



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

**PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN
BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN
SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**

Kevin Ernesto Guarcas González

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN
BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN
SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KEVIN ERNESTO GUARCAS GONZÁLEZ
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Bladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN SIDERÚRGICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 4 de noviembre de 2019.

Kevin Ernesto Guarcas González



Guatemala, 20 de enero de 2022
REF.EPS.DOC.20.01.22

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **KEVIN ERNESTO GUARCAS GONZALEZ, Registro Académico No. 201113939** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN SIDERÚRGICA DE GUATEMALA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Anibal Chicojaj Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



NISZ/ns

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 08 de febrero de 2022
REF.EPS.D.35.01.2022

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

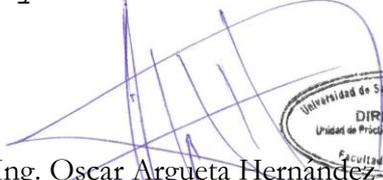
Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTADO DE PALANQUILLAS UBICADO EN SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Kevin Ernesto Guarcas González** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.021.2022

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN BUNKER PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN SIDERÚRGICA DE GUATEMALA** del estudiante **Kevin Ernesto Guarcas González, CUI 2116340770101, Reg. Académico No. 201113939** y habiendo realizado la revisión de Escuela se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Revisor
Coordinador Área Complementaria

Guatemala, febrero de 2022

/aej

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.064.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**, presentado por: **Kevin Ernesto Guarcas González**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.158.2022

La Decana 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, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA EN BUNKER, PARA HORNO DE RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS UBICADO EN SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**, presentado por: **Kevin Ernesto Guarcas González**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por cuidar de mi a lo largo de toda mi vida, y bendecirme con la oportunidad de formar mi vida profesional.

Mis padres

Manuel Guarcas y Olga González, por todo el amor, esfuerzo, apoyo, dedicación y sacrificio con el que me han acogido durante toda mi vida, por enseñarme a luchar por mis sueños y seguir adelante a pesar de todas las adversidades. sin sus consejos llenos de amor y sabiduría no sería la persona que soy el día de hoy, ustedes son mi mayor inspiración y mi razón de vivir.

Mi madrina

Yolanda González por ser mi amiga, me tomaste de la mano y me enseñaste a explotar mis capacidades, a creer en mí, pero principalmente a mantener los pies sobre la tierra, has sido un pilar imprescindible en mi crecimiento personal y profesional.

Mis hermanos

Juan Manuel e Ingrid Guarcas, por cuidar de mi cuando lo necesité, por su amor incondicional y por sus consejos.

Mi familia

Por todo el apoyo moral que me dieron cuando creía que ya no podía culminar mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindar una oportunidad a todos los guatemaltecos de poder adquirir conocimientos superiores.
Facultad de Ingeniería Siderúrgica de Guatemala	Por abrir sus puertas, y darme todas las herramientas que permitieron mi formación profesional.
Ingeniero Walter Pérez	Por brindarme la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación en sus instalaciones, y darme todas las herramientas para el desarrollo del mismo.
Mis amigos	Por compartir sus conocimientos y guiarme en el desarrollo del proyecto dentro de siderúrgica de Guatemala, Dios lo bendiga a usted y su familia.
	Por esos momentos que vivimos a lo largo de nuestra carrera universitaria, y por ser la familia que Dios me dejó escoger.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores	3
1.1.6. Organigrama.....	4
1.2. Descripción del problema	5
1.3. Definiciones básicas del proceso	6
1.3.1. Laminación en caliente	6
1.3.1.1. Precalentamiento.....	7
1.3.1.2. Tren laminador.....	8
1.3.1.3. Tren desbaste.....	8
1.3.1.4. Laminado o tren intermedio	8
1.3.1.5. Tren acabador	9
1.3.1.6. Enfriado	9
1.3.1.7. Empaque y amarre	9

1.3.2.	Horno.....	9
1.3.2.1.	Horno de recalentamiento	10
1.3.3.	Equipo auxiliar del Horno Bendotti	11
1.3.3.1.	Equipo de empuje	11
1.3.3.2.	Equipo final de calentamiento	13
1.3.3.3.	Quemadores.....	14
1.3.4.	Separadora centrífuga Alfa Laval	15
1.3.4.1.	Principios básicos de la separación	16
1.3.4.2.	Separación por gravedad	16
1.3.4.3.	Separación centrífuga	17
1.3.4.4.	Densidad	17
1.3.4.5.	Viscosidad.....	18
1.3.4.6.	Temperatura.....	19
1.3.4.7.	Diseño y funcionamiento	19
1.3.4.8.	Transmisión de potencia mecánica	20
1.3.4.9.	Freno	21
1.3.4.10.	Contador de revoluciones.....	21
1.3.4.11.	Mirilla de para brisas	21
1.3.4.12.	Dispositivo de entrada y salida.....	22
1.3.4.13.	Separador y mecanismo de descarga de lodo.....	23
1.3.4.14.	Función de separación	24
1.3.4.15.	Ciclo de descarga de lodo	25
1.3.4.16.	Recipiente cerrado (funcionamiento normal)	26
1.3.4.17.	Tazón abierto para descarga.....	26
1.3.4.18.	El tazón se cierra después de la descarga.....	26
1.4.	Situación actual del horno	27

1.4.1.	Análisis termográfico	27
1.4.2.	Análisis de bunker	28
1.4.3.	Análisis a accesorios de quemadores	29
1.4.3.1.	Tubos porta lanzas	29
1.4.3.2.	Lanzas de quemador	30
1.4.4.	Bombas de empuje.....	32
1.4.4.1.	Bombas dosificadoras de bunker.....	32
1.4.4.2.	Filtros primarios y secundarios en zona de empuje	34
1.4.4.3.	Filtro metálico en zona de empuje	34
2.	FASE TECNICO PROFESIONAL	35
2.1.	Montaje e instalación de separadora centrífuga	35
2.1.1.	Seguridad Industrial.....	40
2.1.1.1.	Reglas de Prevención de Covid-19	40
2.1.1.2.	Reglas generales.....	42
2.1.1.3.	Análisis de Trabajo seguro	43
2.1.1.4.	Boletas ACII.....	43
2.1.1.5.	Reglas del cuidado de las manos	43
2.1.2.	Diagrama de operación	44
2.1.3.	Equipos auxiliares.....	47
2.1.3.1.	Tubería de aire comprimido	48
2.1.3.1.1.	Cálculo de longitud equivalente	48
2.1.3.1.2.	Cálculo de pérdida de presión en tubería.....	52
2.1.3.2.	Dimensionamiento de tubería de bunker.....	54
2.1.3.2.1.	Número de Reynolds....	55

2.1.3.2.2.	Ejemplo de determinación de número de Reynolds	56
2.1.3.2.3.	Determinación del régimen del flujo para el bunker	57
2.1.3.2.4.	Factor de fricción para el flujo laminar	58
2.1.3.2.5.	Perdida de carga en tubería de bunker debido a la fricción	58
2.1.3.3.	Bomba de succión para bunker	58
2.1.3.3.1.	Perdidas por fricción en el flujo laminar	60
2.1.3.3.2.	Ejemplo de pérdidas por fricción en un flujo laminar	61
2.1.3.3.3.	Cálculo de pérdidas de fricción en secciones rectas	62
2.1.3.3.4.	Perdidas por accesorios en tubería de un flujo laminar	62
2.1.3.3.5.	Ejemplo de pérdidas menores por válvulas y accesorios	64
2.1.3.3.6.	Cálculo de pérdidas menores	66

	2.1.3.3.7.	Determinando carga de la bomba.....	67
	2.1.3.3.8.	Potencia de una bomba	67
	2.1.3.3.9.	Ejemplo cálculo de potencia de una bomba	68
	2.1.3.3.10.	Cálculo de potencia de bomba para bunker	70
	2.1.3.4.	Cálculo de calentador eléctrico de bunker.....	71
	2.1.3.5.	Controlador lógico programable PLC...	72
	2.1.3.6.	Ventajas y desventajas de la centrifugadora Alfa Laval	74
	2.1.3.6.1.	Ventajas	75
	2.1.3.6.2.	Desventajas.....	75
	2.1.4.	Manual de operación	75
	2.1.5.	Mantenimiento	78
	2.1.5.1.	Cambio de aceite (a)	78
	2.1.5.2.	Servicio intermedio (SI)	79
	2.1.5.3.	Servicio mayor (SM)	79
	2.1.5.4.	Servicio de 3 años (3A)	79
2.2.		Reemplazo de bombas.....	80
	2.2.1.	Bombas de igualación	81
	2.2.2.	Bombas de recalentamiento	81
2.3.		Reparación y reemplazo de accesorios de quemadores	82
	2.3.1.	Porta lanzas.....	82
	2.3.2.	Lanzas	82
	2.3.3.	Boquilla de lanza	83

2.4.	Resultados	83
2.4.1.	Análisis al bunker posterior a la instalación de la separadora	84
2.4.2.	Cuadro comparativo de análisis de bunker	84
2.4.3.	Cuadro comparativo de temperatura antes y después de la instalación de la centrifugadora Alfa Laval.....	85
2.4.4.	Temperatura en las distintas zonas del horno.....	85
2.4.5.	Cuadro comparativo de consumo de bunker.....	86
2.4.6.	Cuadro comparativo de paros no programados en la planta LBA.....	87
3.	FASE DE DOCENCIA.....	89
3.1.	Planificación de capacitaciones	89
3.1.1.	Objetivo	90
3.1.2.	Capacitados	91
3.1.3.	Metodología de enseñanza en las capacitaciones.....	91
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99
	APÉNDICES.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de siderúrgica de Guatemala	2
2.	Organigrama de la empresa.....	4
3.	Horno de recalentamiento de palanquillas Bendotti	11
4.	Equipo de empuje	12
5.	Equipo final de calentamiento y bombas de zona	14
6.	Quemadores	15
7.	Sedimentación por gravedad	16
8.	Separación con fuerza centrífuga.....	17
9.	Diferencia de densidades de un fluido	18
10.	Viscosidad en fluidos con distinta temperatura	18
11.	Transmisión mecánica	20
12.	Diseño y funcionamiento.....	23
13.	Tubos porta lanzas.....	29
14.	Tubos de lanza de horno Bendotti	30
15.	Niples obstruidos.....	31
16.	Cabeza de lanza obstruida.....	32
17.	Eje secundario de bomba.....	33
18.	Eje principal de la bomba	33
19.	Filtros primarios y secundarios de bomba de empuje	34
20.	Máquina completa	36
21.	Alojamientos.....	38
22.	Canasta.....	39
23.	Tapa	40

24.	Sistema de operación individual	45
25.	Longitud equivalente en diámetros de accesorios	49
26.	Diagrama de tubería de aire comprimido hacia centrifugadora.....	50
27.	Sistema de tubería con válvula para ejemplo	65
28.	Sistema de prueba de una bomba para problema de ejemplo	68
29.	Calentador eléctrico de bunker	72

TABLAS

I.	Puntos críticos de termografía a horno Bendotti	28
II.	Resultado de análisis a muestra de bunker	28
III.	Sistema de operación individual	46
IV.	Continuación de Sistema de operación individual	47
V.	Factores “f” de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial.....	53
VI.	Propiedades físicas del bunker	55
VII.	Sistema de separación	55
VIII.	Pérdidas de energía por fricción en tubería de bunker	62
IX.	Coeficientes de resistencia para válvulas y accesorios	63
X.	Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial cedula 40, nueva y limpia	64
XI.	Cálculo de pérdidas por válvulas y accesorios	66
XII.	Secuencia lógica para el inicio del centrifugado	73
XIII.	Secuencia lógica para descarga de lodos	73
XIV.	Secuencia lógica para parar el equipo.....	74
XV.	Programa de mantenimiento.....	79
XVI.	Análisis al bunker extraído de la centrifugadora	84
XVII.	Parámetros de comparación de análisis de bunker	84
XVIII.	Temperatura de palanquilla deshornada	85

XIX.	Tabla comparativa de temperaturas en distintas zonas del horno	86
XX.	Tabla comparativa de consumo de bunker	87
XXI.	Cuadro comparativo de paros no programados	88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de fuerza
Q	Caudal
FR	Factor de arranque
fe	Factor de fricción
°C	Grados centígrados o Celsius
g	Gravedad (m/s^2)
KG	Kilogramo
KW	Kilovatio es una medida de potencia eléctrica equivalente a 1 000 vatios
m	Metro
mm	Milímetro
Nm	Nanómetro
HP	Número de Reynolds
Re	Número de Reynolds
v	Peso específico
p	Potencia
s	Segundos
Cst	Unidad física de la viscosidad cinemática en el sistema CGS
v	Velocidad (m/s)
η	Viscosidad absoluta ($lbm/pie * h$)

GLOSARIO

Aclaración	Separación de líquidos / sólidos con la intención de separar partículas, normalmente sólidos, de un líquido (aceite) que tiene una densidad menor que las partículas.
Centrifugado	Se produce la separación del agua contenida en el aceite, la densidad, viscosidad y temperatura son parámetros que afectan directamente a este proceso.
Contrapresión	Presión en la salida del separador.
Densidad	Masa por unidad de volumen. Expresado en kg / m^3 a la temperatura especificada, normalmente a 15 °C.
Descarga de lodo	Expulsión del lodo del recipiente separador.
Disco clarificador	Un disco opcional, que reemplaza el disco de gravedad en el separador. Cuenco, en el caso de funcionamiento clarificador. El disco sella la salida de la fase pesada (agua) en el recipiente, por lo que no existe sello líquido.
Disco de gravedad	Disco en la campana para colocar la interfaz entre el disco apilar y el borde exterior del disco superior. Este disco solo se usa en modo purificador.

Interfaz	Capa límite entre la fase pesada (agua) y la fase ligera (aceite) en un recipiente separador.
Inverter	Su función es alterar la velocidad de un motor eléctrico.
Purificación	Separación líquido / líquido / sólidos con la intención de separar dos Fases líquidas entremezcladas y mutuamente insolubles de diferentes densidades. Los sólidos que tienen una densidad mayor que los líquidos pueden eliminarse al mismo tiempo. La fase líquida más ligera (aceite), que es la mayor parte de la mezcla, se purificará en la medida de lo posible.
Rendimiento	La alimentación del líquido del proceso al separador por unidad de tiempo. Expresado en m^3/h o lit/h .
Sedimento (Iodo)	Sólidos separados de un líquido.
Sello de agua	En el espacio de sólidos del recipiente separador para evitar la luz fase (aceite) de salir del recipiente a través de la salida de fase pesada (agua), en modo purificador.
Servicio intermedio	Por sus siglas en inglés (IS) revisión del tazón separador, entrada / salida y dispositivo de agua en funcionamiento. Renovación de los sellos en la entrada / salida del recipiente y el dispositivo de agua en funcionamiento.

Servicio mayor (MS) del separador completo, incluida la parte inferior (y actividades incluidas en un servicio intermedio, si corresponde). Renovación de juntas y rodamientos en la parte inferior.

Viscosidad Resistencia a los fluidos contra el movimiento. Normalmente es expresado con la dimensional centistoke. ($cSt = mm^2/seg$), a la temperatura especificada.

RESUMEN

Uno de los objetivos principales de Siderúrgica de Guatemala es mantener los estándares de calidad y cumplir con las normas bajo las que laminan los productos de la planta LBA. Ya que la producción de esta planta es de forma lineal, todos los equipos son importantes para la fabricación de varilla corrugada y alambrón, pero uno de los equipos críticos es el horno de recalentamiento de palanquillas por lo que el actual proyecto busca mejorar las condiciones de los equipos auxiliares del horno y la calidad del bunker que actualmente se utiliza para el recalentamiento de las palanquillas a laminar.

Se analizaron los equipos auxiliares del horno que han sufrido daños causados por los excesivos residuos sólidos del bunker durante los últimos años, priorizándolos según su criticidad, para determinar si dichos equipos deben ser reparados o reemplazados. También se realizó un análisis termográfico en distintas áreas del horno para comprobar si existen pérdidas de calor por material refractario en mal estado.

Se trasegó el bunker del tanque donde se almacena hacia una separadora centrífuga, donde a través de un proceso de centrifugado se separa el bunker de residuos sólidos y agua, transportando los residuos sólidos y el agua a distintos contenedores, para ser después almacenados o desechados, el bunker el cual ya ha sido tratado se regresará al depósito principal de bunker.

Se reemplazaron los equipos auxiliares del horno que sufrieron daños y son importantes para garantizar que el horno pueda trabajar y mantener una temperatura estable en el hogar, también se realizaron limpiezas en las tuberías de bunker que presentaban taponamientos con el fin de disminuir los derrames de combustible dentro del horno.

Para que las personas involucradas en el horno comprendan la importancia de realizar inspecciones en los equipos detectando fallas de forma temprana, realizando mantenimientos preventivos y no correctivos, se realizaron capacitaciones sobre el check list que se realizó para ver indicadores de fallas en los equipos críticos del horno.

Corregir las fallas actuales del equipo auxiliar del horno y mejorar la calidad del bunker favorecen a la planta disminuyendo los paros no programados y quiebres de ritmo generados por este mismo, obteniendo una temperatura estable permitiendo que en el hogar del horno la transferencia de calor a las palanquillas sea más efectiva asegurando que las condiciones físicas y químicas para el proceso de laminación del acero sean las indicadas para su transformación.

OBJETIVOS

General

Disminuir en 0,5 % los residuos sólidos y agua en el bunker utilizado para calentar el horno

Específicos

1. Realizar un diagnóstico del estado actual del material de aislamiento térmico al horno de recalentamiento de palanquillas Bendotti.
2. Realizar análisis del plan de mantenimiento que se ejecuta actualmente para los equipos auxiliares del horno de recalentamiento de palanquillas Bendotti.
3. Diseñar un plan de acción para disminuir residuos sólidos y agua en bunker utilizado en el horno.
4. Potencializar la capacidad de los operadores del horno y mecánicos para la operación de la separadora centrífuga y la detección temprana de indicadores de fallas en todos los equipos vitales para el funcionamiento del horno.

INTRODUCCIÓN

Siderúrgica de Guatemala, es un corporativo industrial que funde chatarra y la transforma en distintos productos a través de procesos mecánicos, siendo la varilla corrugada y el alambón el producto de mayor demanda dentro del corporativo, el cual es transformado en la planta LBA (laminación de barras y alambón), que cuenta con su propio laboratorio de control de calidad.

En la planta LBA se reciben las palanquillas de acero con bajo contenido de carbón que son transportadas hacia el área de carga del horno de recalentamiento sobre unos rodillos, y empujadas hacia adentro del horno con un brazo hidráulico, donde son calentadas a temperaturas altas para ser laminada, posteriormente, se expulsa del horno a través de una deshornadora o brazo hidráulico en el área de descarga del horno, siendo transportada por una serie de rodillos en el cual inicia el proceso de laminación, donde el área de la palanquilla es reducida a través de cajas, canaletas, tijeras, y forma bucles, y es cortada a una determinada longitud.

Al final del tren laminador algunos productos trabajados reciben un tratamiento térmico, donde se enfría la varilla que se encuentra en estado austenítico con agua a presión y caudal constante formando una estructura martensítica en el exterior, el termo tratado finaliza trasladando la varilla a una cama de enfriamiento, donde la martensita formada se auto-reviene, mejorando su ductilidad y elasticidad, y el calor en el núcleo se expande al exterior y se transforma en una mezcla de perlita y ferrita, la varilla termina la línea de producción donde es cortada en distintas medidas según lo solicite el cliente final.

El presente proyecto tiene como título: *Propuesta de estrategia para disminución de residuos sólidos y agua en bunker, para horno de recalentamiento de palanquillas ubicado en siderúrgica de Guatemala* y surge de la necesidad de poseer un horno con la capacidad de mantener su rango de temperatura de operación, para poder tener una producción continua, y disminución en los quiebres de ritmo, ya que la planta, se ha visto afectada por los repetidos paros no programados, causados por descensos de temperatura en el hogar, un aumento en el consumo de combustible, fallos en distintos equipos del horno y palanquillas con bajas temperaturas causando problemas en su laminación.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

A continuación, se describe de forma general a la corporación AG quienes transforman la chatarra en la materia prima para la realización de distintos productos a través de la laminación del acero.

1.1.1. Ubicación

El centro de operaciones de siderúrgica de Guatemala se encuentra ubicada en el kilómetro 65,5 carretera antigua al Puerto de San José, Masagua, Escuintla. A una distancia de 62 kilómetros de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 1. **Mapa de ubicación de siderúrgica de Guatemala**



Fuente: Google Maps. *Ubicación.* <https://www.google.com/maps/place/SIDEGUA/@14.2320935,-90.8155769,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x11cace1f79e87b80!8m2!3d14.2320935!4d-90.8155769>. Consulta: 12 de diciembre de 2019.

1.1.2. **Historia**

En 1991 se construye el parque industrial Sidegua ubicado en el KM 65. Masagua Escuintla, donde se ubica la planta de acería, también se expanden los productos como clavos, y alambre.

AG Sidegua se comienza a tener un crecimiento tan grande que debe de contar con distribuidoras a lo largo del país, Escuintla, Chimaltenango, El Progreso con el nombre de Distribuidora Universal DISTUN.

En el año 2000 se comienza a producir maya electro soldada, ofreciendo el producto en plancha y en rollo. En el año 2008 la planta de laminación de varilla corrugada y alambón se extiende dentro del parque industrial.

En el año 2010 se traslada la planta de malla electro soldada, perfiles y trefilación de indeta en zona 12 de Guatemala, a Sidegua, y se inician operaciones en la planta de corte y doble donde se ofrece el servicio de cortado y formado del acero para optimizar los costos y tiempos en obras civiles.¹

¹ Sidegua. *Quienes somos.* <https://www.corporacionag.com/es/quienes-somos>. Consulta: 12 de diciembre de 2019.

