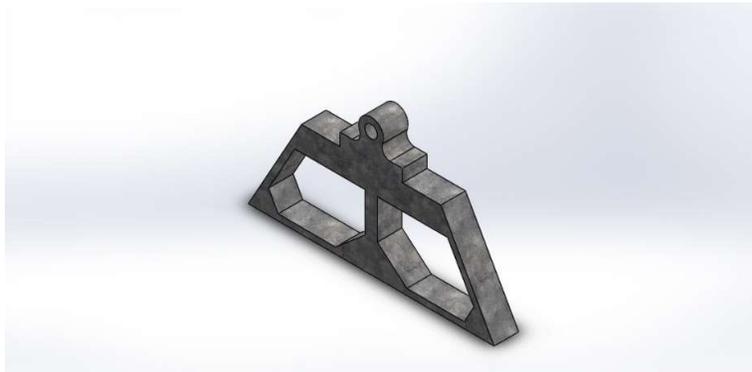
El dimensionamiento del horno se lo realiza a través del programa de modelamiento Solidworks, puesto a que permite seleccionar los materiales y analizar los esfuerzos y deformaciones a los que se encontrarán expuesto los materiales.

11.3.1. Diseño de los elementos mecánicos.

Diseño de base metálica.

Para el diseño del soporte se toma en cuenta el peso del cilindro metálico, la parte refractaria y la cantidad de escoria que va a procesarse en el horno. La bancada se diseñó con materiales como IPN de 20cm y placas de acero estructural con seis orificios a cada lado para el anclaje de la base. Además, cuenta con refuerzos en el mismo material. Tiene una altura de 100 cm y 200 cm de ancho. Su forma es trapezoidal. Cuenta con un sistema de rodamientos que ayudan al diseño basculante del horno. Sus uniones se realizaron con soldadura MIG, en ángulos que varían entre 90 y 145 grados. (Ver figura 17, anexo 4)

Figura 6 Base Metálica



Fuente: Solidworks (2020)

Diseño del cilindro metálico.

Es un cilindro de paredes de acero estructural ASTM A 36/A, de 9 mm de espesor barolada, se utilizó soldadura de arco metálico con gas. Posee tres anillos de refuerzo una en la base, la segunda en la parte superior y la tercera a 75 cm de la boca del horno. En el anillo central se ubican a cada lado, dos octógonos de 40 cm por lado con un orificio de 14 cm de ancho para ubicar los ejes. El mismo que sostiene el material refractario y la escoria a procesarse. (Ver figura 7,18 de anexo 4)

El diseño indica dos tipos de tensiones:

- Tensión tangencial (presión sobre las paredes del cilindro)
- Tensión longitudinal (presión sobre los extremos del cilindro)

La tensión tangencial es la que es causada por efectos del calor, la cual no presenta mucha importancia, puesto que en la construcción de las paredes refractarias se utiliza diferentes tipos de cementos y placas cerámicas que permite absorber gran parte de las dilataciones, además de que en su parte superior existe una salida de gases de combustión.

La tensión longitudinal se produce en los extremos del horno, específicamente en los ejes los cuales soportan todo el peso, pero el calor en este punto también es despreciable. Por factores de seguridad se utilizó acero de 9 mm y dos placas de igual espesor.

Figura 7 Cilindro metálico



Fuente: Solidworks (2020)

Determinación de cargas.

Se determinó las cargas que se ejercen en el fondo del horno con carga, para lo cual se muestran los siguientes esfuerzos:

Peso de metal: 1050 kg

Peso refractario: 3883.5 kg

Carga por nivel de baño: 703 kg

Para determinar el peso del refractario utilizado en el horno, se toma en cuenta las dimensiones del ladrillo, diámetro interior y altura del horno, placas cerámicas, base fundida del horno, ladrillos aislantes, cemento denso, anclajes. El peso de cada ladrillo

es de 2.45 kg, existen 29 unidades por diámetro, 18 filas de alto, dando un total de 522 ladrillos utilizados, con un peso total de 1279 kg. Adicionalmente se suma el peso del piso fundido, siendo 281.25 kg y el perímetro final formado con ladrillos refractarios enteros con un peso de 182.25 kg. El total de material refractario es de 3883.5 kg, incluido los materiales extras en su construcción como son mortero, aislantes, cemento denso, alucast, QF150, entre otros. El esfuerzo al cual va a ser sometido la plancha de fondo de 55237.7 N.

11.3.2. Sistema de descarga.

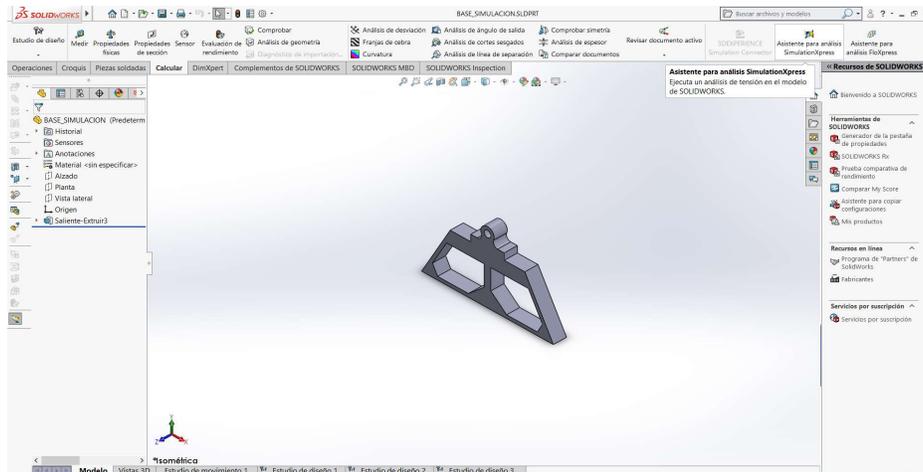
El sistema que utiliza es por medio de dos ejes que permiten bascular el horno de recuperación de aluminio, siendo el más funcional y económico para realizar el volteo y colado. En este proceso interviene un teclé de 2000 kg que ayuda en el giro del horno. A continuación, se muestra el cuerpo del horno con sus ejes de apoyo.

11.4. Cálculo de esfuerzos.

Es importante dentro del dimensionamiento del horno de recuperación de aluminio, realizar los cálculos de esfuerzos para evitar posibles deformaciones en la maquinaria. De esta forma se reduce los mantenimientos continuos a la máquina o mal funcionamiento al inicio de su funcionamiento.

Después de realizado el modelamiento de las piezas en Solidworks y las uniones, se procede a realizar el análisis de simulación express, el cual se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla del programa, en la opción calcular. (Ver figura 8)

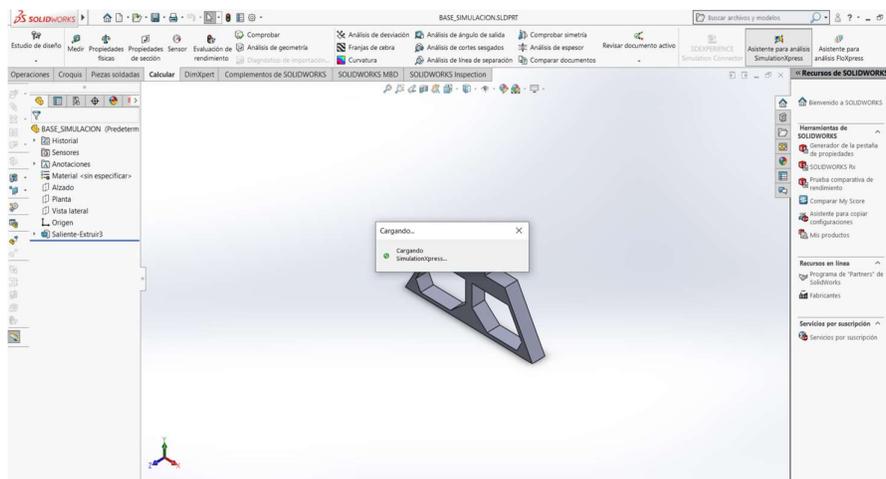
Figura 8 Pantalla de simulación



Fuente: (Solidworks, 2020)

El asistente para análisis SimulationXpress ejecuta un análisis de tensión en el modelo realizado, además, muestra una serie de opciones para la realización del cálculo de esfuerzos y deformaciones. (Ver figura 9)

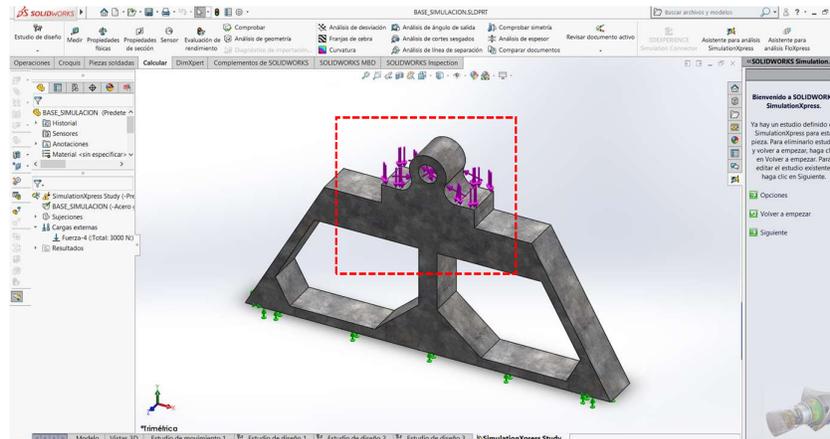
Figura 9 Pantalla de SimulationXpress



Fuente: (Solidworks, 2020)

La base muestra las cargas que va a soportar la base y la chumacera, estas fuerzas se las aplica en forma perpendicular puesto que el peso máximo se ejercerá el lugar mostrado. (Ver figura 10)

