



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DE CARBONO
EN HORNO INDUSTRIAL DE PLANTA ACERERA**

Ozen Leonel Martínez Recinos

Asesorado por el Ing. Carlos Francisco Ávila Rodríguez

Guatemala, noviembre del 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DE CARBONO
EN HORNO INDUSTRIAL DE PLANTA ACERERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OZEN LEONEL MARTÍNEZ RECIOS

ASESORADO POR EL ING. CARLOS FRANCISCO ÁVILA RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas
EXAMINADOR	Ing. Saulo Moisés Méndez Garza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DE CARBONO EN HORNO INDUSTRIAL DE PLANTA ACERERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 28 de mayo de 2015 .

Ozen Leonel Martínez Recinos

Ciudad de Guatemala, Agosto 2016

Ingeniero

Juan José Peralta Dardon

Director de Escuela

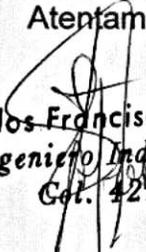
Ingeniería Mecánica Industrial

Respetable Ingeniero:

Por este medio me dirijo a usted para informarle, que el suscrito como Asesor de Tesis del estudiante Ozen Leonel Martínez Recinos, quien se identifica con numero de carné 2011-14204, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial de esta casa de estudios, ha procedido a efectuar la revisión correspondiente del documento de Tesis, realizado sobre el tema: **“ANALISIS DE EFICIENCIA DE COMBUSTION DE CARBONO EN HORNO INDUSTRIAL DE PLANTA ACERERA”**; haciendo constar que cumple con los requisitos establecidos para continuar con los tramites que corresponden.

Agradeciendo de antemano se le de tramite respectivo al presente documento, me suscribo de usted.

Atentamente


Carlos Francisco Avila
Ingeniero Industrial
Col. 4210

Ingeniero Industrial

Carlos Francisco Ávila Rodríguez

Colegiado No. 4210



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DE CARBONO EN HORNO INDUSTRIAL DE PLANTA ACERERA**, presentado por el estudiante universitario **Ozen Leonel Martínez Recinos**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Karla Lizbeth Martínez Vargas
Ingeniera Industrial
Colegiada No. 5,706

Inga. Karla Lizbeth Martínez Vargas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2016.

/mgp



REF.DIR.EMI.214.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DE CARBONO EN HORNO INDUSTRIAL DE PLANTA ACERERA**, presentado por el estudiante universitario **Ozen Leonel Martínez Recinos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala

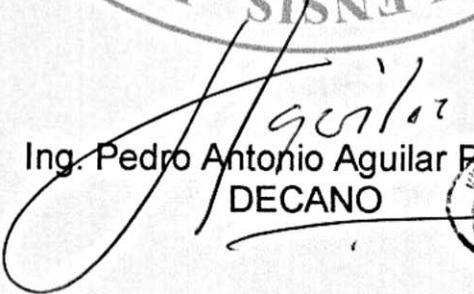


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.575-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CUADERNO ENGRAPADO ESCOLAR PARA REDUCIR EL DESPERDICIO Y MERMA**, presentado por la estudiante universitaria: **Alan Aníbal Ruiz García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Potanco
DECANO



Guatemala, noviembre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por todas las maravillosas bendiciones con las que llena mi vida, y todas las lecciones con las que me enseña a crecer como persona.
Héctor Leonel Martínez Carrillo y Orfelinda Recinos Escobar	El más grande ejemplo de mi vida, porque me enseñaron que con esfuerzo y perseverancia se pueden alcanzar las metas. Gracias por ser unos padres ejemplares y amorosos.
Mariela Martínez Recinos, Carla Martínez Recinos, Sandra Martínez Recinos	Las tres mujeres que me ayudaron a fundamentar mis valores brindándome su apoyo y soporte en todo momento; personas de las cuales me enorgullezco de poderlas llamar hermanas.
Silvia Portillo	Mi novia y mejor amiga quien me anima en los momentos difíciles y comparte mi felicidad en los momentos alegres, con cariño y amor.
Mis compañeros	Esas grandes personas que durante toda la carrera me apoyaron para salir adelante, formando una segunda familia.

Mis amigos

A quienes considero hermanos y siempre están ahí cuando más los necesito.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ayudarme en todo momento y brindarme la sabiduría que necesitaba en los momentos de prueba durante toda la carrera, siempre dándome una solución cuando más complicadas parecían las cosas.
Mi familia	Por ser el núcleo que me fortaleció desde el inicio hasta concluir la carrera ayudándome con todo lo que necesité y más.
Ing. Carlos Francisco Ávila Rodríguez	Por darme su apoyo y comprensión en todo el desarrollo del trabajo de graduación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, por todo el conocimiento que recibí y ser el camino en el cual fundamente mi desarrollo profesional.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de concretar mis sueños como profesional y darme las herramientas necesarias en cada uno de los cursos de la carrera.
Catedráticos	Por compartir parte de su gran conocimiento adquirido mediante sus años de experiencia como profesionales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Misión	2
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores de la empresa.....	2
1.1.5. Código de ética.....	3
1.1.6. Organigrama.....	3
1.2. Productos	5
1.2.1. Utilización en la industria	5
1.2.2. Tipos de productos	5
1.2.2.1. Varilla de acero.....	6
1.2.2.2. Varilla lisa	6
1.2.2.3. Alambre de amarre	7
1.2.3. Comercialización	7
1.2.3.1. Legítima.....	7
1.2.3.2. Milimétrica.....	7
1.2.3.3. Comercial.....	8

1.2.4.	Requisitos mínimos de calidad, normas por seguir.....	8
1.3.	Procesos	8
1.3.1.	Laminación de varilla corrugada.....	8
1.3.2.	Varilla lisa	9
1.3.3.	Alambre de amarre.....	9
1.3.4.	Clasificación de varillas y medidas.....	9
1.4.	Descripción de áreas de trabajo.....	10
1.4.1.	Control de calidad	10
1.4.2.	Talleres de mantenimiento	11
1.4.3.	Departamento de ingeniería	11
1.4.4.	Taller eléctrico	12
1.4.5.	Departamento de máquinas y herramientas.....	12
1.4.6.	Taller de mecánica industrial.....	13
1.4.7.	Obra civil	13
1.4.8.	Departamento de ventas	13
1.4.9.	Materia prima	14
2.	PROCESO DE LAMINACIÓN.....	15
2.1.	Descripción de proceso de laminación.....	15
2.1.1.	Selección de materia prima	15
2.1.2.	Calentamiento de palanquilla	16
2.1.3.	Laminado en caliente	16
2.1.4.	Cama de enfriamiento	17
2.1.5.	Sistema de corte a medida.....	18
2.1.6.	Sistema de empaque semiautomático	18
2.2.	Parámetros de medición inexistentes.....	20
2.2.1.	Medición de oxígeno suministrado	20
2.2.2.	Medición de temperatura de aire precalentado	21

2.2.3.	Medición de aire de atomización	22
2.2.4.	Medición de aire de combustión	22
2.2.5.	Medición de nivel en tanques de combustible	23
2.2.6.	Medición de monóxido de carbono (CO) emitido al medio ambiente	24
2.3.	Operación de las variables de combustión netamente manual.....	25
2.3.1.	Quemadores frontales	25
2.3.1.1.	Válvula de suministro de aire de atomización.....	25
2.3.1.2.	Válvula de suministro de aire de combustión	26
2.3.2.	Quemadores laterales	27
2.3.2.1.	Válvula de suministro de aire de atomización.....	27
2.3.2.2.	Válvula de suministro de aire de combustión	27
2.3.3.	Aire precalentado.....	28
2.3.3.1.	Válvula de gases exhaustivos.....	29
2.4.	Control visual de zonas del horno	29
2.4.1.	Inspección visual zona de precalentamiento del horno	29
2.4.2.	Inspección visual zona de calentamiento del horno	30
2.4.3.	Inspección visual zona de igualación del horno.....	30
3.	PROPUESTA	31
3.1.	Instalación de equipo de verificación de gases de combustión	31

3.1.1.	Dispositivos por medir	31
3.1.1.1.	Caudal del combustible	31
3.1.1.2.	Temperatura en tanque de precalentamiento.....	32
3.1.1.3.	Temperatura en botellas de calentamiento	32
3.1.1.4.	Presión aire combustión	34
3.1.1.5.	Temperatura en las regiones del horno	35
3.1.1.5.1.	Precalentamiento	35
3.1.1.5.2.	Calentamiento	36
3.1.1.5.3.	Igualación.....	36
3.1.1.6.	Presión de combustible a la entrada de los quemadores.....	37
3.1.1.7.	Presión de aire de combustión a la entrada de los quemadores.....	39
3.1.1.8.	Temperatura de aire combustión.....	40
3.1.2.	Dispositivos por controlar	42
3.1.2.1.	Bombas de alimentación de combustible	42
3.1.2.2.	Resistencia en botellas.....	43
3.1.2.3.	Válvula de apertura de aire de combustión	43
3.1.3.	Dispositivo medidor de gases exhaustos	44
3.1.3.1.	Medidor de oxígeno (O ₂) con punta de circonio	45
3.1.3.2.	Análisis de dióxido de carbono (CO ₂)....	46
3.1.4.	Capacitación de personal.....	47
3.1.4.1.	Equipo de dispositivos por medir.....	48

	3.1.4.2.	Equipo de dispositivos por controlar	49
	3.1.4.3.	Equipo de medidores de gases exhaustos	50
	3.1.5.	Análisis financiero	51
	3.1.5.1.	Costo-beneficio.....	51
4.	IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE EN SISTEMA DE COMBUSTIÓN.....		55
4.1.	Implementación de controlador lógico programable en sistemas de combustión		56
	4.1.1.	Instalación de interfaz de control computarizado....	59
4.2.	Sistema de registro control de combustión.....		60
	4.2.1.	Temperatura aire de calentamiento	62
	4.2.2.	Presión aire de calentamiento	63
	4.2.3.	Presión aire de atomización.....	63
	4.2.4.	Presión de combustible	64
	4.2.5.	Temperatura de combustible	65
	4.2.6.	Temperatura de zona	65
	4.2.7.	Presión interna de horno	66
	4.2.8.	Temperatura del gas en chimenea	66
	4.2.9.	Cantidad de oxígeno en chimenea	67
	4.2.10.	Cantidades de dióxido de carbono en chimenea	68
4.3.	Recopilación e intercambio de información		68
4.4.	Interfaz hombre- máquina (HMI).....		68
	4.4.1.	Supervisión encendido de horno	70
	4.4.2.	Supervisión medio turno de operación de horno	70
	4.4.3.	Supervisión apagada de horno	72
5.	SEGUIMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN		73

5.1.	Análisis estadísticos de resultados	73
5.1.1.	Cantidad de combustible por hora.....	73
5.1.2.	Cantidad de oxígeno suministrado por hora.....	74
5.1.3.	Cantidad de toneladas de lingote calentadas por hora	75
5.1.4.	Cantidad de gases exhaustivos emitidos por hora	76
5.2.	Registro histórico a partir de la implementación sistema de combustión.....	76
5.2.1.	Aire precalentado	76
5.2.2.	Aire de atomización	76
5.2.3.	Combustible	77
5.2.4.	Temperatura zona de calentamiento del horno	77
5.2.5.	Temperatura zona de precalentamiento del horno	78
5.2.6.	Temperatura zona de igualación del horno	78
5.2.7.	Análisis de oxígeno	79
5.2.8.	Análisis de dióxido de carbono.....	80
5.3.	Mejora del sistema de registro control de combustión	81
5.3.1.	Parámetro de suministro de aire de atomización	82
5.3.2.	Parámetro de suministro de combustible	83
5.3.3.	Parámetro de suministro de aire de precalentamiento.....	83
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional de la empresa	4
2.	Medidor de presión.....	21
3.	Medición de aire	22
4.	Tanques de combustible	24
5.	Válvula de suministro	26
6.	Válvula de mariposa.....	28
7.	Diagrama de distribución de combustible.....	33
8.	Zonas de temperatura	36
9.	Quemador de combustible	38
10.	Distribución de aire de combustión	41
11.	Válvula de apertura	44
12.	Controlador lógico programable	56
13.	Flujo grama PLC	58
14.	Sistema de control.....	61
15.	Control de temperatura del horno	77
16.	Control temperatura zonas del horno	79
17.	Diagrama análisis de oxígeno	80
18.	Sistema registro control de combustión	82
19.	Parámetro de suministro de aire de precalentamiento	84

TABLAS

I.	Descripción de productos.....	5
----	-------------------------------	---

II.	Especificación de los productos.....	6
III.	Especificaciones de varilla lisa.....	7
IV.	Clasificación.....	9
V.	Medidas de varillas	18
VI.	Designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones	19
VII.	Límite de frecuencias.....	20
VIII.	Costo beneficio	54
IX.	Combustible por hora.....	74
X.	Oxígeno por hora	75

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetro
PLC	Controlador lógico programable
SO₂	Dióxido de azufre
CO₂	Dióxido de carbono
°C	Grados Celsius
HMI	Interfaz hombre máquina
KN	Kilo newton
Psig	Libra por pulgada cuadrada
M	Metro
OSI	Onza por pulgada cuadrada
pies³/lb	Pie cúbico por libra
%	Porcentaje
T	Tonelada
V	Voltio

GLOSARIO

Acero	Aleación de hierro fundido con carbono, en proporción inferior al 2 %. Es dúctil, tenaz, conductor de electricidad, con magnetismo permanente y maleable. Es, además, duro; su dureza depende de la cantidad de carbono que forme parte de su composición.
ASSA	Aceros Suárez S. A.
Bunker	Combustible utilizado para la combustión en el horno también llamado <i>fuel oilheavyoil #6</i> .
Cemento refractario	Es aquel capaz de resistir las condiciones del medio en el que está inmerso sin alteraciones importantes en sus propiedades físico-químicas, durante un período económicamente rentable.
Combustible	Material capaz de liberar energía mediante el cambio o transformación de su estructura química (combustión). Este proceso genera la liberación de energía utilizable conocida como energía química. Generalmente, se trata de sustancias susceptibles de quemarse, aunque existen algunas excepciones.

Combustión	Es una reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz.
Dióxido	Combinación de un radical simple o compuesto con dos átomos de oxígeno.
Dióxido de carbono	Gas inodoro e incoloro que se desprende en la respiración, en las combustiones y en algunas fermentaciones.
Gas	Fluido sin forma ni volumen propios, cuyas moléculas tienden a separarse unas de otras y presentan mayor movilidad que las de los líquidos.
Lingotes	Un lingote es una masa de material fundido dentro de un molde que permite su fácil manejo y estiba.
Oxígeno	Elemento químico de número atómico 8, masa atómica 15,99 y símbolo O ; es un gas incoloro e inodoro que se encuentra en el aire, en el agua, en los seres vivos y en la mayor parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos; es esencial en la respiración y en la combustión, se usa en soldaduras y se administra a pacientes con problemas respiratorios o a personas que vuelan a altitudes elevadas.

Voltio

El voltio,¹ o volt,² por símbolo V, es la unidad derivada del sistema internacional para el potencial eléctrico, la fuerza electromotriz y la tensión eléctrica.

RESUMEN

El presente estudio de mejora se realizó con la finalidad de analizar el fenómeno que se ha presentado durante los últimos meses en la Empresa Aceros Suárez S. A., en donde el personal del área de producción encargado de monitorear el funcionamiento del horno de calentamiento, ha identificado la necesidad de emplear una cantidad de bunker más grande de lo normal, lo cual es obligatoriamente necesario para poder calentar los lingotes a la temperatura deseada según las condiciones del horno. Esto ocasiona un alto costo en la compra de bunker para cubrir la demanda total de toneladas de acero calentado por hora.

Además, se ha observado que en algunos casos cuando ocurre algún desperfecto dentro del horno, se desperdicia combustible quemándolo mientras se soluciona dicho problema, lo cual crea una combustión deficiente produciendo monóxido de carbono (CO) el cual se emite por medio de la chimenea directamente al ambiente contaminándolo de forma descontrolada.

Se estudiaron en el presente trabajo, las variables que forman parte de la combustión y se propuso una mezcla que sea lo suficientemente adecuada para lograr dentro del horno una mejora de combustión eficiente para optimizar la operación de los sistemas involucrados en el suministro del aire de los quemadores, el aire de combustión y la alimentación de combustible para obtener una combustión eficiente.

Con dicha propuesta se logrará optimizar los recursos, se reducirán costos, para cubrir en su totalidad la demanda de toneladas de acero por

calentar por hora y, consecuentemente, contribuirá positivamente al ambiente disminuyendo la emisión de monóxido de carbono (CO) controlando el suministro de combustible necesario para operar con la menor cantidad de desperdicio de combustible cuando se presente un inconveniente en una área previa o posterior al horno de calentamiento de lingotes que afecte el ritmo de producción.

OBJETIVOS

General

Analizar la eficiencia de combustión de carbono en horno para calentamiento de lingotes de acero.

Específicos

1. Definir las características de las variables del horno que intervienen en el proceso de calentamiento de lingotes de acero y la función que realizan en una combustión eficiente.
2. Medir y suministrar las variables involucradas en las proporciones adecuadas para el funcionamiento del horno de calentamiento de lingotes evitando desperdicios de combustible búnker en la producción de varilla corrugada de acero.
3. Reducir el impacto ambiental ocasionando por una combustión deficiente en el horno para calentamiento de lingotes.
4. Establecer medidas de mitigación a las emisiones de monóxido de carbono (CO) proporcionadas directamente al ambiente por el horno de calentamiento de lingote

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en establecer el control de los recursos encargados del accionamiento de la combustión dentro del horno de laminación pretendiendo optimizar todas las variables involucradas en el proceso de calentamiento de lingotes para lograr de esta manera un mejor funcionamiento de operación en el actual método. En otras palabras, se busca obtener un mayor beneficio en costo y, al mismo tiempo, reducir la emisión de gas nocivo al ambiente, el cual se origina únicamente cuando se presenta una combustión deficiente contaminando el ambiente en grandes emisiones de gases nocivos para la inhalación de los seres humanos.

El proceso de calentamiento de lingotes de acero en la industria metalúrgica se caracteriza por las altas temperaturas que se manejan. El acero debe estar a una temperatura de 1 200 °C para ser procesado, el calor necesario es proporcionado por quemadores de bunker a los cuales se les inyecta aire para obtener combustión de todo el combustible.

El horno debe poseer una mezcla eficiente de oxígeno, aire de combustión, combustible y una adecuada atomización para poder generar la suficiente energía calorífica que se distribuirá en los sectores de precalentamiento, calentamiento y, por último, el sector de igualación del horno. Esto se debe a la importancia de costo que tienen estas tres variables en la producción de la variedad de perfiles de varilla de acero y la complejidad de los factores que se manejan en el funcionamiento de este.

La investigación se desarrolló en cinco capítulos. En el capítulo 1, se abordó la descripción de la empresa Aceros Suárez S. A. En el capítulo 2, se explica de forma detallada la descripción del proceso de laminación y la operación de las variables de forma actual. En el capítulo 3 se presenta la propuesta de la instalación de equipo de verificación de gases de combustión. En el capítulo 4 se explica la forma en que se implementará el controlador lógico programable en el sistema de operación del horno. El capítulo 5 se enfoca en dar un seguimiento de mejora al controlador lógico programable basado en el análisis estadístico y el registro histórico de las variables a partir de la implementación.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y la respectiva bibliografía que sirvió de base para consulta en el desarrollo del presente trabajo académico.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Descripción de la empresa

En el presente capítulo se describirán todos los aspectos principales de la empresa objeto de estudio, iniciando con datos históricos, la misión y visión, valores de la empresa, código de ética, organigrama. Asimismo, se describirán los productos que se comercializan. También se presentan los procesos de la laminación, varillas, alambre y sus respectivas áreas de trabajo.