1.1.3. Misión

“Somos un equipo comprometido a ofrecer soluciones integradas e innovadoras con productos de calidad y el mejor servicio para ser la preferencia de nuestros clientes, siendo socialmente responsables”.²

1.1.4. Visión

“Crecer en forma sostenible para ser la opción número uno del cliente, a través de una cultura de excelencia y responsabilidad, generando un impacto positivo en los mercados donde actuamos”.³

1.1.5. Valores

Nuestros valores nos identifican, diferencian de los demás y retan a ser mejores. A su vez, estos definen nuestra forma de ver las cosas, de pensar y actuar. Más que palabras, representan acciones diarias que determinan nuestro carácter e individualidad.

Los vivimos en nuestro trabajo, nuestro equipo, con nuestra familia, nuestras relaciones, en las comunidades y países donde AG influye positivamente. Estos son:

- Buscamos ser los mejores día a día
- Actuamos con transparencia y honestidad
- Nos comportamos como dueños
- Amamos lo que hacemos
- Respetamos a los demás y a nuestro entorno
- Construimos juntos un mejor futuro CE AG.⁴

² Sidegua. *Quiénes somos*. <https://www.corporacionag.com/es/quienes-somos>. Consulta: 12 de diciembre de 2019.

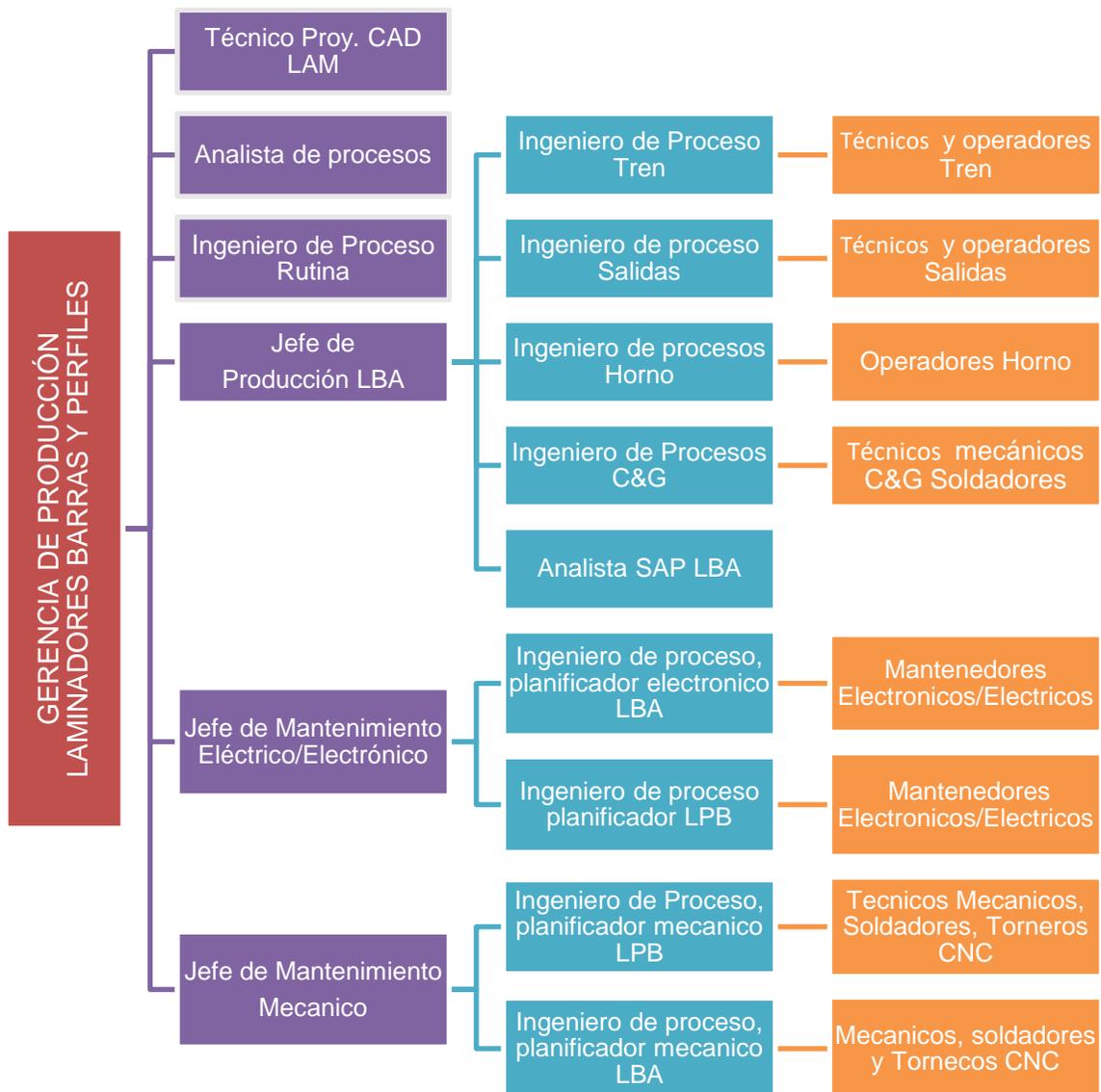
³ *Ibíd.*

⁴ *Ibíd.*

1.1.6. Organigrama

En la figura 1 se presenta la estructura interna de la empresa siderúrgica de Guatemala.

Figura 2. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word 2021.

1.2. Descripción del problema

El sistema de producción de la laminadora de barras y alambón es lineal, por lo que todos los equipos que forman parte del proceso son críticos para que la producción no se vea interrumpida.

El horno de recalentamiento de la planta LBA debe de mantener un rango de temperatura entre 1 050 y 1 150 °C en su interior para garantizar la temperatura y el laminado de las palanquillas, de caso contrario las palanquillas pueden presentar resistencia al laminado. En enero del año 2019 el horno presentó una serie de fallos en los equipos auxiliares como consecuencia de los residuos sólidos y agua contenidos en el bunker, dada la mala calidad del bunker que se utiliza.

Entre los equipos que presentaron fallos causando atrasos en las producciones se encuentran:

- Las bombas de empuje al inicio del circuito de bunker y las bombas dosificadoras de bunker han tenido daños internos en sus engranajes que a su vez hacen que exista una pérdida de presión en las tuberías, y como consecuencia de la pérdida de presión el horno se dispara causando pérdidas de tiempo y temperatura.
- Los filtros primarios y secundarios ubicados en la zona de bombas de empuje, se han obstruido por la cantidad de residuos sólidos que se encuentran en el bunker.

- Los componentes de los quemadores, como los porta lanzas, las lanzas, la base de los inyectores y mezcladores, se encuentran saturados de bunker que se ha secado en los conductos.
- Debido a los taponamientos en las tuberías de los quemadores la llama no es proyectada hacia el interior del horno, esta apunta al cono de refractario que es parte del quemador y ha causado daños en el material refractario que compone al quemador, y daños en el acero que compone el quemador, causando pérdidas de calor.

1.3. Definiciones básicas del proceso

El proceso de laminación es un método mediante el cual el acero es sometido a altas temperaturas, para posteriormente reducir su área hasta alcanzar una forma determinada, proceso que será explicado a continuación:

1.3.1. Laminación en caliente

Laminación es el proceso mecánico entre cilindros, donde se transforman materiales metálicos en productos comerciales, como varilla corrugada, alambión, tubos, perfiles, vigas, carriles.

Para fines de este trabajo de graduación, se hablará de la varilla corrugada y el alambión, productos que generalmente se realiza con acero caliente debido a la deformación plástica que se necesita para la transformación de estos productos, otros necesitan de procesos que mejoren sus características mecánicas.

Un laminador es un equipo conformado por dos o más rodillos que giran de forma contraria, donde pasan las palanquillas que tienen un grosor más grande que la distancia de los dos rodillos con los que entra en contacto, por lo que se aplasta y alarga esta sección.

1.3.1.1. Precalentamiento

El proceso de laminado en caliente inicia con la palanquilla que se calienta al rojo vivo en un horno de empuje denominado horno de recalentamiento de palanquillas, el cual eleva la temperatura del acero hasta 1 150 °C proporcionando al acero mejor ductilidad y maleabilidad, es decir, su capacidad de deformación aumenta, cuando su temperatura es alta, y no dañe o se fracture el acero.

La temperatura de la palanquilla al salir del horno es un factor muy importante que se debe considerar, ya que, si la temperatura es muy alta, se puede llegar a generar grietas en el material que no se eliminan en la laminación, y se les llama palanquillas quemadas.

Si la temperatura de la palanquilla al salir del horno es muy baja el material mostrará mayor resistencia para su laminación originando fallos en el tren laminador, por lo que la temperatura optima de trabajo es un rango de temperatura.

Los equipos de laminación son un conjunto de cilindros, cojinetes adecuados, columnas que los soportan y un sistema de accionamiento para aplicar a los cilindros la fuerza motriz y controlar su velocidad.

1.3.1.2. Tren laminador

El tren laminador es la serie de laminadores que, junto a sus equipos auxiliares como motores eléctricos utilizados para generar la rotación de los cilindros, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración de los cilindros, guías para las cajas utilizados en las entradas y salidas del producto que se lamina, cizallas, entre otros.

El proceso de laminación en el tren, es en serie, por lo que las cajas se ubican una después de otra para que el producto que se lamina sea procesado por más de dos cajas a la vez.

1.3.1.3. Tren desbaste

Posterior al proceso de recalentamiento del acero, las palanquillas sufren su primera etapa en el tren de desbaste, que lo conforman una serie de cajas horizontales y verticales, en donde se le reduce el área a la palanquilla y se eliminan la cascarilla, producto de la oxidación que sufre en horno, al finalizar el tren de desbaste la palanquilla sufre un corte con una cizalla al inicio de la palanquilla y una al final de la palanquilla debido a las deformaciones que sufre en el tren

1.3.1.4. Laminado o tren intermedio

La barra en proceso pasara por seis cajas laminadoras puestas en línea en forma intercalada en posición vertical y horizontal. Al salir la barra del pase número trece de igual manera se realiza un corte de cabeza y cola.

1.3.1.5. Tren acabador

Las ultimas cajas ubicadas de forma lineal de posiciones verticales y horizontales del tren laminador se define el grosor de la varilla que se esté trabajando, asimismo es la parte del tren donde se forma la corruga, y la marca de la barra.

1.3.1.6. Enfriado

Las barras en el área de evacuación adquieren a través de una cizalla una longitud de 70 metros y es trasladada a una cama de enfriamiento a través de brazos mecánicos, donde pierde temperatura.

1.3.1.7. Empaque y amarre

Posteriormente, según el número de unidades determinado por el diámetro del producto, las barras terminan en un camino de rodillos donde adquiere una longitud de 6, 9, 12 y 15 metros de longitud, por medio de una cizalla, también son contadas y empaquetadas mediante una encuadernadora neumática e hidráulica.

1.3.2. Horno

El horno es un dispositivo utilizado para aportar temperatura a distintas piezas que en su interior se colocan, este calentamiento puede servir para distintos procesos como lo es la fundición, ablandar el material, tratamientos térmicos, recubrimientos de piezas con otro material.

También se puede definir como un equipo que forma parte de algún proceso industrial, y que opera en temperaturas por encima de la temperatura ambiente que transfiere este calor a las piezas que contiene dentro, de una forma directa o indirecta.

En la industria siderúrgica se utilizan tres tipos de horno:

- Horno de recalentamiento, empleado fundamentalmente en el recalentamiento de materiales para su conformado en caliente.
- Horno eléctrico de arco: utilizado fundamentalmente para la fusión de chatarra, en acería y fundiciones.

1.3.2.1. Horno de recalentamiento

Estos hornos son utilizados para incrementar la temperatura del material con el que se cargue, sin que se produzca ninguna reacción química o cambio del estado, como fusión o vaporación.

Se conoce que la temperatura alta vuelve más blandos los metales, por lo que el fin de recalentar el material generalmente es utilizado para procesos como forja, estampación, extrusión, o laminación.

El proceso de calentamiento con este fin, enfriando después de modo que no se produzca ninguna deformación, se conoce como recocido.

La elevación de la temperatura por encima de un cierto punto crítico, seguida de un enfriamiento brusco, vuelve el acero más duro y resistente, pero con una ductilidad menor.

Figura 3. **Horno de recalentamiento de palanquillas Bendotti**



Fuente: elaboración propia, Sidegua

1.3.3. Equipo auxiliar del Horno Bendotti

El horno está formado por una serie de bombas, filtros, válvulas manuales, válvulas neumáticas, flujómetros, motores eléctricos, manómetros, resistencias eléctricas para calentar bunker y paneles eléctricos que lo hacen funcionar y serán descritos a continuación:

1.3.3.1. Equipo de empuje

El equipo de empuje tiene la finalidad de bombear el bunker del tanque diario y enviarlo en circulación en la tubería del primer anillo.

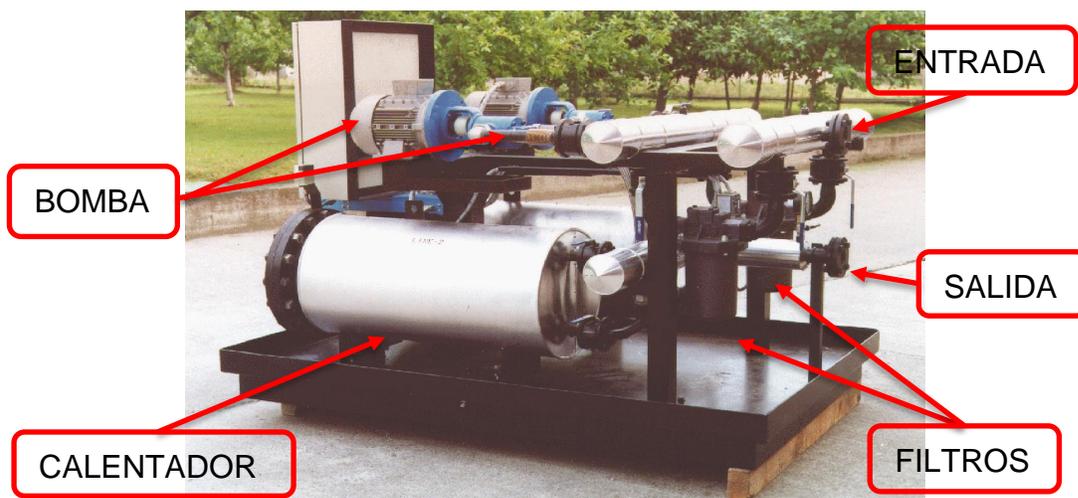
Dicho equipo está realizado doble para permitir servicios de mantenimiento sin parar el horno, es decir que está compuesto de dos filtros de aspiración, dos bombas para el bombeo y la circulación del combustible y dos calentadores.

Durante todo el uso normal del equipo solo uno por tipo de los componentes sobredichos está en función; por lo tanto, hay: un filtro en aspiración, una bomba de dimensiones adecuadas a las capacidades de la instalación y un calentador.

Todos los componentes que no se utilizan están en stand-by, excluidos por medio de válvulas manuales, eso significa que en el caso que se desea efectuar un cambio de la línea en función a la línea en stand-by, se necesita de una persona capaz de efectuar la maniobra, es decir una persona apropiadamente instruida.

Analizando cada componente del equipo hay: los filtros que deben ser limpiados cada semana o de todos modos cuando el indicador instalado sobre el filtro, sea visual contacto eléctrico, indica dicha necesidad; las bombas que no tienen necesidad de mantenimiento excepto cuando hay perdidas en los empaques o sellos; el calentador que tiene como finalidad mantener la temperatura del anillo de distribución constante a 70 °C.

Figura 4. **Equipo de empuje**



Fuente: Vulcan. *Manual de operación de horno Bendotti*. p. 6.

1.3.3.2. Equipo final de calentamiento

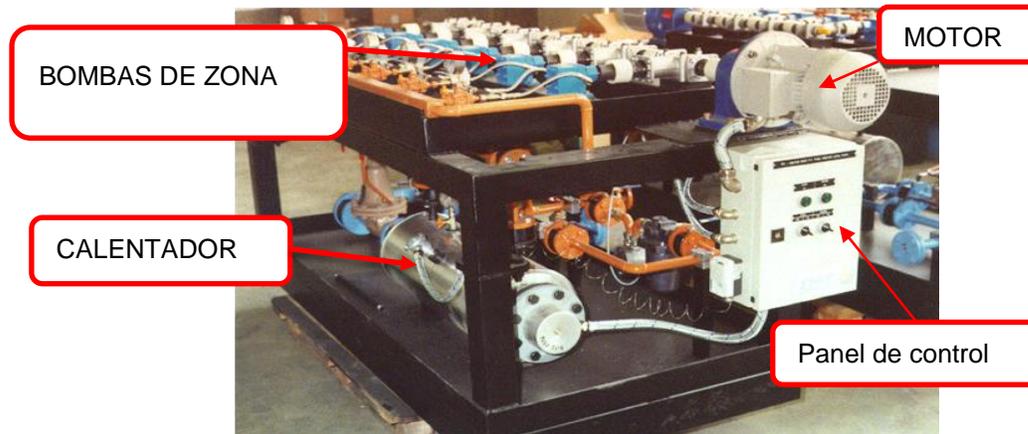
En entrada a los equipos de calentamiento finales se encuentra el conjunto filtro-medidor que permite filtrar las impurezas presentes en la instalación nueva y medir los litros de combustible que está consumiendo la zona y transmitirlos a los dispositivos para la regulación de entrega y relación.

El cartucho del filtro situado antes del medidor se puede eliminar después de algunas semanas de funcionamiento del equipo, ya que todo el bunker será filtrado por los filtros secundarios.

El calentador sirve para aumentar la temperatura del bunker desde los 70 °C hasta los 100-110 °C. necesaria para el anillo secundario.

Las bombas son accionadas por un motor controlado por un *inverter*, que puede variar la velocidad del motor, suministrando una cantidad de bunker, al quemador variable según el número de revoluciones, cuando el quemador está en función, o simplemente manteniendo en circulación el combustible.

Figura 5. **Equipo final de calentamiento y bombas de zona**



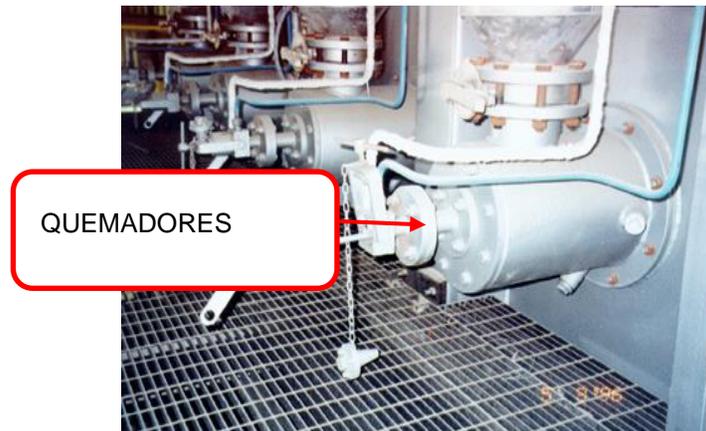
Fuente: Vulcan. *Manual de operación de horno Bendotti*. p. 7.

1.3.3.3. Quemadores

El quemador es la parte final del circuito donde se genera la combustión para calentar el material dentro del horno, es el encargado de realizar la mezcla de bunker, oxígeno y calor necesaria para aumentar la temperatura interna del horno.

Está conectado a la armadura donde recibe el bunker necesario y está compuesto de una parte fijada al horno y de una parte extractiva (lanza) que puede ser limpiada cada vez que se note una insuficiencia en la llama.

Figura 6. **Quemadores**



Fuente: Vulcan. *Manual de operación de horno Bendotti*. p. 7.

1.3.4. Separadora centrífuga Alfa Laval

Generalmente utilizadas para separar distintos líquidos y sólidos a través de la fuerza centrífuga, fundamentalmente es realizar el proceso de decantación de una forma más rápida. La decantación es el resultado de dejar en reposo líquidos o sólidos de distinta densidad expuestas a la fuerza de gravedad, donde los sólidos más pesados reposan en el fondo del recipiente o tanque donde se depositaron, y si existen líquidos que no se pueden mezclar, los líquidos más pesados se situaran en la parte inferior, mientras los más ligeros en la superficie, pero la decantación es un proceso que toma mucho tiempo, por lo que resulta poco viable, y se hace la utilización de procesos de separación con centrifugadoras.

La centrifugadora Alfa Laval cuenta con un purgador de desechos que funciona de forma periódica, porque al estar el bunker en un recipiente cerrado

como el tazón de la centrifugadora las partículas más pesadas se hunden y depositan en el fondo del tazón debido a la gravedad a la que está expuesto.

Durante el proceso de centrifugado se produce la separación del agua contenida en el aceite, la densidad, viscosidad y temperatura son parámetros que afectan directamente a este proceso.

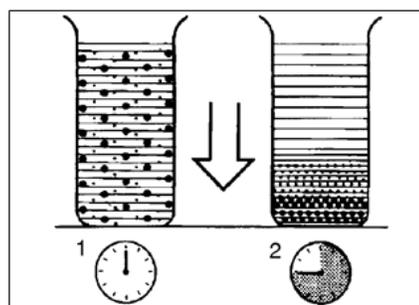
1.3.4.1. Principios básicos de la separación

El propósito de la separación es para liberar algún fluido de partículas sólidas, separar dos líquidos insolubles, con diferentes densidades, y para separar partículas sólidas concentradas en un líquido.

1.3.4.2. Separación por gravedad

Una mezcla líquida en un recipiente estacionario, limpiaría el líquido mientras las partículas más pesadas en la mezcla se asientan en el fondo del recipiente por efecto de la gravedad.

Figura 7. **Sedimentación por gravedad**

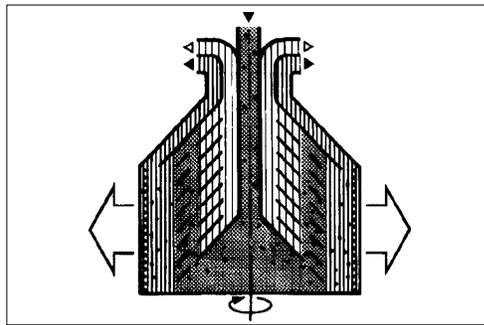


Fuente: Alfa Laval. *Separadoras centrifugas*. p. 12.