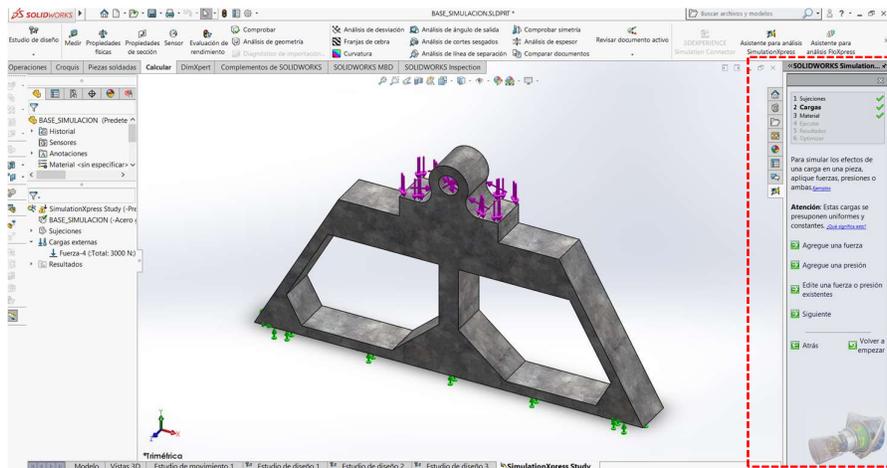
Figura 10 Base de simulación



Fuente: (Solidworks, 2020)

En la pantalla se muestra el cuadro de opciones para la simulación express, en el cual se designa sujeciones, cargas, material, ejecutar, resultados; y la opción de optimizar el modelo. (Ver figura 11)

Figura 11 Opciones de simulación

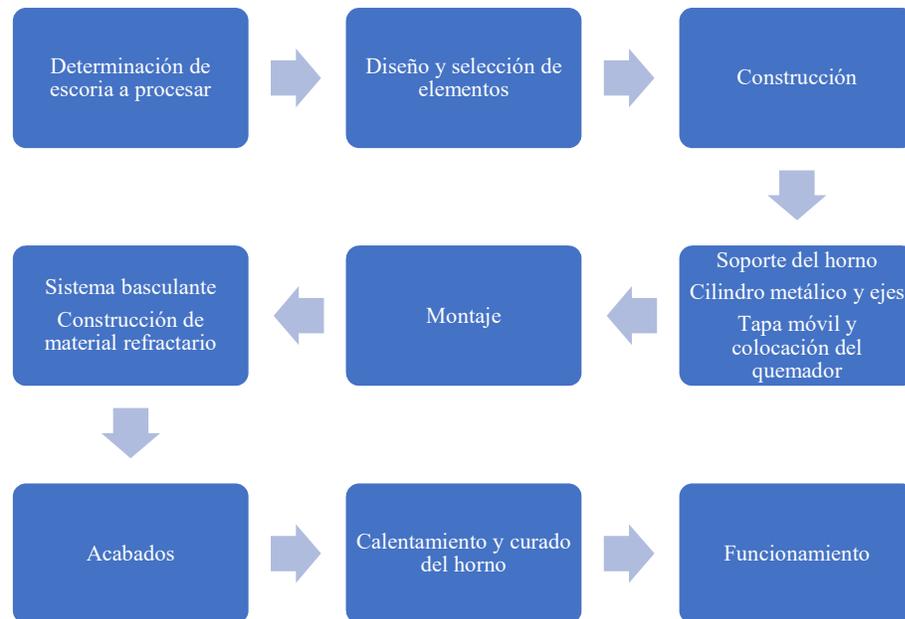


Fuente: (Solidworks, 2020)

Una vez designadas las sujeciones y la fuerza a aplicarse en el modelo, se procede a la simulación de la base. El programa consta con un resumen de la simulación express el cual se encuentra en el anexo 5.

11.5. Construcción.

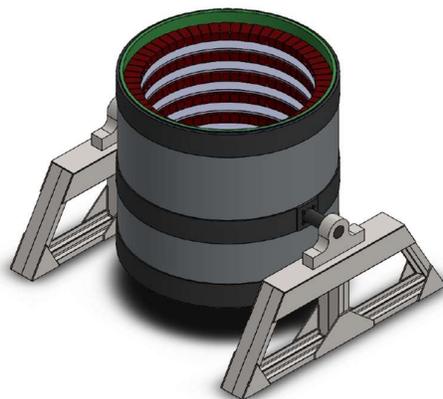
Diagrama de construcción y montaje del horno.

Figura 12 Proceso de construcción del horno

Elaborado por: Jéssica Mora (2020)

11.5.1. Esquema de los elementos principales del horno

Se determina los elementos principales para la construcción del horno, los cuales comprenden la parte mecánica y refractaria. Así como se observa en la siguiente figura.

Figura 13 Horno vista isométrica

Fuente: Solidworks (2020)

11.5.2. Descripción del proceso de construcción

Una vez determinado el diseño y los materiales con sus respectivas especificaciones, se procede a la construcción y el montaje de las piezas, según los planos. (Ver anexo 9)

Etapas de la construcción

Construcción del cilindro metálico

El cilindro se lo realiza a base de plancha de acero en caliente ASTM A 36/A de 9mm de espesor, posee una altura de 150 cm y 153 cm de diámetro, barolada y soldada. Su base es del mismo material.

Colocación de los ejes

De acuerdo a la simulación aplicada en el software Solidworks, se procede a seleccionar los materiales. Se necesita de dos ejes de acero ASTM en caliente de 10.16cm. los cuales ayudan al funcionamiento del sistema basculante. Además, constan de un sistema hidráulico que ayuda al volteo del horno.

Construcción de la pared refractaria

Existen tres fenómenos generados por efecto del calor en los ladrillos los cuales son: Expansión, conducción y ablandamiento. Especialmente con lo que se relaciona la expansión térmica que es la responsable de los esfuerzos compresivos en los ladrillos, como se conoce, todo material refractario conforme se calienta se aproxima a su temperatura de fusión y comienza a perder fortaleza cohesional y reblandece.

El ladrillo seleccionado es de la marca Gouda refractories, AK45 denso, el cual posee una temperatura de trabajo de 1500°C, es de alta resistencia con una composición química de Al₂O₃ del 45%, SiO₂ del 50 % y Fe₂O₃ menor al 1%.

En el fondo de la base del horno se realizó un piso fundido con material refractario con una altura de 20 cm, las placas alrededor del horno son de 8 cm de espesor y los ladrillos aislantes con el cemento denso 64 cm, dando, así como resultado un diámetro de 80 cm, en el cual se fundirá la escoria. (Ver figura 19,20,21,22,25,26,28 de anexo 4)

Construcción de la tapa fija-móvil

La tapa está construida con el mismo material del cilindro metálico, posee un diámetro de 153 cm, y un anillo en su borde de 20 cm de altura. En la parte central de la tapa se encuentra situado 3 orificios: 1 círculo con un diámetro de 32 cm, el cual sirve como salida de gases de la cámara de combustión, en el 2 círculo se encuentra situado el quemador, posee un diámetro de 33 cm y está dirigido con un ángulo de 10°. El tercer orificio es de forma rectangular de 53 cm de largo y 6 cm de ancho, en donde se colocará las aspas que servirá como mezclador. (Ver figura 23,29 de anexo 4)

11.5.3. Etapas de montaje

Montaje del cilindro en la bancada con sistema basculante

Para el montaje se procede a anclar las bases a una distancia de 173 cm, considerando el espacio de los ejes. Cuenta con dos chumaceras de 10.16 cm, ubicadas en la parte superior de las bases, posteriormente con la ayuda de un sistema hidráulico se logra levantar la estructura cilíndrica. Los ejes y el cilindro cuentan con un conjunto de placas soldadas y empernadas, que refuerzan el giro que realiza el horno. (Ver figura 18 anexo 4)

Montaje pared refractaria

Para el montaje de la pared refractaria se requiere hacer los cálculos para la cantidad de ladrillos requeridos. Se toma en cuenta el diámetro de la ecuación del volumen útil, el cual es de 80 cm de diámetro. Para lo cual se considera los espacios que ocuparán el resto de material refractario. Los ladrillos de trabajo del horno tienen un peso de 2.5kg, sus dimensiones son 11 de altura y 11 de ancho. El horno en total ocupa 522 ladrillos, cortados en un ángulo de 15 grados, su unión se lo realizó con mortero saised. La primera capa cuenta con placa cerámica de 150cm unido con mortero adheiset, en el fondo del cilindro metálico se fundió un piso de cemento denso con ladrillo aislante y de trabajo. Es importante mencionar que no existe pegamento que una el cilindro metálico con los elementos refractarios, por lo cual es de suma importancia colocar anclajes en la parte interna del horno, además considerar que los ladrillos queden bien compactados, evitando así pérdidas de calor. (Ver figura 28 anexo 4)

Montaje de la tapa fija-móvil en el cilindro

La tapa fija-móvil, cuenta con un recubrimiento de material refractario para soportar la temperatura ejercida por el quemador que se encuentra ubicado en la parte central, posee un peso de 75 kg de manta cerámica y 75 kg de masa Silplate, resultando un peso final conjuntamente con el material mecánico de 700kg. Para la colocación de la tapa se utiliza pernos de anclaje como se muestra en la figura 27 del anexo 4.

Montaje del quemador en la tapa.

El equipo es colocado en la tapa con un ángulo de 10°, el quemador es de tipo diésel de un peso de 34.54 kg, de tipo “A” 1 ½ pulgadas (Anexo 8)

Figura 14 Quemador A



Fuente: North American manufacturing (2020)

11.6. Funcionamiento

Una vez realizado el montaje del horno, se procede al secado de las paredes del horno por una semana, y se lo controla mediante la curva ideal de calentamiento (Anexo 7)

Determinación de los parámetros

Los parámetros que deben ser considerados son:

- **Temperatura exterior.** - Para este caso se toma la temperatura ambiente de 21 °C.
- **Temperatura de diseño.** –esta temperatura es tomada a base de los metales a fundir, para los cuales se diseña el horno, cuyo punto de fusión es mayor a los 660 °C. (p.f. Aluminio)
- **Temperatura de calentamiento.** – Tiempo que requiere las paredes refractarias para estar en la capacidad de fundir la escoria en 60 min.

- **Capacidad del horno.** – está determinado por el volumen útil calculado anteriormente.
- **Temperatura óptima de colado.** – es la temperatura adecuada en la cual en aluminio recuperado puede ser vertido en las tinajas.