“Aceros Suárez S. A. fue fundada en 1960 con la visión de abastecer al mercado guatemalteco, varillas de acero, producto hasta ese momento importado, utilizado en la construcción como un elemento resistivo y antisísmico. De esta visión nace la primera planta de laminación en caliente, para la fabricación de barras de acero en Guatemala.”¹

1.1.1. Historia

La empresa objeto de estudio es la primera fábrica de varilla para la construcción en Guatemala con más de 53 años de experiencia en la industria, se ha logrado mantener en una posición privilegiada en el mercado, alcanzando a base de calidad, seguridad, tecnología y un buen servicio.

¹ ASSA. *Historia*. <http://www.assa.com.gt/>. Consulta: octubre de 2015.

1.1.2. Misión

“Somos la primera fábrica fundada en Guatemala dedicada a la producción y comercialización de hierro para la construcción, comprometidos en satisfacer a nuestros clientes, con diversificación de productos garantizados y respaldados con las más altas normas de calidad, servicio eficiente y eficaz”².

1.1.3. Visión

“Ser una de las principales industrias productoras de varilla del país”³.

1.1.4. Valores de la empresa

Entre los valores que se promueven y desarrollan dentro de la empresa y cuya finalidad es generar un ambiente de trabajo y de calidades humanas satisfactorias, se encuentran:

- Trabajo en equipo: lo que se trata de lograr es una integración armónica de funciones y actividades desarrolladas por diferentes personas, esto con la finalidad de como que actividades más coordinadas y un mejor logro de los objetivos.
- Responsabilidad y compromiso: tanto en su puesto de trabajo como en todas aquellas actividades que desarrollen para beneficio propio y de la empresa.

² ASSA. *Misión y visión*. <http://www.assa.com.gt/>. Consulta: octubre de 2015.

³ *Ibíd.*

- Comunicación abierta: para mantener informado de todos aquellos sucesos y poder buscar una solución conjunta.
- Colaboración: para todas las actividades que se desarrollen dentro de la empresa.
- Calidad: en todos los productos que son manufacturados por la empresa.
- Integridad: ser auténticos.

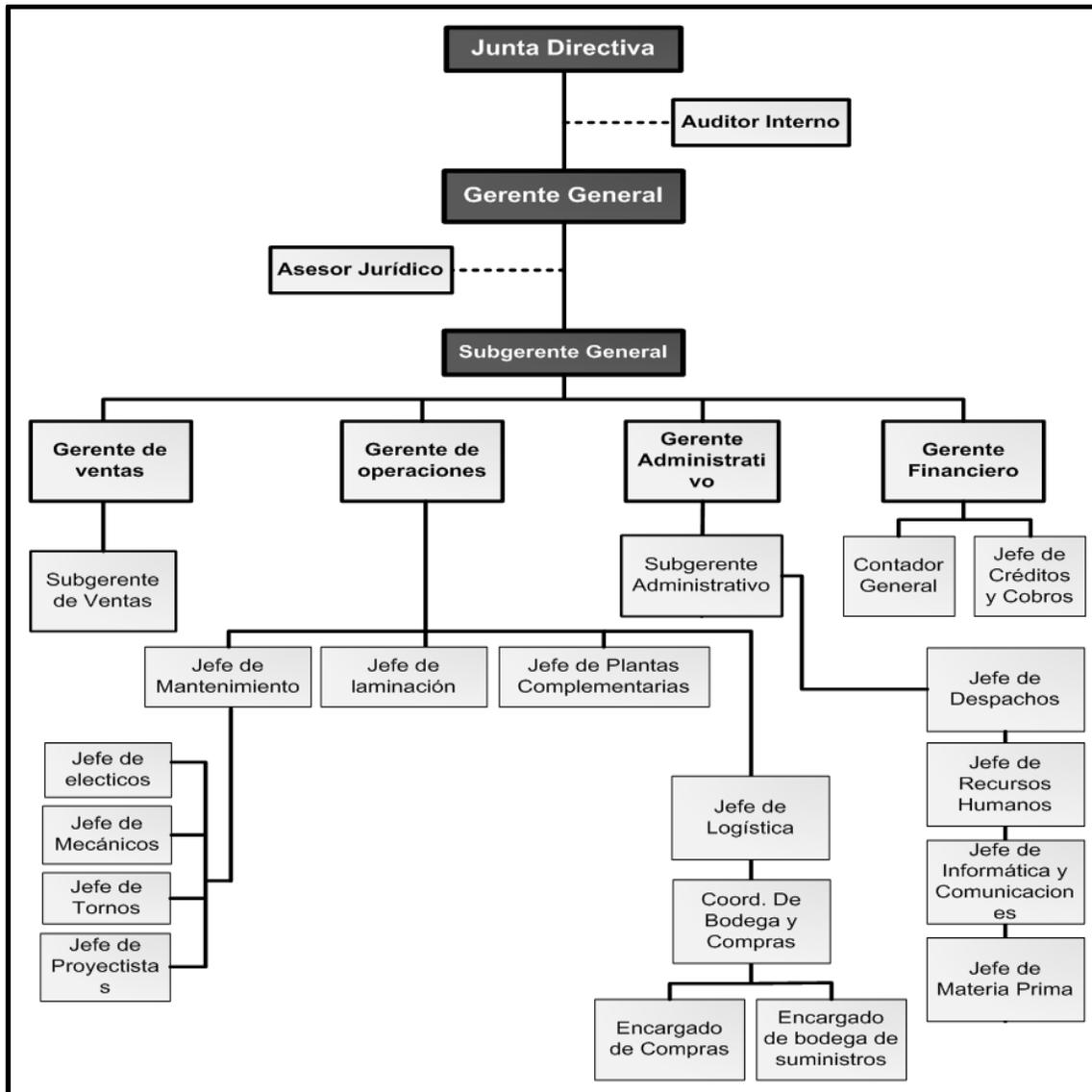
1.1.5. Código de ética

En él se integran todos aquellos valores de la empresa, además de indicar los parámetros que los empleados deben de seguir para lograr el cumplimiento de dichos valores.

1.1.6. Organigrama

A continuación en la figura 1 se describe la estructura organizacional de la empresa.

Figura 1. Estructura organizacional de la empresa



Fuente: elaboración propia.

1.2. Productos

Entre los productos que se comercializan en la empresa se puede mencionar: varilla corrugada comercial y legitima, alambre de amarre y varilla lisa de 7/32 y ¼.

1.2.1. Utilización en la industria

La varilla corrugada es utilizada para refuerzos de concreto, ornamentación y construcciones con diseño sismo-resistente. Las varillas lisas se utilizan para ornamentación, elementos arquitectónicos, metalistería, forjas y múltiples aplicaciones de la industria metalmeccánica. El alambre de amarre es utilizado regularmente para armar estructuras para las columnas de edificios.

1.2.2. Tipos de productos

A continuación se describirán los códigos, medidas y peso de los productos que se comercializan.

Tabla I. Descripción de productos

CÓDIGO	MEDIDA (mm)	PESO APROBADO (lb)
K-340	7,7	67,7
PK-345	8,2	76,8
P-345	8,5	85
3/8 LEG	9,27	98,5
K-440	10,6	72,8
PK-445	11,2	79
P-445	11,5	86,3
1/2 LEG	12,32	99,5
5/8 LEG	15,5	98
3/4 LEG	18,53	98
7/8 LEG	21,7	96
1 LEG	24,64	99

Fuente: elaboración propia.

1.2.2.1. Varilla de acero

La varilla de acero es una clase de acero diseñado especialmente para construir elementos estructurales de hormigón armado. Se trata de barras de acero que presentan resaltos o corrugas que mejoran la adherencia con el hormigón, y poseen una gran ductilidad, la cual permite que las barras se puedan cortar y doblar con mayor facilidad.

En la siguiente tabla se brinda información específica de las varillas de acero.

Tabla II. **Especificación de los productos**

G 40 Legítimo	Varilla Núm.	Longitud mt
3/8"	3	6,9
1/2"	4	6,9
5/8"	5	6,9,12
3/4 "	6	6,9,12
1 "	8	6,9,12
G 60 Legítimo	Varilla Núm.	Longitud mt
3/8"	3	6,9
1/2"	4	6,9
5/8"	5	6,9,12
3/4 "	6	6,9,12
7/8 "	7	9,12
1"	8	6,9,12

Fuente: elaboración propia.

1.2.2.2. Varilla lisa

La varilla lisa se utiliza para ornamentación, elementos arquitectónicos, metalistería, forjas y múltiples aplicaciones de la industria metalmeccánica.

Tabla III. **Especificaciones de varilla lisa**

Medida	Peso promedio LBS/QQ TEO	Varillas por quintal
7/32	0,9223	38
1/4	0,8883	30

Fuente: elaboración propia.

1.2.2.3. Alambre de amarre

El alambre de amarre es todo tipo de hilo delgado que se obtiene por estiramiento de los diferentes metales de acuerdo con la propiedad de ductilidad que poseen los mismos. El alambre de amarre se produce con los más altos estándares de calidad y con un peso de 101 lbs y de 150 lbs.

1.2.3. Comercialización

La varilla se comercializa en toda Guatemala y en Centro América. A continuación se describirán los aspectos generales de las varillas que se comercializan.

1.2.3.1. Legítima

En varilla legítima se produce varilla de 3/8, 1/2, 5/8, 3/4 y varilla de 1 pulgada.

1.2.3.2. Milimétrica

Las medidas milimétricas que se producen son 7,7 mm, 8,2 mm, 9,27 mm, 11,2 mm, 12,32 mm, 15,5 mm, 18,53 mm, 24,64 mm.

1.2.3.3. Comercial

En medida comercial se produce K-340, PK-345, PK-445.

1.2.4. Requisitos mínimos de calidad, normas por seguir

Se debe cumplir con una serie de normas para la fabricación de varilla corrugada que determine la funcionalidad de la misma, estas normas se estarán mencionando en capítulos posteriores como la ASTM A-615 y Coguanor NGO 36011-2008.

1.3. Procesos

El proceso en general para la fabricación de varilla corruga es el de laminado en caliente, el de fabricación de alambre de amarre, de trefilación y el de fabricación de varilla lisa, de enderezado de alambrón.

1.3.1. Laminación de varilla corrugada

El proceso de laminación inicia con el calentamiento de la palanquilla en el horno de laminación, luego es extraído por medio del empujador del horno hacia la barredora y trasladado al primer pase que es el desbaste 20. Después el material pasa a los preparadores para reducción de área, enseguida pasan a los continuos que reducen área y le dan forma a la varilla, posteriormente se le imprime a la corruga, símbolo de la empresa y número de varilla.

Luego pasa a corte por medio de la cizalla de corte CV-20. Después pasa a la cama de enfriamiento para, posteriormente, pasar a la cizallas de corte a

medida y luego a las amarradoras para realizar los atados y, posteriormente, ser almacenados.

1.3.2. Varilla lisa

La varilla lisa inicia en el proceso con el montaje de los rollos de alambón en el devanador, luego pasa a la enderezadora, es cortada a medida, empaquetada en líos y almacenada en bodega de producto terminado.

1.3.3. Alambre de amarre

El alambre de amarre inicia su proceso con el montaje de alambón en el devanador, luego pasa por las trefiladoras que se encargan de reducir el área, luego es empacado en rollos por medio del moco de chumpipe, estos rollos de producto terminado son ingresados al horno de recocido para, posteriormente, ser trasladados a bodega de producto terminado.

1.3.4. Clasificación de varillas y medidas

En la tabla IV se presenta la clasificación de varillas y medidas.

Tabla IV. **Clasificación**

Código	Medida (mm)
K-340	7,7
PK-345	8,2
P-345	8,5
3/8 leg	9,27
K-440	10,6
PK-445	11,2

Continuación de la tabla IV.

P-445	11,5
1/2 leg	12,32
5/8 leg	15,5
3/4 leg	18,53
7/8 leg	21,7
1 leg	24,64

Fuente: Departamento Control de Calidad ASSA.

1.4. Descripción de áreas de trabajo

A continuación se describirán las áreas de trabajo; Control de calidad, talleres de mantenimiento, Departamento de ingeniería, Taller eléctrico, Departamento de máquinas y herramientas, Taller de mecánica industrial, Obra civil, Departamento de ventas y materias primas.

1.4.1. Control de calidad

A lo largo del proceso, constantemente son tomadas muestras que son sometidas a rigurosas pruebas de calidad tanto físicas como mecánicas, garantizando así el diámetro y la resistencia de la varilla.

Cuenta con un moderno laboratorio de Control de calidad, equipado con una máquina de ensayos de tracción, compatible con las Normas ASTM A-615 y Coguanor NGO 36011-2005, con una capacidad de carga máxima de 500 KN para ensayos en diámetros desde $\frac{1}{4}$ de pulgada en grado 33 hasta $1 \frac{3}{8}$ de pulgada en grado 40 y $1 \frac{1}{8}$ de pulgada en grados 60. El equipo es totalmente automatizado a través de PLC y ordenador computarizado, sobre el cual corre una aplicación en ambiente Windows que monitorea en tiempo real los

resultados de la prueba, los registra y almacena permitiendo su posterior consulta e impresión.

De manera adicional constantemente son enviadas muestras al laboratorio de pruebas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, para reforzar el control de calidad de los productos y subproductos.

1.4.2. Talleres de mantenimiento

Parte de todo este proceso lo constituye el Departamento de Ingeniería y los talleres de mantenimiento con los que cuenta, su responsabilidad es mantener y velar por la buena operación de las plantas y los procesos, ya que requieren de programas muy rigurosos de mantenimiento. Los departamentos que dan este apoyo son:

- Taller eléctrico
- Taller de máquinas y herramientas
- Taller de mecánica industrial

1.4.3. Departamento de ingeniería

Es el responsable de elaborar y controlar las operaciones de las plantas de producción, desde aquí se supervisan los programas de producción, mantenimiento e implementación de equipos, así como el abastecimiento de insumos para los departamentos y las plantas, diseño de nuevos procesos y modificaciones a las plantas.

1.4.4. Taller eléctrico

El Taller de mantenimiento eléctrico trabaja con programas de mantenimiento preventivo y correctivo, con programaciones semanales, mensuales y trimestrales y, personal en puestos de electricistas de planta, electricistas de taller, especialistas en rebobinado de motores y electrónica.

- Cuenta con herramientas digitales especializadas.
- Tiene talleres de rebobinado de motores y bancos de pruebas.
- Los trabajos realizados son rebobinado de motores de hasta 1 300 HP, mantenimiento preventivo a subestación eléctrica de 69 000 V, mantenimiento a interruptores de alto voltaje, instalación de drivers de DC, y programación de PLC de maquinaria en planta de producción en automatización industrial, fabricación y montaje de paneles eléctricos.

1.4.5. Departamento de máquinas y herramientas

El taller de máquinas y herramientas cuentan con todo el equipo industrial, se trabaja sobre planos cuidadosamente evaluados para la elaboración de piezas de repuestos esenciales para el mantenimiento interno de la empresa. El taller de tornos cuenta con un personal altamente especializado y capacitado para realizar los distintos repuestos que demanda la planta de producción, fabrica así el 80 % del herramental utilizado en producción. Además, cuenta con un equipo para fabricación, calibración, corrugado y marcado de rodillos, balanceo de motores, rectificado de piezas, tratamiento térmico entre otros.

1.4.6. Taller de mecánica industrial

El taller de mecánica de mantenimiento esta sectorizado por especialidad y personal calificado (soldadores, mecánicos y especialistas), con sus equipos y bancos de trabajo, taladro, prensa hidráulica, máquinas de soldar, SEA, SOA, MIG, TIG, sierra circular horno para ensamble de rodamientos y todas las herramientas necesarias. Las actividades consisten en mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos; armado de rodillos laminadores, reconstrucción de cajas reductoras, potenciales, cizallas y remodelación de las plantas de producción.

1.4.7. Obra civil

Este departamento tiene a su cargo el mantenimiento y mejora las instalaciones de ASSA así como la readecuación y preparación de áreas para la implementación de nuevos equipos. Cuenta con el personal calificado y equipo especializado como son niveles láser, estibadoras mecánicas, dobladoras manuales y niveles de precisión para la realización de trabajos de construcción así como mesa de corte de ladrillo y mezcladora de concreto refractario para el mantenimiento de los hornos.

1.4.8. Departamento de ventas

Está conformado por un cuerpo de asesores profesionales y con años de experiencia en el ramo, situación que permite brindar una atención cordial y personalizada a cada uno de los colaboradores y consumidores, conociendo y satisfaciendo sus necesidades y requerimientos colaborando de esta forma en su crecimiento y desarrollo.

1.4.9. Materia prima

La materia prima que se utiliza es lingote de sección 130 x 130 centímetros, de 40 grados o 60 grados, longitud de 8 metros, que es la medida original y se corta en cuatro para ser procesado. Entre los aspectos por destacar en la producción está la utilización de las materias primas en el proceso, emisión de gases, utilización del recurso hídrico, proceso de tratamiento de agua entre otros.

2. PROCESO DE LAMINACIÓN

2.1. Descripción de proceso de laminación

El proceso de laminación, inicia con la selección de materia prima, calentamiento de palanquilla, laminado en caliente, cama de enfriamiento, sistema de corte a medida y sistema de empaque semiautomático.

2.1.1. Selección de materia prima

En la empresa, Aceros Suárez, S. A. se utiliza palanquilla para la fabricación de varillas corrugadas, la cual proviene de distintas partes del mundo principalmente de Norteamérica, Suramérica y Asia. La calidad de los productos empieza con la selección de la materia prima, la cual es seleccionada cuidadosamente para garantizar que cumpla con los estándares más altos de calidad existentes y las más estrictas normas de calidad internacional.

La materia prima según su finalidad puede ser:

Grado 40:

40 000 PSI = libras por pulgada cuadrada (al límite de fluencia)

Grado 60:

60 000 PSI = libras por pulgada cuadrada

El grado de resistencia está relacionado con la cantidad porcentual de los siguientes elementos de acero:

Carbono (C)

Manganeso (M)

Silicio (Si)

Fósforo (F)

Azufre (S)

Cromo (Cr)

Níquel (Ni)

Cobre (Cu)

2.1.2. Calentamiento de palanquilla

El proceso se realiza a través de un horno que opera con combustible llamado bunker que es un derivado del petróleo y posee cierto grado de destilación, por lo que es más amigable con el ambiente. En el horno la palanquilla se eleva a una temperatura cercana a los 1 200 °C y es calentada con el fin de proporcionar la máxima ductibilidad y maleabilidad para que sea más fácil la reducción de área a la cual va a ser sometida.

Hay que destacar que con esta temperatura el acero no pierde su estructura interna, lo que significa que no pierde sus propiedades mecánicas como lo son la resistencia a la tensión y límite de fluencia, características que son de vital importancia dentro del proceso de la construcción. Cuando el acero ya ha alcanzado la temperatura deseada, comienza la parte principal y espectacular del proceso, que es la laminación en caliente.

2.1.3. Laminado en caliente

La laminación en caliente es el proceso de la deformación plástica del acero realizado por la deformación mecánica entre cilindros, es decir, la etapa

donde se hace pasar a la palanquilla a través de unos molinos compuestos por rodillos que reducen la sección de la palanquilla. Este proceso se repite 16 veces, empezando por el tren de desbaste o de eliminación de asperezas, después pasa por molinos reparadores y finaliza pasando por los molinos acabadores hasta alcanzar los diámetros deseados por el departamento de producción.

