

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE
BIOMASA MEDIANTE CONTROL ELECTRO-MECÁNICO PARA EL
ABASTECIMIENTO DEL HOGAR DE UNA CALDERA PIROTUBULAR
HORIZONTAL DE 300 BHP**

**AUTORES:
Edgar Daniel Molina Campaña
Eddison Alcivar Núñez Cevallos**

**TUTOR:
Marcos Antonio Hechavarría Sánchez**

Quito, agosto 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Edgar Daniel Molina Campaña y Eddison Alcivar Núñez Cevallos, con documento de identificación 171996484-1 y 020219047-6 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE CONTROL ELECTRO-MECÁNICO PARA EL ABASTECIMIENTO DEL HOGAR DE UNA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL DE 300 BHP, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Molina Campaña Edgar Daniel
CI. 171996484-1



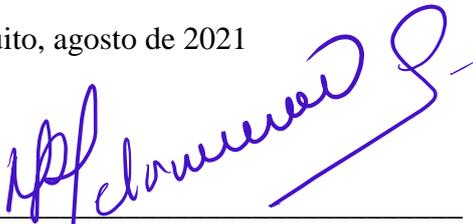
Núñez Cevallos Eddison Alcivar
CI. 020219047-6

Quito, agosto del 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE CONTROL ELECTRO-MECÁNICO PARA EL ABASTECIMIENTO DEL HOGAR DE UNA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL DE 300 BHP. realizado por Edgar Daniel Molina Campaña y Eddison Alcivar Núñez Cevallos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto de 2021



Marcos Antonio Hechavarría Sánchez

C.I: 175668436-9

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico, sin duda a mis padres, Orlando Molina, por su guía, ejemplo de trabajo y dedicación, por el soporte brindado desde siempre para llegar a esta instancia de mi vida. A Mercedes Campaña, mi madre, por su incondicional atención cuando más lo requerí; así como también, por su entusiasmo y ánimos para culminar esta etapa; a ellos, por los momentos en los que me acompañaron durante mi carrera, a ellos, por llenarme de valor para llegar a ser un profesional. A Víctor y José, mis abuelos, que sé que me apoyan sin estar ya presentes. Así también, a mis amigos y familiares por su ayuda y bienvenidas palabras en todo este tiempo. A todos quienes confiaron en que llegaría al final de este camino.

Edgar

“No hace falta que seas un genio, con esfuerzo todo se puede lograr” ... Esta investigación va dedicada, especialmente, a mis padres Hugo Núñez y Martha Cevallos, a mis hermanos Wellington, Ariel y Élkin Núñez. Por otra parte, también deseo dedicar a aquellos que no creyeron en mí, los que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios y mencionaban que no lograría terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino y siempre supusieron que no lo lograría, en fin, aquí les presento mi proyecto final de titulación para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

Eddison

AGRADECIMIENTO

A mi tutor y el cuerpo docente de la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme los conocimientos adquiridos durante los distintos semestres, los mismos que fueron aplicados para el desarrollo de este Trabajo de Titulación. A Terratécnica S.A. por la apertura de sus instalaciones y apoyo para la realización del presente proyecto.

A mis compañeros, por su amistad y ayuda durante la carrera. Así también, a mis amigos y familiares por su apoyo.

Edgar

Un agradecimiento especial a mi familia por los consejos brindados y el apoyo incondicional para salir adelante durante el proceso educativo.

A mis amigos y compañeros, por todos los momentos compartidos, por las tareas y proyectos que realizamos juntos y todas las veces que supieron darme una explicación a las cosas que no entendía.

Para mis maestros y tutor por la guía brindada que enriqueció mis conocimientos, logrando así aplicarlos en la ejecución de este proyecto final.

Por todo el apoyo recibido para la realización de esta investigación se agradece a todas las personas que conforman el grupo TERRATÉCNICA S.A.