1.3.4.3. Separación centrífuga

En un recipiente en rotación constante, la fuerza de gravedad es reemplazada por fuerza centrífuga, la cual puede ser mucho más grande.

Figura 8. Separación con fuerza centrífuga

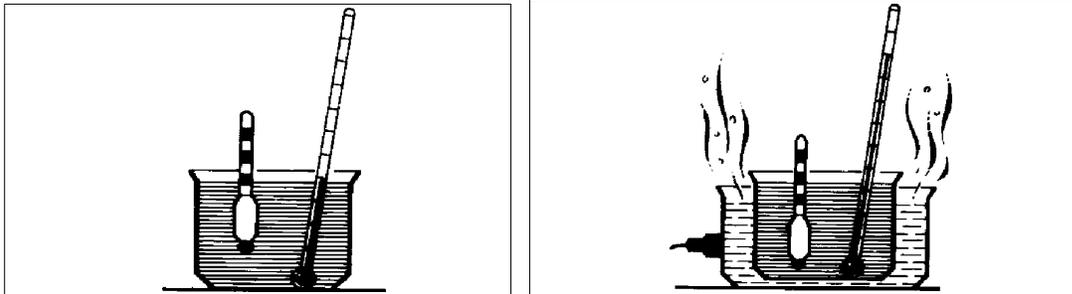


Fuente: Alfa Laval. *Separadoras centrífugas*. p. 12.

1.3.4.4. Densidad

Para que el proceso de centrifugado sea más rápido y fácil se requiere que la diferencia de densidades entre los líquidos a separar sea muy grande. Esta diferencia se logra alcanzar cuando el bunker tiene un incremento de temperatura, ya que al cambiar su densidad esta se posicionará en dirección de la tubería de descarga.

Figura 9. **Diferencia de densidades de un fluido**



Fuente: Alfa Laval. *Separadoras centrifugas*. p. 32.

1.3.4.5. **Viscosidad**

En el proceso de centrifugado la viscosidad se presenta como la resistencia que pone el bunker a moverse en la dirección deseada, se puede decir que entre mayor sea la viscosidad del bunker mayor ser la resistencia de el para moverse dentro de los discos que conforman el tazón de la separadora, también se arrastra el aceite hacia la toma de salida de agua, perdiendo el sello que existe, pero la viscosidad se puede controlar por medio de la temperatura del bunker.

Figura 10. **Viscosidad en fluidos con distinta temperatura**



Fuente: Alfa Laval. *Separadoras centrifugas*. p. 42.

1.3.4.6. Temperatura

Para cada fluido que se centrifuga existe un rango de temperaturas de operación, en donde la temperatura tiene un efecto sobre la viscosidad y densidad del fluido, disminuyendo la densidad a un límite inferior a la densidad del agua, mejorando la capacidad de centrifugado del equipo.

1.3.4.7. Diseño y funcionamiento

El separador cuenta con una parte de procesamiento y una de accionamiento, el accionamiento se da por un motor eléctrico.

Mecánicamente, la separadora está compuesta por una parte inferior, una parte superior, y la campana. El motor está unido por bridas, y las bases del separador son utilizadas para amortiguar las vibraciones para disminuir los daños a los componentes internos debido a las mismas.

La parte inferior del separador contiene el motor de accionamiento de forma horizontal conectado al eje de acoplamiento, un engranaje helicoidal de acoplamiento y un tornillo sin fin vertical. También contiene el aceite para el engranaje helicoidal.

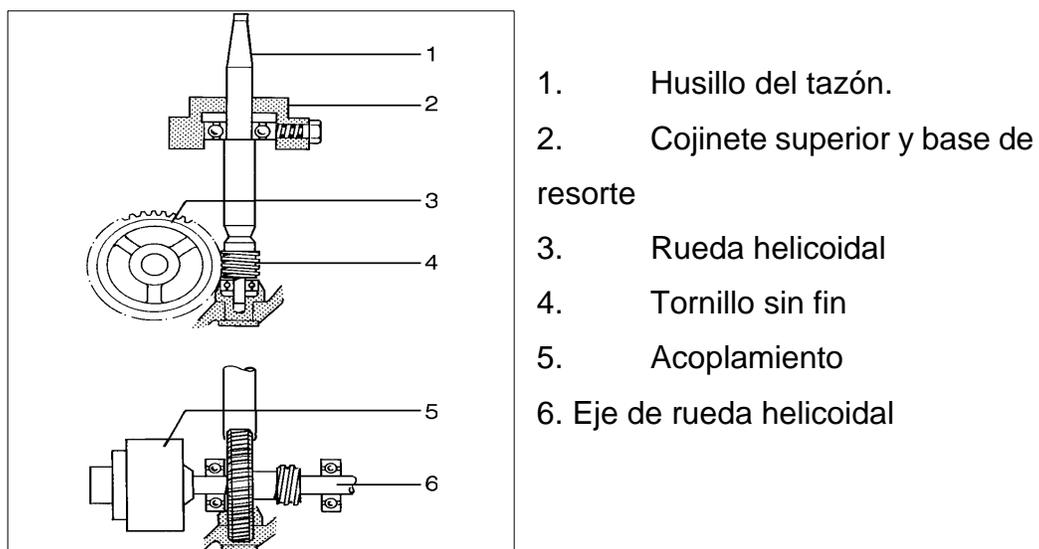
La parte superior y la campana contienen las partes de procesamiento del separador, como la alimentación y salida del fluido a procesar. El líquido es limpiado en el tazón del separador. Esto se instala en la parte superior del eje vertical y gira a alta velocidad en el espacio formado por la parte superior del marco y la cubierta del marco.

El recipiente también contiene el mecanismo de descarga que vacía el lodo del recipiente, el cual consta de unos sellos de agua que se cargan y descargan cerrando y abriendo el paso del lodo hacia el tanque contenedor de lodos que se ubica en la parte inferior del tazón y que tiene una resistencia eléctrica para mantener un bajo índice de viscosidad en el residual para su posterior extracción.

1.3.4.8. Transmisión de potencia mecánica

Las partes principales de la transmisión de potencia entre el motor y el tazón se muestran en la figura.

Figura 11. Transmisión mecánica



Fuente: Alfa Laval. *Manual de operación*. p. 28.

El acople asegura un arranque y aceleración suaves y al mismo tiempo evita que la sobrecarga del engranaje helicoidal y del motor.

El engranaje helicoidal tiene un radio que aumenta la velocidad del tazón comparado con la velocidad del motor. Para reducir el desgaste de rodamiento y de la transmisión de las vibraciones del tazón al marco y a la base, el rodamiento superior del eje está montado en una caja de resorte .

El engranaje helicoidal rota y se lubrica constantemente, el rodamiento en el husillo y el eje de la rueda helicoidal se lubrican con el aceite que salpica, cuando el engranaje gira.

1.3.4.9. Freno

El separador está equipado con un freno que se utiliza para detenerlo. El uso del freno disminuye el tiempo de velocidades críticas del separador.

1.3.4.10. Contador de revoluciones

Un contador de revoluciones indica la velocidad del separador, y es accionado por el eje de la rueda helicoidal. se necesita la velocidad correcta (5 175/5 148 RPM) para lograr mejores resultados de separación, y por razones de seguridad.

1.3.4.11. Mirilla de para brisas

Esta mirilla puede ser limpiada sin que se pare el proceso, los contenidos de agua en el aceite pueden ser visualizados fácilmente, y de igual forma se puede comprobar si el rendimiento del equipo es pobre.

1.3.4.12. Dispositivo de entrada y salida

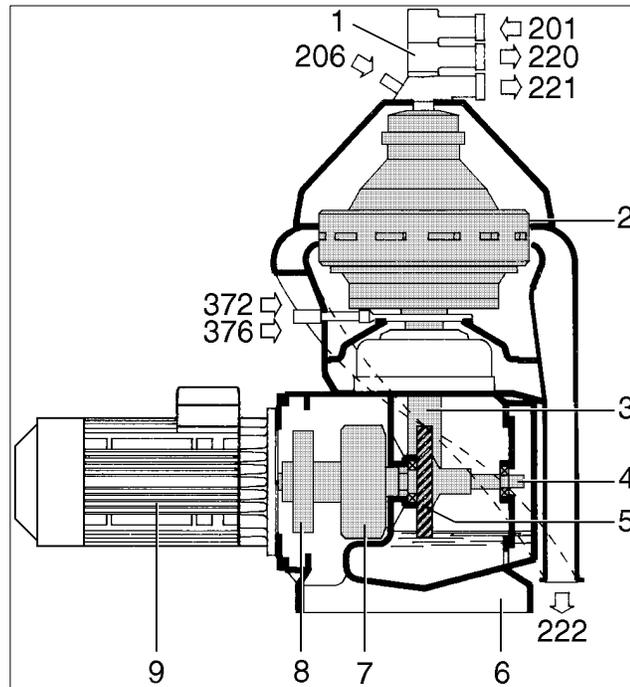
El dispositivo de entrada y salida consta de las siguientes partes:

- La entrada (201). Esto comprende la curva del tubo y el tubo de entrada largo (22) que se extiende hasta el centro del tazón.
- Las salidas (220, 221). Estos comprenden la tapa de descarga y los discos de separación (20, 21) que bombean el aceite y el agua separados del recipiente. Cada disco de pelado está ubicado en una cámara de pelado (1, 3) en la parte superior del tazón.

El dispositivo de entrada y salida se mantiene unido por el roscado del tubo de entrada que se fija al disco de aceite. Las juntas teóricas y un anillo de sellado sellan las conexiones entre las partes.

El alojamiento de la conexión de salida está sujeto a la campana del marco del separador. Los anillos de ajuste de altura determinan la posición de altura de los discos de separación en las cámaras de separación.

Figura 12. **Diseño y funcionamiento**



Fuente: Alfa Laval. *Manual de separador*. p. 30.

1.3.4.13. **Separador y mecanismo de descarga de lodo**

El recipiente separador con su mecanismo de descarga de lodo se construye de la siguiente manera:

El cuerpo del tazón y la campana del tazón se mantienen unidos por el anillo de bloqueo grande. Dentro del cuenco se encuentran el cono de distribución, el distribuidor y la pila de discos. La pila de discos se mantiene comprimida por capó. El fondo del tazón deslizante forma un fondo interno separado en el recipiente.

La parte superior del tazón está cubierta por la tapa de la cámara de corte. El espacio entre esta tapa y el disco superior es la cámara de separación superior con el disco de separación superior que bombea el agua separada del recipiente. La cámara de separación de aceite con su disco de separación se encuentra dentro de la parte superior del disco superior. Desde este espacio, el aceite limpio se bombea fuera del recipiente.

El espacio de lodo es el espacio entre el fondo del recipiente deslizante y la campana del recipiente en la periferia del recipiente. Se mantiene cerrado por el fondo deslizante del tazón que se sella contra un anillo de sellado en la campana del tazón.

A intervalos decididos por el operador, el fondo del recipiente deslizante cae para vaciar el recipiente de lodo.

El mecanismo de descarga de lodo, que controla el fondo del recipiente deslizante, comprende un portaobjetos operativo y un dispositivo operativo de agua. Las partes pasivas son: el anillo de dosificación, las boquillas y los tapones de las válvulas de drenaje. El dispositivo de funcionamiento del agua en la parte inferior de la taza suministra agua de apertura y cierre, reposición al mecanismo de descarga a través del disco de control.

1.3.4.14. Función de separación

El aceite no separado se alimenta al recipiente a través del tubo de entrada y se bombea a través del distribuidor hacia la periferia del recipiente. Cuando el aceite alcanza las ranuras del distribuidor, se elevará a través de los canales formados por la pila de discos donde se distribuye uniformemente.

El aceite se limpia continuamente a medida que viaja hacia el centro del tazón. Cuando el aceite limpio sale de la pila de discos, se eleva hacia arriba, fluye sobre el anillo de nivel 5 y entra en la cámara de corte de aceite. Desde este último es bombeado por el disco de pelado de aceite 4 y sale del recipiente a través de la salida. El agua separada, el lodo y las partículas sólidas, que son más pesadas que el aceite, se fuerzan hacia la periferia del recipiente y se recogen en el espacio del lodo.

El espacio entre la campana del tazón y el disco superior 9 y también la cámara de corte superior están llenas de aceite, que se distribuye por toda la circunferencia a través de la ranura en el disco superior.

Durante el funcionamiento normal, la válvula de drenaje de agua cierra la salida del disco de corte superior.

1.3.4.15. Ciclo de descarga de lodo

Se forma una interfaz entre el aceite y el agua en el recipiente. Para lograr una separación óptima del aceite, la interfaz debe mantenerse en la posición correcta, es decir, fuera de la pila de discos.

Cuando el espacio del lodo se llena y el agua se acerca a la pila de discos, algunas gotas de agua comienzan a escapar con el aceite limpio. El pequeño aumento del contenido de agua en el aceite limpio debe ser detectado e iniciar una abertura corta de la válvula de drenaje de agua o iniciar un ciclo de descarga de lodo.

El separador descarga un volumen fijo de lodo y agua. El volumen de descarga es aproximadamente el 100% del espacio fuera de la pila de discos, el

llamado espacio de lodo. El contenido de la descarga puede contener algo de aceite emulsionado.

1.3.4.16. Recipiente cerrado (funcionamiento normal)

El fondo del recipiente deslizante se presiona hacia arriba por la fuerza del agua de cierre en el espacio de agua de cierre debajo del fondo del recipiente deslizante, que es mayor que la fuerza del líquido del proceso sobre el fondo del recipiente deslizante. La corredera de operación es presionada hacia arriba por los resortes y los tapones de las válvulas luego cubren los canales de drenaje.

1.3.4.17. Tazón abierto para descarga

El agua de apertura, que se suministra al espacio por encima de la corredera operativa, supera la fuerza de los resortes y la corredera operativa se presiona hacia abajo. Los canales de drenaje se abren y el agua de cierre se drena a través de la boquilla. Esto permite que la fuerza en la parte inferior del fondo del recipiente deslizante sea menor que la fuerza en el lado superior.

El fondo deslizante del recipiente se mueve hacia abajo y el recipiente se abre para descargar a través de los puertos de lodo.

1.3.4.18. El tazón se cierra después de la descarga

Después de unos cientos de segundos, la cámara de apertura por encima de la corredera de operación se ha llenado con agua, dejando el espacio de agua de cierre. Esta agua se desborda a través de los canales en la corredera de operación hacia la cámara de cierre entre la corredera de operación y el anillo de

dosificación. Cuando también se ha llenado esta cámara, las fuerzas hidráulicas dirigidas hacia arriba y hacia abajo en la corredera de operación son iguales y los resortes mueven la corredera de operación hacia arriba.

Los canales de drenaje están cerrados por los tapones de la válvula de drenaje y la fuerza creciente del agua de cierre presiona el fondo del recipiente deslizante hacia arriba. El cuenco se cierra y se completa el ciclo de descarga de lodo.

El agua de cierre del recipiente se suministra durante la secuencia de descarga del lodo y a intervalos durante la secuencia de separación para reemplazar el agua evaporada. El agua de cierre y apertura se suministra desde el sistema de agua a alta presión.

1.4. Situación actual del horno

Se realizaron una serie de pruebas a los componentes del horno para determinar el estado del mismo, los cuales se describen a continuación:

1.4.1. Análisis termográfico

Un análisis termográfico se realizó al horno de recalentamiento de palanquillas ubicado en la planta LBA, donde se evaluaron componentes del horno como: compuertas, quemadores, techo, paredes, juntas térmicas, y bases de quemadores con el fin de determinar daños en el material refractario y aislante térmico en las distintas áreas del horno.

A continuación, se presenta una tabla con las áreas que presentan mayor temperatura en la superficie, indicando que el material refractario en esos puntos presenta actualmente un daño causando fugas de calor.

Tabla I. **Puntos críticos de termografía a horno Bendotti**

Áreas del horno	Temperatura
Termo copla de igualación derecha	402,3 °C
Termo copla de igualación izquierda	378,0 °C
Cuadrante 3 techo del horno izquierdo	300,3 °C
Compuerta deshornadora izquierda	585,9 °C
Compuerta de limpieza 4	366,0 °C
Compuerta de limpieza 2	427,1 °C
Quemador 1	391,7 °C
Puerto de deshornamiento	525,8 °C
Compuerta de barras quemadas	533,0 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021

1.4.2. Análisis de bunker

Se tomó una muestra del bunker que está en el tanque, y se envió a un laboratorio para realizar pruebas para conocer los porcentajes de agua y residuos sólidos que contiene el combustible.

Tabla II. **Resultado de análisis a muestra de bunker**

Descripción	% contenido en bunker
Agua por destilación	20,6
Agua y sedimento	21,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021

1.4.3. Análisis a accesorios de quemadores

Entre las fallas que presentan los quemadores encontramos las llamas que se direccionan hacia el refractario y no al centro del hogar, taponamientos y derrames de bunker, por esta razón se realizó una inspección a los componentes de los quemadores y se describen a continuación:

1.4.3.1. Tubos porta lanzas

El tubo porta lanzas, es parte del quemador, no están en contacto con el refractario interno y sirven como guía para las lanzas, dándole posición al tubo.

Esta parte del quemador no cuenta con una rutina de inspección, por lo que surge la necesidad de desmontar un tubo, para conocer el estado del tubo, y se determina que el tubo tiene residuos de bunker, que obstaculiza la instalación de las lanzas y cambiando la posición de las mismas.

Figura 13. **Tubos porta lanzas**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

1.4.3.2. Lanzas de quemador

La lanza de quemador es el accesorio que tiene varios componentes, donde se inyecta el bunker y se mezcla con el aire de atomización, es el final del circuito del bunker donde se genera la combustión al ser mezclado con el aire de combustión en la punta del quemador de tal manera que la llama entre en contacto directo con el material que va a calentar en el interior del horno.

Desde el 2007 que se puso en marcha el horno los tubos de las lanzas no se han cambiado por lo que han perdido los espaciadores que centran el tubo para que el cono de la llama apunte hacia el centro del horno, y no permita que se salpique el bunker hacia las palanquillas en el interior del hogar.

Figura 14. **Tubos de lanza de horno Bendotti**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

Se puede observar que el diámetro de los nipples se ha reducido debido a la cantidad alta de bunker solidificado que se forma dentro de ellos por falta de inspección y limpieza.

Estas obstrucciones causaban pérdidas de presión en la parte final del circuito de alimentación de bunker, y disminuía la capacidad de alimentación del mismo combustible.

Figura 15. **Nipples obstruidos**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

Se puede observar que la base de la lanza donde se conecta la tubería de bunker y la lanza que entra al quemador tiene la cámara interna obstruida con bunker solidificado por falta de inspecciones periódicas y limpiezas.

Figura 16. **Cabeza de lanza obstruida**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

1.4.4. Bombas de empuje

Las bombas de empuje de bunker reciben el bunker directo del tanque de almacenamiento, y pasan por un filtro metálico antes de entrar a las bombas, pero aun después de pasar un filtro aun reciben residuos sólidos generando desgaste en sus componentes internos.

1.4.4.1. Bombas dosificadoras de bunker

Las bombas dosificadoras de bunker presentaron pérdidas de presión en 6 meses de uso que tuvo la planta, por lo que se dispuso a desarmar las bombas con mayor pérdida de presión para conocer los desgastes internos del equipo

Figura 17. **Eje secundario de bomba**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

Al desmontar el eje principal de la bomba se logró ver que presentaba desgaste, pero también golpes en la punta del mismo provocando juego entre los engranajes lo cual causa que la bomba no pueda elevar presiones en la tubería.

Figura 18. **Eje principal de la bomba**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

1.4.4.2. Filtros primarios y secundarios en zona de empuje

Los filtros primarios y secundarios se encargan de retener las partículas más grandes que se encuentran en el bunker, para evitar daños a los engranajes internos de las bombas.

Figura 19. **Filtros primarios y secundarios de bomba de empuje**



Fuente: elaboración propia, Sidegua.

1.4.4.3. Filtro metálico en zona de empuje

El sistema de filtrado en la tubería de la zona de empuje fue adaptado dada la necesidad de reducir los residuos sólidos que pasan por las bombas, y contaba con un filtro el cual estaba fabricado con materiales, que no eran adecuados para tener un filtrado más efectivo, por lo que se procedió a realizar filtros en los cuales las partículas de mayor tamaño quedan retenidas en el mismo.

2. FASE TECNICO PROFESIONAL

2.1. Montaje e instalación de separadora centrífuga

Los separadores centrífugos son equipos utilizados en distintas ramas de la industria para separar partículas suspendidas, o eliminar humedad de un fluido.

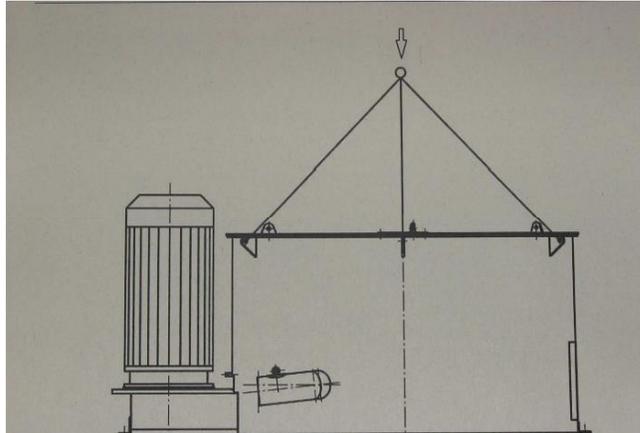
Preliminarmente para la protección de las piezas se tomó en cuenta todas aquellas piezas que se instalaron de ultimo como, por ejemplo: mangueras, válvulas, conectores neumáticos, entre otros. Esto con la finalidad de evitar que estas piezas sufrieran daños durante el traslado y montaje de la centrifugadora.