Es en el último paso donde se procede a la corrugación con el fin que la varilla tenga mejor adherencia dentro del concreto, así como la marcación permitiendo identificar las características exactas de cada una. Debido a que el acero no es comprimible, en cada pase del molino la palanquilla se va alargando, en el primer paso mide cuatro metros y en los últimos finaliza con un largo de, aproximadamente, 420 metros dependiendo el diámetro del producto que se está fabricando.

Todo este proceso es completamente semiautomatizado, lo que garantiza la consistencia y calidad del producto final.

2.1.4. Cama de enfriamiento

Para este proceso se utiliza una mesa con movimiento horizontal que recibe las varillas a 48 metros tal y como vienen del proceso. Aquí pasa un riguroso control de calidad donde constantemente son tomadas muestras las cuales son sometidas a pruebas físicas y mecánicas, garantizando y controlando así su peso, diámetro y grado de resistencia.

2.1.5. Sistema de corte a medida

La varilla es enfriada y preparada para ser cortada a las medidas que el mercado lo requiere, las más comunes son las de seis metros y en menor cantidad las varillas de nueve y doce metros.

Tabla V. Medidas de varillas

Núm. de barra, según Norma	Designación comercial
2	1/4 "
3	3/8 "
4	1/2 "
5	5/8 "
6	3/4"
7	7/8"
8	1"
9	1 1/8"
10	1 1/4"
11	1 3/8"

Fuente: Norma ASTM A615-03.

Por lo general las medidas número 3 y 4 se utilizan en viviendas o construcciones de uno o dos niveles. Para estructuras más altas, como edificios o bodegas se utiliza 5, 6, 7, 8, entre otros. Estas medidas gruesas también se utilizan para la construcción de puentes y muros de contención, siempre considerando el grado de resistencia del producto.

2.1.6. Sistema de empaque semiautomático

Una vez cortadas las varillas de hierro, la producción es contada, agrupada en quintales y adecuada para las posteriores actividades de almacenaje, venta y despacho. Las varillas de hierro para construcción normalmente se fabrican en grado 40 y grado 60. El grado de la varilla

determina el nivel de resistencia en libras por pulgada cuadrada, siendo de 40 000 lb/plg² para el grado 40 y 60 000 lbs/plg² para el grado 60. El grado 40 se recomienda para la construcción de viviendas de uno o dos niveles máximo, mientras que el grado 60 para la construcción de edificios, bodegas, puentes, naves industriales entre otros.

La fabricación de varilla de hierro para la construcción en Aceros Suárez, S. A. se rige por la norma nacional NGO 36011, dictada por la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor) y la norma internacional ASTM A615. Ambas normas exigen características físicas y mecánicas para los distintos tipos de varilla de hierro.

Tabla VI. **Designación, dimensiones nominales y requisitos de las corrugaciones**

Núm. de designación de barra A	Peso nominal lb/pie (masa nominal kg/m)	Dimensiones nominales B			Requerimientos de deformación pulg (mm)		
		Diámetro pulg. (mm)	Área de la sección transversal pulg ² (mm ²)	Perímetro pulg (mm)	Espacio promedio máximo	Altura promedio mínima	Máxima hendedura
3 (10)	0,376 (0,560)	0,375 (9,5)	0,11 (71)	1,178 (29,9)	0,262 (6,7)	0,015 (0,38)	0,143 (3,6)
4 (13)	0,668 (0,994)	0,500 (12,7)	0,20 (129)	1,571 (39,9)	0,350 (8,9)	0,020 (0,51)	0,191 (4,9)
5 (16)	1,043 (1,552)	0,625 (15,9)	0,31 (199)	1,963 (49,9)	0,437 (11,1)	0,028 (0,71)	0,239 (6,1)
6 (19)	1,502 (2,235)	0,750 (19,1)	0,44 (284)	2,356 (59,8)	0,525 (13,3)	0,038 (0,97)	0,286 (7,3)
7 (22)	2,044 (3,042)	0,875 (22,2)	0,60 (387)	2,749 (69,8)	0,612 (15,5)	0,044 (1,12)	0,334 (8,5)
8 (25)	2,670 (3,973)	1,000 (25,4)	0,79 (510)	3,142 (79,8)	0,700 (17,8)	0,050 (1,27)	0,383 (9,7)
9 (29)	3,400 (5,060)	1,128 (28,7)	1,00 (645)	3,544 (90,0)	0,790 (20,1)	0,056 (1,42)	0,431 (10,9)
10 (32)	4,303 (6,404)	1,270 (32,3)	1,27 (819)	3,990 (101,3)	0,889 (22,6)	0,064 (1,63)	0,487 (12,4)
11 (36)	5,313 (7,907)	1,410 (35,8)	1,56 (1006)	4,430 (112,5)	0,987 (25,1)	0,071 (1,80)	0,540 (13,7)
14 (43)	7,65 (11,30)	1,693 (43,0)	2,25 (1452)	5,32 (135,1)	1,185 (30,1)	0,085 (2,16)	0,648 (16,5)
18 (57)	13,60 (20,24)	2,257 (57,3)	4,00 (2581)	7,09 (180,1)	1,58 (40,1)	0,102 (2,59)	0,864 (21,9)

Fuente: Norma Coguanor NGO 36011.

Requisitos de límite de fluencia, resistencia a la tensión y elongación:

Tabla VII. **Límite de frecuencias**

	Grado 40 (280) A	Grado 60 (414)	Grado 75 (517) B
Máxima resistencia a tensión, min, psi (Mpa)	60,000 (414)	90,000 (620)	100,000 (690)
Esfuerzo de fluencia, min, psi (Mpa)	40,000 (280)	60,000 (414)	75,000 (517)
3(10)	11	9	...
4, 5 (13, 16)	12	9	...
6 (19)	12	9	7
7, 8 (22, 25)	12	8	7
9, 10, 11 (29, 32, 36)	...	7	6
14, 18 (43, 57)	...	7	6

Fuente: Norma Coguanor NGO 36011.

La base del éxito en el empaquetado ha sido la tecnificación y modernización de los medios productivos, cuenta actualmente con una planta de producción eficiente y así ha obtenido un producto con los más altos estándares de calidad.

2.2. Parámetros de medición inexistentes

Cabe destacar que a pesar de que se cuenta con un buen equipo, el sistema de medición en el horno de calentamiento carece de indicadores en los cuales los operarios puedan comprobar que la medición que se esté realizando sea la real ya que no existe un método que verifique al cien por ciento las mediciones manuales que realizan los operarios designados de cada área en particular.

2.2.1. Medición de oxígeno suministrado

La medición dirigida hacia la bóveda se realiza periódicamente cada 50 minutos a través de un medidor presión que para este caso es un manómetro donde el operario anota en una hoja de control el dato real de la inspección

visual para estimar cuanto oxígeno se le está suministrando al horno. El jefe del área del horno basándose en el promedio de datos toma la decisión de si se le añade más oxígeno o no todo dependiendo del perfil de varilla que se esté produciendo en ese momento.

Figura 2. **Medidor de presión**



Fuente: Aceros Suárez S. A..

2.2.2. Medición de temperatura de aire precalentado

Para realizar la medición del flujo de aire precalentado se cuenta con dos termo coplas colocadas en los quemadores seis y ocho de los diez quemadores con los que cuenta en el horno de calentamiento de lingotes. Estas termo coplas funcionan analizando en forma de sensor la temperatura del aire el cual el operario encargado de los quemadores está revisando constantemente por las altas temperaturas que se manejan reportándolo vía radio hacia la cabina de producción donde anotan el valor. La formación obtenida la informa, debido a que si un lingote sale a una temperatura baja no pasará de forma eficiente a través de los dados en el proceso de extrusión, ocasionando inconvenientes posteriores.

2.2.3. Medición de aire de atomización

La medición de aire de atomización se realiza tanto en el ventilador número uno que es parte de los quemadores frontales como en el ventilador número dos que es parte de los quemadores laterales fundamentándose en la graduación de la alta presión de aire que circula por ellos midiendo en onzas (OSI).

Esta medición se realiza inspeccionando cada 60 minutos los dos manómetros colocados a la par del conducto del ventilador por parte de uno de los operarios del horno anotando el dato observado en el formato que se documenta por jornada.

Figura 3. **Medición de aire**



Fuente: Aceros Suárez S. A..

2.2.4. Medición de aire de combustión

La medición del aire de combustión se realiza midiendo el caudal que lleva la tubería para determinar si el aire cuenta con la suficiente presión al momento

de crearse la combustión la cual realiza el operario del horno revisando el manómetro que está situado donde están las llaves de aire de combustión. Así se puede determinar si se debe aumentar o disminuir el caudal suministrado a la mezcla de combustión ya que esto tendrá un efecto casi inmediato en la variación de temperatura en la zona de precalentamiento del horno.

2.2.5. Medición de nivel en tanques de combustible

Actualmente, la empresa Aceros Suárez S. A., cuenta con seis tanques de alimentación de combustible y dos tanques de precalentamiento los cuales se llenan dos veces por semana.

Un operario de embarque es el encargado de medir cada sesenta minutos los niveles de combustible en los tanques ya que desde que arranca el proceso de calentar el horno hasta el momento donde inicia la secuencia de enfriamiento se utilizan dos tanques alimentación simultáneamente con un tanque de precalentamiento de combustible hecho que confirma la importancia de medición constante.

Figura 4. **Tanques de combustible**



Fuente: Aceros Suárez S. A..

2.2.6. Medición de monóxido de carbono (CO) emitido al medio ambiente

En la actualidad, uno de los puntos en los que se está tratando de concientizar en Aceros Suárez S. A., es en la relevancia de una producción más limpia, por lo cual el último año se ha venido utilizando las cartas de humo de Ringelmann, ya que en la chimenea del horno se creía antes que solo se estaba dañando al ambiente cuando se presentaba un tipo humo de color gris oscuro en cantidades industriales, pero analizando a fondo las emisiones, realmente se puede estar emitiendo grandes cantidades de monóxido de carbono (CO) sin siquiera notarlo por ello, cada 120 minutos se están utilizando las tarjetas núm. 1 y tarjeta núm. 2 de Ringelmann para medir si la combustión dentro del horno tiene el suficiente oxígeno. Se mide también si la combustión tiene el suficiente combustible y si la combustión cuenta con el suficiente calor ya que se sabe que si uno de estos tres elementos es insuficiente en la bóveda

del horno, inmediatamente se estará emitiendo gases nocivos al ambiente descontroladamente.

Este es uno de los puntos críticos de la situación actual y uno de los aspectos más fuertes por mejorar a corto plazo ya que debido a la gran producción que se realiza este debe ser un tema relevante ya que al reducir la existencia de esta emisión de gases está directamente relacionada con los costos de combustible los cuales se pueden reducir en un porcentaje considerable.

2.3. Operación de las variables de combustión netamente manual

Para la operación de las variables de combustión netamente manual se emplean varias herramientas, quemadores frontales, quemadores laterales y aire precalentado.

2.3.1. Quemadores frontales

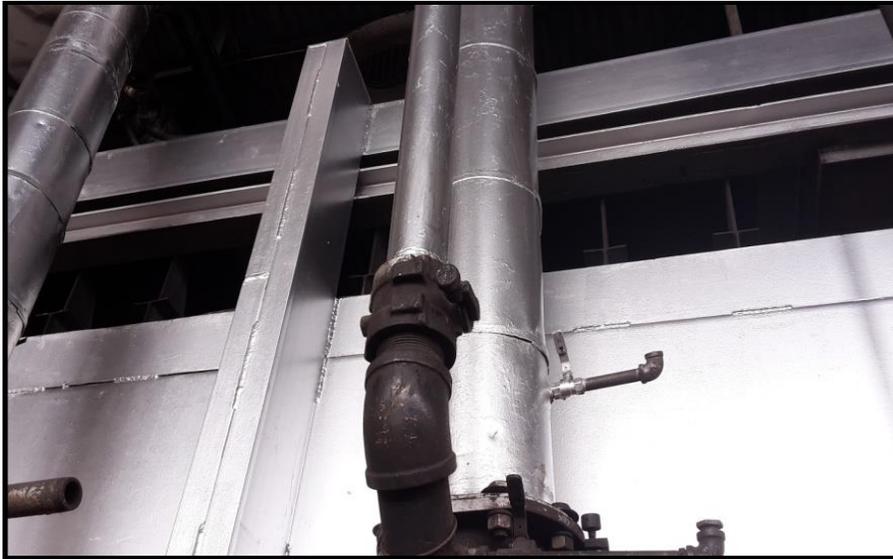
Actualmente, el horno de calentamiento de lingotes cuenta con cuatro quemadores frontales, cada uno de los quemadores cuenta con una válvula de suministro de aire de atomización y combustión.

2.3.1.1. Válvula de suministro de aire de atomización

La función principal de la válvula de suministro es proporcionar la cantidad suficiente de aire de atomización para la cual se regula dos veces por turno las onzas de presión que se necesitan. Además, cada 40 minutos se lee la

medición del manómetro anotando los datos en la hoja de control de la totalidad de aire de atomización utilizado por turno.

Figura 5. **Válvula de suministro**



Fuente: Aceros Suárez S. A..

2.3.1.2. Válvula de suministro de aire de combustión

La válvula de mariposa que suministra el aire de combustión se regula enfocándose en que los cuatro quemadores frontales tengan la misma presión, por lo cual se realizan inspecciones cada noventa minutos observando que los manómetros cuenten con la misma presión para que no exista ninguna discrepancia esto lo realiza uno de los operarios de horno anotando en la hoja de control las lecturas realizadas en cada ciclo.

2.3.2. Quemadores laterales

Actualmente, el horno de calentamiento de lingotes cuenta con seis quemadores laterales distribuidos de la siguiente forma: tres del lado izquierdo y tres del lado derecho para que sea mejor distribuido el calor en las tres zonas del horno.

2.3.2.1. Válvula de suministro de aire de atomización

Los quemadores laterales son los que manejan las más altas presiones por lo cual se requiere estar monitoreando que las onzas de aire suministradas se encuentren a la presión requeridas por el departamento de producción para que el lingote sea calentado a la temperatura esperada. Para el efecto, se inspeccionan los manómetros cada noventa minutos anotando el dato leído en el formato del control de aire de atomización, solo que para este caso se trata de los quemadores laterales.

2.3.2.2. Válvula de suministro de aire de combustión

La medición de la válvula del aire de combustión es netamente manual, se abre girando cuando inicia la secuencia de encendido del horno y se empieza a cerrar cuando arranca la secuencia de enfriamiento. En el proceso la mayor importancia se le da a la presión que puedan manejar los seis quemadores laterales, por lo cual se monitorea cada noventa minutos en el mismo ciclo de revisión que se hace con la lectura de los quemadores laterales, anotando el dato en la hoja del control de la presión del aire de combustión.

2.3.3. Aire precalentado

La funcionalidad del aire precalentado se presenta al momento en que el fenómeno de la combustión se origina debido a que el mismo proceso genera desprendimiento de calor, algo que afecta la regularidad de la temperatura de las zonas del horno. Por ello, contar con aire precalentado es de vital importancia al momento de buscar una combustión eficiente dentro del horno.

La regulación y medición se hace con una válvula de mariposa que se encarga de suministrar la misma presión en todos los quemadores, tanto en los seis laterales como en los cuatro frontales. La alimentación del aire precalentado tiene distintos orígenes debido a que para los quemadores frontales se emplea un recuperador de calor colocado en la chimenea que envía el aire a una temperatura promedio de 200 °C. En lugar del aire precalentado que se destina para los quemadores laterales se origina un recuperador de calor posicionado en la entrada del horno el cual maneja temperaturas de hasta 90 °C.

Figura 6. **Válvula de mariposa**



Fuente: Aceros Suárez S. A..

2.3.3.1. Válvula de gases exhaustivos

La medición en la válvula exhaustivos se encarga de reutilizar el gas catalogado como de reproceso para ayudar a que la mezcla de aire se mantenga entre las cinco o cuatro onzas necesaria para mantener en una temperatura constante las tres zonas del horno a través de una llave de tipo mariposa, la cual solo se regula y mide una vez por hora para saber qué porcentaje se otorga a la totalidad de aire consumido por el horno.

2.4. Control visual de zonas del horno

En el control visual de zonas del horno se incluyen la inspección visual zona de precalentamiento, calentamiento e igualación del horno, que se describen a continuación.

2.4.1. Inspección visual zona de precalentamiento del horno

Esta es la primera de las tres zonas que forman parte del horno de calentamiento, aquí el lingote empieza a elevar su temperatura hasta que cambia de color desde su color original gris a un color naranja que se estima en 1 300 °C. Este aspecto es monitoreando constantemente los operarios del horno realizando inspecciones visuales y mediciones de temperatura cada sesenta minutos, en dado caso el lingote no haya cambiado de tonalidad se informa inmediatamente para que se reprocese y no acceda a la siguiente zona inmediata del horno.

2.4.2. Inspección visual zona de calentamiento del horno

La zona de calentamiento es el corazón del horno, aquí es en donde la eficiencia de la combustión cobra sentido ya que se trata de recibir el lingote a una temperatura alta y mantenerlo a una temperatura igual de alta, inclusive elevarlo unos cincuenta grados más hasta llegar a un estimado de 1 350 °C. Por este motivo se está midiendo constantemente a través de inspecciones visuales donde el operario debe observar el cambio de color de la palanquilla, ya que pasa de ser de color naranja a rojizo esto es clave para que el calentamiento de la totalidad del lingote se alcance de manera eficiente y óptima.

2.4.3. Inspección visual zona de igualación del horno

La última inspección de las tres que realiza el operario del horno, es la que corresponde a la zona de igualación. A diferencia de las otras inspecciones esta se realiza cada treinta minutos debido a que en esta zona se debe aprovechar al máximo la llama de combustión, tanto de los quemadores laterales como la de los quemadores frontales donde el operario observa que se dé el último cambio de color en la palanquilla ya que de estar rojiza pasa a un color cálido amarillo. Una vez la palanquilla haya cumplido su tiempo de ciclo dentro del horno, pasa directamente a hacia las líneas de producción donde los preparadores medirán los hertz que lleva para determinar si es la temperatura adecuada y se acepta o es una temperatura menor y se rechaza la palanquilla debido al perfil de varilla de acero que se esté produciendo en ese mismo instante.

3. PROPUESTA

3.1. Instalación de equipo de verificación de gases de combustión

La presente propuesta se desglosa en varias fases, la primera corresponde a la instalación de equipo de verificación de gases de combustión, controlador lógico programable, implementación de controlador lógico en sistemas de combustión, sistemas de registro control de combustión, recopilación e intercambio de información y, finalmente, interfaz hombre-máquina.

3.1.1. Dispositivos por medir

Para identificar los dispositivos por monitorear, se analizarán varios aspectos como el caudal del combustible, la temperatura en tanque de precalentamiento, temperatura en botellas de calentamiento, presión aire combustión y temperatura en las regiones del horno, entre otros.

3.1.1.1. Caudal del combustible

El caudal de combustible es relevante porque está directamente relacionado con la temperatura del horno. Necesitar un aumento o disminución de temperatura se relaciona proporcionalmente al aumento o disminución de combustible inyectado al horno, este será regulado por medio del control de la velocidad del motor de la bomba, a través de variadores de frecuencia.

El caudal de combustible es en particular difícil de medir por las condiciones de este, que a baja temperatura es altamente viscoso, y para reducir su viscosidad se lleva a altas temperaturas las cuales están fuera del rango de medición de los sensores comunes. Por estas causas la medición del caudal de combustible se realiza de manera indirecta, contando los desplazamientos angulares del motor de la bomba.