Eddison

ÍNDICE GENERAL

Cesión de derechos de autor	i
Declaratoria de coautoría del docente tutor	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento	iv
Índice general	v
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	ix
Nomenclatura.....	x
Resumen	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PARA CALDERAS ..	1
1.1 Calderas.....	1
1.1.1 Funcionamiento de las calderas	1
1.1.2 Partes de una caldera.....	2
a. Quemador:.....	2
b. Hogar o cámara de combustión:.....	2
c. Circuito de humos:	2
d. Caja de humos:.....	3
e. Retorno de agua:.....	3
f. Salida de agua:	3
g. Circuito de agua:	3
1.1.3 Tipos de calderas.....	3
1.2 Calderas de biomasa.....	4
1.3 Sistema de alimentación de calderas.....	5
1.4 Biomasa.....	5
1.4.1 Tipos de biomasa.....	6
a. Plantas:	6
b. Bacterias:.....	6
c. Otros grupos:.....	6
1.5 Combustibles para las calderas de biomasa	6
1.6 Balsa.....	7
1.7 Cascarilla de palma africana	7

1.8 Riesgos laborales en el entorno y la salud	7
1.8.1 Definición de riesgo laboral	8
1.8.2 Tipos de riesgos laborales	8
a. Biológico. -.....	8
b. Químico.....	8
c. Físico.....	8
d. La seguridad.....	8
e. Ergonómico. -.....	8
f. Psicosocial.....	8
1.8.3 Riesgos laborales en el uso de calderas.....	9
CAPÍTULO II.....	10
MARCO METODOLÓGICO	10
2.1 Matriz de riesgo laboral	10
2.1.1 Caracterización de riesgos laborales	10
2.2 Metodología para la selección del sistema de alimentación	12
2.3 Metodología para el cálculo del tornillo	13
2.3.1 Caracterización del material a transportar.....	13
2.3.2 Determinación del tornillo sinfín	13
2.4 Metodología para el cálculo de la estructura	15
2.5 Metodología para el cálculo de la soldadura.....	16
CAPÍTULO III	19
CÁLCULOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TRANSPORTADOR Y ESTRUCTURA	19
3.1 Caracterización de los riesgos laborales	19
3.2 Sistema de alimentación	22
3.3 Cálculo del tornillo sin fin	24
3.3.1 Diámetro del tornillo sinfín y dimensionamiento de la partícula.....	24
3.3.2 Paso del tornillo sinfín.....	25
3.3.3 Número de hélices.....	26
3.3.4 Área de llenado.....	26
3.3.5 Velocidad angular del tornillo sinfín.....	26
3.3.6 Velocidad lineal.....	27
3.3.6.1 Capacidad del tornillo sinfín.....	27
3.3.7 Diámetro interno del tornillo sinfín.....	27
3.3.8 Cálculo dimensiones de hélices del tornillo	29

3.4 Cálculo de la estructura.....	31
3.4.1 Cálculo columna.....	32
3.4.2 Vigas.....	33
3.4.2.1 Flexión.....	34
3.4.2.2 Cortante.....	34
3.4.2.3 Deflexión.....	35
3.5 Soldadura	36
3.6 Relación de transmisión de movimiento.....	36
3.7. Control eléctrico	37
3.8. Presupuesto y cotización.....	39
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES	43
Referencias	44
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento básico de una caldera.	2
Figura 2. Esquema general de una caldera	3
Figura 3. Tipos de calderas.....	4
Figura 4. Sistema de alimentación de calderas de biomasa	5
Figura 5. Matriz cualitativa de riesgos laborales.....	11
Figura 6. Matriz cuantitativa de riesgos laborales.....	11
Figura 7. Parámetros de calificación.	12
Figura 8. Esquema general del sistema.	21
Figura 9. Acumulación del combustible sólido	24
Figura 10. Piezas de balsa	25
Figura 11. Corte de las hélices.	31
Figura 12. Fuerzas presentes en el sistema.	32
Figura 13. Fuerzas internas	32
Figura 14. Distribución de la carga.	33
Figura 15. Circuito de control	38
Figura 16. Circuito de mando.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Biomosas más comunes para calderas	6
Tabla 2. Propiedades de los combustibles sólidos	13
Tabla 3. Datos de cargas.....	15
Tabla 4. Determinación y caracterización de riesgos laborales.....	19
Tabla 5. Tipos de sistemas de alimentación (ventajas y desventajas).	22
Tabla 6. Aspectos para la selección del sistema de transporte.	23
Tabla 7 criterios de calificación.....	23
Tabla 8. Presupuesto estructura	40
Tabla 9. Presupuesto control eléctrico.....	41