En este proyecto se realizó la instalación de la centrifugadora Alfa Laval mediante el siguiente proceso:

- Traslado de máquina completa:

Se debe iniciar con la parte que representa el mayor volumen, en donde se integra la mayor parte del equipo y que esta armada, la cual será trasladada al área donde se realizará el montaje de todo el equipo y accesorios para culminar el proyecto.

Figura 20. **Máquina completa**



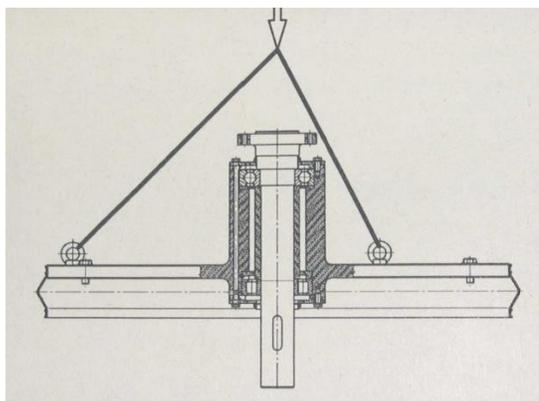
Fuente: Alfa Laval. *Manual de operación*. p. 22.

- Alojamientos:
 - Colocar los tornillos de fijación de la pinza de freno, montar las mangueras de aire.
 - Montar la pinza de freno.
 - Colocar la correa trapezoidal de la polea del árbol de centrifuga.
 - Montar la parte delantera de la tapa de carcasa, la cubierta delantera del canal de correa y la cubierta inferior del canal de correa.
 - Apretar la transmisión por correa.

- Se monta la canasta en estado completo con su entelado. atornillar los tornillos de cabeza cilíndrica que fijan la canasta en el eje de alojamiento. Atornillar los dos tornillos sin cabeza y atornillar las armellas hasta que la canasta se situé en el eje.
- Montar la unidad de regulación y el codo (si es necesario).
- Atornillar los tornillos de fijación del distribuidor de producto (tornillos de cabeza cilíndrica) colando el distribuidor de producto.
- Colocar la carcasa del distribuidor de producto (solamente en caso del distribuidor de producto tipo turbo).
- Apretar la unión roscada de fijación de la tapa de la carcasa y colocar la tapa de carcasa con ayuda de un dispositivo de elevación adecuado.
- Apretar la unión roscada del racor (tubería) de tubo hacia el dispositivo de disolución o de empastado (solamente en caso de un modelo con tina de disolución o de empastado).
- Enroscar las tuercas de la carcasa del distribuidor de producto y bajar la carcasa (solamente en caso del distribuidor de producto tipo turbo).

- Empalmar las mangueras de la carcasa del distribuidor de producto (solamente en caso del distribuidor de producto tipo turbo) y quitar los racores.
- Montar el tubo de alimentación.
- Empalmar las mangueras de vapor hacia el tubo de alimentación y si existen, hacia la caperuza del distribuidor de producto (sólo en caso del modelo con distribuidor de producto tipo turbo).
- Montar el tubo porta toberas de agua.
- Empalmar las mangueras hacia el tubo porta toberas, la unidad de regulación y el dispositivo de carga.

Figura 21. **Alojamientos**

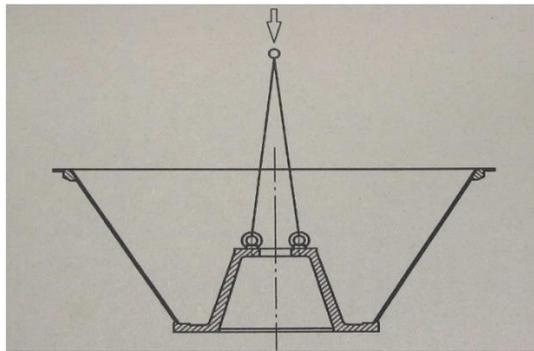


Fuente: Alfa Laval. *Manual de operación*. p. 23.

- Canasta:

En el anillo opresor y en el fondo de la canasta se encuentran números punzonados para marcar la posición relativa de las piezas una referente a la otra, en donde estos números punzonados deben coincidir.

Figura 22. **Canasta**



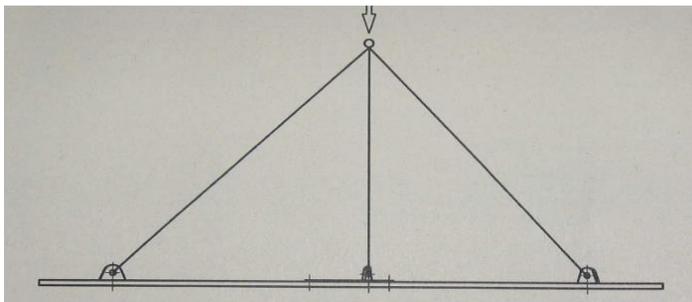
Fuente: Alfa Laval. *Manual de operación*. p. 23.

Atornillar los pernos hexagonales que se ajustan al árbol, para luego retirarla de la centrifuga. El apriete que llevan estos tornillos es de 54 Nm.

- Tapa:

Fijar la tapa de la centrifuga. Enroscar los tornillos cilíndricos que están alrededor, y fijar a las bases metálicas todos los accesorios que van por encima como mangueras o válvulas.

Figura 23. **Tapa**



Fuente: Alfa Laval. *Manual de operación*. p. 24.

2.1.1. Seguridad Industrial

En Siderúrgica de Guatemala se practican una serie de actividades enfocadas a cuidar la integridad física de todos sus colaboradores, que ayudan a prevenir y disminuir accidentes, riesgos o enfermedades ocupacionales, causados por los diferentes tipos de agentes que se manejan. Ayudando también el uso adecuado de la maquinaria, herramienta y la movilidad del personal dentro de las instalaciones.

Por tal razón fue necesario establecer mecanismos y normas para combatir, detectar y localizar los riesgos, estos son:

2.1.1.1. Reglas de Prevención de Covid-19

Derivado de la pandemia Covid-19 se genera la necesidad de crear reglas para prevenir los contagios del virus Coronavirus a los colaboradores dentro del Parque, estas reglas son:

- Dentro de las instalaciones permanecer con la mascarilla o respirador.
- Permanecer al mínimo 1.5 metros de distancia de las personas.
- Lavarse las manos frecuentemente con agua y jabón o utiliza alcohol en gel.
- Cubrirse con el codo al toser o estornudar.
- Prohibido saludar de mano o beso.
- Prohibido compartir artículos personales con otras personas (recipientes o cubiertos para ingerir alimentos, EPP, vestuario, celulares entre otros).
- Reporte inmediatamente cualquier signo de afección respiratoria (secreción nasal, tos, fiebre, dolor de pecho o dificultad al respirar, dolor de garganta u ojos).
- Limpiar y desinfectar las superficies del entorno laboral y objetos de uso común.
- Prohibido la permanencia en áreas fuera de su puesto de trabajo sin autorización previa.
- Al finalizar la jornada de trabajo debe desinfectar su EPP reutilizable.

2.1.1.2. Reglas generales

Estas reglas se aplican en todo el parque industrial, y deben seguirse sin excepción alguna, y debe de ser de conocimiento general de todos los colaboradores de Siderúrgica de Guatemala y personas externas que estén en el parque, estas reglas son:

- Operar o intervenir equipos especiales solo si estoy capacitado y autorizado.
- Mantenerse siempre a distancia segura de las cargas suspendidas.
- Bloquear todas las fuentes de energías antes de intervenir máquinas o equipos en movimientos.
- Mantener las manos alejadas de equipos en movimiento o con riesgo de atrapamiento.
- Ingresas a las áreas restringidas solo si estoy autorizado.
- Solo ejecutar tareas que tengan los riesgos debidamente evaluados y controlados.
- Respetar y mantener todos los dispositivos de seguridad operativos.
- Comunicar inmediatamente todo accidente, incidente, acto y condición insegura.

- Utilizar siempre los equipos de protección personal exigidos para cada actividad.
- Respetar todos los procedimientos, instrucciones, señales y advertencias.

2.1.1.3. Análisis de Trabajo seguro

Es un mecanismo para la detección y localización de riesgos, que se realiza para desglosar las actividades que conlleva un proceso, donde se analizan una por una las actividades a realizar, los posibles riesgos, y las medidas de seguridad a tomar para evitar incidentes.

2.1.1.4. Boletas ACII

Es una boleta para reportar actos, condiciones, incidentes y casi incidentes que ocurran dentro del parque industria, esto para poder llevar un registro de todos los riesgos.

2.1.1.5. Reglas del cuidado de las manos

En AG SIDEGUA se sabe y se concientiza que las manos son el órgano principal para la manipulación del medio y son esenciales no solamente para realizar las tareas rutinarias, así como para las relaciones con el entorno. Estas reglas son:

- Piense siempre antes de utilizar las manos y nunca utilice las manos para identificar puntos de peligro.
- Utilice el guante y las herramientas adecuadas para ejecutar una tarea.

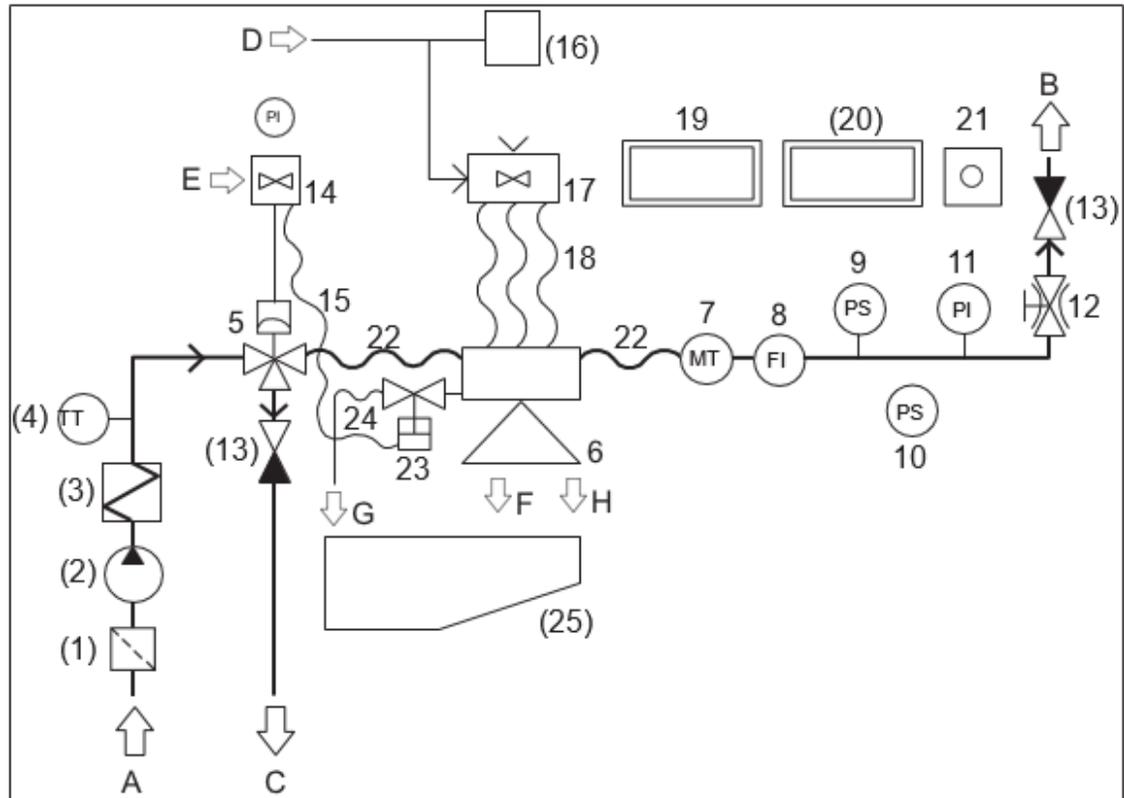
- Observe siempre donde están sus manos y donde las irá a colocar para ejecutar una tarea.
- Mantenga sus manos alejadas de las zonas de peligro como esquinas cortantes y partes en movimiento.

2.1.2. Diagrama de operación

Este diagrama de flujo tiene como objetivo la representación gráfica del proceso de centrifugado. Cada paso del proceso está representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción del paso del proceso, símbolos que están unidos por flechas que están encargadas de indicar la dirección del flujo del proceso.

El diagrama de flujo proporciona una descripción visual de las actividades involucradas en el proceso de centrifugado de la separadora Alfa Laval. Muestra la relación de secuencia entre ellos, lo que ayuda a comprender rápidamente cada actividad y su relación con otras actividades, de igual manera expresa el flujo de información y materiales; y la derivación del proceso, el número de pasos en el proceso y las operaciones entre cada sub equipo.

Figura 24. Sistema de operación individual



- A** alimentación de aceite
- B** Salida de aceite limpio
- C** Recirculación de aceite
- D** Agua de operación

- E** Aire comprimido
- F** Salida de lodos
- G** drenaje de agua
- H** drenaje de la carcasa del tazón

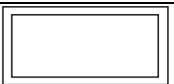
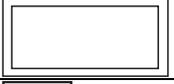
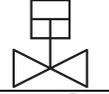
Fuente: Alfa Laval. *Instrucciones de instalación*. p. 32.

Tabla III. Sistema de operación individual

Item	Símbolo	Designación	Función
2		Bomba de desplazamiento	Alimenta al separador con aceite no procesado
3		Calentador	Aumenta la temperatura del aceite no procesado a una temperatura de separación
4		Termómetro	Mide la temperatura del aceite
5		Válvula de cambio controlada neumáticamente	Dirige el aceite no procesado al separador o regreso al tanque (recirculación)
6		Separador	Limpia el aceite removiendo agua y partículas sólidas.
7		Transductor de agua	Mide los cambios en el contenido de agua en el aceite separado
8		Indicador de flujo	Muestra el caudal de aceite
9		Interruptor de alta presión	Detecta alta presión en la salida del aceite
10		Interruptor de baja presión	Detecta baja presión en la salida del aceite
11		Manómetro	Muestra la presión en la salida de aceite
12		Válvula reguladora, manualmente controlada	Regula la contrapresión del aceite limpio
13		Válvula de retención	Detiene el flujo inverso del aceite
14		Electroválvula, aire	Distribuye el aire comprimido a la válvula neumática de control.
		Línea de aire	
15		Manguera flexible, aire	Dirige el aire comprimido a la válvula de paso
16		Tanque de agua	Contiene agua de operación
		Línea de agua	Dirige el agua al bloque de válvula solenoide

Fuente: Alfa Laval. *Instrucción de instalaciones*. p. 33.

Tabla IV. **Continuación de Sistema de operación individual**

Item	Símbolo	Designación	Función
17		Bloque de válvula solenoide, agua	Distribuye agua de operación, agua de acondicionamiento, y agua de desplazamiento al separador.
18		Manguera flexible, agua	Dirige el agua de operación al separador
19		Unidad de control	Supervisa el sistema de separación
20		Inicio	Arranca el separador y la bomba
21		Hongo de paro de emergencia	Inicia una secuencia de apagado controlado
22		Manguera flexible, aceite	Dirige el aceite
23		Válvula de cierre controlada neumáticamente	Descarga el agua drenada del separador
24		Manguera flexible (tamaño de la línea de aceite), agua drenada	Dirige el agua drenada al tanque de lodos
		Línea de agua (tamaño de la línea de aceite), agua drenada	Dirige el agua drenada al tanque de lodos
25		Tanque de lodos	Colecta todo el agua y el lodo del separador

Fuente: Alfa Laval. *Manual de instalación*. p. 35.

2.1.3. Equipos auxiliares

La centrifugadora cuenta con distintos equipos los cuales complementan el proceso de centrifugado, cada uno de ellos cuenta con una función determinada, desde transporte, operación de válvulas y compuertas y empuje del bunker, dichos equipos fueron diseñados para las condiciones de este proyecto.

2.1.3.1. Tubería de aire comprimido

El aire comprimido es necesario para el accionamiento de distintas válvulas por lo cual se propuso la tubería de aire comprimido con diámetro de $\frac{3}{4}$ ", la cual se debe determinar si las pérdidas de presión son permisibles para el correcto funcionamiento de la red, la cual se conectó a un ramal existente.

2.1.3.1.1. Cálculo de longitud equivalente

La longitud equivalente representa una longitud ficticia de tubería ficticia del mismo diámetro que el accesorio que introduciría la misma pérdida de carga que el propio accesorio, en otras palabras, se sustituye el accesorio por un número determinado de metros de tubería que producen el mismo efecto.

Utilizando la ecuación: $L_{eq}/D =$ al número correspondiente para cada accesorio; en la figura número 24, despejando se obtiene la longitud equivalente del accesorio.

Entonces la longitud total es la suma de la longitud total de la tubería recta más la longitud equivalente provocada por los accesorios.

La ecuación que representa a la longitud total de la tubería de aire comprimido para este diseño fue la siguiente:

$$Longitud_{total} = Longitud_{recta} + Longitud_{equivalente}$$

Figura 25. Longitud equivalente en diámetros de accesorios

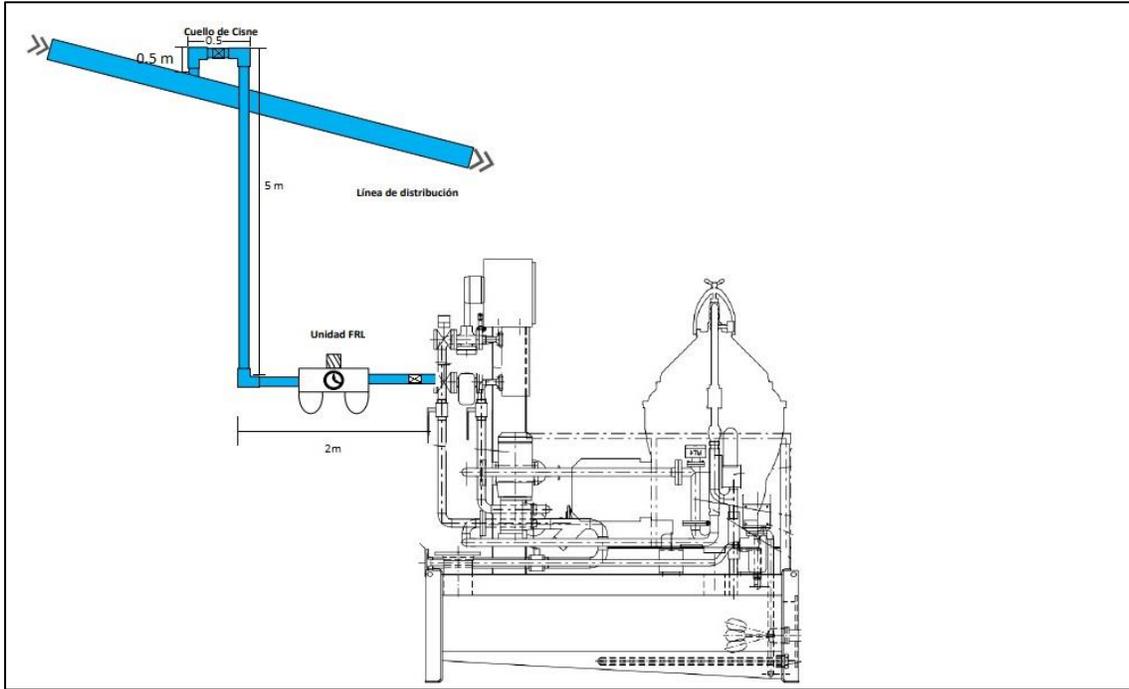
Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doblez de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Fuente: MOTT, Robert; UNTENER, Joseph. *Mecánica de fluidos*. p. 242.

Para identificar la cantidad de accesorios a utilizar en el cálculo de la longitud total, se realizó un diagrama representativo de la tubería el cual se puede evidenciar en la siguiente imagen.

Figura 26. Diagrama de tubería de aire comprimido hacia centrifugadora



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2022.

Para conectar la tubería de aire comprimido al ramal ya existente, se utilizaron 3 codos para calle, y dos válvulas de bola, por lo que L_e se representó con la siguiente ecuación:

$$L_e = L_{codo}(3) + L_{valvula}(2)$$

Se utilizaron datos de la figura 24 para determinar las longitudes de los codos y de las válvulas.

- Despejando la longitud del codo obtenemos que:

$$L/D_{codo} = 50$$

$$L = 50D_{codo}$$

$$L = 50(0,75) = 37,5"$$

- Despejando la longitud de la válvula obtenemos que:

$$L/D_{valvula} = 150$$

$$L = 150D_{codo}$$

$$L = 150(0,75) = 112,5"$$

Por lo tanto, la ecuación de la longitud equivalente se visualiza de la siguiente manera:

$$L_e = 37,5(3) + 112,5(2) = 337,5"$$

Para la longitud recta de la tubería se utilizó $L_{longitud\ recta}$ y se representó con la siguiente ecuación:

$$L_{longitud\ recta} = 0,5 + 0,5 + 5 + 2 = 8m$$

Convirtiendo los metros en pulgadas obtenemos que:

$$8m = 315"$$

Por lo tanto, la longitud total del ramal de aire comprimido que se utilizará para la centrifugadora será:

$$L_{Total} = 337,5" + 315" = 652,5"$$

2.1.3.1.2. Cálculo de pérdida de presión en tubería

Para la selección del diámetro de la tubería de aire comprimido hay factores que se pueden tomar en cuenta como la caída de presión, la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{Factor\ f\ x\ L_{total}}{Factor\ R\ x\ 1000} (PSI)$$

Donde:

- Para determinar el factor R se utilizó la siguiente ecuación:

$$Factor\ R = \frac{Presion\ del\ sistema + P_{atm}}{P_{atm}}$$

$$Factor\ R = \frac{90(PSI) + 14,7(PSI)}{14,7(PSI)} = 7,12$$

- L_{total} es la longitud total de la tubería de aire comprimido en pulgadas.
- Factor de perdida f se determina mediante la tabla V, con el diámetro de la tubería en pulgadas y el caudal del aire comprimido por la instalación en $Pies^3/min$.