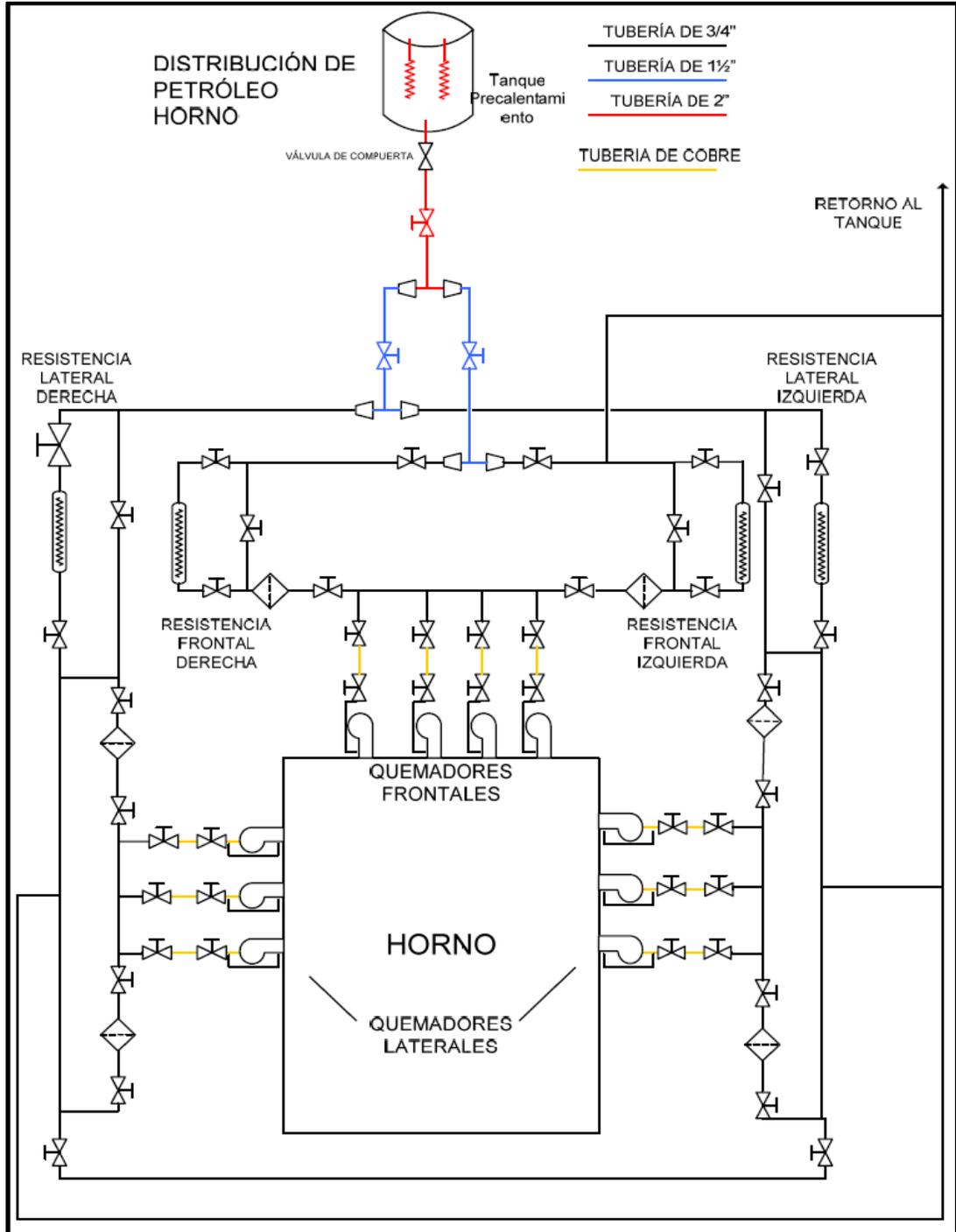
3.1.1.2. Temperatura en tanque de precalentamiento

Para medir el dispositivo de la temperatura en el tanque de precalentamiento, es importante conocer el proceso del mismo. En primer lugar, el combustible es precalentado por medio de tres ciclos para reducir su viscosidad; en segundo lugar, para un fácil transporte en las tuberías y, finalmente, un calentamiento a mayor temperatura que disminuye la viscosidad para que se pueda atomizar.

3.1.1.3. Temperatura en botellas de calentamiento

La temperatura en botellas de calentamiento, posee cuatro resistencias de 7,5 kW, cuenta con un control de temperatura basado en un interruptor de temperatura capilar regulable de 50 a 300 °C, que realiza la tarea de termostato, el cual limita la temperatura dentro del tanque y la mantiene dentro de un rango de $\pm 2,5$ °C. En este punto el combustible ya está a una presión de 150 psi y para protección este tanque cuenta con una válvula de alivio, que expulsa bunker hacia depósitos en caso de existir una sobrepresión, esta cuenta con un resorte el cual al ser vencido provoca un desfogue de combustible reduciendo la presión dentro del tanque.

Figura 7. Diagrama de distribución de combustible

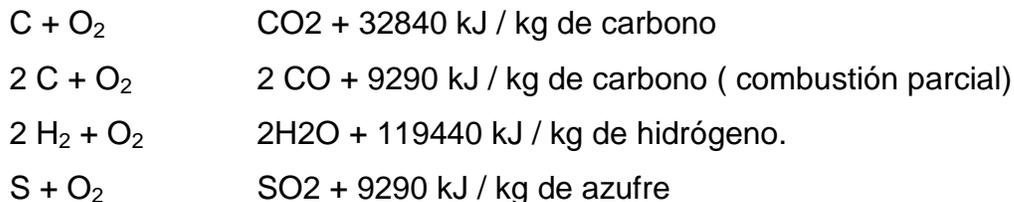


Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

3.1.1.4. Presión aire combustión

La combustión (quemado) consiste en una reacción química de oxidación en la que unos elementos combustibles, principalmente carbono (C), hidrógeno (H), y azufre (S), se combinan con oxígeno. La reacción se verifica con un gran desprendimiento de energía, en forma de calor y luz.

A continuación se presentan las reacciones principales que se producen en el quemado de un combustible, apareciendo reflejados reactantes y productos, además del calor desprendido en la misma.



Como se puede observar los productos principales de la combustión son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O).

La cantidad de aire que será aportado a la combustión es la suma del aire de combustión y el aire de atomización, el cual será constante, cantidad necesaria para mantener una óptima atomización del combustible. La válvula de mariposa reguladora de caudal se instalará en la línea de aire de combustión ya que la mayor parte del aire hacia el quemador va con este fin, siendo esta una tubería de gran diámetro es difícil encontrar un medidor de caudal de gases para estas condiciones.

Por lo tanto, se recurre a utilizar transductores de presión, los cuales son los que dan información acerca de cuánto aire está fluyendo hacia los

quemadores. Para mantener un flujo uniforme de aire a todos los quemadores, es indispensable que el flujo, sea turbulento, no laminar.

3.1.1.5. Temperatura en las regiones del horno

El horno de calentamiento es una parte esencial del proceso de laminado ya que con él una palanquilla adquiere la temperatura adecuada para ser laminada y producir los distintos productos especificados anteriormente.

Las palanquillas son cargadas en el horno con su eje principal perpendicular al eje de desplazamiento de este, para contribuir un manto horizontal, siendo el calor aportado por quemadores de gas tangenciales situados en la bóveda y en la solera.

El recorrido dentro del horno está dividido en tres zonas: precalentamiento, calentamiento e igualación, y para cada una de ellas se considera de manera independiente una parte de bóveda, por encima del manto, y de solera, por debajo del manto.

La temperatura de la zona de precalentamiento es aportada por un intercambiador alimentado por la temperatura de los gases y humos evacuados por la chimenea. En el interior del horno hay varias zonas de temperatura para que este obtenga las características óptimas para el proceso de laminación:

3.1.1.5.1. Precalentamiento

Zona de precalentamiento: donde el material si entra a la temperatura ambiente es calentado hasta una temperatura de unos 1 000 °C. Este calentamiento se realiza básicamente por convección.

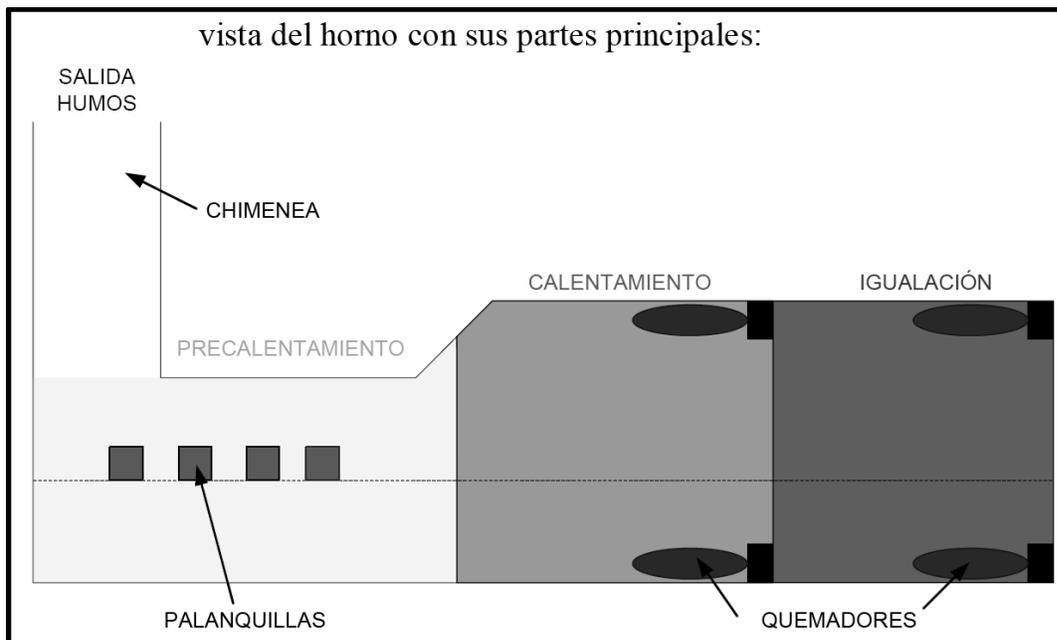
3.1.1.5.2. Calentamiento

Zona de calentamiento: aquí, la superficie de la palanquilla se lleva hasta una temperatura de unos 1 250 °C, aproximadamente, para el acero común.

3.1.1.5.3. Igualación

Zona de igualación o de empape: se consigue que la diferencia de temperatura del punto más caliente de la palanquilla con respecto al punto más frío este comprendida entre 20 y 50 °C de forma que no se presenten problemas para el tren de laminación ni para la calidad del producto final laminado. En estas dos últimas zonas la transferencia de calor se realiza básicamente por radiación.

Figura 8. Zonas de temperatura



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.1.1.6. Presión de combustible a la entrada de los quemadores

El calentamiento de las zonas de calentamiento e igualación se realiza mediante quemadores en los que se regula el caudal de combustible y aire, de forma que la temperatura medida por el termopar de cada zona y parte sigue un valor de consigna prefijado. Es decir, el horno cuenta con cuatro reguladores: calentamiento superior, calentamiento inferior, igualación superior e igualación inferior.

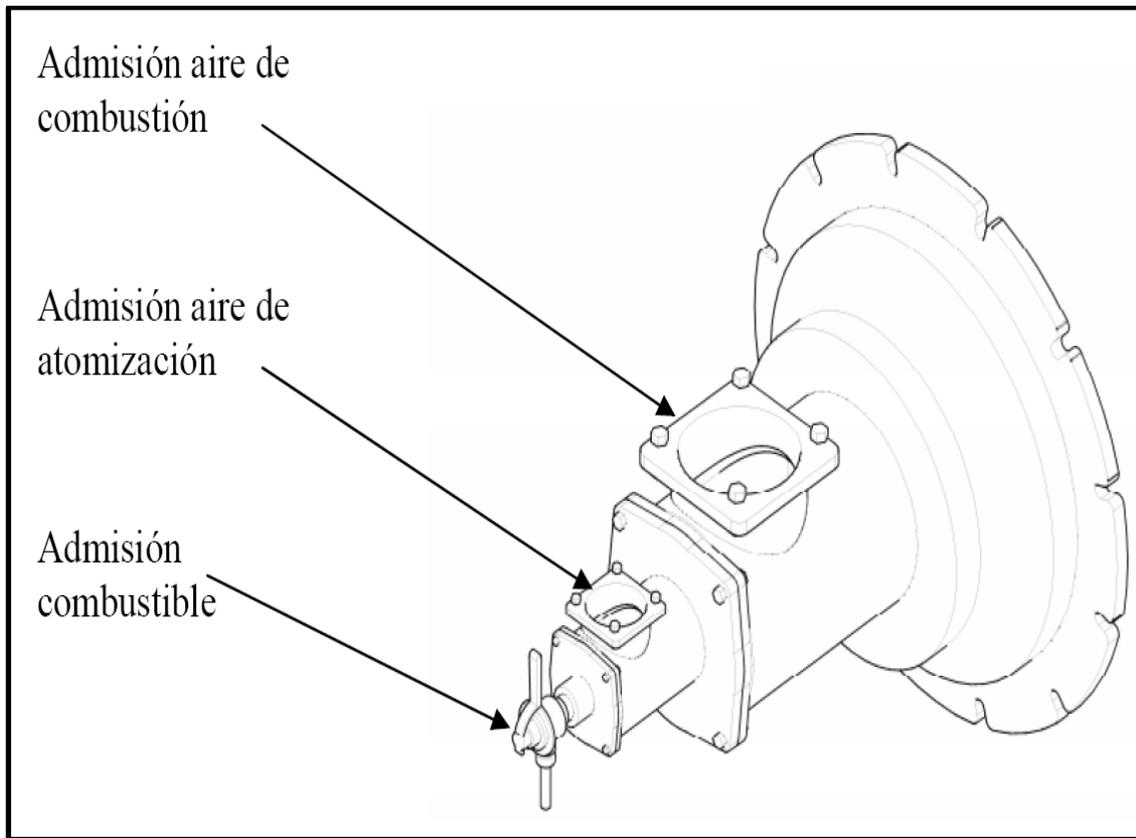
Para poder utilizar el calor liberado en la combustión es necesario controlarlo. El quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable, con una forma y tamaño predeterminados. Los combustibles líquidos se rompen en pequeñas gotas por medio de un atomizador. *Fuel-oil* y se introducen dentro de la corriente de aire de combustión para asegurar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama.

La gama de combustibles, líquidos y gaseosos, que se queman en este tipo de elementos es tremendamente amplia. El diseño del quemador varía dependiendo de la clase de combustible por usar, ya que el tratamiento del mismo para conseguir una buena combustión es diferente. Así se puede establecer una distinción entre quemadores dependiendo del combustible de alimentación. De igual forma se tendrá quemadores de gas, quemadores de combustibles líquidos, y quemadores combinados, donde se queman conjuntamente combustibles gaseosos y líquidos.

Existen muchos tipos de quemadores según su diseño variando desde un simple mechero “bunsen” hasta los quemadores gigantes de un horno de cemento. Por ello, se deberá seleccionar el tipo que más se adapte a las

necesidades requeridas. En las plantas industriales se utilizan principalmente dos tipos de quemadores: el de tiro natural, y el de tiro forzado.

Figura 9. **Quemador de combustible**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El quemador se dimensiona de acuerdo con el tiro disponible e invierte la presión de tiro disponible en inducir velocidad a la corriente de aire que circula por él. Debido al reducido valor de presión del tiro la velocidad adquirida por el aire de admisión será reducida, lo que implica que no exista un gran poder de mezcla al unirse la corriente de aire con el combustible. Esto se traduce en un

mayor tiempo de combustión por lo que la llama será larga, y en un mayor exceso de aire para tener una combustión completa.

La ventaja de los quemadores de tiro natural es su reducido coste inicial de instalación. Los quemadores son relativamente baratos y no hay necesidad de ventiladores que impulsen el aire de combustión.

3.1.1.7. Presión de aire de combustión a la entrada de los quemadores

El dispositivo utilizado para proporcionar aire a la combustión son sopladores (*blowers*), es un tipo especial de ventilador centrífugo de alto caudal, utilizado para elevar la presión de aire o gas por encima de la presión atmosférica, para hacerlo fluir a través de alguna resistencia, o impulsar aire por medio de varios dispositivos que, en este caso, serán los quemadores. El ventilador necesario se conoce por la presión y el caudal necesario en la tubería de salida.

Los quemadores de bunker poseen dos cavidades de admisión de aire y una para admisión de combustible, una es del aire atomizado destinado para crear una atomización uniforme del combustible y obtener una combustión eficiente e instantánea al entrar en el horno y evitar una mala mezcla en la combustión, por exceso de carbono en algunas regiones y en otras por exceso de oxígeno. Por otro lado, los quemadores tienen una cavidad de admisión de aire de mayor diámetro destinada para el aire de combustión.

En el aire de combustión se aporta la mayor parte del oxígeno necesario para mezclarse con el carbono y producir la combustión, el resto del oxígeno

proviene del aire de atomización y otra parte proviene de otras aperturas del horno del cual se succiona aire por el ventilador de tiro forzado de la chimenea.

3.1.1.8. Temperatura de aire combustión

Los humos del horno se hacen pasar a través de unas rejillas donde también pasa el aire de combustión, esto ocasiona que haya un intercambio de calor, recuperando de esta manera temperatura que luego se inyecta al horno de combustión, esto permite recuperar temperatura. Por lo cual la temperatura que se espera oscila entre 400 y 500 °C.

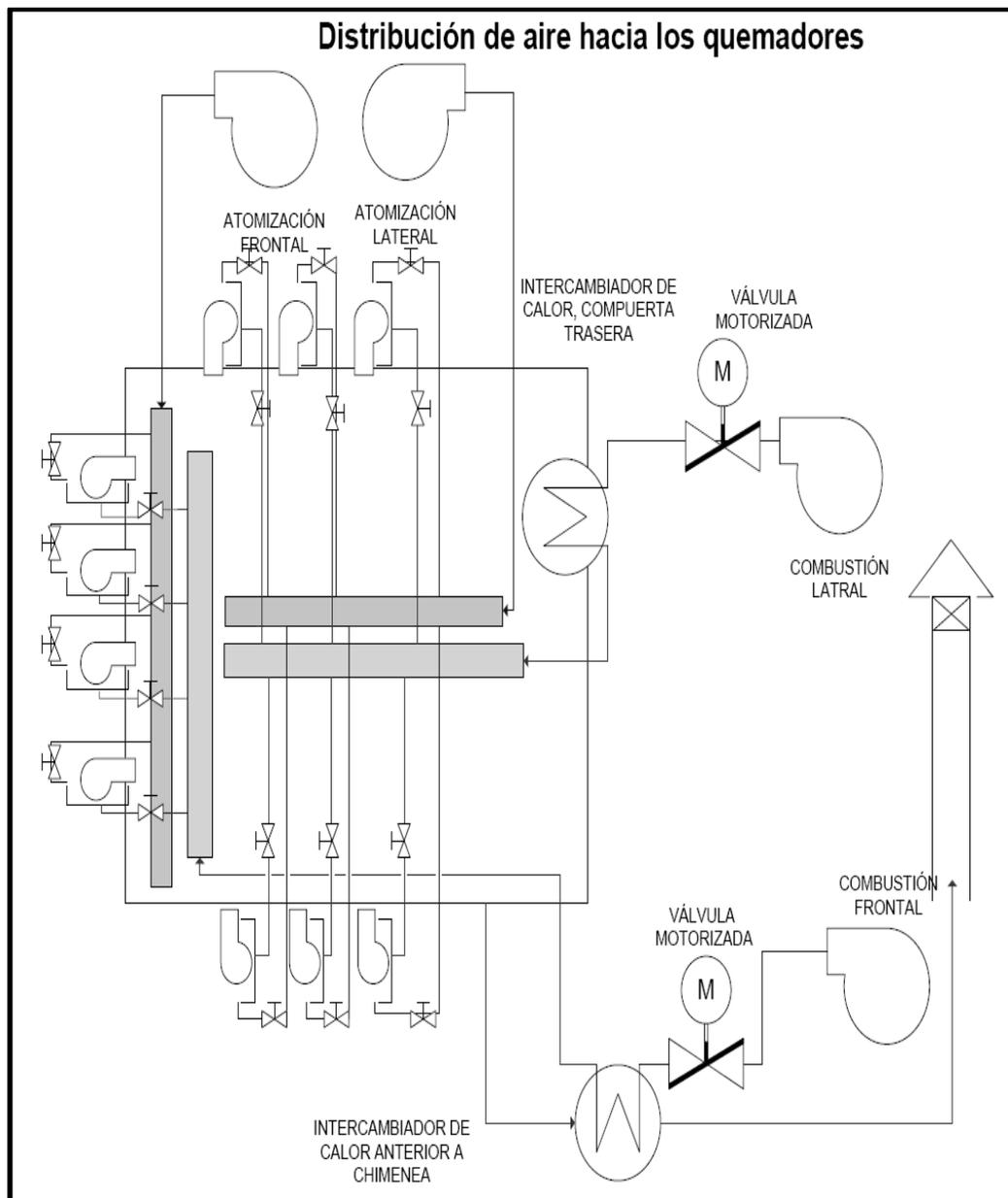
Es la parte del suministro de aire hacia los quemadores, usualmente alrededor del 10 %, utilizado para separar el aceite, en este caso el bunker, en pequeñas partículas o gotitas, posteriormente en el proceso de combustión este también aporta, en menor medida, una parte de oxígeno para mezclarse con el carbono, la presión mínima del aire de atomización en el quemador debe ser de 14 psi para aceite ligero y de 22 psi para aceite pesado.