Energía necesaria para fundir el metal

Es indispensable considerar el punto de fusión de los materiales que van a ser procesados. La cantidad de calor debe estar bien definida, puesto que al alcanzar la temperatura del punto de fusión es necesario aplicar más calor para transformar el metal de sólido a líquido. Durante este periodo la temperatura no aumenta y la cantidad de calor generada es destinada solamente a disgregar el estado sólido, a esto se lo conoce como calor latente de fusión. Si cuando toda la masa es líquida, se continúa generando calor, la temperatura vuelve a aumentar y el metal se recaliente. La energía necesaria para llevar el metal a la temperatura de vertido es la suma de tres cantidades:

Q1. – Calor para elevar la temperatura del metal, desde el ambiente (55% del total)

Q2. – Calor de fusión de la aleación o la energía necesaria para convertirla de sólido en líquido, llamado calor latente de fusión (30% del total)

Q3. – Calor requerido para sobrecalentar el metal hasta la temperatura de vertido, superior a 760°C (Temperatura de fusión del aluminio). Lo cual se alcanza con la ayuda de fundentes. Entonces, el calor necesario para fundir la carga **Q** es lo siguiente:

Ecuación 5 Calor necesario

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Fuente: (Orrego,2003)

Se tiene que el calor está determinado por la expresión:

Ecuación 6 Capacidad calorífica

$$Q = \frac{mC_p(T_f - T_0)}{t}$$

Fuente: (Orrego,2003)

Donde:

Q= Calor (Kcal/h)

m= peso de la carga(kg)

C_p = Calor específico (Kcal/kg°C)

T_f = temperatura final igual al punto de fusión de la escoria.

T_o =Temperatura inicial igual a la temperatura ambiente

t = tiempo

Datos:

m = 703 kg

C_p = 0.23 kcal/kg°C

T_f = 660 °C

T_o = 21 °C

$$Q_1 = \frac{703kg(0.23 \frac{kcal}{kg^\circ C})(660^\circ C - 21^\circ C)}{1h}$$

$$Q_1 = 103319.91 \frac{kcal}{h}$$

$$Q_2 = \frac{94kcal/kg(703kg)}{1h}$$

$$Q_2 = 66082 \frac{kcal}{h}$$

$$Q_3 = \frac{703kg(0.23 \frac{kcal}{kg^\circ C})(730^\circ C - 660^\circ C)}{1h}$$

$$Q_3 = 11318.3 \frac{kcal}{h}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 103319.91 \frac{kcal}{h} + 66082 \frac{kcal}{h} + 11318.3 \frac{kcal}{h}$$

$$Q = 180720.21 \frac{kcal}{h}$$

Proceso de recuperación de aluminio

Al considerar que en todo proceso de fundición existe la presencia de escoria y además que su porcentaje varía de entre el 2 y 10 %, dependiendo de las condiciones de trabajo, se ve la necesidad de recuperar el aluminio; mediante un proceso de fundición

controlado que genere un aluminio de segunda fusión con características similares al de una aleación manejada dentro de Cedal S.A. El equipo recuperador de aluminio se lo creo con el fin de recuperar aluminio retenido en las escorias incandescentes que se retiran del horno Melting. A continuación, se especifica el proceso:

- a) Obtención de la materia prima. Es obtenida directamente del proceso de fundición, es colocada en unas tinas para posteriormente ser trasladada mediante montacargas y depositada en el horno de recuperación de aluminio.
- b) Fundición. Las escorias que son extraídas del horno y son vertidas en el recipiente cilíndrico de la máquina añadiendo una pequeña cantidad de fundente exotérmico en polvo, e indirectamente son introducidas el agitador de palas por un espacio de tiempo (30 segundos)
- c) A continuación, Por medio de su sistema basculante, se vierte el aluminio completamente líquido en moldes que nos proporcionará los lingotes de aluminio recuperado con el diseño y medida definido por la empresa.
- d) Se voltea el horno 45° o más, para extraer las cenizas finales y colocarlas en un recipiente, seguidamente darles una disposición final por parte del S.G.I. de la empresa.

Las escorias acostumbran a contener de 70 a 75 % de metal. Mediante la recuperadora de Aluminio se recupera el 40-50 % del aluminio retenido en las escorias, resultando un ahorro que reduce el coste de las pérdidas de fusión.

Las cenizas o residuos después del tratamiento aún contienen metal para interesar a las empresas recuperadoras de escorias. La amortización de aluminio se realiza a los pocos meses.

Figura 15 Flujoograma de procesos

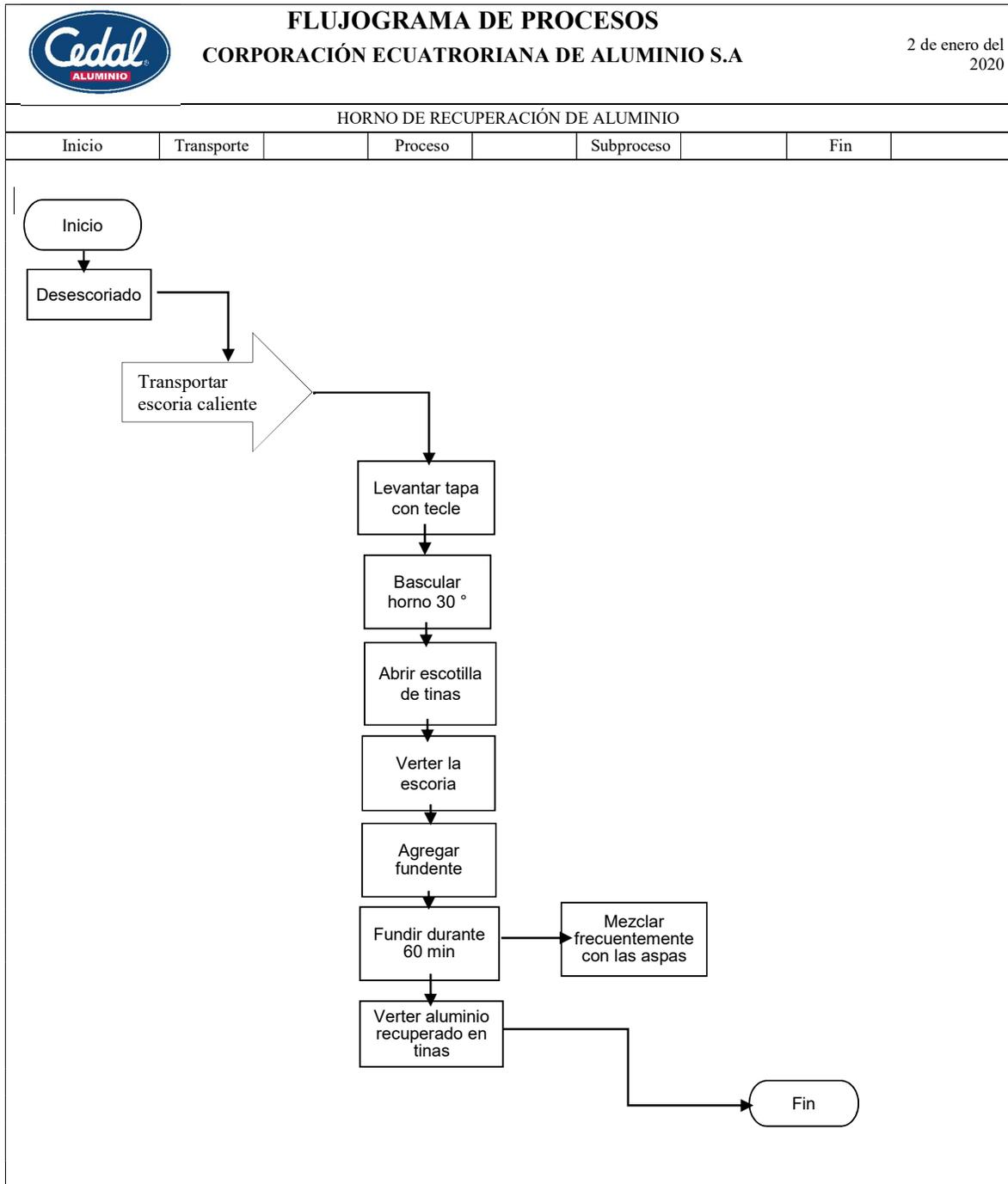


Figura 16 Diagrama de análisis de procesos

		DIAGRAMA DE ANALISIS DE PROCESOS				001-1			
		HORNO DE RECUPERACIÓN DE ALUMINIO				Mora Jessica			
						2/1/2020			
SIMBOLO	DESCRIPCION	TOTAL PARCIAL	TOTAL GENERAL						
	INICIO/FIN	2	2						
	ACTIVIDAD	7	7						
	DOCUMENTO	0	0						
	TRASLADO	1	1						
	ESPERA	2	2						
	ARCHIVO	0	0	Tiempo total min					
				143					
Pasos	DESCRIPCION	Inicio /Fin	Actividad	Documento	Traslado	Espera	Archivo	Tiempo	OBSERVACIONES
1	Retirar la escoria del horno Melting							45	
2	Transportar escoria caliente							5	
3	Levantar tapa del horno							5	
4	Bascular 30 ° el horno							2	
5	Abrir escotillas de la tina							4	
6	Verter escoria en el horno							10	
7	Agregar fundente							2	
8	Fundir escoria							60	
9	Verter aluminio recuperado en tinas.							10	
10	Fin							0	
TOTALES		2	7	0	1	2	0	143	

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

11.7. Determinación de costos del proyecto

Costos para la fabricación del horno de recuperación de escoria

Para la implementación del horno es necesario determinar el costo de los materiales utilizados, así se obtiene el valor total real de la maquinaria y la depreciación de la misma.