NOMENCLATURA

BHP	Boiler Horse Power – Caballos de fuerza de una caldera.
D_e	Diámetro exterior del tornillo sinfín.
p	Paso del tornillo sinfín.
ρ	densidad
S	Área de llenado
v	Velocidad de desplazamiento del material
Q	Flujo del material transportado
D_i	Diámetro interior del tornillo sinfín – diámetro exterior del eje
λ	Esbeltez
Re	Relación de transmisión
Z	Número de dientes de las catalinas
CEMA	Asociación de Fabricantes de Equipos Transportadores
AISC	American Institute of Steel Construction – Instituto Americano de Construcción en Acero
$\#P$	Número de hélices
τ	Esfuerzo cortante
σ	Esfuerzo equivalente
HP	Horse Power – caballos de fuerza
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
F_b	Esfuerzo a flexión admisible
f_b	Esfuerzo a flexión calculado
F_v	Esfuerzo cortante admisible
f_v	Esfuerzo cortante calculado

Δ_a	Deflexión
S_s	Factor de soldadura
w	Velocidad Angular
T	Tamaño de la partícula
N	Número de veces mayor al tamaño de la partícula
\dot{m}	Flujo de material

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y construcción de un sistema de alimentación de biomasa mediante control electromecánico para el abastecimiento del hogar de una caldera pirotubular horizontal de 300 BHP, para la disminución de los riesgos laborales que existen hacia los operadores dentro de la empresa Terratécnica S.A. ubicada en Valencia, Provincia de Los Ríos.

El análisis fue realizado acerca de los peligros al que están expuestos los trabajadores mediante matrices de riesgo, tomando en cuenta los factores que intervienen en el proceso, se considera que la temperatura es el más influyente con un 70 % en la totalidad de los causantes de algún tipo de enfermedad en los operadores por lo que se optó dentro de los sistemas de transporte por un tornillo sinfín junto con una tolva para realizar el suministro de combustible sólido a la caldera.

Se diseñó y calculó los elementos necesarios para la implementación del nuevo sistema como la estructura de soporte, tolva, tornillo sinfín, relación de transmisión a través de la Teoría de Vonmises, flexión, deflexión y esfuerzo cortante, respectivamente.

Tras la implementación de la máquina se logra reducir la exposición a la que se enfrentan los trabajadores, además de la disminución del tiempo de abastecimiento de la caldera en un 65 % y un 50 % del personal necesario para completar la tarea.

Palabras claves: abastecimiento, caldera, control, motorreductor, sinfín

ABSTRACT

The objective of this work is to reduce the occupational risks that exist towards the operators during the direct feeding process of solid fuel (biomass) towards the hearth of a horizontal firetube boiler of 300 BHP in Terratécnica S.A. located in Valencia, Los Ríos province.

The analysis was done about the danger that the workers are exposed and considering the factors that intervene in the process, it is considered that temperature is the strongest influencer with 70 % in all of the causes of some type of disease to the operators, therefore, it was chosen from the transport systems an endless screw together with a hopper to supply the boiler.

The elements necessary for the implementation of the new system were designed and calculated, for instance the support structure, hopper, worm gear, transmission ratio and the control due to the fact that the machine has a gear motor assembly.

With the respective design drawings and calculations, the construction of this electro-mechanical device was carried out. Having as main materials black tol sheets, square and round tubes, as well as the necessary machinery such as cutters and welders.

After the implementation of the machine, it is possible to reduce the exposure faced by the workers, in addition to the reduction of the boiler supply time by 65 % and by 50 % of the personnel required to complete the task.

Keywords: supplying, boiler, control, geared motor, endless

INTRODUCCIÓN

El uso de biomasa para la combustión en calderas está en ascenso en la actualidad como lo mencionan Chapela et al. [1] en su estudio de la combustión acerca de una caldera tipo carcaza de baja potencia que emplea biomasa. Por otra parte, en la investigación de Reina y Salvador [2] este combustible es considerado una fuente de energía renovable, económico y de fácil acceso para la industria maderera, además se presenta como una fuente de energía neutra en dióxido de carbono (CO₂) por lo que se reducen los gases de efecto invernadero y por ende el impacto ambiental [2].

De acuerdo con los estudios tanto de Dhinakaran et al. [3] como de Shafei et al. [4], la protección de los trabajadores es siempre una preocupación fundamental y dato para considerar dentro de la industria. Sin embargo, Nenonen et al. [5] afirma que, por lo general, la seguridad se toma en cuenta durante la prestación del servicio, mas no en el desarrollo de este [5].