La fuente principal de oxígeno para la combustión puede que incluya también el aire inducido por presión negativa dentro de la cámara del horno dado por el ventilador de tiro forzado de la chimenea del horno. El aire de combustión de los ventiladores frontales y laterales es alimentado por dos ventiladores independientes y este circula por circuitos de precalentamiento de aire individuales.

El aire de combustión es impulsado por ventiladores de gran caudal de aire, a alta presión y el caudal es regulado por una válvula motorizada, este es uno de los principales elementos en el control del horno al suministrar justo el

aire necesario para acercarse a la combustión perfecta, por esto se necesita un control preciso sobre esta.

Figura 10. **Distribución de aire de combustión**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.1.2. Dispositivos por controlar

Los dispositivos por controlar abarcan básicamente tres áreas: bombas de alimentación de combustible, resistencia en botellas y válvula de apertura de aire de combustión.

3.1.2.1. Bombas de alimentación de combustible

Las bombas de alimentación de combustible son las encargadas de medir su caudal. Por las características del combustible y de la temperatura que se maneja, las bombas ideales son las de engranes, las cuales por ser de desplazamiento positivo dan la característica de una cantidad de flujo constante por revolución, lo cual se aprovecha para medir la cantidad de combustible suministrado al horno, hasta el valor nominal que necesita el sistema, de acuerdo con sus condiciones de diseño.

Estas bombas de engranajes internos disponen de dos engranajes, uno interno cuyos dientes miran hacia el exterior, y otro externo con los dientes hacia el centro de la bomba; el eje motriz acciona el engranaje interno. En este tipo de bombas existe, entre los dos engranajes, una pieza de separación en forma de media luna (semiluna). Esta pieza está situada entre los orificios de entrada y salida, donde la holgura entre los dientes de los engranajes interno y externo es máximo. Ambos engranajes giran en la misma dirección, pero el interno, al tener un diente más, es más rápido que el externo.

El fluido se introduce en la bomba en el punto en que los dientes de los engranajes empiezan a separarse, y es transportado hacia la salida por el espacio existente entre la semiluna y los dientes de ambos engranajes.

El volumen contenido se consigue entre el extremo de los dientes y la semiluna; posteriormente, en el orificio de salida, los dientes de los engranajes se entrelazan, reduciendo el volumen de la cámara y forzando al fluido que esta por salir de la bomba.

3.1.2.2. Resistencia en botellas

La resistencia en botellas es una característica imprescindible ya que en las botellas se produce el calentamiento final de combustible, se alimenta el combustible a los quemadores frontales y para cada juego de quemadores laterales, como se indica en el diagrama de distribución. En el interior de la botella de calentamiento se encuentra una resistencia igual a las utilizadas en el tanque de precalentamiento y el estado de esta es controlado con un interruptor de temperatura capilar del mismo modo que el tanque de precalentamiento.

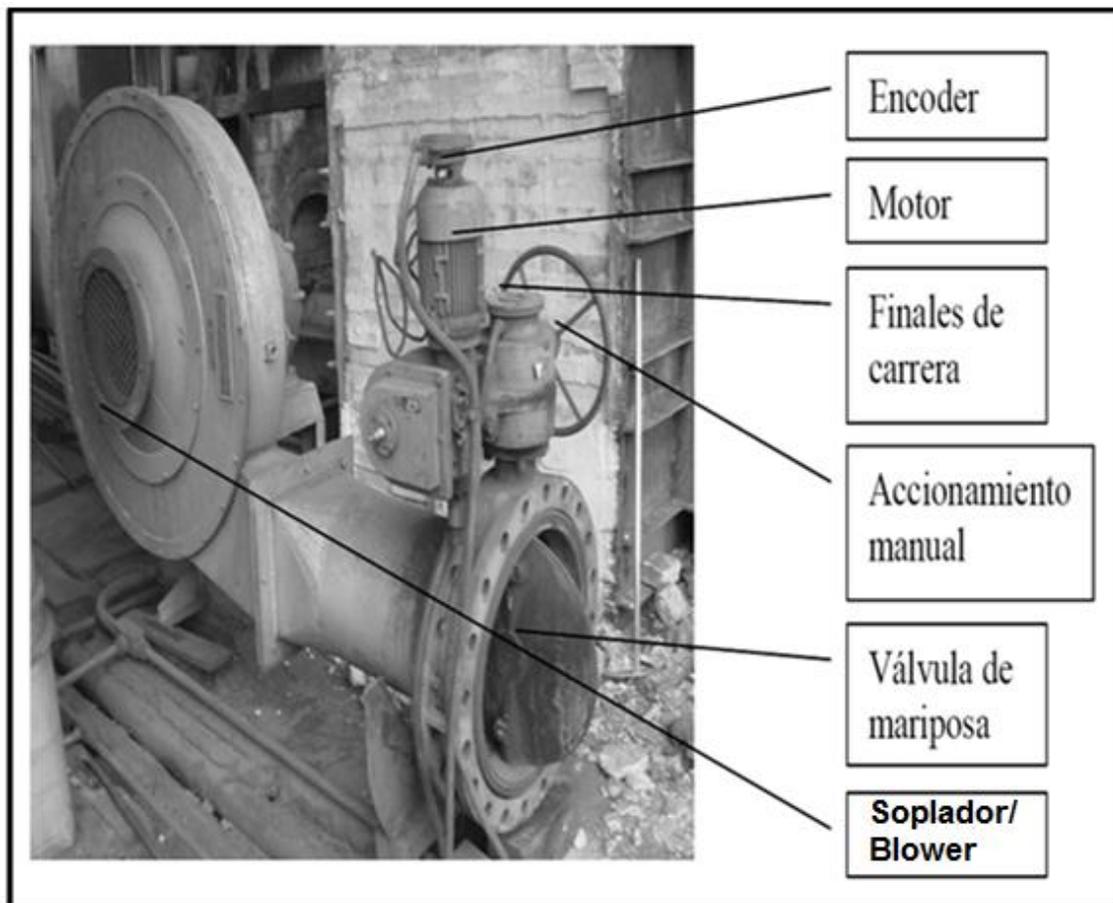
Con esto se asegura que el combustible tendrá una temperatura lo suficientemente elevada para crear la atomización de este en los quemadores. El estado de las resistencias de precalentamiento (encendido – apagado), tiene un control de temperatura regulable que hace que las resistencias se apaguen al pasar sobre el *set point* y se enciendan al estar por debajo de este, en un rango de $\pm 2,5$ °C del *set point*.

3.1.2.3. Válvula de apertura de aire de combustión

En la apertura de la válvula de admisión de aire de combustión, con un sistema de posicionamiento programado desde el PLC, la válvula busca una posición determinada gracias al accionamiento de un motor y mediante un encoder colocado en el eje del motor. Este sistema brinda una forma precisa de obtener la posición de la válvula, con lo cual se puede regular la cantidad de

aire suministrada al horno, la disposición de los equipos de control de la válvula se visualiza en la siguiente figura.

Figura 11. **Válvula de apertura**



Fuente: Aceros Suárez S. A..

3.1.3. **Dispositivo medidor de gases exhaustos**

El dispositivo medidor de gases exhaustos se basa, fundamentalmente, en dos variables, medidor de oxígeno (O_2) con punta de circonio y análisis de dióxido de carbono (CO_2), que se describen a continuación.

3.1.3.1. Medidor de oxígeno (O₂) con punta de circonio

Para la aplicación de estos analizadores de combustión se basan en la toma de una muestra de los gases que discurren por la chimenea, tomada por succión a través de un orificio practicado en la misma y obteniendo la concentración de sus componentes mediante analizadores electrónicos con sensores electroquímicos con los que están equipados estos analizadores de combustión.

Además, estos analizadores de combustión está provistos de una sonda termopar para la toma de la temperatura de los gases y, en función del análisis de los gases, de su temperatura y de la temperatura ambiente, ofrece en pantalla el rendimiento de la combustión. Para ello, estos analizadores de combustión disponen de un conducto de aspiración creada por una micro bomba con la que van equipados para la toma de la muestra de gas, y de un programa de cálculo en su memoria interna con la composición de los combustibles más habituales, por lo que los resultados son inmediatos una vez seleccionado el combustible adecuado.

La pantalla con que vienen equipados estos analizadores de combustión, dará los siguientes resultados:

- CO₂: porcentaje en volumen
- O₂ : porcentaje en volumen
- CO: partes por millón, ppm.
- Exceso de aire: porcentaje
- Rendimiento de la combustión: porcentaje

3.1.3.2. Análisis de dióxido de carbono (CO₂)

Todos los analizadores de gas de combustión cumplen con las normas europeas e internacionales. Adicionalmente se pueden calibrar y certificar los analizadores de gas de combustión. Igualmente, se puede llevar a cabo una recalibración y mantenimiento anuales.

Todo esto con vistas a la reducción del consumo de energía y a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono; interpretando los resultados obtenidos por el medidor de oxígeno se puede monitorear porcentaje CO₂ en volumen y controlar el rendimiento de la combustión determinando el porcentaje de CO₂ que transporte los gases exhaustivos emitidos por la chimenea.

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm (partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno.

El balance del dióxido de carbono es sumamente complejo por las interacciones que existen entre la reserva atmosférica de este gas, las plantas que lo consumen en el proceso de fotosíntesis y el transferido desde la tropósfera a los océanos. El aumento del contenido de dióxido de carbono que se verifica actualmente es un componente del cambio climático global, y posiblemente el mejor documentado. Desde mediados del siglo XIX hasta hoy, el aumento ha sido de 80 ppm.

El análisis de gases retenidos en muestras de hielo obtenidas a distintas profundidades en Antártida y Groenlandia, ha permitido conocer la concentración de dióxido de carbono atmosférico, y de otros gases del llamado

efecto invernadero durante, por lo menos, los últimos 150 000 años. Estas concentraciones han variado en la escala temporal de las glaciaciones, con concentraciones bajas durante los períodos glaciales (temperaturas bajas) y relativamente altas durante los períodos interglaciales (temperaturas altas), con transiciones rápidas tanto en la variación de la temperatura como de la concentración de dióxido de carbono.

Se ha discutido si este aumento del contenido de dióxido de carbono atmosférico corresponde o no a estas fluctuaciones naturales, dado que se transita por un período posglacial. A partir de la misma fuente de información, las burbujas de gas retenidas en hielos de diferentes edades, se ha comprobado que el actual incremento de la concentración de dióxido de carbono se superpone a la variación esperada del mismo y los niveles alcanzados superan a los registrados en el pasado, siendo el aumento sustancial y acelerado durante los últimos 160 años e indudablemente causado por la actividad humana.

Se estima que este aumento es causado por una concurrencia de factores entre los cuales el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y derivados, gas) y las quemas con fines agrícolas pueden señalarse como los más significativos. Se calcula que este aumento del nivel de dióxido de carbono ocasione cambios climáticos considerables.

3.1.4. Capacitación de personal

Actualmente la capacitación tiene un papel muy importante en las organizaciones, ya que tiende a mantener al empleado a la vanguardia y también de ella depende la evolución que tenga la organización.

La capacitación empresarial es un proceso continuo y permanente de enseñanza y actualización de los trabajadores, mediante la transmisión de conocimientos que contribuyan al ejercicio de un cargo o puesto de una organización o institución determinada. Es la herramienta de actualización y mejoramiento de los conocimientos, habilidades y aptitudes de los empleados en el cumplimiento de las tareas y funciones que tienen asignadas.

La importancia de un plan de capacitación surge de la necesidad de que los equipos de trabajo puedan mejorar sus conocimientos, habilidades y capacidades por eso se diseña un plan de capacitación para los equipos de trabajo el cual se tiene que estar realizando cada año con el objetivo de mejorar los conocimientos, capacidades y habilidades para obtener las mejoras en el área del horno de calentamiento de lingotes.

3.1.4.1. Equipo de dispositivos por medir

El personal que este directamente relacionado con la medición de los dispositivos deberá conocer a detalle el proceso de combustión y las características de cómo se maneja el horno.

El desarrollo de habilidades está dirigido a la adquisición de aquellas destrezas y conocimientos directamente relacionados con el desempeño del cargo actual o de posibles ocupaciones futuras, se trata de un entrenamiento a menudo orientado de manera directa a las tareas y operaciones que van a ejecutarse.

Muchos programas que se inician solamente para capacitar concluyen ayudando al desarrollo y aumentando potencial a la capacidad como empleado directo. La capacitación a todos los niveles constituye una de las mejores

inversiones del recurso humano y una de las principales fuentes de bienestar para el personal de toda la organización. Los procesos de capacitación se consideran como aquellos mecanismos de proceso formativo que permiten reforzar las habilidades y destrezas de las personas a quienes va dirigido.

El personal recibirá capacitación para medir varios dispositivos, con el propósito de establecer parámetros de medición. A continuación se presentan los dispositivos que se medirán:

- Oxígeno suministrado
- Temperatura de aire precalentado
- Aire de atomización
- Aire de combustión
- Nivel en tanques de combustible
- Monóxido de carbono (CO)
- Caudal del combustible

3.1.4.2. Equipo de dispositivos por controlar

Para tener la competencia de trabajo en equipo, no basta con tener los conocimientos de equipo, sino que tiene muchas más implicaciones. Como toda competencia, requiere de una transferencia y es de vital importancia movilizar el conjunto de conocimientos que se han ido logrando a lo largo del tiempo para poderlos poner en práctica.

No es solo saber que para trabajar en equipo hay que hablar con los compañeros, cooperar, sino que se tiene que saber hacer, saber estar y saber ser. Es un grado más en esta estructura compleja que culmina con la puesta en práctica de todo aquello que se sabe, o del conjunto de recursos adquiridos.

El personal recibirá capacitación para manejar el equipo de verificación de gases de combustión, es decir, tener la habilidad de manejar los dispositivos por controlar, que se describen a continuación:

- Bombas de alimentación de combustible
- Resistencia de botellas
- Válvula de apertura de aire de combustión

3.1.4.3. Equipo de medidores de gases exhaustos

De acuerdo con la definición anterior un equipo es un grupo que se caracteriza por la identificación con el logro de los objetivos, aceptación de los roles, comunicación clara y fluida, involucramiento de diversos componentes afectivos; espontánea colaboración y ayuda mutua; cohesión, afinidad e identificación; conciencia de grupo y buenas relaciones interpersonales. En resumen en un equipo existe alta productividad y su bajo nivel de conflicto interpersonal.

La integración de un grupo puede servir a nivel organizacional para:

- Realizar una tarea compleja
- Generar soluciones nuevas o ideas creativas
- Coordinar o vincular las funciones de diversos departamentos
- Solucionar problemas que requieren de procesar información compleja
- Facilitar la implementación de decisiones complejas

El personal recibirá capacitación para manejar el equipo de verificación de Gases de combustión, es decir, tener la habilidad de manejar el dispositivo medidor de gases exhaustos, que se describen a continuación:

- Medidor de oxígeno (O₂) con punta de circonio: como se mencionó en apartados anteriores se empleará el método de la utilización del oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno.
- Análisis de dióxido de carbono (CO₂), este análisis es muy importante ya que en caso de ser una mezcla desbalanceada, pueden suceder diferentes situaciones, como al haber más carbono que oxígeno en la mezcla, o sea que la cantidad de aire no es la suficiente para producir la combustión de todo el combustible, en este caso se le llamaría una mezcla rica o una combustión reductora, la cual se caracteriza por la aparición de humo negro, debido a la combustión incompleta.

3.1.5. Análisis financiero

El análisis financiero pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la viabilidad del proyecto, cuál será el costo total de transformación, así como otra serie de indicadores que servirán como base para la propuesta del proyecto.

3.1.5.1. Costo-beneficio

Los beneficios son todos los ingresos actualizados del proyecto, aquí tienen que ser considerados desde ventas hasta recuperaciones y todo tipo de entradas; y los costos actualizados son todos los egresos actualizados del proyecto desde costos de operación, inversiones, pago de impuestos, depreciaciones, pago de créditos, intereses. Su cálculo es simple se divide la suma de los beneficios actualizados entre la suma de los costos de todos los años del proyecto.

De acuerdo con el criterio de decisión, la inversión de un proyecto productivo es aceptable si el valor de la relación beneficio/costo es mayor o igual que 1. Al obtener un valor igual 1 significa que la inversión inicial se recuperó satisfactoriamente después de haber sido evaluado a una tasa determinada, y quiere decir que el proyecto es viable, si es menor a 1 no representa rentabilidad, ya que la inversión del proyecto jamás se pudo recuperar en el período establecido evaluado a una tasa determinada. En cambio, si el proyecto es mayor a 1 significa que además de recuperar la inversión y haber cubierto la tasa de rendimiento se obtuvo ganancia extra. Un excedente de dinero después de cierto tiempo del proyecto.

La evaluación del impacto de la capacitación consiste en comparar los costos totales de una acción de capacitación con los beneficios que este le reporta a la institución. Este análisis le sirve a la empresa para determinar si valió la pena invertir en capacitación y juzgar si vale la pena seguir haciéndolo.

Con todo lo importante que puede ser la evaluación de impacto, a menudo las organizaciones descuidan hacer esta clase de análisis, en parte, porque consideran que los costos de una acción de capacitación son costos ocultos y, también, por desconocimiento de las técnicas apropiadas para hacerlo.

En cuanto al momento propicio para poner en práctica la evaluación de impacto, no existen fórmulas únicas, aunque se recomienda esperar un plazo razonable para que maduren los efectos esperados de la capacitación. En este sentido, por lo general, un año es un lapso adecuado, de manera que las actividades evaluativas podrían efectuarse, por ejemplo, a mediados de cada año con referencia a las acciones de capacitación del año anterior.

Respecto de los costos de la capacitación, para fines de la evaluación de impacto, es preciso tomar en cuenta los costos totales de las acciones de capacitación, los cuales incluyen no solo los directos de impartir la capacitación, que ya fueron analizados anteriormente, sino también una serie de gastos adicionales que se derivan de la ejecución de una acción de capacitación. Entre estos, los más frecuentes e importantes suelen ser:

- El costo de diseño de la acción de capacitación.
- Los gastos de administración y costos indirectos asignados a la acción de capacitación.