Tabla 7 Material refractario

Material Refractario				
Material	Cantidad a utilizar	Unidades	Precio unitario	Precio total
Ladrillos gouda Ak45	432	unidades	\$ 5,08	\$ 2.194,56
Ladrillos aislantes	90	unidades	\$ 1,89	\$ 170,10
Mortero Saised	250	kg	\$ 3,56	\$ 890,00
Manta Nacional Nuteg	16,00	m2	\$ 37,50	\$ 600,00
QF150	6	kg	\$ 6,78	\$ 40,68
Placa cerámica	17	unidades	\$ 58,24	\$ 990,08
Papel cerámico	9	m	\$ 16,12	\$ 145,08
Mortero Adhesiet	200	kg	\$ 1,22	\$ 244,00
Aislante techn	300	kg	\$ 2,50	\$ 750,00
Masa Cerámica	25	kg	\$ 4,43	\$ 110,75
Cemento denso magneco	300	kg	\$ 1,80	\$ 540,00
Alucast	1000	kg	\$ 4,71	\$ 4.710,00
SUBTOTAL				\$ 11.385,25

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 8 Material metalmecánico

Material metalmecánico				
Material	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Planchón 3/* 2440*6000	1	u	\$ 1.346,80	\$ 1.346,80
Chumacera	2	u	\$ 620,66	\$ 1.241,32
UPN 100	8	u	\$ 62,80	\$ 502,40
Barolada del planchón	1	u	\$ 400,00	\$ 400,00
Plancha 3/8 1,22*2,44	1	u	\$ 297,25	\$ 297,25
Plancha 3 mm	2	u	\$ 61,15	\$ 122,30
Rollo suelda MIC	3	rollo	\$ 32,00	\$ 96,00
Eje 2" 1/2	2,6	m	\$ 80,00	\$ 208,00
Gel MIC	1	u	\$ 10,00	\$ 10,00
Discos de corte	30	kg	\$ 1,80	\$ 54,00
Discos de desbaste	15	u	\$ 2,11	\$ 31,65
Cepillo circular	2	u	\$ 7,00	\$ 14,00
Tecele	1	u	\$ 2.800,00	\$ 2.800,00
IPN	1	u	\$ 180,00	\$ 180,00
Tubo cuadrado 100	8	u	\$ 35,00	\$ 280,00

Pistones hidráulicos	2	u	\$ 75,00	\$ 150,00
Válvulas media vuelta	10	u	\$ 12,20	\$ 122,00
Accesorios quemador	1	varios	\$ 200,00	\$ 200,00
Accesorios para tubería	1	varios	\$ 50,00	\$ 50,00
Tubos 1/2	5	u	\$ 21,68	\$ 108,40
UPN 200	3	u	\$ 186,00	\$ 558,00
Perno inoxidable 3/4 *5"	4	u	\$ 3,30	\$ 13,20
Tuercas 3/4	4	u	\$ 0,32	\$ 1,28
Arandelas 3/4	4	u	\$ 0,25	\$ 1,00
			TOTAL	\$ 8.787,60

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 9 Material recuperado

Material recuperado		
Material	Unidades	Precio total
Bomba para reservorio D.	1	\$ 325,00
Moto reductor	1	\$ 450,00
Motor turbina	1	\$ 24,00
Tubo cuadrado	10	\$ 158,90
Placa corrugada piso	2	\$ 153,40
HEB	2	\$ 65,00
Ruedas de Carrilera	2	\$ 25,00
Unidad hidráulica	1	\$ 150,00
Quemador	1	\$ 400,00
TOTAL		\$ 1.751,30

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 10 Mano de obra

Mano de obra		
Personal	Costo MO/ h	Alimentación
Soldadores calificados	1200	75
Soldadores calificados	1200	75
Técnico refractarista	900	75
Ayudante 1	450	75
Ayudante 2	450	75
TOTAL		\$ 4.575,00

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

En las tablas 11,12,13 se encuentran detallado los valores monetarios que fueron asumidos para la construcción del horno basculante de recuperación de aluminio, como son materiales metalmecánicos, refractarios, material recuperado y mano de obra. El desarrollo de la máquina tomo un tiempo de 4 meses.

Tabla 11 Depreciación

Depreciación		
Valor de salvación	\$ 5.000,00	Vida útil 1
Valor total de la máquina		\$ 26.499,15
Dep. anual		\$ 21.499,15
Dep. mensual		\$ 1.791,60

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

En la tabla 14 se puede apreciar el valor total de \$ 26.499,15, dándonos así una depreciación anual de la máquina de \$ 21.499,15 y mensual de \$ 1.791,60. Es importante mencionar que la vida útil asignada es de un año puesto a que el horno se encuentra sometidos a parámetros de alta temperatura y un funcionamiento continuo de 24 horas.

11.8. Costo de producción proyectado

Los costos de producción y gastos requeridos son valores indispensables para el cálculo de venta del aluminio recuperado.

Tabla 12 Carga fabril

COSTO DE PRODUCCIÓN PROYECTADO				
DESCRIPCIÓN				
CARGA FABRIL	PERSONAL	1	\$ 400,00	\$/MES
	MANTENIMIENTO		\$ 100,00	\$/MES
	OTROS GASTOS		\$ 300,00	\$/MES
	• DEPRECIACIÓN		\$1.791,60	
TOTAL CARGA FABRIL			\$2.591,60	

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 13 Materiales de receta

MATERIALES DE RECETA	DIESEL		\$ 704,00	\$/MES
	FUNDENTES	1,04	\$ 68,64	\$/MES
	GAS	1	\$ 50,00	\$/MES
	ENERGIA		\$ 50,00	\$/MES
TOTAL MATERIALES DE RECETA			\$ 872,64	

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 14 Costo materia prima

	PRECIO ESCORIA	0,01	\$/kg	
	PRECIO ESCORIA	10	\$/Tn	
MATERIA PRIMA			COSTO TOTAL	\$/Tn
			MATERIA PRIMA	\$333

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 15 Resumen de producción

SALIDA	PRODUCCIÓN NETA	800,00	Tn
	BILLETS		
ENTRADA	CONSUMO DE CHATARRAS	832,00	Tn
DESPERDICIO	ESCORIA	33,28	Tn
	<i>90% Escoria a procesar</i>	29,95	Tn
% DESPERDICIO	% E. GENERADA	4%	
% RECUPERACIÓN	% AI RECUPERADO	18%	

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Tabla 16 Producción neta

	PRODUCCIÓN NETA	5,39 Tn
PRODUCCIÓN NETA	CARGA FABRIL NETA	\$2.591,60
	MATERIALES DE RECETA	\$ 872,64
	MATERIA PRIMA	\$ 332,80
	COSTO DE PRODUCCIÓN	\$ 704,28
POR TN	COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN	\$ 3797.04

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

En los datos de las tablas se muestran los costos de producción proyectado con respecto a la carga fabril, materiales de receta y la materia prima; que influyen en la determinación del costo de producción, teniendo como resultado el valor de \$ 704.28 por tonelada procesada.

11.9. Escenarios económicos

Tabla 17 Escenarios económicos

ESCENARIOS ECONÓMICOS							
ESCENARIO ACTUAL DE LA EMPRESA				ESCENARIO CON HORNO DE RECUPERACIÓN			
<i>Precio del aluminio</i>				<i>Índice de recuperación</i>			
\$ 1.800,00				18%			
Escoria generada (Tn)	Precio de venta de la escoria	Utilidad mensual de escoria	Utilidad anual de escoria	Aluminio recuperado	Costo total de producción	Utilidad mensual de aluminio recuperado	Utilidad anual de aluminio recuperado
33,28	\$ 10,00	\$ 332,80	\$ 3.993,60	5,39	\$ 3.797,04	\$ 5.907,41	\$ 70.888,90
Pérdida mensual por generación de escoria	\$ 59.571,20	Pérdida anual por generación de escoria	\$ 714.854,40	Pérdida mensual por generación de escoria	\$ 53.663,79	Pérdida anual por generación de escoria	\$ 643.965,50

Variación de escenarios	\$ 70.888,90	10%
--------------------------------	--------------	-----

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

En las tablas se muestran dos escenarios: El primero representa la situación actual de pérdida económica representada por un valor de \$59.571 dólares al mes, solamente con la venta de la escoria como desalojo. El segundo escenario muestra el valor adquirido por la venta de aluminio de segunda fusión, disminuyendo la pérdida económica en un 10 % con una variación de \$ 70.888,90.

11.10. Análisis de pruebas.

Una vez realizado el montaje del horno, se procede al secado de las paredes del horno por un periodo de 5 días, posteriormente se realiza las pruebas necesarias para obtener el índice de recuperación de aluminio.

A continuación, se indica los datos obtenidos en la primera fundición:

Para efectos de estas pruebas piloto, se procedió a usar un promedio de 400 Kg escoria de la parte superior de los elementos solidificados en el depósito, el recuperamiento en base a estos datos son del 18%, su temperatura de fusión esta por los 1000 °C, el exceso de temperatura produce un saturamiento de la escoria similar a ceniza o polvo 1350 °C, la temperatura ideal es el promedio de 1100°C +/- 50 °C produce una escoria similar a la arena, separada totalmente del aluminio. Si se toma esta muestra de la parte inferior del montículo de escoria el porcentaje de la recuperación tendrá un ascenso. No es recomendable sobrepasar de la temperatura de 1100 °C puesto que se obtendrá una escoria saturada “calcinada”.

11.11. Período de recuperación de la inversión.

Se estima que el tiempo de recuperación de la inversión realizada para el presente proyecto, se considera el valor total de la máquina de \$ 26.499,15, en la cual se encuentra considerado recursos técnicos, humanos y materiales. Además, la utilidad mensual que se obtiene es de \$ 5.907,41, con lo cual a partir de la ecuación 7, se determina el PRI, así:

Ecuación 7 Período de recuperación

$$\text{Periodo de recuperación de la inversión (PRI)} = \frac{\text{Inversión}(\$)}{\text{Utilidad mensual}(\frac{\$}{\text{mes}})}$$

$$\text{Periodo de recuperación de la inversión (PRI)} = \frac{\$ 26.499,15}{\frac{\$ 5.907,41}{\text{mes}}}$$

$$\text{Periodo de recuperación de la inversión (PRI)} = 4.49 \text{ meses}$$

Es decir que el tiempo en el que se recupera la inversión es de 4 meses productivos.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

12.1. Impactos Económicos.

El proyecto de investigación contribuye a la obtención de beneficios económicos para la empresa Cedal S.A. de la ciudad de Latacunga especialmente al área de fundición puesto que la recuperación de aluminio tiene un alto porcentaje de utilidades por lo cual la inversión de la maquinaria es recuperable en menos de un año.