Tabla V. Factores “f” de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial

CFM	1/2	3/4	1	1 1/4	2	2 1/2	3	4	5	6	8
5	12,7	1,2	0,5								
10	50,7	7,8	2,2	0,5							
15	114	17,6	4,9	1,1							
20	202	30,4	8,7	2	0,9						
30	456	70,4	19,6	4,5	2						
40	811	125,3	34,8	8,1	3,6						
50		196	54,4	12,6	5,6	1,5					
60		282	78,6	18,2	8	2,2					
70		383	106,6	24,7	10,9	2,9	1,1				
80		503	139,2	32,3	14,3	3,8	1,5				
90		646	176,2	40,9	18,1	4,8	1,9				
100		785	217,4	50,5	22,3	6	2,3				
150			490	113,6	50,3	13,4	5,2	1,6			
200			870	202	89,4	23,9	9,3	2,9			
300				454	201	53,7	20,9	60,6			
400						94,7	37,1	113,7	2,7		
500						150	53	18,3	4,3		
600						215	83,5	26,3	6,2		
700						294	113,7	35,8	8,5	2,6	
800						382	148,4	46,7	11,1	3,3	
900						486	188	59,1	14	4,2	
1000						600	232	73	17,3	5,2	1,9
1100						723	280,8	88,4	21	6,3	2,4
1200						850	344	105,2	25	7,5	2,5
1300							392	123,4	29,3	8,8	3,1
1400									33,9	10,2	3,5

Fuente: SÁNCHEZ, Sergio. *Diagnóstico y propuesta para optimizar la red de aire comprimido en la planta de producción de la industria textilera TENNAT, S.A.* p. 33.

Teniendo todos los datos de la ecuación se realizó el cálculo de la pérdida de la siguiente manera:

$$\Delta P = \frac{30,4 \times 652,5}{7,12 * 1\ 000} = 2,78\ PSI$$

De la siguiente ecuación se cuantifica la pérdida de presión en porcentaje, para determinar si el diámetro seleccionado para la tubería es el adecuado el porcentaje de pérdida de presión debe de estar dentro de un rango de 3 %-6 %.

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión de la instalación}}$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{2,78 \times 100}{90} = 3 \%$$

El diámetro a utilizar para la tubería de aire comprimido fue de $\frac{3}{4}$ "ya que al realizar el cálculo de pérdidas de presión por fricción se determinó que solo se tiene una pérdida total del 3 %.

2.1.3.2. Dimensionamiento de tubería de bunker

Para la selección de la tubería tanto de llenado como descarga de bunker, se utilizaron los datos como capacidad de centrifugado, y propiedades físicas del bunker, con lo que se pudo proponer un diámetro para la tubería de bunker con una pérdida permisible.

En la siguiente tabla se describen las propiedades físicas del bunker utilizado en Siderúrgica de Guatemala, los cuales fueron utilizados para el cálculo de dimensionamiento de la tubería.

Tabla VI. **Propiedades físicas del bunker**

Propiedad física	Dimensionales	Incertidumbre	Unidades
Densidad @15°C	kg/m ³	± N/A	0,9753
Viscosidad cinemática @50 °C	mm ² /s(cSt)	±9,123	573,8
Punto de inflamabilidad	°F/ °C	±N/A	180/82

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021

La separadora FOPX610 TFD-24 Alfa Laval limpia todo tipo de combustible con una máxima densidad de 10 010 kg/m³ a 15 °C y la capacidad de centrifugado se describe en la siguiente tabla:

Tabla VII. **Sistema de separación**

	Viscosidad cSt/ 50 °C	Capacidad l/hr	Temperatura de Separación °C
Aceite pesado	30	9 900	70-98
	40	9 900	80-98
	60	7 800	80-98
	100	7 550	90-98
	180	7 350	98
	380	5 500	98
	460	4 700	98
	600	3 850	98
	700	3 400	98

Fuente: Alfa Laval. *Manual de operación*. p. 43.

2.1.3.2.1. **Número de Reynolds**

Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos para predecir la característica de un flujo en movimiento, el régimen de flujo se denota por

intervalos de valores de número de Reynolds, estos pueden ser: flujo laminar, flujo turbulento y flujo en transición.

La siguiente ecuación muestra la definición básica del número de Reynolds:

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$

Para la aplicación práctica del flujo en tuberías, se encuentra que, si el número de Reynolds del flujo es menor que 2 000, el flujo se denomina flujo laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4 000, se puede suponer que el flujo es turbulento.

Si $N_R < 2\,000$, el flujo es laminar

Si $N_R > 2\,000$, el flujo es turbulento

2.1.3.2.2. Ejemplo de determinación de número de Reynolds

Determine si el flujo es laminar o turbulento en un pasaje circular por el que fluye glicerina a 25 °C dentro de un dispositivo fabricado para procesamiento químico. El diámetro del pasaje es de 150mm. La velocidad promedio del flujo de 3,6 m/s.

Primero se debe evaluar el número de Reynolds mediante la siguiente ecuación.

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$

$$v = 3,6\text{m/s}$$

$$D = 0,15\text{m}$$

$$\rho = 1\,258\text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 9,60 \times 10^{-1} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$N_R = \frac{(3,6)(0,15)(1\,258)}{9,60 \times 10^{-1}} = 708$$

Debido a que $N_R = 708$, lo cual es menor a 2 000, el flujo es laminar.

2.1.3.2.3. Determinación del régimen del flujo para el bunker

Es necesario conocer el estado del flujo dentro de la tubería para hacer el correcto uso de las ecuaciones y soluciones para las condiciones presentadas en el proyecto, el régimen se determinará calculando el número de Reynolds.

De la tabla IV. se extrae la capacidad de centrifugado la cual puede ser utilizada como caudal para la determinación del régimen del flujo.

$$\text{Caudal} = 3\,850\text{ l/hr} = 0,0012618\text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad y el diámetro propuesto para suministrar bunker del tanque donde se almacena hacia la centrifugadora son los siguientes:

$$\text{Viscosidad cinemática } (\mu) = 0,005738\text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Diámetro propuesto } (D) = 0,1\text{ m}$$

$$V = \frac{0,0012618\text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * 0,1^2\text{ m}}{4}} = 0,15\text{ m/s}$$

$$Re = \frac{(0,10m)(0,15m/s)}{0,0005738 \text{ m}^2/s} = 26,14; \text{Regimen laminar}$$

2.1.3.2.4. Factor de fricción para el flujo laminar

Para el cálculo de la pérdida de carga debido a la fricción es necesario encontrar el factor de fricción para el flujo laminar.

$$f = \frac{64}{26,14} = 2,44$$

2.1.3.2.5. Perdida de carga en tubería de bunker debido a la fricción

Para el cálculo de pérdida de carga debido a la fricción para la tubería diseñada para este proyecto se tiene que:

$$\frac{hp}{l} = \frac{2,44 * 0,15^2}{0,10 * 2 * 9,8} = 0,02 \frac{m}{m}$$

Se determina que el diámetro propuesto para la tubería de bunker tiene una pérdida de carga en un rango entre 2 %-5 %.

2.1.3.3. Bomba de succión para bunker

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos que se transportan a través de sistemas de tuberías, deben entregar el caudal deseado del fluido mientras transmite al mismo la energía cinética necesaria para vencer la carga dinámica total requerida ha, equivalente a la suma de las cargas por cambios de elevación,

cargas por diferencias de presión, cargas de velocidad y por último todas las pérdidas de energía ocurridas en el sistema.

Las bombas de desplazamiento positivo entregan una cantidad fija de fluido por cada revolución del rotor de la bomba o eje impulsor. La capacidad de la bomba se ve afectada solo moderadamente por los cambios de presión debido a deslizamientos menores, los cuales son causados por los espacios existentes entre la carcasa y el rotor, los pistones, las paletas y otros elementos activos, estas bombas están diseñadas para líquidos que tienen un amplio rango de viscosidad y pueden entregar fluidos a altas presiones.

La bomba que se utilizará para impulsar el bunker que se transporta a través del sistema de tuberías diseñado en el inciso 2.1.2.1 es una bomba de engranes, la cual está compuesta por dos engranes que se ajustan firmemente en rotación contraria dentro de una armadura. La periferia exterior de los dientes del engranaje encaja estrechamente con la superficie interior de la armadura. El fluido se succiona desde el depósito de suministro localizado en el puerto de succión y es conducido a través de los espacios existentes entre los dientes hasta el puerto de descarga donde se suministra a alta presión al sistema. Las ventajas de las bombas de engranes incluyen baja pulsación de flujo, una buena capacidad para el manejo de fluidos de alta viscosidad y pueden funcionar en cualquier dirección. Los factores limitantes incluyen la capacidad de funcionar solo a presiones moderadas y que no se recomiendan para el manejo de fluidos que contengan sólidos.

Dicha bomba se calculó con base en la ecuación general de la energía, que se expresa de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{bomba} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + CDT$$

2.1.3.3.1. Pérdidas por fricción en el flujo laminar

Un componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido que fluye. Para fluidos en tuberías y tubos, la fricción es directamente proporcional a la carga del caudal y de la relación entre longitud y el diámetro del fluido y esto se expresa matemáticamente como la ecuación de Darcy:

$$h_l = \frac{f l_n v_n^2}{d_n 2g}$$

Donde:

$h_l =$ Pérdida de energía debida a la fricción ($N \cdot \frac{m}{N}$, LB - $\frac{ft}{lb}$ ó ft)

$L =$ longitud de la corriente de flujo (m o ft)

$D =$ diametro de la tubería (m o ft)

$v =$ velocidad de flujo promedio ($\frac{m}{s}$ ó $\frac{ft}{s}$)

$f =$ factor de fricción (adimensional)

En este caso la ecuación de Darcy se utilizó para calcular la pérdida de energía debida a la fricción en todas las secciones rectas y largas de la tubería de bunker, tomando en cuenta que la diferencia entre un flujo laminar y uno turbulento es la evaluación del factor de fricción, pero en este caso es laminar.

2.1.3.3.2. Ejemplo de pérdidas por fricción en un flujo laminar

Determine la pérdida de energía si a través de una tubería estándar DN de 150mm cédula 80 fluye glicerina a 25 °C a lo largo de 30m con una velocidad promedio de 4,0 m/s.

$$\rho = 1\,258 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 9,6 \times 10^{-1}$$

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta}$$

Entonces, se tiene

$$Re = \frac{(4,0)(0,1463)(1\,258)}{9,6 \times 10^{-1}} = 767$$

Ya que $Re < 2\,000$, el flujo es laminar.

Con base a la ecuación de Darcy, se obtiene

$$h_l = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{767} = 0,0835$$

$$h_l = 0,0835 \times \frac{30}{0,1463} \times \frac{(4,0)^2}{2(9,8)} = 13,96 \text{ m}$$

2.1.3.3.3. Cálculo de pérdidas de fricción en secciones rectas

En la siguiente tabla se describen los datos que se tomaron en cuenta para el cálculo de pérdidas de energía por fricción en las secciones rectas de la tubería para el traslado del bunker del tanque donde se almacena hacia la separadora Alfa Laval.

Tabla VIII. Pérdidas de energía por fricción en tubería de bunker

hl_n	f	$l(m)$	$Vn^2(m/s)$	$d_n(m)$	$2g$	$hl = \frac{(f * l * v^2)}{d * 2g}$
1	2,44	6,5	0,0225	0,1	19,6	0,182066327
2	2,44	5,4	0,0225	0,1	19,6	0,151255102
3	2,44	6,71	0,0225	0,1	19,6	0,187948469
4	2,44	1,5	0,0225	0,1	19,6	0,042015306
5	2,44	3,2	0,0225	0,1	19,6	0,089632653
6	2,44	2,2	0,0225	0,1	19,6	0,061622449
					Total	0,714540306

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.1.3.3.4. Perdidas por accesorios en tubería de un flujo laminar

La mayoría de los sistemas de tuberías también contienen otros componentes que causan pérdida de energía: válvulas, accesorios (codos, tes, tubos de expansión, tubos de contracción), entradas y salidas de tuberías y equipos como bombas, válvulas, intercambiadores de calor y filtros. Estas pérdidas se denominan pérdidas menores. Sin embargo, el tamaño real de tales pérdidas puede ser importante y, considerando que puede haber una gran cantidad de válvulas y accesorios, la cantidad de pérdidas de energía

acumuladas puede ser bastante grande, por lo que es necesario considerar todas las pérdidas menores.

Se pueden utilizar muchos tipos de válvulas y accesorios de diferentes fabricantes para la especificación e instalación en sistemas de flujo de fluidos. Las válvulas se utilizan para controlar el flujo y pueden ser esféricas, de ángulo de compuerta, de mariposa, diferentes tipos de válvulas de retención y muchas otras configuraciones. El accesorio guía la ruta de flujo o hace que cambie el tamaño de la ruta de flujo, los coeficientes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IX. **Coeficientes de resistencia para válvulas y accesorios**

Válvula de globo	$K = 340f_T$
Válvula de compuerta	$K = 8f_T$
Válvula de ángulo	$K = 150f_T$
Válvula de retención tipo oscilante	$K = 100f_T$
Válvula de retención tipo bola	$K = 150f_T$
Válvula de mariposa	$K = 45f_T$
Válvula de pie con filtro	$K = 420f_T$
Codo de 90°C	$K = 30f_T$
Codo de 90°C y radio largo	$K = 20f_T$
Codo de 45 °C	$K = 16f_T$
Codo de 90°C para calle	$K = 50f_T$
Codo de 45°C para calle	$K = 26f_T$
Codo de retorno	$K = 50f_T$

Fuente: MOTT, Robert y UNTENER, Joseph. *Mecánica de fluidos*. p. 239.

Para el cálculo de coeficiente de resistencia, es necesario conocer el valor de f_t (Coeficiente de fricción), el cual depende del diámetro y del tipo de material utilizado para la fabricación de la tubería; en la siguiente tabla se describen los factores de fricción a utilizar para el cálculo de las perdidas por accesorios.

Tabla X. **Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial cedula 40, nueva y limpia**

Tamaño de la tubería		
Estados Unidos	Métrico	Factor de fricción f_T
½	DN 15	0,026
¾	DN 20	0,024
1	DN 25	0,022
1 ¼	DN 32	0,021
1 ½	DN 40	0,020
2	DN 50	0,019
2 ½	DN 65	0,018

Fuente: MOTT, Robert y UNTENER, Joseph. *Mecánica de fluidos*. p. 242

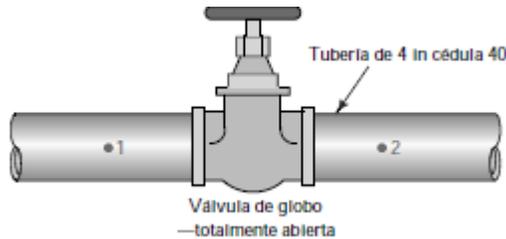
2.1.3.3.5. Ejemplo de pérdidas menores por válvulas y accesorios

Calcule la caída de presión a través de una válvula de globo completamente abierta colocada en una tubería de acero de 4 pulgadas cédula 40 que conduce gal/min de aceite (sg=0,87).

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_l = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

La pérdida de energía es h_l es la pérdida menor debida solo a la válvula. La caída de presión es la diferencia entre P_1 y P_2 . Al despejar la ecuación de la energía para el flujo entre los puntos 1 y 2:

Figura 27. Sistema de tubería con válvula para ejemplo



Fuente: MOTT, Robert y UNTENER, Joseph. *Mecánica de fluidos*. p. 245.

$$p_1 - p_2 = \gamma \left[(z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_l \right]$$

Pero $v_1 = v_2$ Y $z_1 = z_2$ entonces se tiene que:

$$p_1 - p_2 = \gamma h_l$$

La velocidad v es la velocidad de flujo promedio en la tubería de 4in. Para la tubería, $D = 0,3355 \text{ ft}$ y $A = 0,0884 \text{ ft}^2$, entonces se tiene

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{400 \text{ gal/min}}{0,0884 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ ft}^3/\text{s}}{449 \text{ gal/min}} = 10,08 \text{ ft/s}$$

$$K = f_t \frac{L_e}{D} = (0,016)(340) = 5,44$$

$$H_L = KX \frac{v^2}{2g} = (5,44) \frac{(10,08)^2}{(2)(32,2)} \text{ ft} = 8,58 \text{ ft}$$

Para el aceite $\gamma = (0,870) (62,4 \text{ lb}/\text{ft}^3)$. Así, se tiene que

$$p_1 - p_2 = \gamma h_l = \frac{(0,870)(62,4) \text{ lb}}{\text{ft}^3} \times 8,58 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$

$$p_1 - p_2 = 3,24 \text{ PSI}$$

Por lo tanto, en el aceite la presión disminuye 3,24 psi a medida que fluye a través de la válvula. A demás, por cada libra de aceite que fluye a través de la válvula se registra una pérdida de energía de 8,58 lb-ft.

2.1.3.3.6. Cálculo de pérdidas menores

En la siguiente tabla se describen las pérdidas menores causadas por los accesorios utilizados en la fabricación de la tubería que transporta el bunker del tanque donde se almacena hacia la separadora.

La suma de las pérdidas menores ayudara para la determinación de la potencia de la bomba que debe utilizarse para el transporte del bunker del tanque hacia la separadora.

Tabla XI. Cálculo de pérdidas por válvulas y accesorios

No.	Accesorio	k	v^2	$2g$	$h_{acc} = k * \frac{(v^2)}{(2g)}$
1	Válvula Chek	0,16	0,0225	19,6	0,00018367
2	Válvula de compuerta con brida	0,128	0,0225	19,6	0,00014694
3	codo a 45 con bridas	0,256	0,0225	19,6	0,00029388
5	codo a 45 con bridas	0,256	0,0225	19,6	0,00029388
7	codo a 45 con bridas	0,256	0,0225	19,6	0,00029388
9	codo a 90 con bridas	0,32	0,0225	19,6	0,00036735
11	codo a 45 con bridas	0,256	0,0225	19,6	0,00029388
13	codo a 45 con bridas	0,256	0,0225	19,6	0,00029388
14	Válvula de compuerta con brida	0,128	0,0225	19,6	0,00014694
total					0,00231429

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.1.3.3.7. Determinando carga de la bomba

Utilizando la ecuación general de la energía se despeja H_{bomba} para determinar los watts de la bomba que se utilizara para bombear el bunker desde donde se almacena hasta la centrifugadora Alva Laval.

$$h_{bomba} = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}\right) - h_l - h_a$$

Del cálculo de pérdida de energías por fricción y perdidas menores por accesorios y válvulas tenemos que:

$$H_{friccion} = 0,714540306$$

$$H_{accesorios} = 0,00231429$$

$$h_{bomba} = (3 - 0)m + \left(\frac{7\,000 - 101\,325}{0,9753 \times 9,81}\right) + \left(\frac{0,15^2 - 0,15^2}{2 \times 9,81}\right) - 0,72 - 0,0023$$

$$h_{bomba} = 62\,574m$$

2.1.3.3.8. Potencia de una bomba

La potencia se define como la velocidad de trabajo. En mecánica de fluidos es posible modificar esta afirmación para tratar la energía eléctrica como la tasa de transferencia de energía. La potencia se calcula al multiplicar la energía transferida a cada newton de fluido por la rapidez del flujo de peso. Esto es:

$$P_A = h_a W$$

$$W = \gamma Q$$

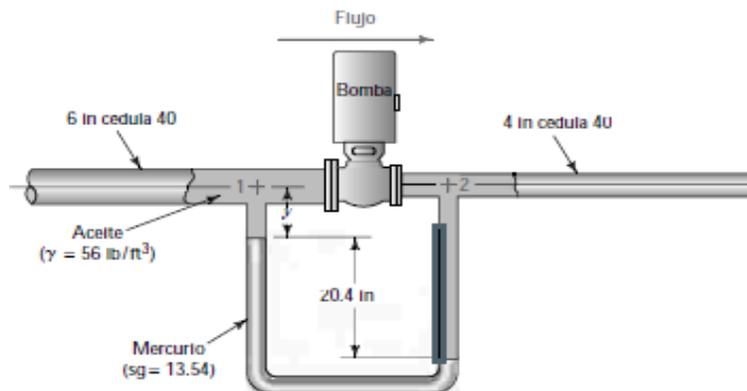
2.1.3.3.9. Ejemplo cálculo de potencia de una bomba

Para la disposición de prueba de una bomba que se muestra en la siguiente figura, determine la eficiencia mecánica de la bomba si la entrada de energía se mide como 3,95 hp cuando se bombean 500gal/min de aceite ($\gamma = 56,00\text{lb}/\text{ft}^3$).

Se debe iniciar escribiendo la ecuación general de la energía, así como se muestra

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_a = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Figura 28. Sistema de prueba de una bomba para problema de ejemplo



Fuente: MOTT, Robert y UNTENER, Joseph. *Mecánica de fluidos*. p. 215.

Como se debe encontrar la potencia que la bomba suministra al fluido, se procede a despejar ha.