Por lo general, los beneficios de la capacitación para una institución tienen que ver con la reducción de los costos operacionales, a partir de una mejor utilización de los recursos. Tales beneficios pueden estimarse comparando la situación que existe sin la capacitación, con la situación que existe después de ella. Al hacer esta comparación hay que tener especial cuidado de eliminar posibles efectos de otros factores.

Algunos de los beneficios de la capacitación son tangibles, en el sentido de que pueden ser medidos y valorizados con razonable exactitud y relativa facilidad. Estos tienen que ver con economías en el uso de recursos tales como el personal; los recursos materiales y los servicios; y, los equipos y las instalaciones. A título ilustrativo, se presenta una lista de posibilidades de reducción de costos en cada una de estas áreas, gracias a la capacitación del personal.

Tabla VIII. **Costo beneficio**

	Combustión eficiente	Combustión ineficiente
Consumo combustible unidades	250	275
Unidades procesadas	20	20
Productividad	100 %	90 %
Impacto del combustible	30 %	33 %
Impacto otros recursos	70 %	70 %
Costo total de transformación	100 %	103 %

Fuente: elaboración propia.

Por lo cual el beneficio monetario de utilizar una combustión eficiente dentro del horno de calentamiento de palanquilla se podrá obtener de la siguiente formula:

$$BM = 0.03 * (C.T.T) * (UEC)$$

Donde

BM = Beneficio monetario

C.T.T. = Costo total de transformación

UEC = Unidades esperadas a calentar

Lo cual si es representativo por el volumen de combustible que se emplea en el horno lo cual determina viable la instalación del controlador lógico programable en el sistema de combustión.

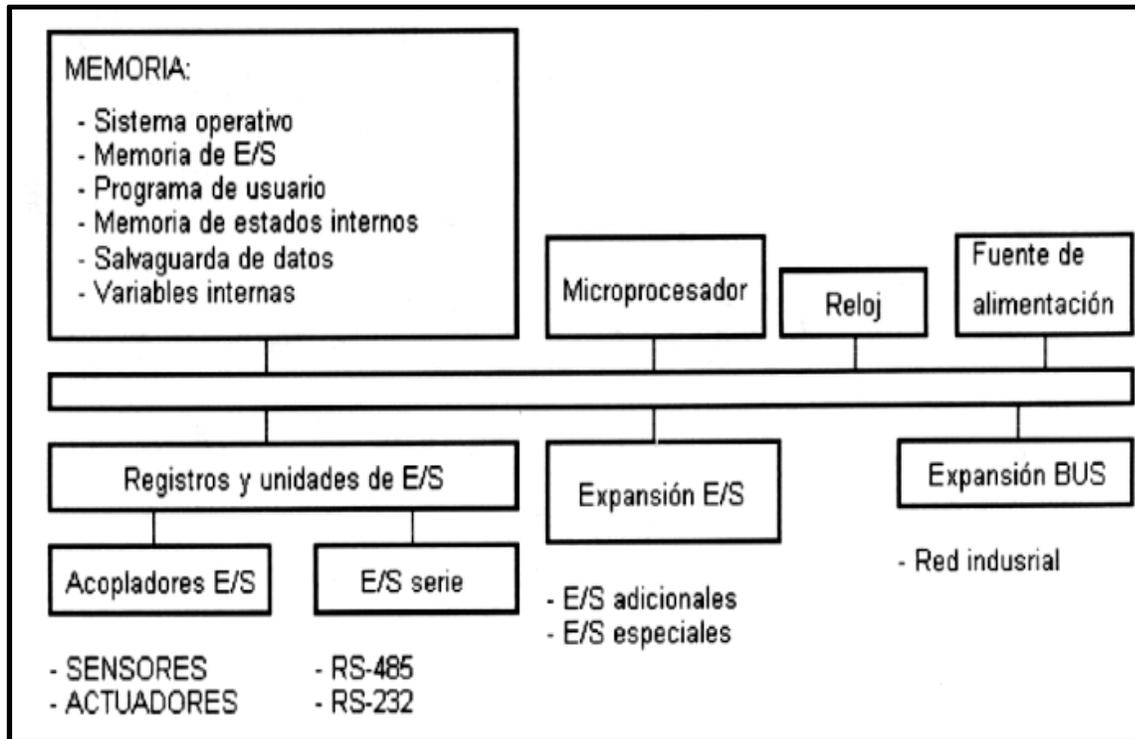
4. IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE EN SISTEMA DE COMBUSTIÓN

La ingeniería de control se ha desarrollado a través del tiempo. En el pasado los humanos eran el método para controlar los sistemas. En tiempos recientes la electricidad se ha utilizado para el control, los primeros controles eléctricos fueron los relevadores. Los relevadores permiten encender o apagar un circuito eléctrico sin necesidad de un interruptor mecánico.

Los controladores lógico programables (PLC) fueron inventados como respuesta a las necesidades de la industria automotriz. Inicialmente fueron adoptados por las empresas para sustituir la lógica cableada. En 1968 GM *Hydramatic* (la división de transmisiones automáticas de General Motors) emitió una solicitud para realizar una propuesta que sustituyera la lógica cableada.

Un controlador lógico programable (*Programmable Logic Controller PLC*) es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.

Figura 12. **Controlador lógico programable**



Fuente: elaboración propia.

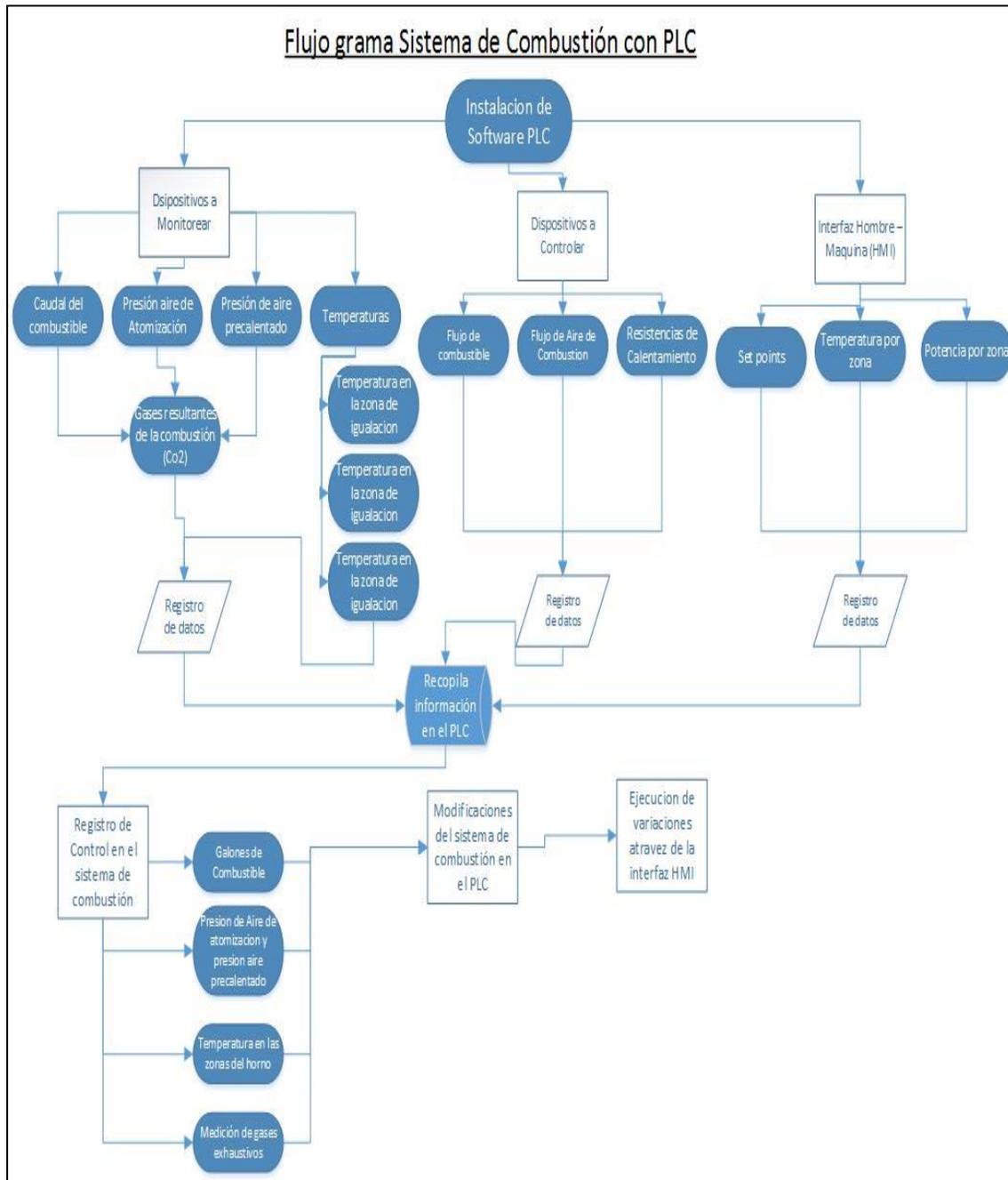
4.1. **Implementación de controlador lógico programable en sistemas de combustión**

El funcionamiento del PLC es un continuo ciclo cerrado, primero el sistema operativo inicia la vigilancia de tiempo de ciclo, después el CPU escribe los valores de imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida. A continuación, el CPU lee el estado de las entradas en los módulos de entrada y actualiza la imagen de proceso de las entradas, el CPU procesa el programa del usuario en segmentos de tiempo y ejecuta las operaciones indicadas en el programa, al final de un ciclo el sistema realiza las tareas pendientes, por ejemplo, carga y borrado de bloques.

Los PLC han ganado popularidad en las industrias y probablemente, continuarán predominando por algún tiempo, debido a las ventajas que ofrecen:

- Son un gasto efectivo para controlar sistemas complejos.
- Son flexibles y pueden ser aplicados para controlar otros sistemas de manera rápida y fácil.
- Su capacidad computacional permite diseñar controles más complejos.
- La ayuda para resolver problemas permite programar fácilmente y reduce el tiempo de inactividad del proceso.
- Sus componentes confiables hacen posible que pueda operar varios años sin fallas.
- Capacidad de entradas y salidas.
- Monitoreo.
- Velocidad de operación.

Figura 13. Flujo grama PLC



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

4.1.1. Instalación de interfaz de control computarizado

Para el funcionamiento del horno, el control de todos los dispositivos será realizado por un PLC, el cual recibe toda la información del estado de los dispositivos, que a él están conectados. Al PLC llegan las señales de todos los sensores que contiene el horno y todos los pulsadores para su control, el cual toma todas estas señales y las interpreta mediante el programa.

El PLC controla las secuencias de arranque de los ventiladores, los cuales por su característica de arranque y por la magnitud de la potencia de los motores, se necesitan un arranque especial, en el cual no se eleve la corriente a niveles peligrosos que puedan dañar el equipo, para esto se utilizaron arrancadores suaves los cuales brindan una característica en la señal de arranque.

El sistema LabVIEW brinda la facilidad de poder interpretar las señales del PLC en un entorno gráfico amigable, esto gracias a la facilidad que posee el sistema para comunicarse con los dispositivos electrónicos. En este caso se obtiene la información mediante RS-232. En una pantalla se puede visualizar el estado de los diferentes dispositivos en el horno, así como el comportamiento de la temperatura. Con esto se puede entender más a fondo el funcionamiento en el arranque y enfriamiento de horno y se tiene una ayuda para la detección de fallas durante el funcionamiento.

El software estándar de SIMATIC para crear programas PLC en lenguaje KOP (esquema de contactos), FUP (diagrama de funciones) o AWL (lista de instrucciones) para los equipos SIMATIC S7.

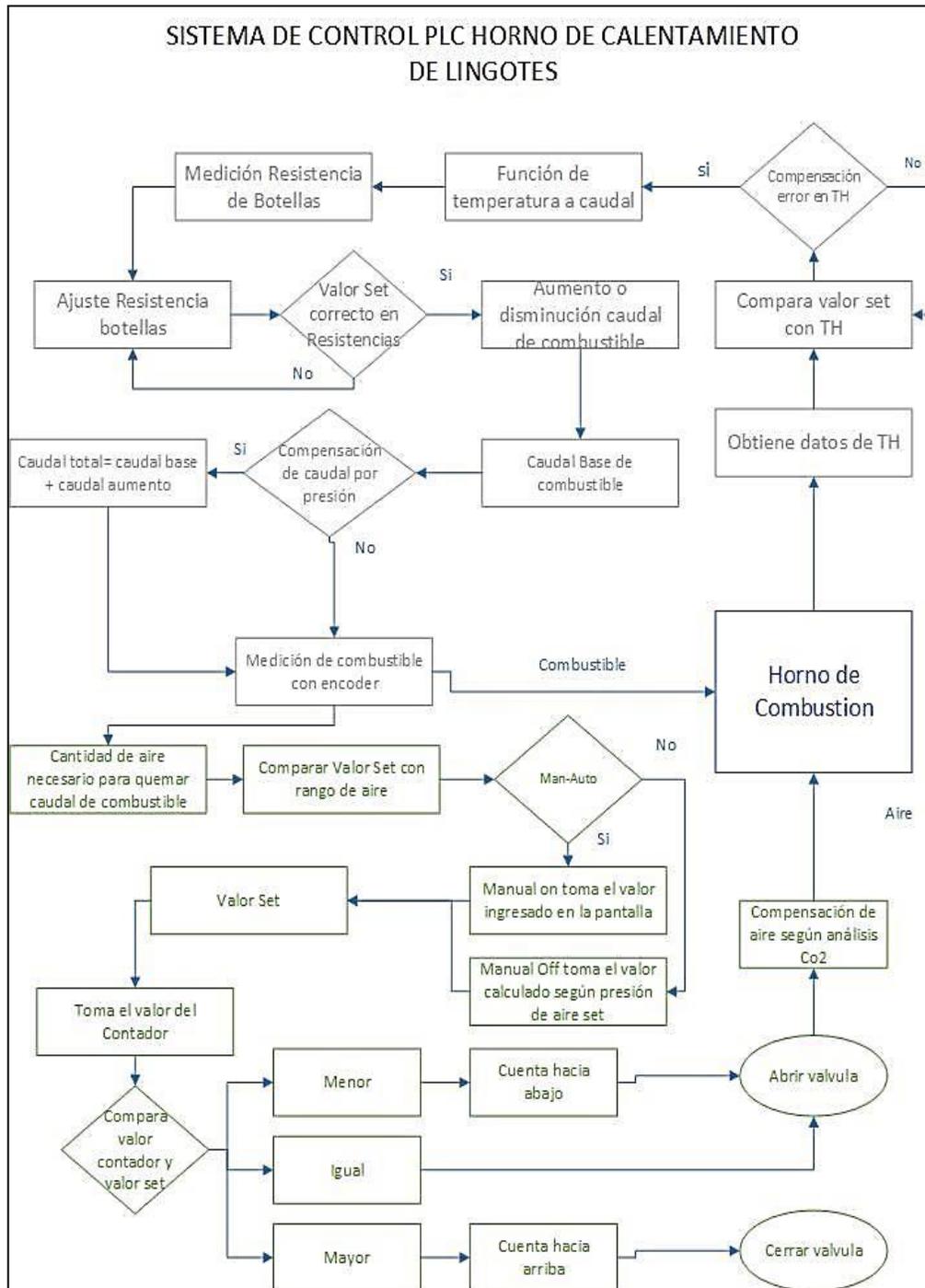
La representación del lenguaje de programación gráfico KOP (esquema de contactos) es similar a la de los esquemas de circuitos. Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y abiertos, se agrupan en segmentos. Uno o varios segmentos constituyen el área de instrucciones de un bloque lógico.

Las operaciones que realiza el PLC pueden clasificarse en operaciones con bits, comparación, conversión, aritméticas, de transferencia, temporización, contaje, entre otros. Cada segmento de un esquema de contactos (KOP) puede contener instrucciones de entrada y salida figura. Las instrucciones de entrada realizan una comparación o prueba y coloca el estado del segmento dependiendo del resultado. Las instrucciones de salida examinan el estado del segmento y ejecuta la operación y función correspondiente.

4.2. Sistema de registro control de combustión

A pesar de su enorme importancia, los sistemas de combustión son uno de los procesos con posibilidades más limitadas de regulación y control. Mientras que la sofisticación y capacidades de los sistemas de control de procesos han mejorado de forma espectacular, las posibilidades de regulación y ajuste de los quemadores industriales siguen siendo notablemente rudimentarias. En consecuencia, no se aprovechan los importantes beneficios que proporcionan los esquemas avanzados de control (incluyendo inteligencia artificial) en cuanto a optimización permanente del proceso, minimización de contaminantes, flexibilidad de operación.

Figura 14. Sistema de control



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

Este tanque tiene cuatro de estas resistencias calefactoras, posee una válvula de alivio, que ante una sobrepresión libera combustible hacia un depósito. De la salida de este tanque sale la tubería hacia el horno el cual posee cuatro resistencias calefactores colocadas dentro de cilindros metálicos cercanos a los quemadores, dos están colocados en paralelo para alimentar los quemadores frontales y una a cada costado para alimentar los grupos de quemadores laterales, en donde se les proporciona el calentamiento final de 150°C y después de estas va directamente hacia los quemadores de combustible.

4.2.1. Temperatura aire de calentamiento

El problema con el aire extra presente en el proceso es que este no permite aprovechar al máximo el calor producido por la combustión ya que este roba calor, alterando la temperatura de aire de calentamiento de manera que parte de la energía es dedicada a calentar el aire. Las grandes cantidades de oxígeno en el interior del horno, dadas por esta condición crean un ambiente muy corrosivo al chocar el oxígeno caliente con los materiales en el interior del horno provocando que la superficie del hierro por procesar salga con mucha cascarilla a causa de la corrosión, así como el desgaste de la estructura del horno.

El análisis del CO₂ da información acerca del estado de la combustión dentro del horno y permite obtener el tipo de llama óptimo para aumentar la eficiencia del proceso. Obteniendo la temperatura deseada con la menor cantidad de combustible.

4.2.2. Presión aire de calentamiento

El combustible que utiliza el horno es el comúnmente conocido como bunker, fuel oil, o “heavy oil # 6” este es un combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, generalmente, tiene un precio bajo en comparación con otros combustibles (residuo de la refinación). Por esto que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante, como las aplicaciones navales, la generación eléctrica, hornos de precalentamiento de lingotes en las acerías como en este caso y en otras industrias similares. Suele contener una presencia importante de asfáltenos, los cuales hacen indispensable su atomización para encenderlo; para realizar la atomización a este se le debe reducir la viscosidad.

Es de especial importancia el control de la viscosidad del bunker, la cual debe ser de aproximadamente 300 SSF a 50 °C, así como la ausencia de agua, ya que está en combinación con el azufre que, normalmente, viene en el combustible, y produce la denominada “corrosión en frío” la cual no es otra cosa que la formación de ácido sulfúrico y sulfhídrico, que corroe el metal de los escapes de la maquinaria que usa este tipo de combustibles. El poder calórico del bunker es una función directa del crudo de origen pero se puede establecer un promedio de 140 000 BTU/galón.

4.2.3. Presión aire de atomización

La cantidad de aire que será aportado a la combustión es la suma del aire de combustión y el de atomización, este será constante, la cantidad necesaria para mantener una óptima atomización del combustible. La válvula de mariposa reguladora de caudal se instalará en la línea de aire de combustión, ya que la mayor parte del aire hacia el quemador va con este fin. Como esta es una

tubería de gran diámetro es difícil encontrar un medidor de caudal de gases para estas condiciones, por lo tanto, se recurre a utilizar transductores de presión, los cuales son los que dan información acerca de cuánto aire está fluyendo hacia los quemadores.