Tabla 18 Impacto económico

COSTO PRODUCCIÓN TOTAL	3.797	\$/mes
TOTAL DE VENTAS	9.704	\$
UTILIDAD MENSUAL	5.907	\$/mes
UTILIDAD ANUAL	70.888	\$/año

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

Como se muestra en la tabla, se obtiene una utilidad anual de 70.888,90 \$/año, que pueden utilizarse en el mejoramiento de la calidad de sueldos de sus empleados o como reinversión en diferentes áreas que lo requieran.

12.2. Impactos Técnicos.

Mediante el modelamiento y simulación del software Solidworks, se diseña el horno de recuperación de aluminio, definiendo los materiales a utilizarse, de esta forma se obtiene una simulación de esfuerzos y deformaciones que evitarán posibles fallas a futuro. La máquina implementada es una solución factible para el procesamiento de escorias, puesto que se logra obtener aluminio de segunda fusión que servirá como materia prima en el proceso de fundición, es decir, ya no se dependerá mayormente de la compra de chatarras blancas y de esta forma se reducirá el costo de producción de la planta.

12.3. Impactos Ambientales

Mediante la realización del proyecto se puede reducir los desperdicios propios de la producción y se obtiene un mejor manejo de los desechos sólidos, evitando la contaminación del suelo y las emanaciones al medio ambiente causado por el almacenamiento de la escoria en la zona designada; de esta forma se evita la degradación ambiental y la sobreexplotación de los recursos de la empresa.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.

Tabla 19 Presupuesto

PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO					
	Recurso	Cantidad	Unidad	V. Unitario \$	V. Total \$
Equipos y software	Computadora	1	Unidad	\$ 900.00	\$ 900,00
	Horno recuperador de aluminio	1	Unidad	\$ 26499.15	\$ 26499,15
	Internet	100	Hora	\$0.50	\$50,00
	Flash memory	1	Unidad	\$6.00	\$6,00
	mouse	1	Unidad	\$7.00	\$7,00
	Impresora	1	Unidad	\$200.00	\$200,00
Útiles de oficina	Impresiones	500	Unidad	\$0.05	\$25,00
	Esferos	2	Unidad	\$0.35	\$0,70
	Copias	200	Unidad	\$0.02	\$4,00
	Perforadora	1	Unidad	\$1.75	\$1,75
	Grapadora	1	Unidad	\$1.85	\$1,85
	Carpetas folder	4	Unidad	\$0.65	\$2,60
	Anillados	4	Unidad	\$1.10	\$4,40
TOTAL					\$ 27.702,45

Elaborado por: Jessica Mora (2020)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- Se determinó la cantidad de escoria no procesada a lo largo de los años, a través de los registros mensuales recopilados desde el año 2014 hasta la actualidad, estableciendo la cantidad promedio mensual de 4 % desechado, reflejando pérdidas económicas de \$ 59.571.
- Se diseñó el horno de recuperación de aluminio mediante un software de simulación el cual permite establecer las características de los materiales para la construcción de la parte metalmecánica, refractaria y dimensionamiento de quemador, permitiendo así el montaje del proyecto.
- Se obtuvo una recuperación del 18% de aluminio del total de escoria, manifestándose en ganancias económicas para la empresa con una variación del escenario actual del 10%, recuperando la inversión en un periodo de 4 meses productivos, ayudando en el aprovechamiento de los recursos antiguamente desechados.

14.2. Recomendaciones

- Realizar la estandarización del proceso mediante un estudio de tiempo y movimientos, para garantizar el desempeño efectivo del personal que maneja la maquinaria.
- Efectuar análisis diarios de los parámetros de calidad del aluminio recuperado, para garantizar las condiciones requeridas para su utilización en el proceso llevado a cabo en el horno Melting.
- Efectuar mantenimientos preventivos al sistema hidráulico, mecánico y quemador para evitar acumulación de escoria y causar paros de producción.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Aprendizaje México. (21 de 01 de 2008). *Aprendizaje*. Obtenido de http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_IVAlu.html
- Barroso Segundo. (2010, noviembre 4). *Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones*. España: Editorial UNED.
- Boeckenhauer, K. (14 de 01 de 2020). *Secowarwick*. Obtenido de Secowarwick: <https://www.secowarwick.com/wp-content/uploads/2017/03/MODERN-FURNACES-FOR-ALUMINUM-SCRAP-RECYCLING-AP.pdf>
- Burga, R. (2016). *Diseño de un horno de crisol para la fundición de 600 kg. de aluminio reciclado utilizando gas natural*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Castells, X. (2000). Reciclaje de residuos industriales. En X. Castells, *Reciclaje de residuos industriales* (págs. 45-96). Madrid: Diaz de Santos.
- Castillo, R. (04 de 2007). *WordPress*. Obtenido de WordPress: https://ubtjrialca.files.wordpress.com/2012/02/elaluminio_y_su_desarrolloactual1.pdf
- CEDAL. (11 de 2019). *CEDAL ALUMINIO*. Obtenido de CEDAL ALUMINIO: <http://www.cedal.com.ec/index.php/es/quienes-somos.html>
- Crespo, R. M. (Noviembre de 2015). Incorporación de escorias de aluminio en la fabricación de productos de arcilla cocida. *Tesis Doctoral*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Espinosa, P. (Marzo de 2014). Estudio de factibilidad para el diseño del area de recuperacion de aluminio de la escoria generada en la empresa Cedal S.A. . *Tesis de Grado* . Riobamba , Chimborazo, Ecuador: Epoch.
- Ferrer, J. (2010). *Metodología02*. Obtenido de <http://metodologia02.blogspot.com/p/tecnicas-de-la-investigacion.html>
- Figuroa, J. L. (15 de 01 de 2009). *Fundytec*. Obtenido de Fundytec: http://fundytec.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=6

- Gutierrez, D. (2016). *Diseño y construcción de un horno basculante para fundición de metales no ferrosos*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica.
- Henao, S. A. (2010). Reciclaje de materiales no ferrosos, en busca de una producción mas limpia. *Dialnet*, 241-246.
- Insertec. (24 de 12 de 2019). Rotativo FARB. Vizcaya, España: Insertec.biz. Obtenido de www.insertec.biz
- MacKezie, G. T. (2003). *Handbook of Aluminum*. Nueva York: Marcel Dekker Inc.
- Morales, J. (2015). *Tecnología de los materiales cerámicos*. Ecuador: Editorial Díaz de Santos.
- Osorio, P. (2015). *Caracterización y recuperación del aluminio presente en la escoria generada de los procesos de refusión en hornos tipo reverbero durante la producción de la aleación AA6063 con diferentes mezclas de aluminio reciclado*. Colombia, Cali: Pontificia Universidad Javeriana.
- Rodríguez, M. (2005). *ITBA*. Obtenido de ITBA: <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/496/RodríguezRieu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schlesinger, M. E. (2006). *Aluminum recycling*. Nueva York: Taylor & Francis Group.
- Seoáñez, M. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. España: Mundi Prensa Libros.
- Solaguren-Beascoa, M. (2016). *Elasticidad y resistencia de materiales*. España: Ediciones Pirámide.
- Soto, F. (2017). Soldadura MIG de acero inoxidable y aluminio. FMEC0210. España: IC Editorial.
- Sosa, B. (2013). Industrias de fundición: aspectos ambientales e indicadores de condición ambiental. *Metalurgia*, 11.
- Urrutia, R. (2019). El aluminio. *Alu-Stock*, 3-4.
- Verdeja, L. (2016, junio 30). *Materiales refractarios y cerámicos*. Ecuador: Editorial Síntesis.

16. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del autor



DATOS PERSONALES

APELLIDOS Y NOMBRES: Mora Reinozo Jéssica Carmelina.

FECHA DE NACIMIENTO: 15 de marzo de 1995.

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 185011175-6

DIRECCIÓN DOMICILIO: Rumipamba de las Rosas

CELULAR: +593 987677970

E-MAIL: jessica.moral756@utc.edu.ec

ESTUDIOS REALIZADOS

NIVEL PRIMARIO: Escuela Fiscal Mixta “Rosa Zárate”

NIVEL SECUNDARIO: Colegio Nacional Experimental “Salcedo”

NIVEL SUPERIOR: Universidad Técnica de Cotopaxi/ Ing. Industrial Décimo Semestre

CURSOS Y SEMINARIOS

- Seminario Lean Six Sigma White Belt (4 horas) (año 2019).
- **Participante.** I Feria de emprendimientos e innovación UTC 2019.
Latacunga - Ecuador
- **2018 Asistente.** Fullbright English Teaching Assitants; Technical University of Cotopaxi. Latacunga- Ecuador.
- **2017 Asistente.** Certificado en administración y gestión del talento humano. Seprytsa. Latacunga – Ecuador.
- **2017 Asistente.** III Congreso Internacional de Ingeniería Industrial, Calidad, ambiente y seguridad laboral. Seprytsa. Latacunga – Ecuador.
- **2017 Participante.** Certificación en prevención de riesgos psicosociales y riesgos ergonómicos. Seprytsa. Latacunga – Ecuador

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa: Corporación Ecuatoriana de Aluminio. CEDAL S.A., planta Latacunga.

Cargo: Practicas Pre profesionales en el Departamento de Fundición.

Duración: Del 17 de diciembre del 2018 al 16 de junio del 2019.

Jefe Inmediato: Ing. MSc. Hernán Navas.

REFERENCIAS PROFESIONAL

Nombre: Ing. Germán Correa.

Empresa: Asistente de Planta de Fundición.