Como mencionan Sharafat y Habibullah [6] en su trabajo investigativo, las calderas son uno de los principales motores de la revolución industrial, así como en la industria textil, farmacéutica, manufacturera y procesamiento de alimentos [6]. Por lo que, la seguridad de los trabajadores es una combinación de responsabilidades por parte de la empresa a la que ellos se deben [4], y su propio desarrollo y conciencia personal [7].

La combustión dentro de las calderas para la generación de vapor es importante en la producción de calor en plantas industriales [8], por tanto, es indispensable que estos dispositivos dispongan de un sistema de alimentación de combustible óptimo y eficiente, logrando así garantizar la eficiencia tanto en la combustión como en el proceso productivo posterior [6].

Los sistemas de transportes para materiales sólidos son aptos para la extracción, dosificación y traslado de estos [9]. Sin embargo, Morán [10] en su investigación menciona que estos sistemas deben ser diseñados con cuidado y consideraciones especiales. Uno de los principales elementos utilizados en estos sistemas son los tornillos sinfín, los cuales se conocen también como ‘transporte de gusano’ [9] debido a su elemento primordial; como lo menciona Minglani et. al [11] en su investigación acerca de transportadores de tornillo sinfín,

además aporta con su estudio que estos sistemas lucen mecánicamente simples, pero la física del transporte de materiales es compleja.

En la actualidad, Terratécnica S.A, ubicada en el cantón Valencia, provincia de Los Ríos, se dedica al secado, procesado, manufactura y comercialización de madera de balsa [12]. Para los mencionados procesos, la empresa utiliza el vapor generado por calderas pirotubulares horizontales [13], las que son alimentadas de biomasa proveniente de los residuos del proceso que se da a la madera en forma de aserrín y chirlatas, dicho abastecimiento lo realizan trabajadores de una forma manual que presenta inseguridad al momento de ejecutarla [4].

Como consecuencia del proceso diario para el abastecimiento de las calderas, tanto la empresa Terratécnica S.A. como los empleados [12], se encuentran preocupados por los riesgos presentes en este proceso tales como los riesgos físicos a los que se encuentran expuestos los operarios, quienes podrían sufrir quemaduras y choques térmicos en el cuerpo humano, así también los riesgos mecánicos como golpes y lesiones, además de heridas debido a la incrustación de astillas y cortes con filos de la madera durante su manipulación directa [14]; por otro lado, existe también un riesgo de tipo ergonómico, que se genera debido al esfuerzo y diferentes posiciones que el operario practica cíclicamente durante su jornada al levantar la biomasa para alimentar la caldera [15].

Es por esto que, a través del presente proyecto se procederá a diseñar y construir un sistema de abastecimiento electromecánico de alimentación de biomasa mediante control electromecánico para el abastecimiento del hogar de una caldera pirotubular horizontal de 300 BHP [12]; lo que permite al operario realizar el proceso de alimentación de la caldera sin tener ningún tipo de contacto directo con el hogar del equipo. Asimismo, con la implementación de este proyecto se podrá disminuir los tiempos muertos por parte de los obreros y controlar su trabajo, además de mejorar el ambiente laboral ubicando a los trabajadores en un sitio determinado, que por consiguiente aumentará su eficiencia en las labores designadas [16].

Para este estudio, los autores han dividido el trabajo de titulación en tres capítulos, los cuales detallan el desarrollo del proceso de diseño y construcción del sistema electromecánico.

- En el Capítulo I, se desarrolla un marco teórico, el cual permite abordar y comprender los conceptos fundamentales acerca del funcionamiento de calderas, junto con el combustible que necesitan para su operación. Así también, se aborda la descripción de la biomasa proveniente de la madera balsa que Terratécnica S.A. utiliza como combustible sólido. Finalmente, y no menos importante, se plantea los riesgos laborales que existen al alimentar las calderas de una forma directa entre operario y equipo.

- En el Capítulo II, se lleva a cabo un análisis para la construcción del dispositivo electromecánico, con las características más adecuadas, como son la correcta geometría del tornillo sinfín, potencia requerida del motor, el tipo de soldadura y cálculo estructural necesarios para el proyecto; basándose en los Manuales de la AISC, 'Diseño en ingeniería mecánica' y 'Elementos de máquinas' de Shigley, 'Máquinas y mecanismos' de Myzka, además de los conocimientos adquiridos durante la carrera.