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Ya que el manómetro permite calcular $(p_2 - p_1)/\gamma$ porque mide la diferencia de presión, se puede escribir la ecuación de los manómetros entre los puntos.

$$p_1 + \gamma_0 y + \gamma_m(20,4in) - \gamma_0(20,4in) - \gamma_0 y = p_2$$

Donde:

$$(p_2 - p_1)/\gamma_0 = 24,0ft$$

$$\gamma_m = (13,54)(\gamma_w) = (13,54) \left(\frac{62,4lb}{ft^3} \right) = 844,9lb/ft^3$$

$$p_2 = p_1 + \gamma_m(20,4in) - \gamma_0(20,4in)$$

$$p_2 - p_1 = \gamma_m(20,4in) - \gamma_0(20,4in)$$

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma_0} = \frac{\gamma_m(20,4in)}{\gamma_0} - 20,4in = \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_0} - 1 \right) 20,4in$$

$$= \left(\frac{\frac{844,9lb}{ft^3}}{\frac{56,0lb}{ft^3}} - 1 \right) 4in = (15,1 - 1)(20,4in)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma_0} = (14,1)(20,4in) \left(\frac{1ft}{12in} \right) = 24,0ft$$

Evaluando el siguiente término de la ecuación y tomando en cuenta que los dos puntos se encuentran a la misma elevación se obtiene que:

$$(z_2 - z_1) = 0$$

Se evaluará ahora el término $(v_2^2 - v_1^2)/2g$.

$$Q = \left(\frac{500 \text{ gal}}{\text{min}} \right) \left(\frac{\frac{1 \text{ ft}^3}{\text{s}}}{449 \text{ gal/min}} \right) = 11 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Al usar $A_1 = 0,2006 \text{ ft}^2$ y $A_2 = 0,0884 \text{ ft}^2$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{1,11 \text{ ft}^3}{\text{s}} \times \frac{1}{0,2006 \text{ ft}^2} = 5,55 \text{ ft/s}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{1,11 \text{ ft}^3}{\text{s}} \times \frac{1}{0,0884 \text{ ft}^2} = 12,6 \text{ ft/s}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{(12,6)^2 - (5,55)^2 \text{ ft}^2 \text{ s}^2}{(2)(32,2) \frac{\text{s}}{\text{ft}}} = 1,99 \text{ f}$$

Ahora despejando ha

$$h_A = 24,0 \text{ ft} + 0 + 1,99 \text{ ft} = 25,99 \text{ ft}$$

Calculando la potencia estimada para la bomba se obtiene que:

$$P_A - h_{A\gamma} Q - 25,99 \text{ ft} \left(\frac{56,0 \text{ lb}}{\text{ft}^3} \right) \left(\frac{1,11 \text{ ft}^3}{\text{s}} \right)$$

$$P_A = 1620 \text{ lb} - \text{ft/s} \left(\frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ lb} - \frac{\text{ft}}{\text{s}}} \right) = 2,95 \text{ hp}$$

2.1.3.3.10. Cálculo de potencia de bomba para bunker

Para el cálculo de la potencia de la bomba de succión de bunker se tomó en cuenta que la eficiencia real de la misma no es del 100 % y para los picos de arranque se consideró un factor de arranque de 1,2.

$$P = \frac{(0,9759 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2)(0,0012618 \text{ m}^3/\text{s})(62\ 574,83 \text{ m})}{0,85} * 1,2$$

$$P = 1064 \text{ watts} = 1,5 \text{ HP}$$

La potencia requerida en la bomba es de 1,5 HP

2.1.3.4. Cálculo de calentador eléctrico de bunker

Para un mejor funcionamiento del bunker es necesario elevar su temperatura y con ello disminuir su densidad, con ello se logra una atomización adecuada, calentando a una temperatura de aproximadamente 96 °C, por lo cual para fines prácticos debido a que la empresa no cuenta con una caldera para la producción de vapor y cumplir esta función, se realizará la adaptación de un calentador eléctrico de bunker.

Warren Electric Corporation provee una sección de precalentadores de bunker y han estandarizado el cálculo de sus resistencias para el proceso de precalentamiento permitiendo a los usuarios de la guía realizar el cálculo de una manera más sencilla.

$$WATTS = 1,3 * GPH * \Delta T * FS$$

Siendo:

GPG: galones por hora

ΔT : diferencia de temperatura de entrada y salida

FS: factor de seguridad

Con lo que podemos realizar el siguiente calculo:

$$WATTS = 1,3 * 1\ 017 * (208 - 140) * 1,2$$

$$WATTS = 10\ 7000$$

Figura 29. **Calentador eléctrico de bunker**



Fuente: Ingelmec 2019. *Soluciones inteligentes para empresas inteligentes.*
<https://www.ingelmec.com/>. Consulta: 3 de mayo de 2020.

2.1.3.5. Controlador lógico programable PLC

El equipo Alfa Laval que se ubica en esta empresa no cuenta con la unidad de control electrónico, y se genera la necesidad de instalar un controlador lógico programable PLC para habilitar toda a parte eléctrica y electrónica del equipo, y por dicha razón se deben conocer los parámetros de secuencia lógica que controlan la operación del mismo, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Secuencia lógica para el inicio del centrifugado**

Parámetro	Descripción o unidad	Rango	Valor de fabrica	Valor establecido de la planta
Secuencia de inicio				
P50 ¹	Agua de cierre de cuenco	Segundos	0-999	15
P51	No está en uso		---	
P52 ¹	Acondicionamiento de agua	Segundos	0-999	120
P53 ¹	No está en uso	segundos	0-999	60
P54 a P59	No está en uso		---	
Secuencia de separación				
P60 ¹	primera descarga después de la puesta en marcha	Minutos	0 -	10
			
P61 ¹	Tiempo entre descargas de lodos	Minutos P60 + P61 = P1	0 - 999	20
			
P62 a P69	No está en uso		---	

Fuente: Alfa Laval. *Manual de mantenimiento FX series*. p. 82.

Tabla XIII. **Secuencia lógica para descarga de lodos**

Parámetro	Descripción o unidad	Rango	Valor de fabrica	Valor establecido de la planta
Secuencia de descarga de lodos				
P70 ¹	Agua de desplazamiento	Segundos	0-999	120
			
P71	No está en uso			
P72 ¹	Descarga de lodos	segundos	0-999	3,0
P73	No está en uso			
P74 ¹	Agua de cierre del cuenco	Minutos	0 -999	6
			
P75	No está en uso	Minutos	0 - 999	---
			

Continuación de la tabla XIII.

P76¹	Tiempo de referencia	P60 + P61 = P1 El cambio de P1 cambia automáticamente P61.	0-999	30	
P77	No está en uso			---	
P78¹	Acondicionamiento de agua	Segundos	0-999	25	
P79	No está en uso			---	

Fuente: Alfa Laval. *Manual de mantenimiento FX series.* p. 82.

Tabla XIV. **Secuencia lógica para parar el equipo**

Secuencia de parada					
P80 a P83	No está en uso			---	
P84¹	Desplazamiento de agua. Alimentación de aceite	Segundos	0 - 999	70
P85	No está en uso			---	
P86¹	Motor separador apagado	Segundos	0 - 999	180
P87 a P89	No está en uso			---	
P80 a P83	No está en uso			---	

Fuente: Alfa Laval. *Manual de mantenimiento FX series.* p. 83.

2.1.3.6. **Ventajas y desventajas de la centrifugadora Alfa Laval**

A continuación, se detallan las ventajas y desventajas de la centrifugadora Alfa Laval.

2.1.3.6.1. Ventajas

- Es una marca posicionada en el mercado
- Tiene respaldo de repuestos a nivel nacional
- Factible de adaptar con distintos accesorios
- Mayor caudal de proceso a diferencia de otras marcas
- Capacidad de auto limpieza

2.1.3.6.2. Desventajas

- Se requiere de una calibración especializada en sus válvulas
- Aumento de costos de operación
- Requiere mantenimiento periódico
- Requiere extracción de residuos sólidos y líquidos del tanque de almacenaje.

2.1.4. Manual de operación

A continuación, se presenta un resumen del manual de la centrifugadora Alfa Laval.

Las centrifugadoras Alfa Laval transfieren energía mecánica rotatoria en energía cinética en la forma de velocidad de fluido y presión. Las bombas centrífugas y de anillo líquido son dos tipos de bombas rotodinámicas, las cuales emplean fuerza centrífuga para transferir el fluido a bombear. La bomba del lóbulo rotatorio es una bomba de tipo de desplazamiento positivo. La cual desplaza directamente el fluido bombeado desde la entrada de la bomba hasta su salida en volúmenes discretos.

Este manual es un documento que incluye toda la información necesaria para la selección correcta y la aplicación exitosa de los intervalos de Alfa Laval Group de bombas centrífugas, de anillo líquido y de lóbulo rotatorio. Este manual se divide en quince secciones principales que son:

- **Introducción:** esta sección proporciona una corta introducción del manual.
- **Terminología y teoría:** esta sección explica la terminología y la teoría de bombeo, aplicaciones, explicaciones de reología, características de flujo, presión y NPSH.
- **Selección de bombas:** esta sección proporciona una visión general de los intervalos de bombas actualmente disponibles de Alfa Laval Group y en los cuales bombas particulares se pueden aplicar en diversas áreas.
- **Descripción de bombas:** esta sección da una descripción de los intervalos de bombas de Alfa Laval Group, la cual incluye diseño, principios de operación y tipos de modelos de bombas.
- **Materiales de construcción de bombas:** esta sección describe los materiales, tanto metálicos como electrométricos, que se emplean en la construcción de intervalos de bombas de Alfa Laval Group.
- **Sellamiento de bombas:** esta sección describe el principio de sellamiento de bombas, e ilustra los distintos arreglos de sellado usados en los intervalos de bombas de Alfa Laval Group. Se incluye una guía general de selección de sellos, junto con varios parámetros de operación.

- Dimensionamiento de bombas: esta sección muestra como dimensionar una bomba Alfa Laval a partir de producto/fluido y datos de desempeño proporcionados, apoyados por cálculos relevantes y ejemplos con un enfoque simple de paso a paso.
- Opciones de especificación de bombas: esta sección proporciona descripciones detalladas de diversas opciones de especificación disponibles en los intervalos de bombas Alfa Laval, tales como conexión de puertos, chaquetas de enfriamiento/calentamiento, válvulas de alivio de presión y otros auxiliares.
- Motores: esta sección describe motores eléctricos, incluyendo información sobre protección de motores, métodos de arranque, motores para ambientes peligrosos, y control de velocidad.
- Directrices de limpieza: esta sección proporciona directrices de limpieza para usar en procesos, empleando sistemas CIP (clean in place, limpieza en lugar). Se dan interpretaciones de la limpieza, así como explicaciones del ciclo de limpieza.
- Conformidad con directrices y estándares internacionales: esta sección describe algunas de las directrices y estándares aplicables a los intervalos de bombas Alfa Laval.
- Guía de instalación: esta sección cubre las directrices relacionadas con la instalación de la bomba, el diseño del sistema y el trazo de tubería.

- Resolución de problemas: esta sección ofrece posibles causas y soluciones para los problemas más comunes encontrados durante la operación y la instalación de la centrifuga.
- Datos técnicos: esta sección incluye un resumen sobre nomenclatura y fórmulas usadas en este manual. Se muestra además varias tablas y curvas de conversión.

2.1.5. Mantenimiento

Para un mantenimiento periódico es importante llevar un control de las partes a ser limpiadas, verificadas y renovadas a los diferentes intervalos de tiempo para realizar el mantenimiento. Un mantenimiento preventivo correctamente elaborado debe llevar un control de cada intervalo de mantenimiento hecho, en este control se anotan detalladamente todos los puntos que deben chequearse o que fueron chequeados o bien la parte que fue sustituida. Los chequeos diarios consisten en observar que todas las condiciones de funcionamiento sean normales.

2.1.5.1. Cambio de aceite (a)

El intervalo de cambio de aceite es cada 1 000-15 000 horas o por lo menos una vez cada año si el número total de horas de operación es menos del rango indicado anteriormente. Cuando se está usando un grupo de aceite D, los cambios de aceite pueden extenderse de las 1 000-1 500 horas normales a 2 000 horas, ya que el tiempo de operación es distinto.

2.1.5.2. Servicio intermedio (SI)

El servicio intermedio consiste en un mantenimiento del tazón del separador, salida/entrada y del dispositivo de operación, el cual se realiza cada 3 meses o cada 2 000 horas de operación. Se cambian sellos del tazón y los empaques o juntas en el dispositivo de entrada/salida.

2.1.5.3. Servicio mayor (SM)

El servicio mayor consiste de un mantenimiento completo del separador e incluye un servicio intermedio cada 12 meses u 8 000 horas de operación. Se cambian los sellos y cojinetes de la parte inferior.

2.1.5.4. Servicio de 3 años (3A)

El servicio de 3 años consiste en cambiar la base o parte inferior de la estructura. Ya que la parte inferior de la estructura se deteriora conforme transcurre el tiempo de uso.

Tabla XV. **Programa de mantenimiento**

ACTIVIDAD A REALIZAR	FRECUENCIA DE ACTIVIDAD
Cambio de aceite	A
Mantenimiento del tazón	SI
Cambio de sellos y juntas	SI
Mantenimiento del tazón	SM
Cambio de todos los rodamientos	SM
Cambio de base	3A
Cambio de parte inferior de estructura	3A
<i>Over Haul</i>	3A

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.2. Reemplazo de bombas

Este procedimiento se realizará cuando por medio de los chequeos periódicos se identifique el empuje del bunker o que la dosificación efectuada no se encuentre dentro de los parámetros permisibles, soliendo suceder que por el uso de periodos largos se dosifican mayores cargas a la esperada, o bien los engranajes de las bombas han sufrido desgaste y fracturas en sus engranajes y eje interno debido a los residuos sólidos que pasan por ellas.

El procedimiento será el siguiente:

- Diagnóstico de deficiencia en la dosificación.
- Identificación de la bomba de reemplazo.
- Adquisición de la bomba de reemplazo.
- Comparación de condiciones de instalación.
- Cierre de válvulas para impedir paso de bunker.
- Abertura de válvulas de *by-pass* para continuar con bombeo de bunker hacia las dosificadoras.
- Aflojar y quitar de la bomba las líneas de carga y descarga de bunker.
- Quitar acople.
- Quitar bases de sujeción de bomba.
- Instalación de la bomba nueva en su base.
- Instalar acople.
- Instalar línea de alimentación y descarga de bunker.
- Prueba de funcionamiento.

2.2.1. Bombas de igualación

Las bombas son accionadas por un motor controlado por un inverter, que puede variar la velocidad del motor, suministrando una cantidad de bunker al quemador de forma variable según el número de RPM, cuando el quemador está en función, o simplemente manteniendo en circulación el combustible cuando el quemador está apagado, dichas bombas son ideales para elevar presiones a fluidos con alta viscosidad, pero deben funcionar sin residuos sólidos para no causar daños en los componentes interiores de la bomba.

Se determinó en la sección 1.4.3.3 que hacer funcionar las bombas con las cantidades de residuos sólidos actuales ha causado fallos en los engranajes, y desgastes en los ejes centrales de los mismos, causando caídas de presión durante los procesos de producción en los últimos seis meses, razón por la cual se determinó se deben reemplazar las bombas que no puedan mantener una presión óptima de trabajo de 5 BAR.

2.2.2. Bombas de recalentamiento

Las bombas de recalentamiento cuentan con un calentador eléctrico el cual sirve para aumentar la temperatura del bunker o fuel oil hasta los 120 °C, dichas bombas dosifican el bunker a los quemadores encargados de elevar la temperatura del horno cuando se ha tenido horas de paro, o se ha apagado el equipo y es importante logren mantener su presión óptima de trabajo, 5 BAR.

Los desgastes o ralladuras en los ejes fueron provocadas debido a las impurezas en el bunker, originando un excesivo calentamiento al engranaje, y eventualmente algunos dientes también se fracturaron, por lo que se decide reemplazar las bombas dañadas.

2.3. Reparación y reemplazo de accesorios de quemadores

Siendo una pieza que se encuentra al paso de minerales abrasivos y que deben resistir temperaturas muy altas suelen presentar desgaste y en algunos casos obstrucción, por lo que deben ser limpiados o reemplazados según sea el caso.

El diagnóstico realizado en el inciso 1.4.3 se llevó a cabo desmontando los quemadores y realizando una inspección a cada una de las partes que componen el quemador.

2.3.1. Porta lanzas

La portalanza protege las lanzas del calor del horno, y es el componente que la separa del mismo, el cual se debe de desmontar para limpiar la parte interna y realizar las desincrustaciones de carbón que en su interior se acumulan por falta de mantenimiento, impidiendo que el aire de combustión interna fluya de manera correcta entre la lanza y la portalanzas.

2.3.2. Lanzas

Para proceder con la limpieza o cambio de las lanzas se deberá de seguir los siguientes pasos:

- Cerrar válvulas de aire comprimido y bunker
- Abrir bypass de bunker para recirculación
- Aflojar seguro de lanza
- Quitar lanza
- Transportarla a estación de limpieza

- Colocar en prensa
- Quitar piezas de lanza (tapón de cabeza, lanza y mezclador, boquilla)
- Poner piezas en tonel con diésel o thinner
- Limpiar lanzas y sus piezas usando guantes para químicos
- Usando cepillo de alambre y espátula para remover carbón superficial
- Con brocha remojar y limpiar piezas dentro de tonel con diésel
- Secar piezas con aire comprimido y trapos
- Montar cabeza en prensa para armar de nuevo las lanzas
- Colocar o-ring en parte trasera de la cabeza, poner tapón y ajustar
- Poner teflón de alta temperatura al mezclador
- Enroscar tubo de lanza o reemplazar por tubo nuevo si es necesario
- Poner lubricante loctite rosca de boquilla de quemador
- Enroscar boquilla de quemador

2.3.3. Boquilla de lanza

La boquilla que será evaluada corresponde a la media de un diámetro interno de 5/16 pulgadas, considerando previamente las condiciones de velocidad de salida de los gases, determinando además cumplir con los parámetros de diseño para el funcionamiento del horno.

2.4. Resultados

Se realizó una comparación de los paros del horno, consumo de combustible, y porcentaje de residuos sólidos, antes y después de la instalación de la centrifugadora, para determinar el beneficio a la planta de producción.

2.4.1. Análisis al bunker posterior a la instalación de la separadora

La instalación de la separadora dio como resultado la disminución de residuos indeseados, disminuyendo el desgaste y fallo de los equipos auxiliares del horno, logrando menos paros no programados.

Tabla XVI. Análisis al bunker extraído de la centrifugadora

Descripción	% contenido en bunker
Agua por destilación	17,00
Agua y sedimento	17,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.4.2. Cuadro comparativo de análisis de bunker

Realizando una comparación entre los análisis de bunker realizados al combustible almacenado en el tanque antes y después del montaje de la centrifugadora mostró una disminución de residuos sólidos.

Tabla XVII. Parámetros de comparación de análisis de bunker

Descripción	Resultados antes de la intervención	Resultados con intervención
Agua por destilación	20,6	17,00
Agua y sedimento	21,00	17,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.4.3. Cuadro comparativo de temperatura antes y después de la instalación de la centrifugadora Alfa Laval

Se realiza una toma de temperatura de la palanquilla con un instrumento portátil y la reflejada en el HMI al inicio del proyecto y después de la instalación de la centrifugadora para poder comparar si existe una mejora en la temperatura de las mismas, la cual queda descrita en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. Temperatura de palanquilla deshornada

Barra deshornada	Hora 25/06/19	T(°C) instrumento portátil	T(°C) instrumento HMI	Hora 20/03/21	T(°C) instrumento portátil 2	T(°C) instrumento HMI2
		Previo a la intervención	Previo a la intervención		Posterior a la intervención	Posterior a la intervención
1	10:26	1 163	1 102		1 165	1 105
2	10:28	1 162	1 075	10:45	1 163	1 100
3	10:30	1 159	1 096	10:47	1 165	1 103
4	10:33	1 125	1 079	10:49	1 164	1 104
5	10:36	1 148	1 072	10:52	1 160	1 100
6	10:37	1 144	1 108	10:54	1 165	1 105
7	10:40	1 163	1 090	10:56	1 163	1 110
8	10:42	1 158	1 091	10:59	1 167	1 100
9	10:44	1 155	1 085	11:01	1 163	1 098
10	10:47	1 130	1 085	11:03	1 160	1 100
11	10:49	1 149	1 091	11:05	1 157	1 105
12	10:52	1 148	1 092	11:07	1 160	1 108
13	10:54	1 152	1 041	11:10	1 163	1 100
14	10:58	1 134	1 084	11:12	1 160	1 105
15	11:05	1 156	1 080	11:14	1 165	1 108
16	11:03	1 153	1 081	11:16	1 162	1 107
17	11:06	1 122	1 085	11:18	1 165	1 106
18	11:08	1 154	1 094	11:20	1 163	1 103
promedios		1 148		1 085	1 103	1 162

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.4.4. Temperatura en las distintas zonas del horno

Las temperaturas dentro de las tres zonas del horno se monitorearon antes y después de la instalación de la centrifugadora Alfa Laval, para determinar si

hubo un cambio considerable en las fluctuaciones en los cambios de temperatura y los resultados están descritos en la siguiente tabla.

Tabla XIX. **Tabla comparativa de temperaturas en distintas zonas del horno**

Temperatura de Zona de Recalentamiento		Temperatura Zona de Igualación Derecha		Temperatura Zona de Igualación Izquierda	
Previo a la intervención	Posterior a la intervención	Previo a la intervención	Posterior a la intervención	Previo a la intervención	Posterior a la intervención
T(°C)	T(°C)3	T(°C)6	T(°C)7	T(°C)10	T(°C)11
1 102	1 102	1 163	1 165	1 161	1 160
1 110	1 105	1 165	1 165	1 161	1 165
1 098	1 100	1 161	1 163	1 155	1 160
1 099	1 110	1 159	1 164	1 150	1 155
1 103	1 103	1 160	1 160	1 151	1 160
1 095	1 108	1 157	1 165	1 152	1 165
1 094	1 105	1 156	1 159	1 150	1 158
1 102	1 109	1 163	1 165	1 150	1 159
1 098	1 100	1 163	1 159	1 152	1 160
1 092	1 110	1 158	1 157	1 152	1 165
1 095	1 105	1 157	1 160	1 158	1 158
1 095	1 100	1 157	1 159	1 160	1 155
1 091	1 108	1 154	1 158	1 160	1 150
1 098	1 105	1 064	1 159	1 159	1 160
1 096	1 110	1 059	1 160	1 158	1 165
1 091	1 110	1 158	1 160	1 159	1 160
1 098	1 108	1 161	1 165	1 163	1 165
1 091	1 105	1 156	1 150	1 158	1 158
1 097,111	1 105,722	1 148,389	1 160,722	1 156,0556	1 159,8889

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.4.5. Cuadro comparativo de consumo de bunker

Se realizó el monitoreo desde el HMI del consumo de bunker por cada zona del horno, antes y después de la instalación de la centrifugadora Alfa Laval, para determinar si hubo una disminución o un aumento en el consumo de combustible para el recalentamiento de palanquillas.