Teléfono: 0983095573

Nombre: Ing. Francisco Ortiz

Empresa: Coordinador de Metrología Provefrut

Teléfono: 0984055207

Anexo 2. Hoja de vida tutor**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI****DATOS INFORMATIVOS PERSONAL DOCENTE****DATOS PERSONALES****APELLIDOS:** Navas Olmedo**NOMBRES:** Bladimiro Hernán**ESTADO CIVIL:** Casado**CEDULA DE CIUDADANÍA:** 050069554-9**NÚMERO DE CARGAS FAMILIARES:** 0**LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO:** Quito, 1956**DIRECCIÓN DOMICILIARIA:** Alberto Varea Quevedo 287 y Calixto Pino**TELÉFONO CELULAR:****EMAIL:** hnavas@corpesa.com**TIPO DE DISCAPACIDAD:** Ninguno**# DE CARNET CONADIS:** No**ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS**

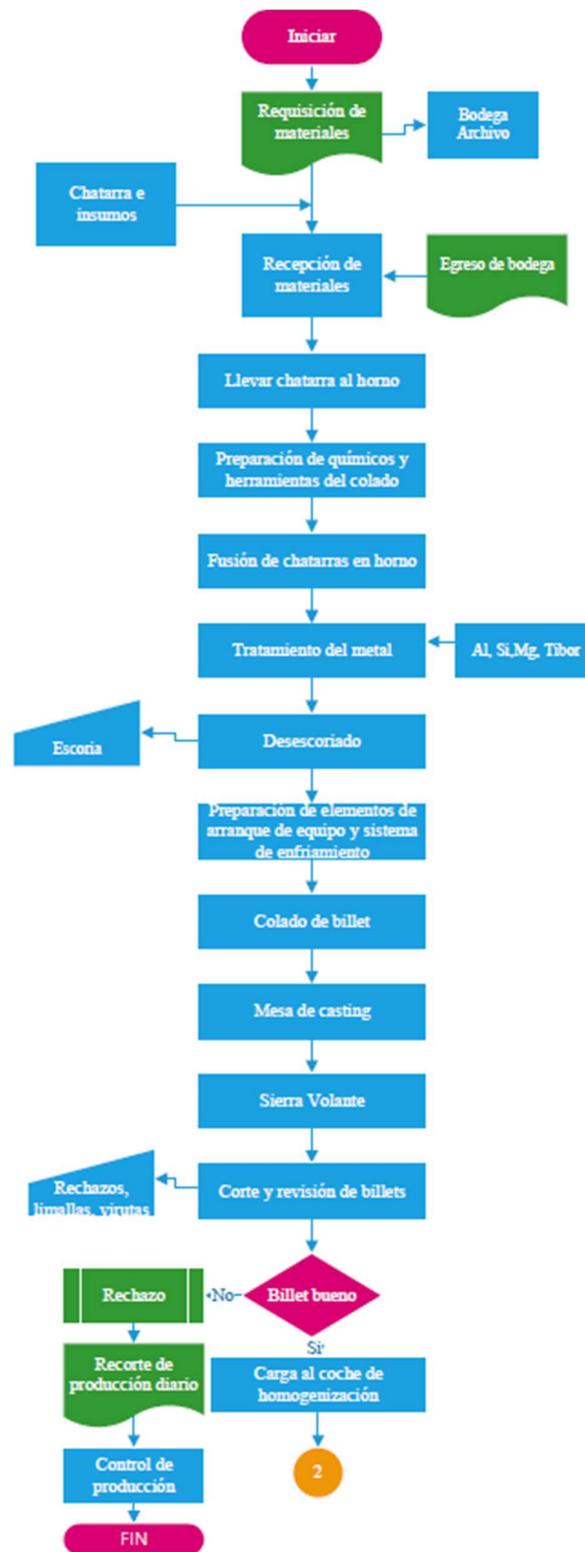
NIVEL	TITULO OBTENIDO	FECHA DE REGISTRO
TERCER	Ingeniero Industrial, Universidad Estatal De Guayaquil.	1984
CUARTO	Magister En Gestión De La Producción, Universidad Técnica De Cotopaxi.	2005
DIPLOMADO	Gestión De Proyectos, con el aval de la Universidad Politécnica de Madrid y la Cámara de Industriales de Pichincha.	2006

HISTORIAL PROFESIONAL

- Unidad Académica en la que labora: Ciencias de Ingeniería y Aplicadas; Ingeniería Industrial.
- Jefe de la Planta de Fundición, en CEDAL S.A.; marzo 2008 hasta la actualidad.
- Sub-Gerente General, Indrealum S.A. Empresa del Grupo Corpesa; 2006-2009.
- Jefe del Proyecto de Certificación ISO 9001:2000; 2004-2006.
- Jefe de Planificación y Control de Producción, CEDAL S.A.; 1996-2006.
- Jefe de la Planta de Acabados, CEDAL S.A.; 1991-1996.
- Gerente de Planta, Pesca Ecuatoriana; 1990-1991.
- Administrador General, CAMTEC S.A., 1988-1990.
- Jefe de Producción, Fleishmann S.A.; 1987-1988
- Supervisor de producción, NABISCO S.A.; 1985-1987.

Anexo 3

Diagrama de procesos de fundición





Fuente: Jessica Mora (2020)

Anexo 4

Construcción de horno

Base estructural

Figura 17 Base estructural



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 18 Montaje del horno



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 19 Ladrillo refractario



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 20 Ladrillo Aislante



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 21 Corte de ladrillo



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 22 Máquina cortadora de ladrillo



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 23 Construcción de la tapa



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 24 Quemador



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 25 Colocación de placa cerámica



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 26 Colocación de ladrillos aislantes



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 27 Colocación de anclajes



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 28 Colocación ladrillos de trabajo



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 29 Colocación de la tapa



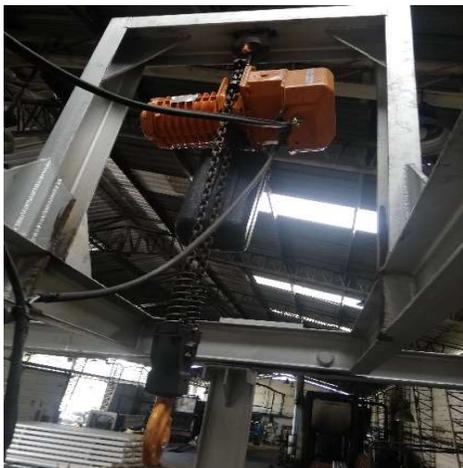
Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 30 Colocación del quemador



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 31 Tecele



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 32 Colocación de guías de tecele



Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 33 Calentamiento del horno



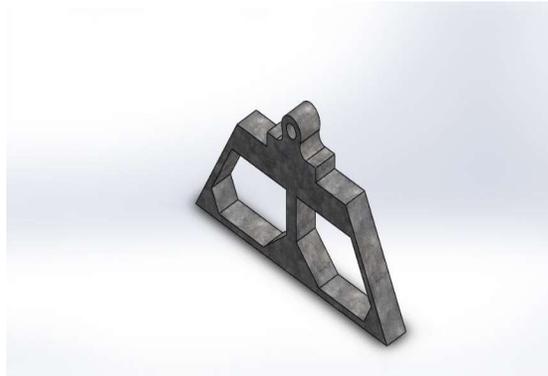
Fuente: Jessica Mora (2020)

Figura 34 Horno de recuperación



Fuente: Jessica Mora (2020)

Anexo 5. Simulación de esfuerzos de la base del horno



Simulación de
BASE_SIMULACION

Fecha: lunes, 13 de enero de 2020

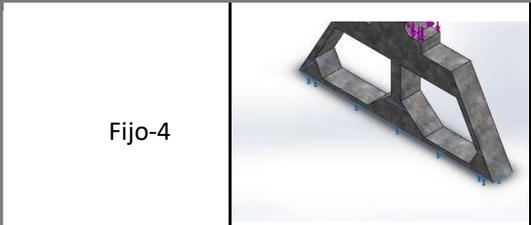
Diseñador: Jessica Mora

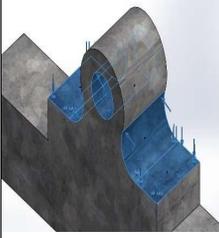
Nombre de estudio:
SimulationXpress Study

Tipo de análisis: Análisis estático

Propiedades de material		
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Acero galvanizado</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 203.943 N/mm²</p> <p>Límite de tracción: 356.901 N/mm²</p>	<p>Sólido 3(Saliente-Extruir3)(BASE_SIMULACION)</p>

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-4		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		Entidades: 5 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 3000 N

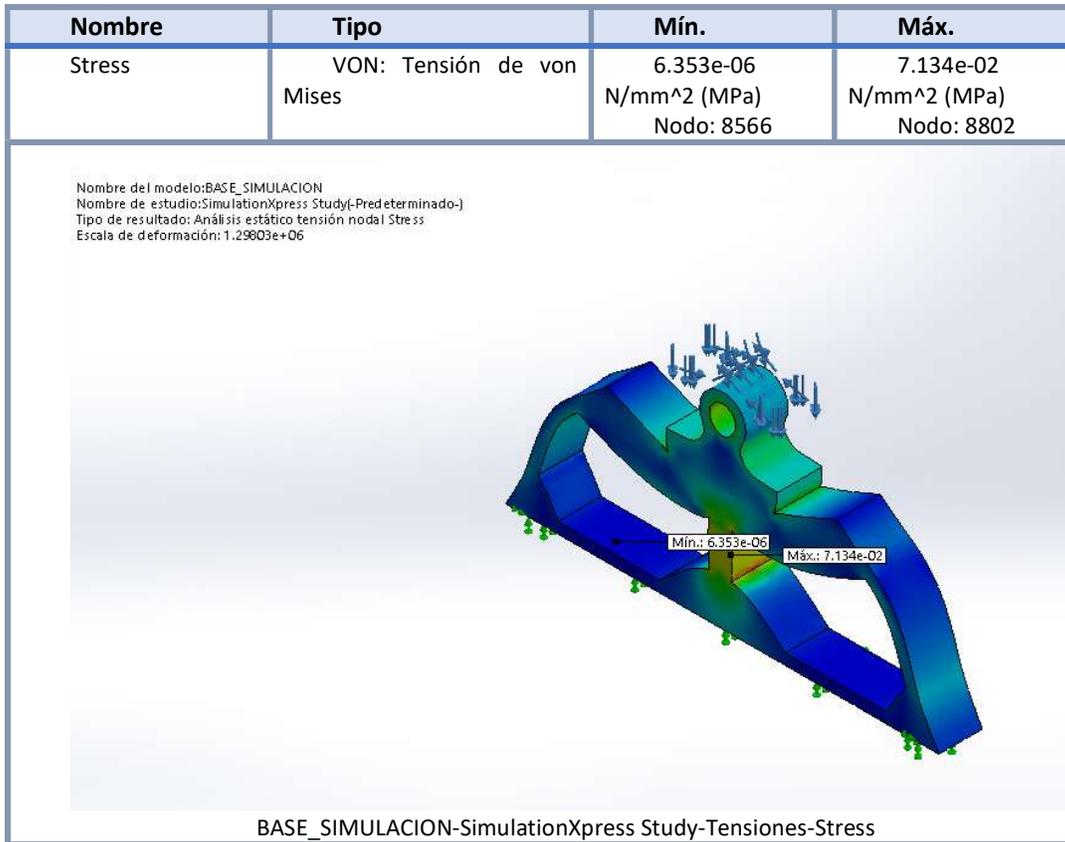
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	49.1262 mm
Tolerancia	2.45631 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