Para mantener un flujo uniforme de aire a todos los quemadores, es indispensable que el flujo, sea turbulento no laminar.

4.2.4. Presión de combustible

Por las características del combustible y de la temperatura que se maneja, las bombas ideales en este caso son las bombas de engranes, las cuales por ser de desplazamiento positivo dan la característica de una cantidad de flujo constante por revolución, lo cual se aprovecha para medir la cantidad de combustible suministrado al horno. Las bombas hidráulicas son los mecanismos encargados de producir la presión hidráulica, hasta el valor nominal que necesita el sistema, de acuerdo con sus condiciones de diseño.

Estas bombas de engranajes internos disponen de dos engranajes, uno interno cuyos dientes miran hacia el exterior, y otro externo con los dientes hacia el centro de la bomba, el eje motriz acciona el engranaje interno. En este tipo de bombas existe, entre los dos engranajes, una pieza de separación en forma de media luna (semiluna). Esta pieza está situada entre los orificios de entrada y salida, donde la holgura entre los dientes de los engranajes interno y externo es máximo. Ambos engranajes giran en la misma dirección, pero el interno, al tener un diente más, es más rápido que el externo.

El fluido hidráulico se introduce en la bomba en el punto en que los dientes de los engranajes empiezan a separarse, y es transportado hacia la salida por

el espacio existente entre la semiluna y los dientes de ambos engranajes. El volumen contenido se consigue entre el extremo de los dientes y la semiluna; posteriormente, en el orificio de salida, los dientes de los engranajes se entrelazan, reduciendo el volumen de la cámara y forzando al fluido a salir de la bomba.

4.2.5. Temperatura de combustible

La temperatura del combustible es un factor importante ya que la viscosidad depende de esta, el combustible a temperatura ambiente tiene una alta viscosidad de esta forma es difícil de bombear y de efectuar una combustión eficiente y rápida al no poder atomizarlo. Para reducir la viscosidad del combustible, se precalienta hasta una temperatura de 100 °C a través de tres ciclos de calentamiento, primero en un tanque de almacenamiento una resistencia de 7,5 Kw. que funcionan con 440 V, calienta el combustible hasta unos 60 °C y luego es bombeada hacia un tanque de precalentamiento en el cual se almacena a presión a 150 psi.

4.2.6. Temperatura de zona

Con la automatización de horno se pretende conocer lo que pasa dentro del horno y sus propiedades, lo principal en este caso serían las termo coplas del horno las cuales serían las encargadas de mandar señales al PLC. Se colocarán tres termo coplas para monitorear la temperatura en el área de igualación, calentamiento y precalentamiento dentro del horno.

Al conocer la temperatura ideal de funcionamiento del horno se procura llevar la temperatura de este a su punto, controlando el caudal a través de

variaciones en la bomba de combustible y a través de la apertura de válvulas de mariposa motorizadas que regulan el aire de combustión en el horno.

4.2.7. Presión interna de horno

El caudal de combustible es importante conocerlo ya que está directamente relacionado con la presión interna del horno. El necesitar un aumento o disminución de presión interna del horno se relaciona proporcionalmente con el aumento o disminución de combustible inyectado al horno. Este será regulado por medio del control de la velocidad del motor de la bomba, a través de variadores de frecuencia. El caudal de combustible es, en particular, difícil de medir por sus condiciones y, que a baja temperatura es altamente viscoso, y para reducir su viscosidad se lleva a altas temperaturas, las cuales están fuera del rango de medición de los sensores comunes. Por estas causas la medición del caudal de combustible se realiza de manera indirecta, contando los desplazamientos angulares del motor de la bomba.

4.2.8. Temperatura del gas en chimenea

Se analizará la temperatura de gas chimenea con el propósito de monitorear la cantidad de CO₂ en el aire, que es la que da el estado de la combustión. Para una combustión eficiente, la mezcla del oxígeno contenido en el aire y el carbono contenido en el combustible debe ser la ideal. En caso de ser una mezcla desbalanceada, suceden diferentes situaciones: al haber más carbono que oxígeno en la mezcla, o sea que la cantidad de aire no es la suficiente para producir la combustión de todo el combustible, se le llama una mezcla rica o una combustión reductora, la cual se caracteriza por la aparición de humo negro, debido a la combustión incompleta.

4.2.9. Cantidad de oxígeno en chimenea

En el aire de combustión se aporta la mayor parte del oxígeno necesario para mezclarse con el carbono y producir la combustión, el resto del oxígeno proviene del aire de atomización y otra parte proviene de otras aperturas del horno del cual se succiona aire por el ventilador de tiro forzado de la chimenea.

El empuje de gases hacia la atmósfera está dado por una mezcla de tiro natural y tiro forzado. En el tiro natural se aprovecha el efecto de empuje de Arquímedes que sufren los gases calientes rodeados por otros, más fríos. La chimenea contiene una columna de humos calientes, rodeada de aire a una temperatura ambiente inferior. El empuje o tiro se calcula por la diferencia del peso de ambas columnas, de altura igual a la de la chimenea.

La forma más sencilla de estimar esta diferencia consiste en considerar las dos columnas como de aire a temperaturas distintas pero uniformes. Para la columna caliente, la temperatura será la de entrada de los humos en la chimenea, menos una cantidad por pérdidas, que puede estimarse en unos $0,08\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ y para el aire ambiente se utiliza la temperatura de este a nivel del suelo. El ventilador de tiro forzado impulsa los gases hacia la chimenea para su dispersión en el aire ambiente.

Este ventilador debe ser resistente a las temperaturas y agresiones de los componentes de los humos, e impulsarlos a la chimenea, cuya altura ahora depende exclusivamente de los condicionantes de contaminación.

4.2.10. Cantidades de dióxido de carbono en chimenea

Los gases de la combustión calientes salen de proceso a través de un túnel subterráneo, que es en donde chocan con el intercambiador de calor, este túnel de 25 metros de largo finaliza en la entrada de un ventilador de tiro forzado, impulsado por un motor de 150 HP, que crea una presión negativa que hace que todos los gases del horno se dirijan hacia la chimenea.

Este ventilador ayuda también a aportar oxígeno a la combustión, ya que al crear la presión negativa dentro del horno permite el flujo de aire hacia el interior a través de cualquier espacio que encuentre disponible como la compuerta de deshornado y extracción de lingotes, además de esto, permite la forma alargada de las llamas al dirigir el flujo de aire hacia el fondo del horno.

4.3. Recopilación e intercambio de información

El sistema de supervisión tiene que conocer la ubicación de la variable de la que desea tener la información, en el PLC estará la información de todos los dispositivos conectados al sistema de control del horno. Este sistema de supervisión lo estará interrogando para mostrar en pantalla el estado de los dispositivos y variables en el horno, las distintas variables a las que maneja el PLC en sus entradas y salidas.

4.4. Interfaz hombre- máquina (HMI)

Una interfaz de usuario asistida por ordenador, actualmente una interfaz de uso, también conocida como interfaz hombre-máquina (HMI), forma parte del programa informático que se comunica con el usuario.

En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (*software* o *hardware*) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo"⁴. La interfaz de usuario / interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina.

Para que una interfaz hombre-máquina (HMI) sea útil y significativa para las personas, debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades. Por ejemplo, programar un robot para que encienda la luz sería demasiado complicado y un interruptor en el techo no sería práctico para una luz en un sótano.

Pensando sistemáticamente, la interfaz del usuario es una de las interfaces hombre-máquina (HMI): hombre ↔ interfaz hombre - máquina ↔ máquina. Distintas ciencias se dedican a este tema, como TI, la investigación cognitiva y la psicología. El conocimiento básico para un diseño de interfaz que le resulte fácil de utilizar al usuario se recoge en la disciplina científica de la ergonomía. Las áreas de actividad en sí son la ergonomía cognitiva, la ergonomía de sistemas y la ergonomía del software (ingeniería del uso).

La finalidad de la interfaz hombre-máquina consistirá en el complemento que deberá existir entre el PLC y el equipo de trabajo que interrelacionen con él, desde el operario encargado del horno hasta el supervisor encargado de monitorear los datos de entrada y salida como la autorización de las modificaciones de un turno a otro de las variables de medición y control.

⁴ ISO 9241-110. *Secretaría de Economía*. file:///C:/Users/USER/Downloads/seeco_05oct11.pdf. Consulta: octubre de 2015.

4.4.1. Supervisión encendido de horno

Secuencia de arranque del horno:

- Al estar los dispositivos del horno apagados, se acciona el botón de encendido.
- Al entrar en estado de inicio, primero se cierran las válvulas de aire de modo que al arrancar los ventiladores de combustión, estos arranquen con una carga mínima y no se fuerce su arranque evitando esforzar los aislamientos internos de motor y picos muy altos de corriente, también en este punto se deben encender las resistencias calefactoras de combustible para reducir la viscosidad de este y facilitar el bombeo.
- Se procede a encender el motor de la chimenea y de los ventiladores.
- Luego de haber culminado el período de arranque de los ventiladores y el amperaje de los motores de estos logre un estado estabilizado, se procede a abrir la válvula de aire, añadiendo carga a los ventiladores.
- Con las válvulas de aire abiertas y los ventiladores encendidos se encienden la bombas de combustible y aparece la llama en los quemadores, en este punto entra a funcionar el sistema de control de temperatura buscando el *set point*.

4.4.2. Supervisión medio turno de operación de horno

Estado de baja producción o paro en la planta. Al estar la planta con una producción baja o que se pare la producción momentáneamente, la tasa a la que salen los lingotes de acero del horno se reduce drásticamente haciendo que estos permanezcan más tiempo del debido dentro del horno, las consecuencias de esto llevan a los lingotes apegarse unos con otros y a dificultar su extracción del horno.

Además de esto es un gasto innecesario de combustible. Al estar la planta durante cierto tiempo en paro o con una baja producción el *set point* del horno se deberá mantener a una temperatura menor en la que no le cueste retomar la temperatura de producción y que ahorre combustible cambiando el Set Point a un 75 % de la temperatura antes del paro, reduciendo la velocidad de las bombas de alimentación de combustible y reduciendo la carga de los ventiladores al cerrar la válvula de regulación de aire.

La transferencia de calor es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo está a una temperatura diferente a la de su entorno o a la de otro cuerpo, la transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. Como resultado del segundo principio de la termodinámica, la transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío.

Así mismo, cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta. Las tres formas básicas de transferencia de calor son tres: conducción, convección y radiación.

- **Conducción:** es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica.
- **Convección:** en este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica

entre dos zonas. La transmisión de calor por convección puede ser forzada a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y este transporta el calor hacia la zona fría.

- En la convección al natural: el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.
- Radiación: es el calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura, en este caso no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente por existir un cuerpo A (sólido o líquido) a una temperatura mayor que un cuerpo B existirá una transferencia de calor por radiación de A - B.

4.4.3. Supervisión apagada de horno

Apagado del horno: se apagan las bombas de combustible primero, luego los ventiladores, esto para evitar que el combustible llegue al horno sin suficiente oxígeno, derramándose por las compuertas del horno, generando así situaciones de peligro.

Enfriamiento horno: en el enfriamiento del horno se dejan los ventiladores y la chimenea encendida con las válvulas abiertas al máximo, para hacer circular aire frío por el horno, disminuyendo la temperatura lo más rápido, con el objeto de reducir el tiempo necesario en realizar un mantenimiento y que el operario no corra ningún riesgo al realizarlo.

5. SEGUIMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

5.1. Análisis estadísticos de resultados

A continuación se presentan los resultados proyectados sobre el seguimiento del sistema de combustión, como resultado de la implementación del controlador lógico programable. El objetivo de esta proyección consiste en determinar los suministros óptimos de las variables analizadas, que se describen a continuación:

- La media de combustible suministrado por hora
- Los rangos de aire precalentado suministrados por hora
- Los límites de aire de atomización suministrados por hora
- El nivel de oxígeno en la combustión
- El promedio de gases exhaustivos por hora
- El promedio de cantidad de lingotes calentado por hora
- La temperatura óptima en las zonas del horno

Es importante señalar que de no obtener resultados satisfactorios se procedería a la aplicación de controles correctivos para localizar las fallas en el sistema propuesto.

5.1.1. Cantidad de combustible por hora

Un operario de embarque será el encargado de medir cada sesenta minutos la cantidad de combustible, este será regulado por medio del control de la velocidad del motor de la bomba, a través de variadores de frecuencia.

Tabla IX. **Combustible por hora**

Hora de medición	Unidades (decagalones)
8:00 A. M.	24,2
9:00 A. M.	24,1
10:00 A.M.	23,8
11:00 A.M.	23,9
12:00 P.M.	24,1
13:00 P.M.	24,2
14:00 P.M.	23,7
15:00 P. M.	24,1
16:00 P. M.	24,0
17:00 P.M.	23,9
18:00 P.M.	24,1
19:00 P.M.	24,0
Cantidad promedio	24,01

Fuente: elaboración propia.

Es importante resaltar que se utilizan 24,0 unidades por hora trabajando varilla de perfil k345.

5.1.2. Cantidad de oxígeno suministrado por hora

La cantidad de oxígeno suministrado es una variable relevante. La cantidad de CO₂ a la salida del horno da la información del equilibrio de la combustión, para buscar una mezcla de oxígeno carbono ideal. Se debe conocer la cantidad de combustible que se está suministrando al horno ya que este hecho está directamente relacionado con la combustión y según la cantidad de combustible que se suministre se calcula la cantidad de oxígeno otorgado por el aire de atomización y combustión.

Tabla X. **Oxígeno por hora**

Hora de medición	Cantidad de oxígeno
08:00 A.M.	19,5 onzas
09:00 A.M.	19,8 onzas
10:00 A.M.	20,0 onzas
11:00 A.M.	20,2 onzas
12:00 P.M.	20,3 onzas
13:00 P.M.	20,4 onzas
14:00 P.M.	20,5 onzas
15:00 P.M.	20,6 onzas
16:00 P.M.	20,5 onzas
17:00 P.M.	19,9 onzas
18:00 P.M.	19,6 onzas
19:00 P.M.	19,5 onzas
Cantidad promedio	20,07 onzas

Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Cantidad de toneladas de lingote calentadas por hora

Para determinar la cantidad lingotes por hora, hay que considerar que al ingresar al horno pasan por una estructura diseñada para suministrar al horno en la línea de la cortadora, ya que los mismos traen una longitud menor a los 16 metros, la cortadora los modifica a una longitud de 4 metros que es la diseñada para el horno de calentamiento. La estructura tiene la capacidad de almacenar lingotes en su parte superior. En caso de tener atrasos estos pueden ser ingresados al horno o ser almacenados.

El elemento principal de la carga del horno es el pistón hidráulico el cual realiza la tarea de empujar los lingotes en el horno, ejerciendo este un gran esfuerzo al empujar hasta 170 lingotes de acero, con una carrera de 90 centímetros, para su ciclo de trabajo.

5.1.4. Cantidad de gases exhaustivos emitidos por hora

La mezcla de aire debe mantenerse entre 20 % de oxígeno y 5 % de dióxido de carbono, cantidad necesaria para mantener en una temperatura constante en las tres zonas del horno. Esta cantidad se regulará y medirá a través de una llave tipo mariposa una vez por hora para saber qué porcentaje se otorga a la totalidad de aire consumido por el horno.

5.2. Registro histórico a partir de la implementación sistema de combustión

Un registro histórico cumple la función de dejar plasmado uno o varios parámetros sobre la medición que se realiza con la implementación de un control lógico programable. Siguiendo este orden de ideas se procedió a utilizar un simulador, es decir, un software diseñado para prever la cantidad de suministros de las variables mencionadas anteriormente, basados en el análisis estadístico de resultados. A continuación se presentan los datos:

5.2.1. Aire precalentado

Tomando como base el simulador se tuvo como resultado que la cantidad óptima sería de 6 onzas laterales constantes por cada quemador y 3 onzas frontales constantes por cada quemador, durante el turno que dura 12 horas de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.

5.2.2. Aire de atomización

Basándose en el simulador se obtuvo que, la cantidad de aire de atomización fuera de 20 onzas constantes durante 12 horas.

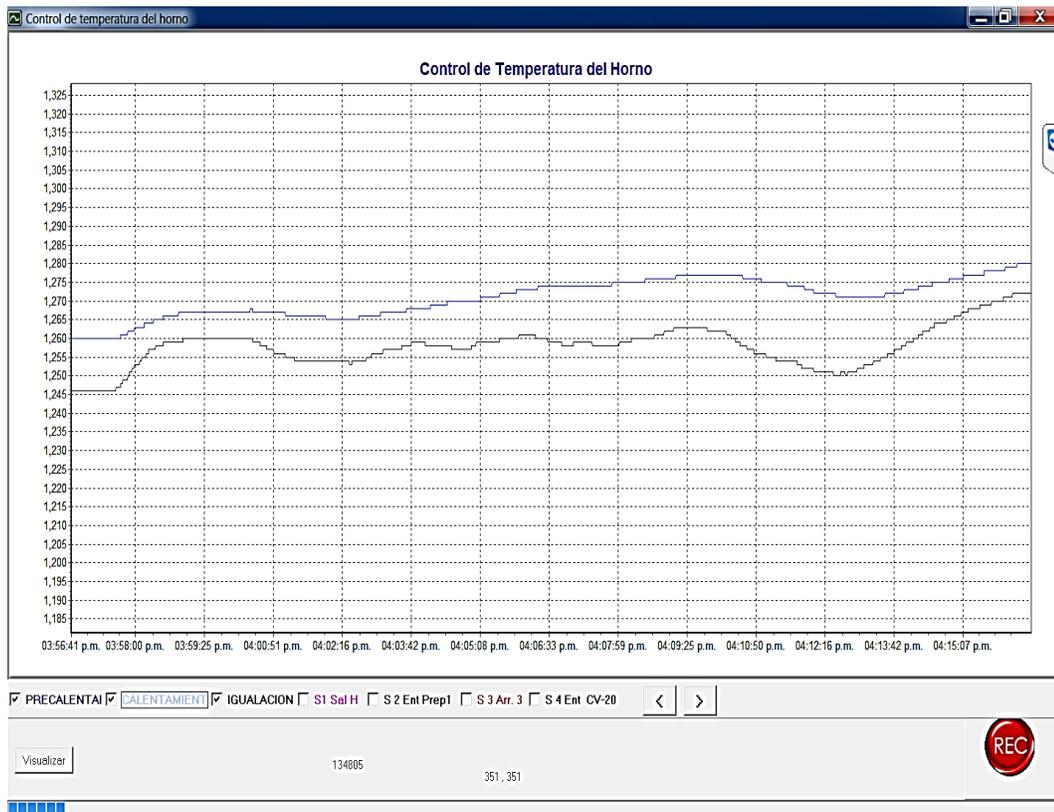
5.2.3. Combustible

En relación a la cantidad de lingotes que se necesita calentar en el turno de 12 horas, el simulador dio como resultado que se necesitarían 23,0 unidades de combustible por hora.

5.2.4. Temperatura zona de calentamiento del horno

A continuación se describe el control de la temperatura del horno. Ver figura 15.

Figura 15. Control de temperatura del horno



Fuente: elaboración propia.

El proceso será de la misma forma que la temperatura obtenida por los termo coplas del horno, que envían una señal interpretada por el módulo Fx2n-2LC del PLC que dará en un registro del PLC la temperatura en grados centígrados. Como resultado dará una lectura aproximada de 1 260 grados centígrados para varilla K-345.