Tabla XX. **Tabla comparativa de consumo de bunker**

Consumo de bunker Zona de Recalentamiento		Consumo de Bunker Zona de Igualación Derecha		Consumo de Bunker Zona de Igualación Izquierda	
Previo a la instalación	Posterior a la instalación	Previo a la instalación	Posterior a la instalación	Previo a la instalación	Posterior a la instalación
Q(L/H)	Q(L/H)2	Q(L/H)4	Q(L/H)5	Q(L/H)8	Q(L/H)9
1 018	990	95	100	178	165
949	995	86	95	181	160
995	1 000	91	90	112	165
1 000	1 010	95	85	111	159
959	1 105	96	84	123	158
1 005	1 108	94	86	123	159
986	1 105	88	90	137	165
994	1 108	100	95	146	163
951	1 009	93	97	152	167
991	1 110	99	98	156	173
971	1 104	95	100	175	170
971	1 100	105	95	177	165
987	1 108	109	90	177	167
963	1 110	108	98	185	170
975	1 100	97	105	160	165
991	1 108	117	98	168	163
953	1 107	113	95	167	165
972	1 103	102	98	177	163
979,5	1 076,667	99,05556	94,38889	155,8333	164,5556

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

2.4.6. Cuadro comparativo de paros no programados en la planta LBA

En la siguiente tabla se describe el porcentaje de paros no programados de las distintas áreas de la laminadora LBA, los cuales fueron monitoreados por un mes previo a la instalación de la centrifugadora y posterior a la instalación de la centrifugadora en el cual se identifica que hubo una disminución del 6,35 % de paros no programados en el área del horno.

Tabla XXI. **Cuadro comparativo de paros no programados**

Área donde se realizó el paro no programado	Suma de Tiempo de paro (min)		Porcentaje de paros no programados %	
	Previo a la instalación	Posterior a la instalación	Previo a la instalación	Posterior a la instalación
Causa externa	460	455	54,96	59,24
Depto. Electrónico / Eléctrico	12	15	1,20	1,95
Depto. Horno	291	250	35,00	28,65
Depto. Mecánico	20	19	2,39	2,47
Depto. Producción	27	30	3,23	3,91
Programado Producción	27	29	3,23	3,78
Total general	837	768	100	100,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2021.

3. FASE DE DOCENCIA

En la empresa se encuentra el personal que estará encargado de la operación, inspección y mantenimiento de la centrifugadora Alfa Laval, por lo que es de suma importancia que cada persona encargada de realizar cada una de las actividades relacionadas al a separadora esté capacitada en los conocimientos básicos del funcionamiento y mantenimiento del equipo, y del impacto que este tendrá en la vida útil de algunos equipos auxiliares del horno.

3.1. Planificación de capacitaciones

Se realizó una serie de actividades para capacitar a los operadores y mecánicos industriales en la operación y mantenimiento de la centrifugadora Alfa Laval.

- Antes de la capacitación
 - Planificación de fecha para la capacitación.
 - Reservación de sala de reuniones para realizar la capacitación.
 - Realización de convocatoria para las jefaturas y el personal técnico y operativo que se encontraran presentes.
 - Confirmación de asistencia a la capacitación de parte de jefes y personal operativo.

- Día de la capacitación
 - Recepción de personal a capacitar.
 - Inicio de la capacitación, abordando el tema sobre la operación de la centrifugadora.
 - Capacitación sobre el mantenimiento autónomo a la centrifugadora Alfa Laval.
 - Evaluación de conocimientos adquiridos.

3.1.1. Objetivo

- Capacitar al personal involucrado en la operación y ejecución del mantenimiento de la centrifugadora.
- Abrir la mente, analizar la labor de cada uno de los operadores de horno y técnicos mecánicos y mejorar la labor de cada uno con lo aprendido.
- Reforzar los conocimientos que poseen cada empleado para que se encuentren altamente preparados en diferentes temas sobre la producción siderúrgica.
- Mejorar los procedimientos de inspección de los equipos auxiliares del horno.
- Incrementar las capacidades de cada operador de horno y mecánicos industriales para que puedan ser líderes para el personal de otras áreas y futuros operadores del horno.

3.1.2. Capacitados

Se identifica que el personal que tiene relación directa con la operación y manejo de la centrifugadora para disminuir los residuos sólidos y líquidos en el bunker utilizado para la combustión que genera calor en el horno de recalentamiento de palanquillas son: 3 operadores del horno, 2 técnicos mecánicos, 2 técnicos electricistas, jefe de mantenimiento mecánicos, 2 ingenieros de proceso, haciendo un total de 9 personas que serán capacitadas.

3.1.3. Metodología de enseñanza en las capacitaciones

- Método didáctico o magistral

Este método se basa en la idea de que es posible enseñar a otros lo que se conoce o de lo que se tiene experiencia, por explicación oral, según esto el capacitador centra todo su esfuerzo en condensar su saber y en buscar la forma mejor de exponerlo con orden, claridad y rigor lógico. Al finalizar se busca que el personal transmita sus conocimientos al resto de personal que tenga que operar el equipo de centrifugado y realice las inspecciones periódicas del horno.

- Método de entrenamiento mental:

Este método enseña a pensar de forma lógica al personal que recibe la capacitación, tratando de preparar a las personas para que puedan con eficacia realizar todas las etapas de la actividad humana completa, que comprende desde el conocimiento a la realización de la acción; es uno de los pocos métodos que fueron hechos precisamente para la educación de adultos, debido a que implica técnicas de los procesos mentales (pensamientos, imágenes, actitudes y

emociones) para mejorar y desarrollar las habilidades que conducen a adquirir conocimiento para operar de manera más eficaz el equipo.

- Resolución de preguntas:

El capacitador luego de exponer los temas deberá resolver dudas que surjan de los participantes en la relación a los temas para operar la centrifugadora e inspección de equipos auxiliares del horno, permitiendo con ello aclarar cualquier aspecto que no haya quedado claro durante su momento o al final de la capacitación, con el fin de generar una retroalimentación y el poder plasmar en la mente de cada participante, los conceptos e ideas importantes proporcionadas en las diferentes capacitaciones.

CONCLUSIONES

1. El análisis realizado al bunker almacenado en el tanque, posterior a la instalación de la centrifugadora Alfa Laval, demostró que hubo una disminución del 3,6 % de agua por destilación y un 4 % de disminución de residuos sólidos.
2. El análisis termográfico realizado al horno de la planta de laminación de barras y alambión (LBA) expuso el estado del aislamiento térmico, revestimiento refractario de distintos elementos como compuertas, quemadores, paredes, techos, juntas térmicas y termo coplas, determinando que hay fugas de calor que superan los 284 °C por lo que el material refractario de dichas áreas debe ser reparado.
3. Los filtros para retención de residuos sólidos cambiados en cada mantenimiento a las bombas de empuje y dosificación eran elaborados con una malla de agujeros muy grandes los cuales permitían el paso de partículas de gran tamaño causando daños internos en el eje central y los engranajes conductores y conducidos de las mismas, teniendo como consecuencia pérdidas de presión en las líneas de alimentación de bunker, y el reemplazo en muy corto tiempo de bombas.

La falta de inspecciones y limpiezas a los componentes de los quemadores genera daños en distintas partes del horno y de los quemadores, como el material refractario del quemador y los paneles metálicos de las paredes externas del horno, a su vez los tubos porta lanzas y los componentes de la lanza al no tener una inspección y limpieza periódica generan

taponamientos de bunker restringiendo el paso libre del combustible y el paso del aire de combustión ocasionando taponamientos por bunker solidificado, tubos quemados, boquillas quemadas que causan derrames de bunker, que a su vez causaban el derrame de bunker dentro del horno que daña el piso del mismo, y derrames sobre las palanquillas las cuales se debían desechar generando atrasos en la producción.

El costo mensual por paros no programados para la planta son un total de 8 750,00 USD

4. Se implementa un check list para conocer los valores de operación de componentes auxiliares del horno, con la finalidad de detectar fallas tempranas y disminuir los mantenimientos correctivos.

Se agregan inspecciones periódicas, des incrustaciones de carbón, limpieza de portalanzas, tubos de lanza, bases de lanza y boquillas, que han disminuido la cantidad de veces que el quemador se obstruye y la cantidad de veces que genera derrames de bunker dentro del horno.

Se ahorra 8 240,00 USD en mantenimientos que ya no se realizan por los paros provocados por el alto porcentaje de residuos sólidos que se encontraban en el bunker.

5. Se realizó la capacitación sobre la centrifugadora Alfa Laval, para conocer su funcionamiento, modo de operación, las horas de trabajo que puede realizar de manera diaria, su capacidad de centrifugado, conocer los mantenimientos que se deben de realizar y la frecuencia con la que se deben de realizar para poder prolongar la vida del equipo.

En la capacitación se concientizo sobre el uso correcto del *check list* para tener una detección temprana de las fallas de los equipos auxiliares del horno, el cual se debe de hacer de manera diaria.

Se realizó un plan de capacitación sobre las nuevas metodologías de limpieza a los quemadores del horno que consta en el desmontaje de los quemadores, desarmar las bases porta lanzas, la limpieza de todos los componentes de las lanzas en thinner de manera semanal para disminuir la contaminación de los quemadores con bunker solidificado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar diariamente el *check list* de equipos auxiliares del horno para detectar de forma temprana las posibles fallas que los equipos auxiliares del horno puedan presentar.
2. Tener un stock en bodega de los accesorios que componen el quemador, lanzas, o-rings, boquillas, y tubos porta lanzas, para realizar reparaciones cuando algún quemador falle.
3. Concientizar al personal operativo sobre la importancia de centrifugar el bunker, para disminuir los residuos sólidos y prolongar la vida de los equipos auxiliares del horno como flujómetro, bombas y quemadores con la finalidad de disminuir los paros no programados.
4. Tener acceso a la programación de mantenimientos preventivos del horno y de la centrifugadora, mas no a la manipulación de los mismos, esto para evitar el manejo inadecuado de datos y resultados.
5. Realizar inspecciones periódicas al nivel del depósito de residuos sólidos de la centrifugadora para no permitir la acumulación de los mismos.
6. Realizar los cambios de filtros de partículas sólidas de forma semanal en las bombas de empuje y dosificadoras.
7. Considerar cambiar de proveedor de bunker para mejorar la calidad del combustible utilizado en el horno de recalentamiento de palanquillas.

8. Planificar el mantenimiento al tanque de bunker ya que no se ha realizado desde que se montó la planta y tiene sedimentos sólidos en el fondo del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. GILES, Renald. *Mecánica de fluidos e hidráulica*. 2a ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 1991. 417 p.
2. MOTT, Robert; UNTENER, Joseph. *Mecánica de fluidos*. 7a ed. México: Pearson Educación, 2015. 725 p.
3. SÁNCHEZ, Sergio. *Diagnóstico y propuesta para optimizar la red de aire comprimido en la planta de producción de la industria textil TENNAT, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021. 125 p.
4. SOTO, Gustavo. *Rediseño para la optimización de la red de distribución de agua suave en planta 2 para la empresa textil TENNAT, S.A. Guatemala.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021. 98 p.
5. VALENZUELA, Víctor. *Optimización del sistema de separación centrífuga entre separadoras de marca Alfa Laval y Westfalia utilizadas en la purificación del aceite lubricante.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 91 p.
6. VILORIA, José. *Neumática, hidráulica y electricidad aplicada*. España: Thomson Paraninfo, 2014. 248 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Checklist de inspección sensorial

		CHECKLIST HORNO			
		observaciones:	Hora:		
		Nombre:			
TANQUE DE BUNKER					
Nivel del tanque (Pie):		Fuga:			
AREA DE FILTRO					
		Entrada a filtro secundario (BAR)			
		Salida de filtro secundario (BAR)			
		observaciones:			
BOMBAS DOSIFICADORAS					
		bombas de igualacion (BAR)			
		1	7		
		2	8		
		3	9		
		4	10		
		5	11		
		6	12		
		Bombas de calentamiento (BAR)			
		1	4		
		2	5		
		3	6		
		observaciones:			
		AREA DE QUEMADORES			
		Frontales (BAR)			
		1	7		
		2	8		
		3	9		
		4	10		
		5	11		
		6	12		
		Laterales (BAR)			
		1	4		
		2	5		
		3	6		
		observaciones:			
Aire comprimido					

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 2. Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas

		Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas		PR-NLLNNNNN-NN	Página 1 de 8
Elaborado por: Kevin Guarcas		Revisado por:		Versión:	
Controlado por MC:		Revisado por SISO:		Fecha de elaboración:	
Controlado por CI:		Aprobado por:			

1. OBJETIVO

Realizar mantenimiento preventivo a las lanzas de los quemadores, de forma segura para evitar posibles accidentes a los colaboradores.

2. ALCANCE Y APLICACIÓN

Dirigido a los operadores del Horno quienes estarán a cargo de realizar de manera constante las limpiezas a los quemadores.

3. RESPONSABILIDAD Y/O AUTORIDAD

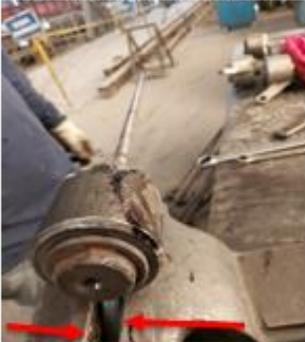
Ing. Walter Pérez

4. CONTENIDO

Realizar las tareas establecidas en este procedimiento, prestando atención al detalle en: (SS) Salud y Seguridad, (CA) Calidad, (MA) Medio Ambiente, (CO) Costos y EN (Entrega)				
No.	Quien	Que	Como	Aspectos relevantes para: SS, CA, MA, CO y EN
1.	Hornero	Eliminar residuos de bunker en lanza	Cambiar de posición la válvula de 3 vías, y abrir por 40 segundos la válvula de aire comprimido para eliminar residuos de bunker en la lanza.	MA: Esta acción se realiza para evitar derrames,
2.	Hornero	Aflojar lanza	Aflojar seguro de lanza utilizando guantes de cuero, girándola hacia la izquierda hasta poder mover el seguro de la lanza.	SS: utilizar guantes de cuero para evitar quemaduras
3.	Hornero	Retirar lanza del quemador	Extraer manualmente la lanza hacia fuera del quemador	SS: Utilizando guantes de cuero para evitar quemaduras MA: Utilizar trapos para limpiar gotas derramadas.
4.	Hornero	Transportar lanza a estación de limpieza	Cargar lanzas por la parte más fría (cabeza), y bajar gradas de plataforma deteniéndose de la baranda y llevarlas hacia la estación de lavado.	SS: Utilizar egp completo , 3 puntos de apoyo en las gradas de plataforma

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 3. **Continuación de Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas**

5	Hornero	Revisión de tonel de limpieza	<p>revisar si tonel de lavado se encuentra limpio para ser utilizado en el mantenimiento.</p> 	<p>MA válvula de drenado cerrada</p>
6.	Hornero	Existencia de diésel	<p>Revisar si las canecas tienen diesel para realizar la limpieza de lanzas</p>	
7.	Hornero	Colocar lanza en prensa manual	<p>girar el tornillo de la prensa para abrir la mordaza de sujecion y colocar la cabeza dentro y sujetarla.</p> 	<p>SS: utilizar guantes para evitar mascarse un dedo con la prensa</p>
8.	Hornero	Quitar tapón de cabeza	<p>Con llave 36mm quitar el tapón de la cabeza de la lanza y remover o-ring.</p> 	<p>SS: utilizar guantes para evitar cualquier golpe con la herramienta</p>

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 4. **Continuación de Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas**

9.	Hornero	Quitar boquilla de lanza	<p>Con con llaves 22mm y 18mm en los espaciadores de la lanza y otra en la boquilla, quitar boquilla de lanza</p> 	<p>SS:</p>
10.	Hornero	Quitar tubo y mezclador de lanza	<p>Con la cola de una llave desenroscar el mezclador y el tubo de la lanza.</p> 	
11.	Hornero	Mojar las piezas con diésel	<p>Colocar piezas que se han desmontado de la lanza dentro del tonel con diésel</p> 	<p>MA: publicar ficha técnica de diésel y thinner.</p>

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 5. **Continuación de Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas**

12.	Hornero	Des carbonizar piezas	<p>Con cepillo de alambre y una espátula remover el carbón de las piezas de la lanza</p> 	<p>SS: utilizar mascarilla para evitar inhalar los residuos que se desprendan de la boquilla</p>
13.	Hornero	Lavar piezas	<p>Con una brocha lavar el exterior e interior de las piezas de las lanzas</p> 	<p>SS: utilizar guantes para manipulación de químicos, mascarilla</p>
14.	Hornero	Secar piezas	<p>sopletear las piezas de la lanza con aire y con un trapo eliminar excedentes de diésel</p>	<p>SS: Utilizar mascarilla y careta para evitar ingesta e inhalación de diésel.</p>
15.	Hornero	Inspección visual	<p>Realizar una inspección visual en busca de obstrucciones de bunker solidificado dentro de las piezas de la lanza</p> 	

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 6. **Continuación de Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas**

16.	Hornero	Fijar cabeza	<p>Fijar cabeza de lanza en mordazas de la prensa</p> 	
17.	Hornero	Instalar o-ring	<p>Verificar si o-ring de tapón de cabeza aun sirve, para colocar de nuevo o reemplazarlo.</p> 	
18.	Hornero	Fijar tapón	<p>Poner y apretar tapón de cabeza de lanza</p> 	

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 7. **Continuación de Procedimiento de rutina de limpieza de lanzas**

19.	Hornerp	Instalar tubo y mezclador	<p>Poner teflón al mezclador y enroscar a la cabeza.</p> 	
20.	Hornero	Instalar Boquilla	<p>poner lubricante a la rosca donde se instala boquilla, de quemador e instalar boquilla</p> 	
21.	Hornero	Transportar lanza	Cargar lanza por la cabeza, hacia el punto de instalación	
22.	Hornero	Instalación	Meter lanza en quemador, y enroscar tornillo de seguridad	
23.	Hornero	Limpiar tonel	Colocar tubería dentro de tonel de bunker contaminado y abrir válvulas de paso	

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 8. Procedimiento de rutina de cambio de filtro

	Procedimiento de rutina de cambio de filtro	PR-NLLNNNNN-NN	Página 1 de 3
Elaborado por: Kevin Guarcas	Revisado por: Walter Pérez	Versión:	
Controlado por MC:	Revisado por SISO:	Fecha de elaboración:	
Controlado por CI:	Aprobado por:		

1. OBJETIVO

Implementar el cambio rutinario de los filtros primarios y secundarios de las bombas en la zona de empuje.

2. ALCANCE Y APLICACIÓN

Dirigido a los operadores del Horno quienes estarán a cargo de realizar de manera constante los cambios de los filtros.

3. RESPONSABILIDAD Y/O AUTORIDAD

Ing. Walter Pérez

4. CONTENIDO

Realizar las tareas establecidas en este procedimiento, prestando atención al detalle en: (SS) Salud y Seguridad, (CA) Calidad, (MA) Medio Ambiente, (CO) Costos y EN (Entrega)				
No.	Quien	Que	Como	Aspectos relevantes para: SS, CA, MA, CO y EN
1.	Hornero	Transporte de herramienta	Transporte de herramienta, filtros limpios y charola al área de filtros	SS. Colaborador no debe cargar más de lo permitido para evitar tropezarse o votar herramienta.
2.	Hornero	Verificación de válvulas	verificar si la posición de las válvulas de paso de bunker de la línea en la que se trabajara están cerradas.	SS, MA Esta acción es para evitar los derrames de bunker, y heridas por quemaduras por la temperatura del mismo.
3	Hornero	Drenar	Abrir llave de drenado de bunker para vaciar las bases de los filtros dentro de la charola.	SS. esta acción es realizada para eliminar presión en la base del filtro y extraer el mismo sin derrames.
4.	Hornero	Quitar tapadera	Desatornillar la tapadera del filtro, con copa allen y rach	
5.	Hornero	Levantar filtro	Levantar el filtro de su base y colocar dentro de la charola para evitar derrames.	SS. Se debe utilizar guantes para evitar quemaduras.
6.	Hornero	Inspección de filtro limpio	Realizar una inspección de la parte interna del filtro y si tiene o-ring en el exterior.	CA. Se realiza la inspección para evitar fugas mientras se realiza el bombeo del bunker
7.	Hornero	Colocar filtro	Asentar filtro de forma vertical en su base con el o-ring hacia abajo.	
8.	Hornero	Inspección tapa	Revisar si tapadera tiene o-ring previo a colocarla	

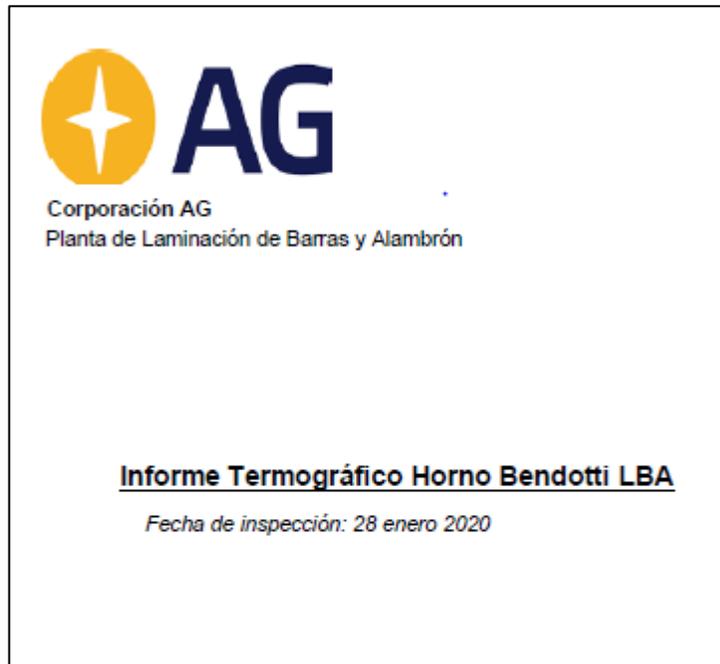
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 9. **Continuación de Procedimiento de rutina de cambio de filtro**

9.	Hornero	Instalar tapa	Colocar tapa enroscar tornillos y apretarlos posteriormente con copa allen y rach.	
10.	Hornero	prueba	Abrir válvulas de paso, y verificar que no existan fugas	SS. Abrir la válvula de forma gradual, para prevenir disparos de bunker hacia el operador si es que quedase una fuga.
11.	Hornero	Retiro de charola y herramienta	Si no hay fugas, retirar charola y vaciar bunker contaminado en depósito,	

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

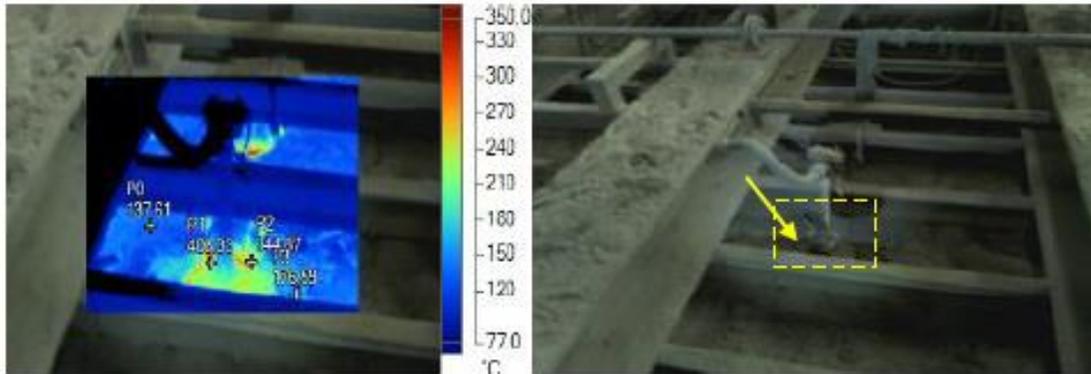
Apéndice10. **Termografía al horno Bendotti**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 11. Continuación termografía al horno Bendotti

TERMOCOPLA DE IGUALACIÓN LADO DERECHO



Hallazgos:

Se observa una fuga de calor a una temperatura máxima de 402°C en la base de la termocopla.