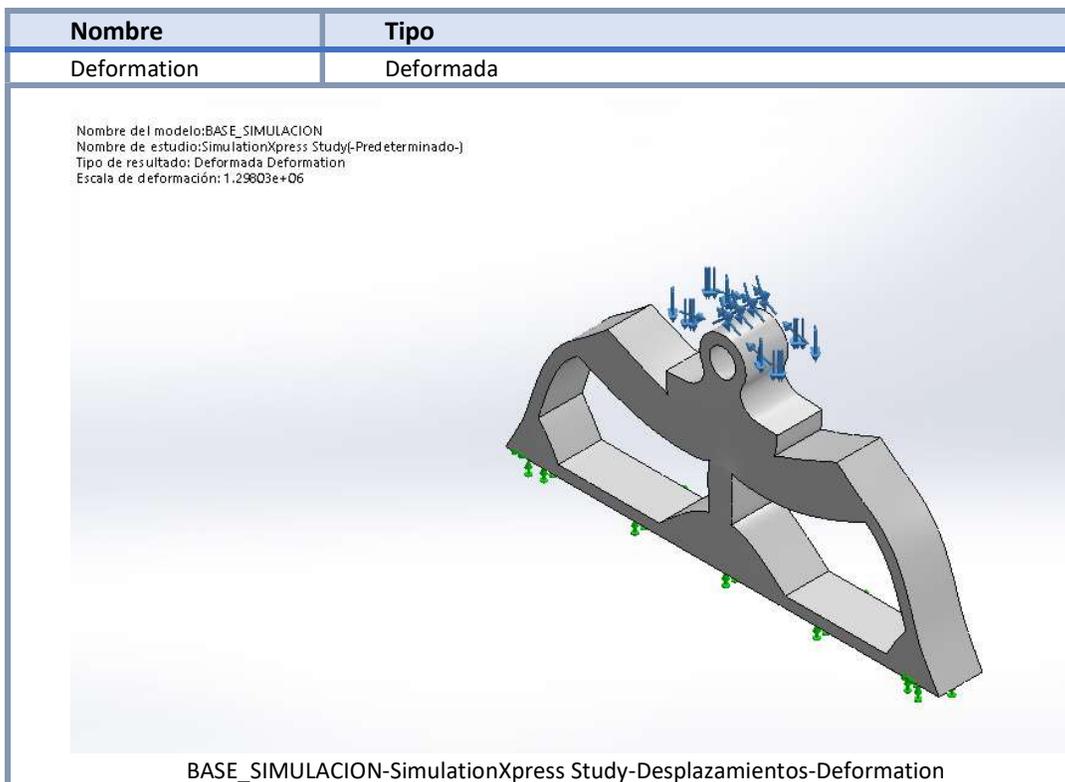
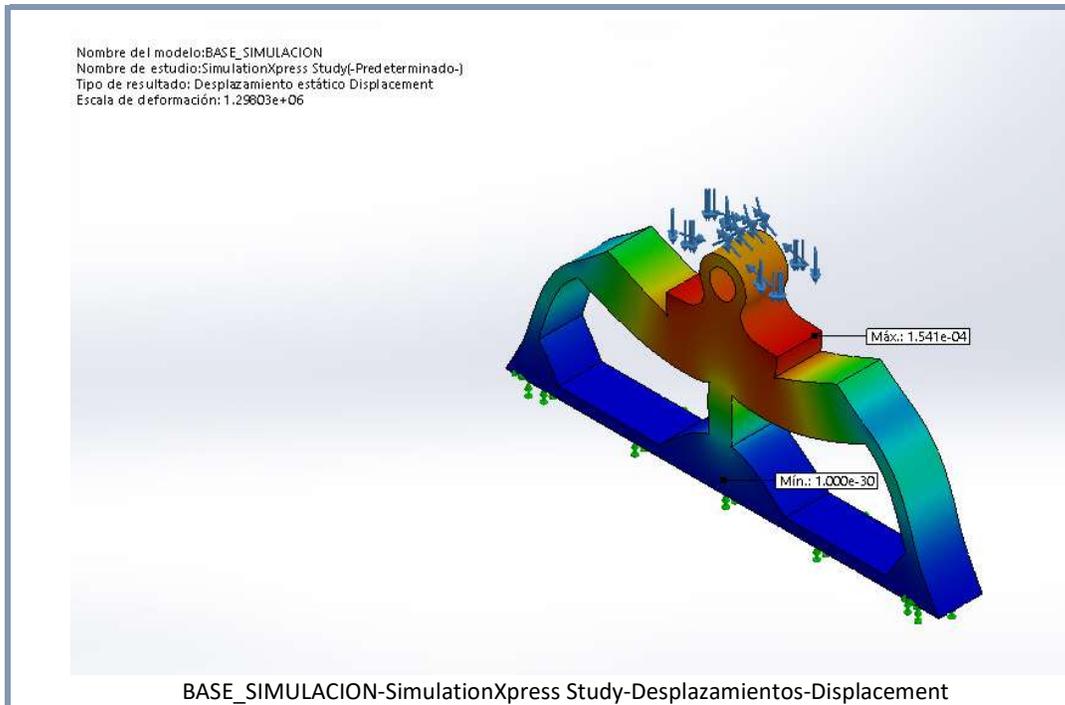
Información de malla – Detalles

Número total de nodos	13617
Número total de elementos	7950
Cociente máximo de aspecto	5.858
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.4
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	

Resultados del estudio

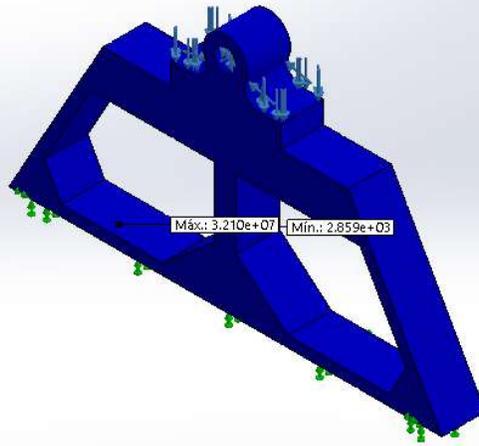


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 295	1.541e-04 mm Nodo: 633



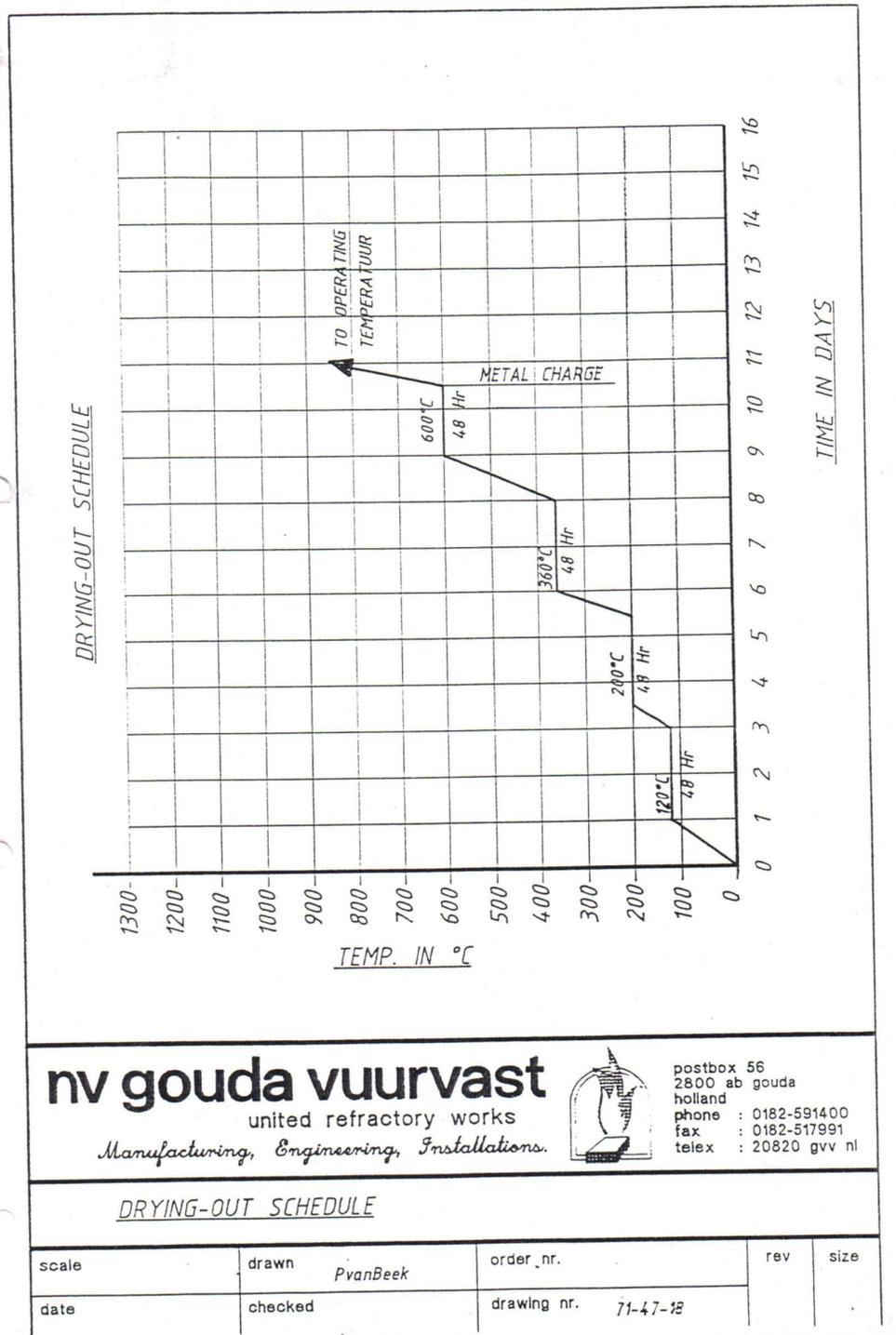
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	2.859e+03 Nodo: 8802	3.210e+07 Nodo: 8566

Nombre del modelo:BASE_SIMULACION
Nombre de estudio:SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Rojo < FOS = 1 < Azul



BASE_SIMULACION-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety

Anexo 7. Curva de Calentamiento.