5.2.5. Temperatura zona de precalentamiento del horno

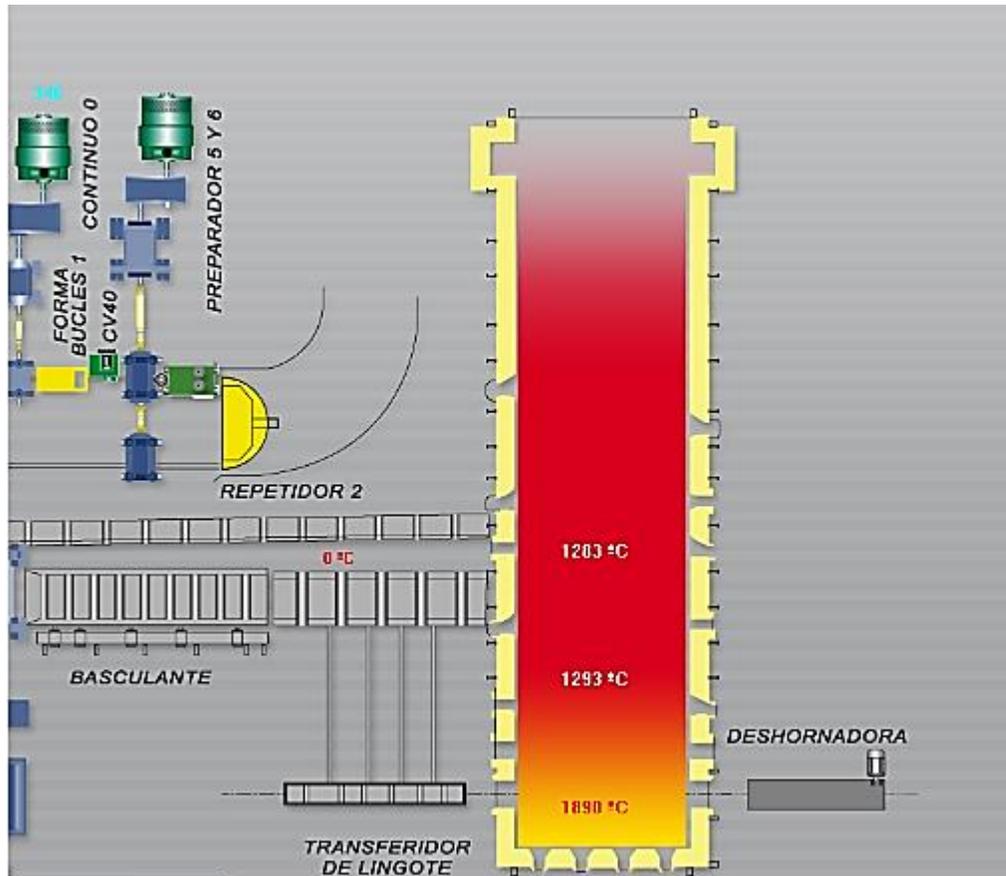
El proceso será de la siguiente manera: la temperatura obtenida por los termo coplas del horno, envían una señal interpretada por el módulo Fx2n-2LC del PLC que dará en un registro del PLC la temperatura en grados centígrados.

El resultado será una lectura aproximada de 1 263 grados centígrados, para varilla K-345.

5.2.6. Temperatura zona de igualación del horno

El proceso será de la misma forma: la temperatura obtenida por los termopares del horno, que envían una señal interpretada por el módulo Fx2n-2LC del PLC dará en un registro del PLC la temperatura en grados centígrados. Se resultado será una lectura aproximada de 1 244 grados centígrados, para varilla K-345.

Figura 16. **Control temperatura zonas del horno**



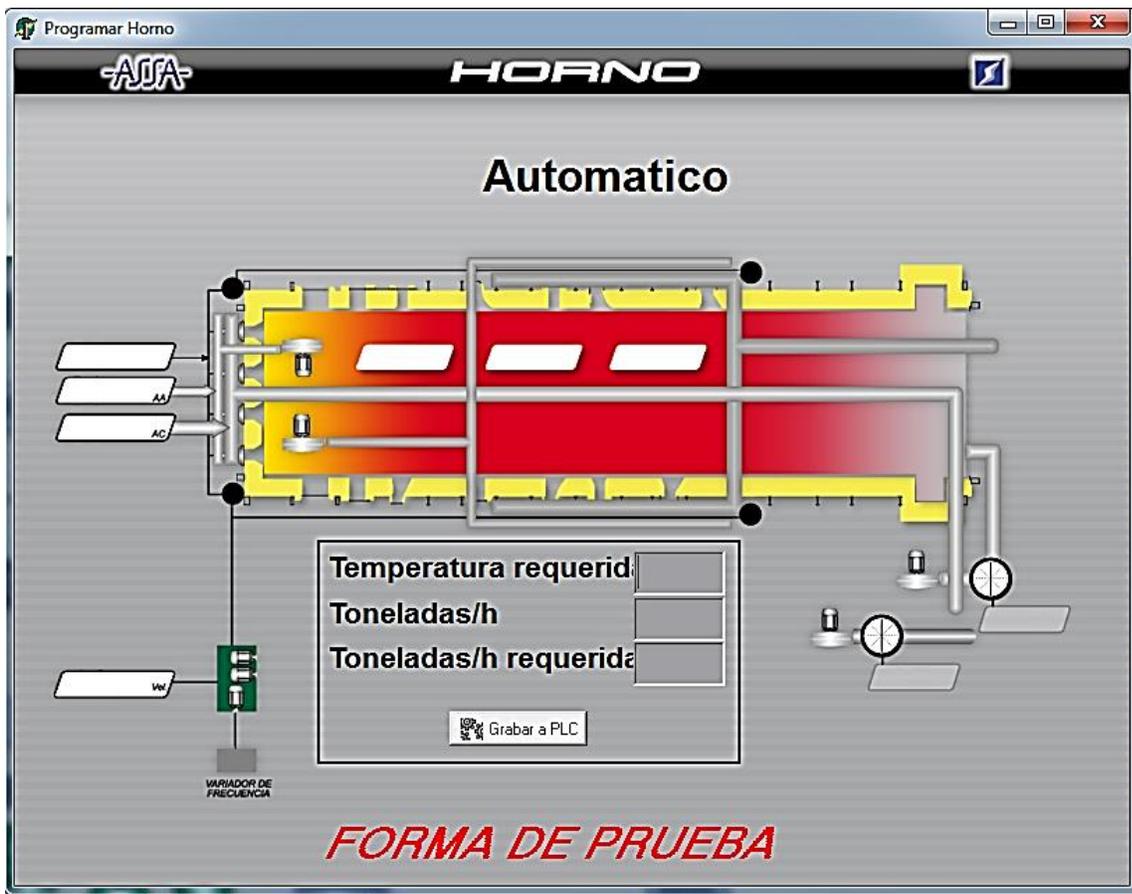
Fuente: elaboración propia.

5.2.7. **Análisis de oxígeno**

El análisis de oxígeno es fundamental en el análisis de la combustión dentro del horno, ya que según su porcentaje se determinará la eficiencia o ineficiencia en la mezcla. El aire es la fuente de oxígeno en la mayoría de los reactores de combustión debido a su costo, ya que el costo del aire es menor que el de los combustibles. Para determinar el análisis de combustión, la

composición del aire seco se considera como 79 % en volumen de N₂ y 21 % en volumen de O₂.

Figura 17. Diagrama análisis de oxígeno



Fuente: elaboración propia.

5.2.8. Análisis de dióxido de carbono

Este parámetro es fundamental en el proceso de combustión ya que el resultado de esta medición contribuirá directamente en la reducción de la emisión de gases exhaustivos, es decir, en la disminución de la contaminación

ambiental. Una combustión completa, donde el combustible y el oxígeno se queman por completo solo produce CO_2 y H_2O .

El proceso de combustión muy pocas veces se lleva a cabo y entonces surge el CO y, consiguientemente aparece O_2 , por lo mismo hay que tener en cuenta que la aparición de los mismos es porque al no completarse la combustión siempre queda algo sin quemar.

Los valores normales que se obtienen a partir de la lectura de un simulador y analizador de gases serían los siguientes:

$\text{CO} < 2 \%$ $\text{O}_2 < 2 \%$

$\text{CO}_2 > 5 \%$ $\text{HC} < 400 \text{ ppm}$.

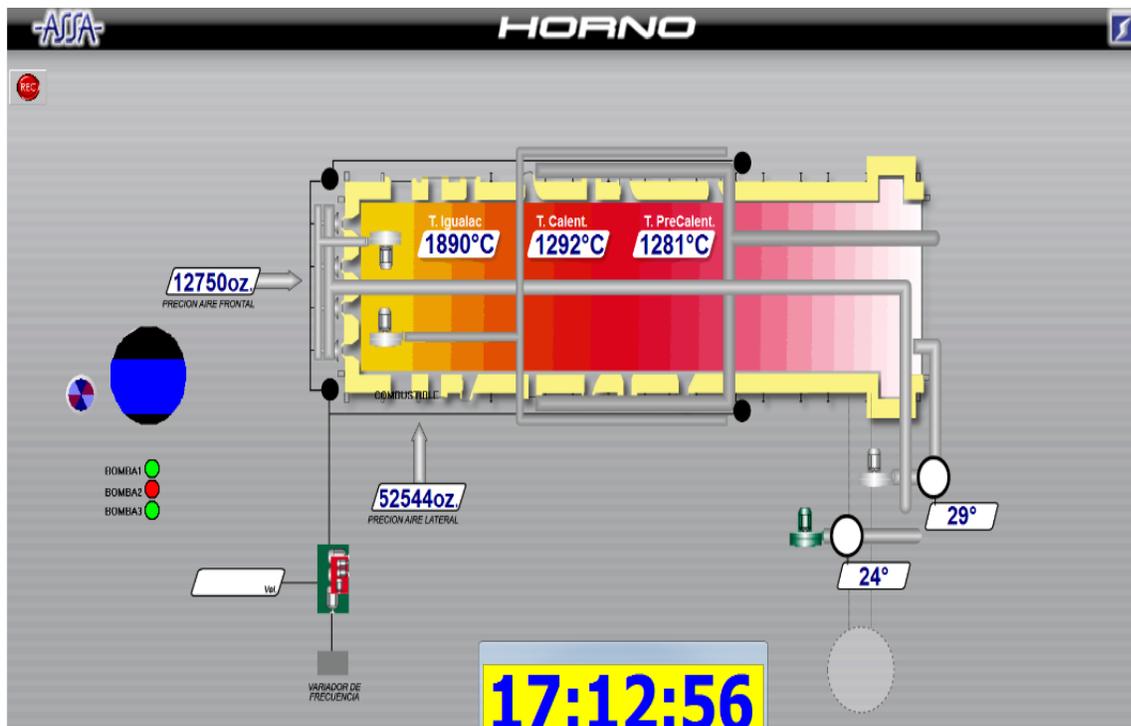
5.3. Mejora del sistema de registro control de combustión

Considerando que la propuesta planteada es implementar un controlador lógico programable, que alcance las metas establecidas por el simulador, es decir, que los datos teóricos se alcancen en un alto porcentaje en la práctica, se procederá a estandarizar las mediciones obtenidas en las variables analizadas anteriormente, por el simulador.

El proceso de combustión para que sea eficiente debe poseer un equilibrio en las tres variables que lo conforman, el oxígeno (aire de atomización), el combustible, (bunker) y la temperatura (aire precalentado). La combinación de la mezcla ideal de estos tres elementos da como resultado una combustión óptima que para la empresa objeto de estudio representaría una optimización de costos al disminuir el suministro de combustible.

A continuación se presentan los parámetros de los tres elementos analizados.

Figura 18. Sistema registro control de combustión



Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Parámetro de suministro de aire de atomización

El aire atomizado es destinado para crear una atomización uniforme del combustible y obtener una combustión eficiente e instantánea al entrar en el horno y evitar una mala mezcla, por exceso de carbono en algunas regiones, y en otras por demasiado combustible. Oscila entre 18 y 22 onzas, según el parámetro establecido.

5.3.2. Parámetro de suministro de combustible

El control en la medición del nivel de combustible se realiza por medio del variador de frecuencia el cual puede realizar un cálculo preciso de la cantidad de combustible por introducir al horno y la temperatura que debe llevar. La temperatura es determinada por un sensor incluido en el interior de las botellas. Estos sensores llevan una resistencia sensible a la temperatura con un coeficiente negativo de temperatura NTC. El número de rpm que gira el motor es uno de los principales factores que la unidad de control tiene en cuenta a la hora de calcular la cantidad de combustible, por lo cual se transforman los giros por medio del encoder como impulsos dirigidos hacia el software del PLC, convirtiendo esta información en un parámetro para las mediciones óptimas de combustible suministrado al horno de calentamiento de lingotes. También tendrá la función de detectar si el volumen de combustible es menor al ingresado en el PLC o reducir el exceso de combustible si se presenta un paro en la producción.

5.3.3. Parámetro de suministro de aire de precalentamiento

El suministro de aire de precalentamiento se introduce al horno por medio de los quemadores que se ubican estratégicamente de forma lateral y frontal, para que la combustión sea eficiente. El parámetro establecido sería de 2 a 6 onzas en los quemadores frontales; de 4 a 8 onzas, en los quemadores laterales, estos datos se refieren a los perfiles k345 k 340 pk345. Cabe recalcar que dichos datos son tomados con los parámetros de las tablas *fives north american*. Por el modelo de quemadores que se utiliza en el horno de calentamiento, en específico es el modelo 5514.

Figura 19. **Parámetro de suministro de aire de precalentamiento**

Total air capacities (including main and atomizing air)							
Burner designation	16 osi air pressure drop across the burner			24 osi air pressure drop across the burner			Approx. flame lengths with 16 osi main air (in open furnace)
	Air [ⓐ] scfh	Light oil [ⓑ] gph	Heavy oil [ⓒ] gph	Air scfh	Light oil gph	Heavy oil gph	
5514-6	17 900	13	12	21 900	16	15	5'
5514-7	28 400	21	19	34 800	26	23	5' - 6'
5514-8-A	48 900	36	33	60 000	44	40	8' - 9'
5514-8-B	81 500	60	54	100 000	74	67	9' - 12'
5514-9	165 000	122	110	202 000	150	135	15' - 18'
5514-10	247 000	183	165	303 000	224	202	20'

[ⓐ] For Btu/hr, multiply by 100
[ⓑ] Light oil at 135 000 Btu/gal.
[ⓒ] Heavy oil at 150 000 Btu/gal.

Burner designation	Main air capacities in scfh						Atomizing air capacities in scfh					
	Air pressure drop across the burner in osi						Air pressure drop across the burner in osi					
	1	5	6	8	12	16	14	16	18	20	22	24
5514-6	3 710	8 300	9 100	10 500	12 900	14 900	2 800	3 000	3 180	3 360	3 510	3 660
5514-7	6 100	13 600	15 000	17 200	21 000	24 400	3 770	4 030	4 270	4 500	4 720	4 900
5514-8-A	10 600	23 700	26 000	30 000	36 700	42 400	6 050	6 500	7 000	7 300	7 600	7 850
5514-8-B	17 600	39 200	43 000	49 600	60 500	70 000	10 600	11 300	12 000	12 700	13 200	13 800
5514-9	36 600	82 000	89 500	104 000	127 000	146 000	17 200	18 400	19 600	20 700	21 600	22 500
5514-10	54 500	122 000	135 000	154 000	189 000	218 000	27 200	29 100	30 900	32 600	34 100	35 500

Fuente: *Fives North American.*

CONCLUSIONES

1. El proceso de combustión para el calentamiento de lingotes posee sistemas diversos dentro del horno, de los cuales se debe conocer con detalle la información del estado de las tres variables principales: aire precalentado, aire de atomización y el combustible búnker. El énfasis recae en este último para que la mezcla sea idónea, lo cual resultará en un aumento de la eficiencia de recursos durante este proceso.
2. Mediante el análisis realizado se observó que las características para una mezcla idónea en el proceso de combustión deberán cumplir con los parámetros siguientes: el aire precalentado debe tener la temperatura por zona requerida por el PLC. El aire de atomización ha de suministrarse con la presión parametrizada constante durante el proceso, y por último, el combustible será bombeado con la temperatura y caudal programado.
3. Se estableció que los límites de suministros son necesarios para que una mezcla sea equilibrada y se logre una combustión eficiente dentro del horno. El resultado es una optimización en la operación de los sistemas involucrados en el suministro del aire de los quemadores, el aire de combustión y la alimentación de combustible. Lo anterior permite una combustión eficiente y se reduce la producción de gases exhaustivos (CO).
4. Al emplear los dispositivos de gases exhaustivos dentro del horno como mitigación a todas las emisiones de gases nocivos se controlan los niveles de oxígeno, dióxido de carbono dentro del horno y de los gases

resultantes en la chimenea. Esto reducirá significativamente todas las emisiones de dióxido de carbono al ambiente, y será resultado de la combustión eficiente del horno de calentamiento de lingotes.

RECOMENDACIONES

1. Realizar reuniones mensuales para exponer acerca de los registros y comparar la información de las jornadas que se producen en el proceso de combustión, a fin de observar con detalle las posibles variaciones en el calentamiento del lingote dentro del horno, así como la mejora de la eficiencia en la combustión midiendo los niveles de oxígeno y carbono.
2. Utilizar el controlador lógico programable para disminuir el uso excesivo de combustible cuando se presente una falla. Si esto ocurre, cortar inmediatamente el caudal de combustible, también para controlar la temperatura del aire precalentado y la presión del aire de atomización.
3. Capacitar a los operarios para trabajar dentro de los límites propuestos de suministro, hasta que se puedan declarar como mediciones estándares para obtener una combustión eficiente y así reducir al máximo la emisión de gases exhaustivos al ambiente.
4. Para que la empresa disminuya costos debido a la combustión deficiente que existía, se recomienda invertir en los dispositivos de gases exhaustivos de las variables de combustión dentro del horno ya que utilizando el PLC en conjunto con ellos, habrá un ahorro significativo. Así en cada jornada de trabajo se eliminarán los excesos de combustible, aire de atomización y aire precalentado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Academia Online. *Gases de combustión*. [en línea]. <<http://www.academiatesto.com.ar/cms/?q=gases-de-combustion>> [Consulta: 26 de febrero 2015].
2. American Foundrymen's Society. *El Horno de cubilote y su operación*. México: Continental, 1977. 410 p.
3. BIEDERMANN A. y HASSEKIEF L. M. *Fundición del hierro y del acero*. Argentina: Macagno, Landa y Cía. 1957. 357 p.
4. Centro guatemalteco de producción más limpia. *Introducción a los conceptos y prácticas de producción más limpia*. Guatemala: CGP+L, 2009. 54 p.
5. DEL RÍO, Jesús. *Conformación plástico de materiales metálicos en frío y caliente: forja, laminación, extrusión*, España: CIE- Dossat 2000-2005. 655 p.
6. DEL VALLE ROSALES, Sebastián. *"Determinación de la eficiencia termodinámica máxima y de combustión de la estufa mejorada Doña Justa"*. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, 2005. 187 p.
7. LEE MORALES, Jennifer. *Opciones de producción más limpia para empresas avícolas, lácteas y hoteleras*. Universidad de San

Carlos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, 2012. 315 p.

8. NORTH AMERICAN COMBUSTION HANDBOOK; *Volume: I, II, A basic reference on the art and science of industrial heating with gaseous and liquid fuels*. 3a. ed. EEUU: North American Manufacturing, 1978. 512 p.
9. Thermal Ceramics Centroamérica, S.A. *kaowool ceramic fiber products. catálogo de productos*. Guatemala: Refractarios Nacionales, 1989. 25 p.
10. WELTY, James R. *Transferencia de calor aplicado a la Ingeniería*. México: Limusa, 1981. 421 p.