Recomendación:

Reparar el material aislante de la base.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	28/01/2020 09:43:52

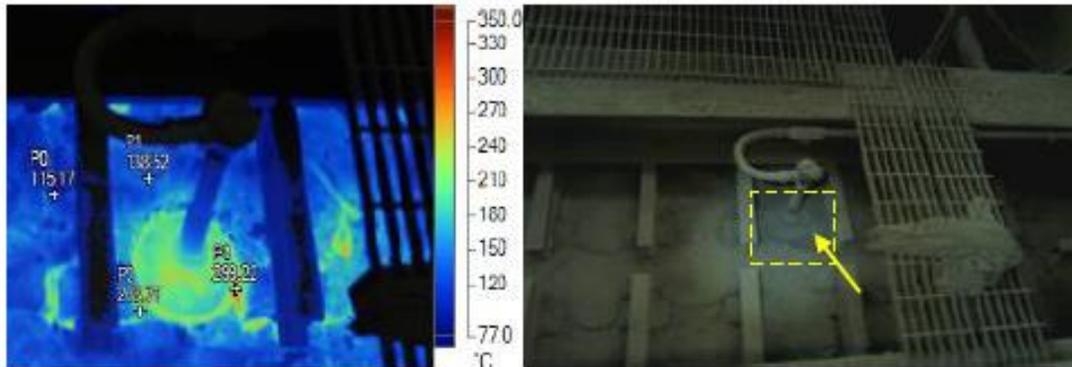
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	137.6 °C
P1	402.3 °C
P2	344.9 °C
P3	176.6 °C
P4	293.4 °C
P5	254.4 °C
P6	152.2 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 12. Continuación de termografía al Horno Bendotti

TERMOCOPLA LADO ZONA DE CALENTAMIENTO.



Hallazgos:

Se observa una fuga de calor a una temperatura máxima de 299°C en la base de la termocopla.

Recomendación:

Reparar el material aislante de la base.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	29.1 °C
Emisividad	0.94
Hora de la imagen	28/01/2020 09:40:21

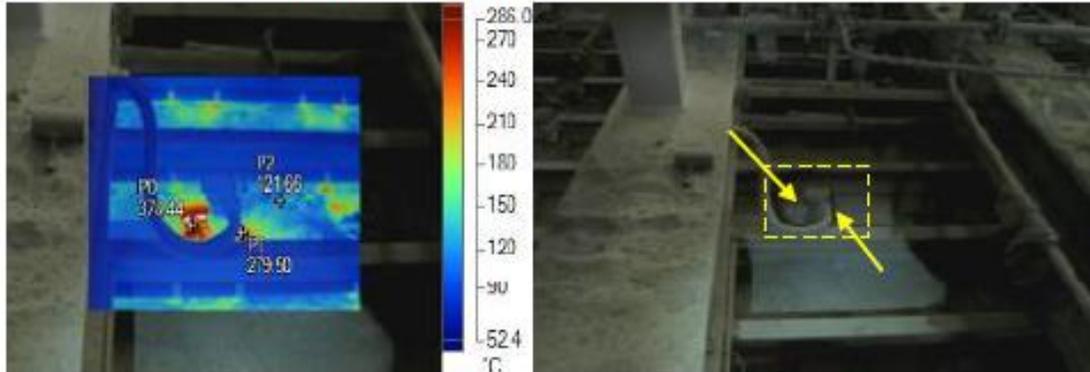
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	115.2 °C
P1	138.5 °C
P2	208.7 °C
P3	299.2 °C
P4	299.2 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 13. Continuación de termografía al Horno Bendotti

TERMOCOPLA ZONA DE IGUALACIÓN LADO IZQUIERDO



Hallazgos:

Se observan fugas de calor a una temperatura de 279°C y 378°C en la base de la termocopla.

Recomendación:

Reparar material aislante de la base.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	29.1 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	28/01/2020 09:39:31

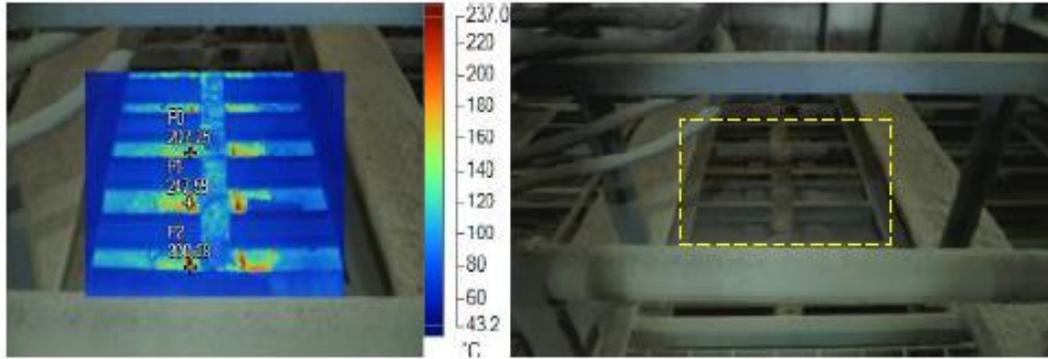
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	378.4 °C
P1	279.5 °C
P2	121.7 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 14. Termografía al horno Bendotti

CUADRANTE 3 TECHO DEL HORNO LADO IZQUIERDO



Hallazgos:

Se observan fugas en grietas del material aislante del techo, con una temperatura máxima de 300°

Recomendación:

Reparar material aislante del techo.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	28/01/2020 09:31:47

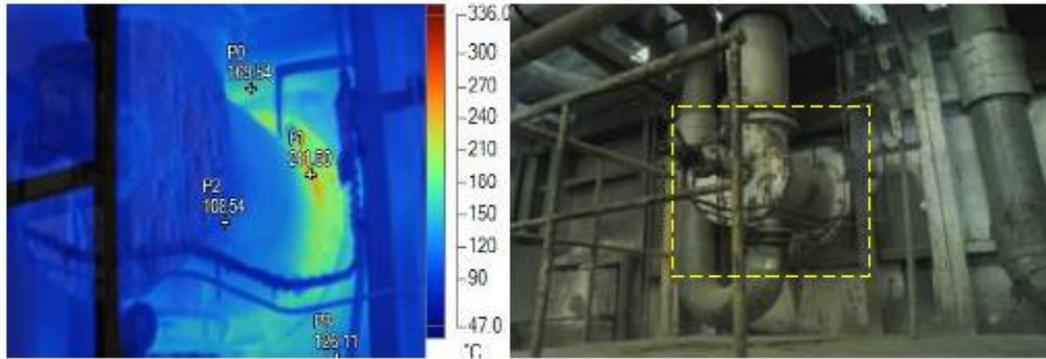
Información del marcador

Marker Name	Maximum
Caliente	292.8 °C
Frío	42.6 °C
Punto central	104.8 °C
Cuadro central	270.7 °C
P0	207.3 °C
P1	247.6 °C
P2	300.3 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 15. Termografía al horno Bendotti

QUEMADOR NO.6 DE CALENTAMIENTO LADO IZQUIERDO.



Hallazgos:

Se observa leve fuga de calor en el flange del quemador.

Recomendación:

Monitoreo periódico con termografía para evaluar la evolución.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 15:29:32

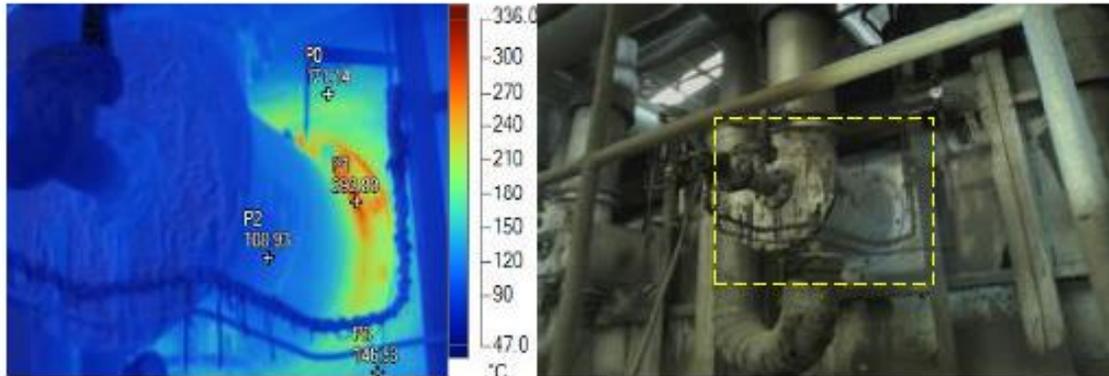
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	169.5 °C
P1	241.5 °C
P2	108.5 °C
P3	126.1 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 16. Termografía al horno Bendotti

QUEMADOR NO.5 DE CALENTAMIENTO LADO IZQUIERDO.



Hallazgos:

Se observa fuga de calor en el flange de 292°C.

Recomendación:

Reparar material aislante del flange.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 15:28:57

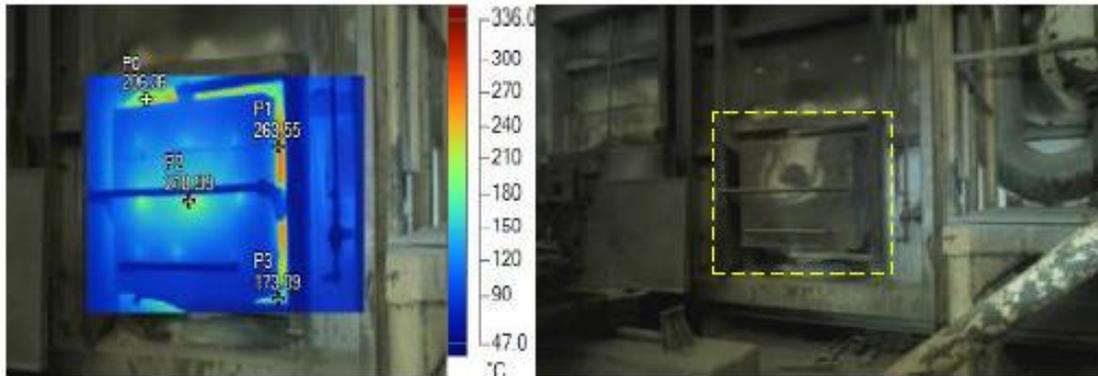
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	171.1 °C
P1	292.8 °C
P2	108.9 °C
P3	146.9 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 17. Termografía al horno Bendotti

COMPUERTA DE INSPECCIÓN LADO IZQUIERDO.



Hallazgos:

Se observa leve fuga de calor en el contorno de la compuerta.

Recomendación:

Monitorear con termografía la tendencia.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 15:22:59

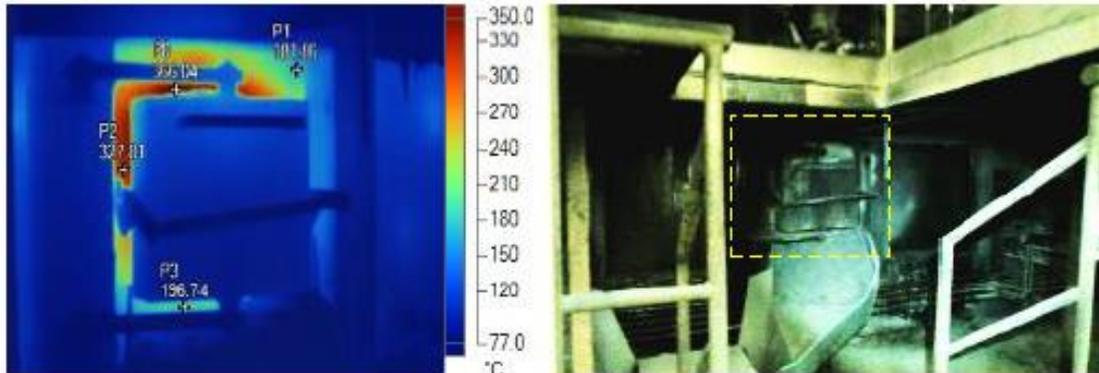
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	206.4 °C
P1	263.6 °C
P2	219.0 °C
P3	173.1 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 18. Continuación al horno Bendotti

COMPUERTA DE LIMPIEZA NO.4.



Hallazgos:

Se evidencia fuga de calor en la parte superior de la compuerta con una temperatura de 366°C.

Recomendación:

Reparar sello aislante de la compuerta.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 15:16:09

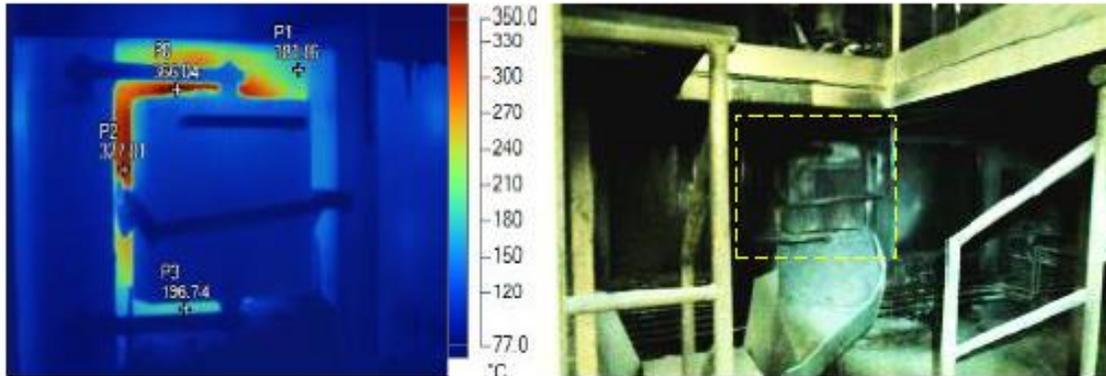
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	366.0 °C
P1	181.9 °C
P2	327.8 °C
P3	196.7 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 19. Continuación al horno Bendotti

COMPUERTA DE LIMPIEZA NO.4.



Hallazgos:

Se evidencia fuga de calor en la parte superior de la compuerta con una temperatura de 366°C.

Recomendación:

Reparar sello aislante de la compuerta.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 15:16:09

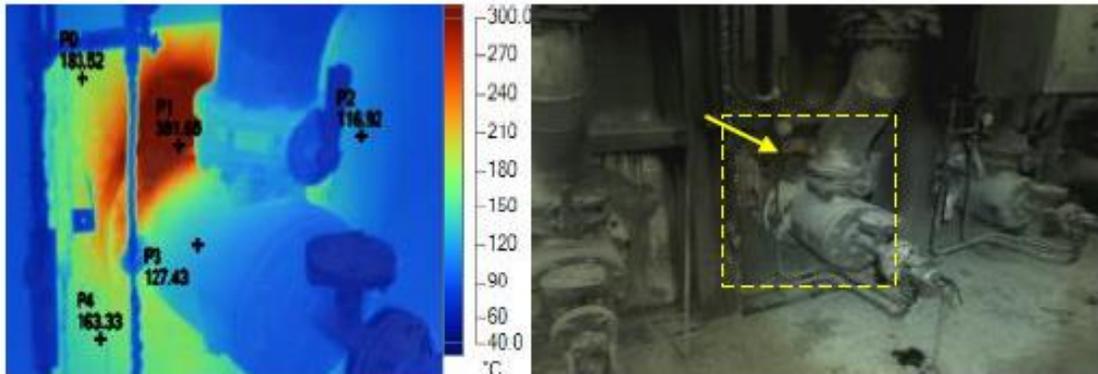
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	366.0 °C
P1	181.9 °C
P2	327.8 °C
P3	196.7 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 20. Continuación termografía al horno Bendotti

QUEMADOR NO.1 IGUALACIÓN IZQUIERDA.



Hallazgos:

Se observa fuga de calor en la zona superior del quemador mostrando una temperatura de 391°C.

Recomendación:

Reparar material aislante del flange.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 14:59:47

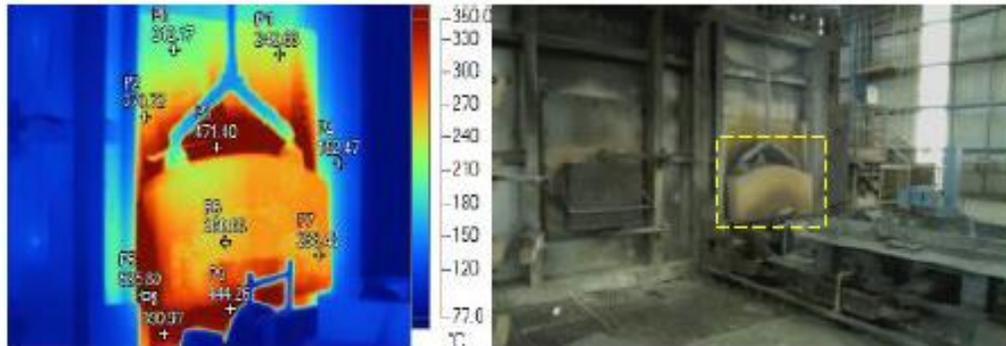
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	183.5 °C
P1	391.7 °C
P2	116.9 °C
P3	127.4 °C
P4	163.3 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 21. Continuación termografía al horno Bendotti

COMPUERTA DESHORNAMIENTO LADO DERECHO



Hallazgos:

Existe fuga de calor en los alrededores de la compuerta con una temperatura máxima de 525°C.

Recomendación:

Reparar material aislante de la compuerta.

Información de la imagen

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 14:50:38

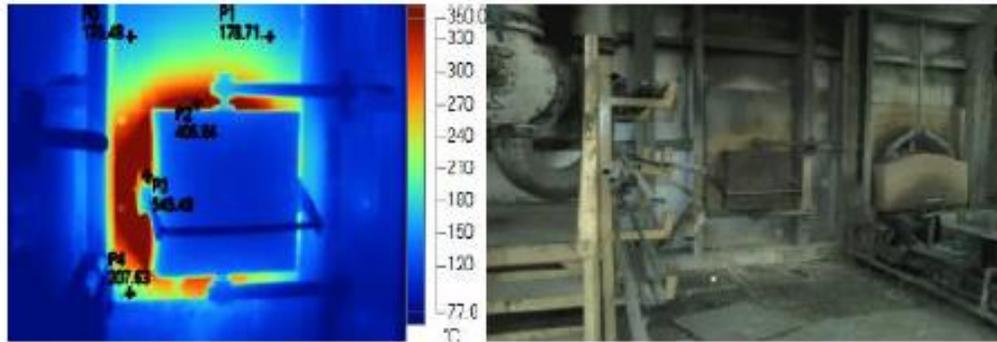
Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	212.2 °C
P1	242.7 °C
P2	270.7 °C
P3	471.4 °C
P4	152.5 °C
P5	525.8 °C
P6	266.7 °C
P7	268.4 °C
P8	391.0 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

Apéndice 22. Continuación termografía al horno Bendotti

COMPUERTA DE QUEMADAS



Hallazgos:

Se observa una fuga de calor en el contorno de la compuerta con una temperatura máxima de 533°C.

Recomendación:

Reparar el material aislante de los alrededores de la compuerta.

Temperatura de fondo	32.0 °C
Emisividad	0.98
Hora de la imagen	27/01/2020 14:47:57

Información del marcador

Marker Name	Maximum
P0	170.5 °C
P1	178.7 °C
P2	405.8 °C
P3	545.5 °C
P4	207.8 °C
P5	121.2 °C
P6	288.8 °C
P7	107.2 °C
P8	223.2 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2121.