Elaborado por: Gouda refractories

Anexo 8. Datos del quemador.



North American
Manufacturing Company

GAS BURNERS
for High Temperature Applications
Bulletin 4425

Ref. Bulletin 4422

May 1991

4425 Burners are designed specifically for higher temperature operations such as forge furnaces, ceramic kilns, metal and glass melters, heat treat furnaces, etc. They are the high temperature version of North American's 4422 Fire-All™ Burner, one of the most widely used industrial burners in the world.

4425's are particularly appropriate for applications that run at both high and low temperatures--an example is a batch type kiln in which early parts of the cycle run below 1200 F and require free oxygen in kiln atmosphere for raw material to process properly; then frequently the product must "soak" at temperatures above 2000 F. 4425 Burners handle this duty with ease due to their excess air flexibility and their construction that withstands radiant heat.

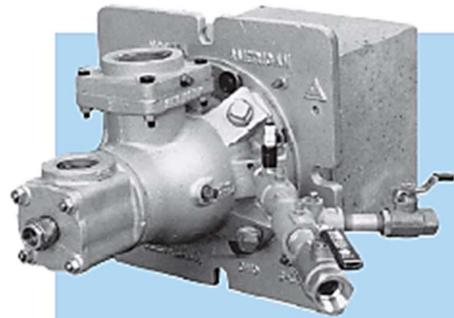
CONSTRUCTION

Metal parts are shielded by refractory: the tile and an insulating refractory "biscuit" covering face of burner. Mounting plate and burner body are made of heat resistant cast iron. Air tubes are high grade alloy.

In furnace chambers above 2000 F, combustion air should not be turned down below 2 osi (with or without gas on).

HIGH VELOCITY TILES

4425- -MB Burners have a 13½" "Milk Bottle" tile with reduced outlet; they produce higher velocity flames than the standard burner, also offer somewhat better protection for burner internals from furnace radiation. Good tile installation practice is important with any burner (see Supplements DF-M1 and -M2). It is critical with Milk Bottle tiles because



4425 Burner with pilot set (ordered separately).

of higher pressures developed in the tile, which can cause burner and furnace wall damage if not properly sealed into the wall.

FLAME SUPERVISION

All burners should use flame supervision if they operate in combustion chambers that are below 1400 F during at least part of their cycles. Interrupted pilots are required for such installations. For continuous high temperature furnaces and those with 1400 F flame supervision bypass systems, intermittent pilots are sometimes used: These should be turned off in all applications above 2000 F to avoid overheating burner body and mounting.

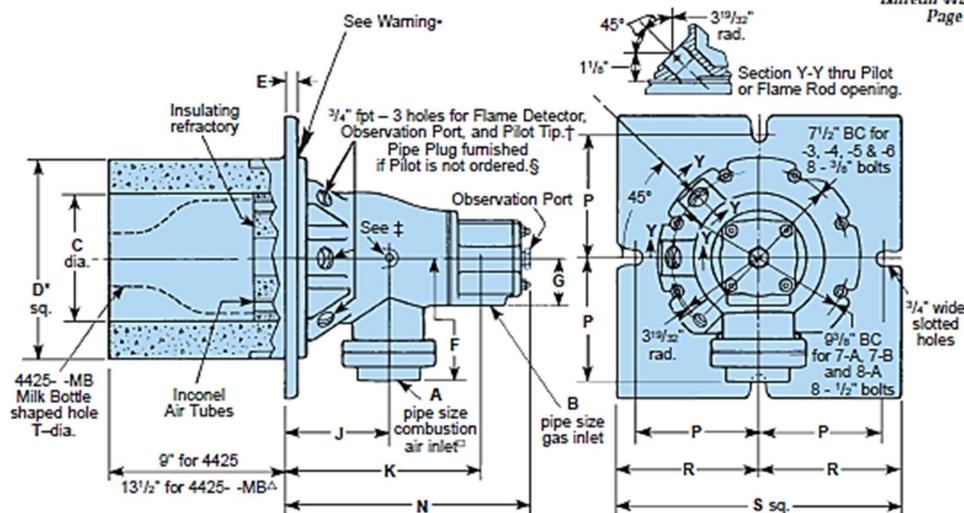
Combustion air capacities in scfh
(for Btu/hr, multiply by 100)

Burner designation	Air pressure across the burner in osi						Approx. flame lengths with 16 osi main air (in open furnace)	
	0.1	1	5	6	8	12		16
4425-2	160	520	1 160	1 270	1 470	1 800	2 100	1'
4425-3	280	890	1 980	2 160	2 500	3 050	3 550	1½'
4425-4	460	1 450	3 240	3 540	4 100	5 000	5 800	2'
4425-5	750	2 370	5 300	5 800	6 700	8 150	9 450	3'
4425-6	1180	3 700	8 300	9 100	10 500	12 900	14 800	3'
4425-7-A	2070	6 550	14 600	16 000	18 500	22 700	26 200	6'
4425-7-B	2550	8 150	18 200	19 900	23 000	28 200	32 600	6'
4425-8-A	3350	10 600	23 700	26 000	30 000	36 700	42 400	7'

Maximum % excess air

Burner designation	Air pressure across burner in osi			
	1	4	8	16
4425-2	850	1750	860	1250
4425-3	1500	2000	1780	1675
4425-4	1400	1500	1100	1500
4425-5	620	570	490	480
4425-6	730	1080	730	410
4425-7-A	2000	4000	1000	450
4425-7-B	2700	1200	875	500
4425-8-A	2000	2460	2210	1350

All ratings are based on operation without pilot in a cold open furnace. Burners can be lighted at any of the ratings listed. If a thicker refractory "biscuit" is used for higher temperature service, excess air limits are lower.



NOTE: For 4425-8-A, the air and gas connections cannot be piped in the same plane, as shown on other side, because the "flower pot" type air connection flange would interfere with the 2 1/2" gas line.

DIMENSIONS SHOWN ARE SUBJECT TO CHANGE. PLEASE OBTAIN CERTIFIED PRINTS FROM NORTH AMERICAN MFG. CO. IF SPACE LIMITATIONS OR OTHER CONSIDERATIONS MAKE EXACT DIMENSION(S) CRITICAL.

Burner designation	dimensions in inches													Wt, lb	Recommended Pilot Set	
	A	B	C	D	E	F	G	J	K	N	P	R	S			T
4425-2	1 1/4	1	5	8 1/2	1/2	5 1/4	2	4 3/8	8 3/8	10 3/8	5 1/4	6	12	3	76	4011-11 or 4011-12
4425-3	1 1/2	1	5	8 1/2	1/2	5 1/4	2	4 3/8	8 3/8	10 3/8	5 1/4	6	12	3	76	
4425-4	2	1 1/4	5	8 1/2	1/2	5 1/4	2	4 3/8	8 3/8	10 3/8	5 1/4	6	12	3	76	
4425-5	2 1/2	1 1/2	5	8 1/2	1/2	5 1/4	2	4 3/8	8 3/8	10 3/8	5 1/4	6	12	3	76	
4425-6	3	1 1/2	5	8 1/2	1/2	5 1/4	2	4 3/8	8 3/8	10 3/8	5 1/4	6	12	3	76	
4425-7-A	4	2 1/2	7	10	3/16	6 13/16	2 5/8	5 1/8	11	14 1/16	6 1/8	6 3/4	13 1/2	4 1/2	130	
4425-7-B	4	2 1/2	7	10	3/16	6 13/16	2 5/8	5 1/8	11	14 1/16	6 1/8	6 3/4	13 1/2	4 1/2	130	
4425-8-A	6	2 1/2	7	10	3/16	10 11/16	2 5/8	5 1/8	11	14 1/16	6 1/8	6 3/4	13 1/2	—	139	

* Opening in furnace shell or outer wall must be 1/2" larger than dimension "D" to allow for mounting plate fillet and draft.

• Warning: Mounting plate and tile can be separated from burner body for convenience during furnace construction; but for -2 through -8 sizes, tile must be set in wall with notches for pilot and flame rod in proper position relative to desired air pipe direction.

† Pilot, Flame Detector, and Observation Port positions are interchangeable as long as Pilot and Flame Detector are in adjacent holes.

‡ 1/4" air pressure tap on -2, -3, -4, -5 and -6.

□ "Flower pot" type flange for -8-A. Note larger F dimension.

§ For 4425-MB Burners, a second observation port is substituted for the Pipe Plug.

△ The milk bottle tile is not offered with the 4425-8-A Burner.

Tiles for 4425 Burners

Burner designation	Standard		Premium		Milk Bottle	
	PN	PN	PN	PN	PN	PN
4425-2 thru -6	42% Alumina	4-2121-2	80% Alumina	4-2121-3	80% Alumina	OC4-2332-1
4425-7-A, -7-B, -8-A	42% Alumina	4-2142-2	80% Alumina	4-2142-6	80% Alumina	OC4-2547-2

All tiles are pre-fired.

80% Alumina end use limit temperature is 3200 F; 42% is 3000 F.

WARNING: Situations dangerous to personnel and property can develop from incorrect operation of combustion equipment. North American urges compliance with National Safety Standards and Insurance Underwriters recommendations, and care in operation.

North American Mfg. Co., 4455 East 71st Street, Cleveland, OH 44105-5600 USA, Phone 216-271-6000, Facsimile 216-641-7852
E-mail sales@namfg.com • www.namfg.com

Anexo 9

Horno de recuperación