- En el Capítulo III, en base a los puntos presentes en el Capítulo II, se realiza el diseño del sistema de abastecimiento y control eléctrico, además del cálculo estructural para la respectiva construcción del sistema.

El proyecto tiene como objetivo general diseñar y construir un sistema de alimentación de biomasa mediante control electromecánico para el abastecimiento del hogar de una caldera pirotubular horizontal de 300hp.

Generando así objetivos específicos que permitirán desarrollar el tema planteado, los cuales son:

- Analizar los riesgos laborales que presenta la alimentación directa de biomasa de balsa y cascarilla a fin de evitar cualquier tipo de accidente durante su desarrollo.

- Construir un sistema de alimentación a partir de un tornillo sinfín para salvaguardar la integridad del operario y disminuir los gastos de operación del mencionado sistema

- Desarrollar un sistema eléctrico que brinde seguridad y facilidad de ejecución a los operarios al momento de utilizar la máquina a través del diseño de un control industrial.

- Verificar la funcionalidad del dispositivo electromecánico mediante pruebas de puesta en marcha del sistema con objeto de corroborar la validez del presente proyecto técnico.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PARA CALDERAS

El objeto de este primer capítulo es desarrollar y precisar los conceptos requeridos de acuerdo con la temática de la actual investigación, así también las definiciones de los diferentes componentes y elementos que formarán parte del proyecto; partiendo de la necesidad de eliminar los riesgos laborales presentes en la estación de alimentación para la caldera pirotubular en Terratécnica S.A [12]. Así también, brindar calidad y eficiencia en el servicio gracias a la reducción de tiempos muertos y aprovechamiento de recursos [17].

1.1 Calderas

Del Amo y Patiño [18] mencionan que, una caldera es todo dispositivo a presión donde la energía térmica procedente de cualquier fuente se transforma para ser aprovechada como caloría a través de un medio de transporte ya sea este en fase líquida o vapor [19], además posee un diseño de recipiente cerrado, trabaja en condiciones variadas y tiene una variedad extensa de aplicaciones en la industria [20].

1.1.1 Funcionamiento de las calderas

Smith et al. [21] menciona que, los calentadores de agua trabajan bajo el ciclo termodinámico de Rankine, por lo que, el funcionamiento básico de estos equipos se lo puede representar en la Figura 1, como se puede evidenciar posee una cámara donde, con ayuda de aire y combustible se produce energía [21], de igual forma se tiene un intercambiador de calor en el cual se aprovecha dicho poder calorífico y se transmite al fluido frío, este dispositivo es encargado a su vez de llevar el calor a los puntos de consumo, que pueden ser los procesos de calentamiento con vapor en plantas, las turbinas accionadas por vapor, entre otros [22].

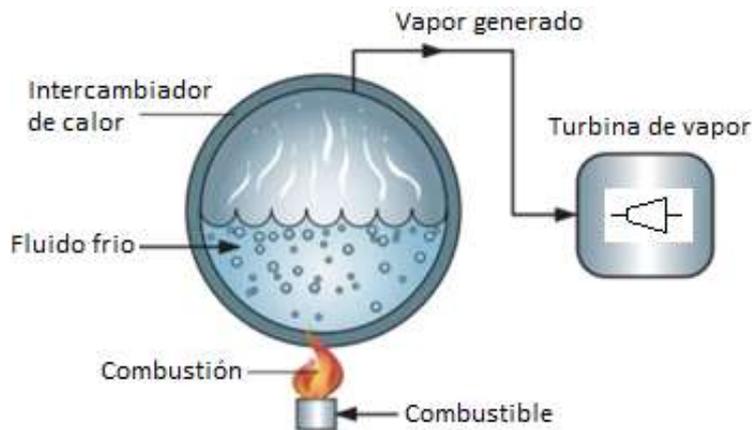


Figura 1. Funcionamiento básico de una caldera [23].

Lindsey et al. [24] afirman que, en estos equipos el fluido adquiere energía por intervención de mecanismos de transferencia de calor tales como la conducción, por el contacto directo entre la llama y el cuerpo de la caldera que contiene el fluido caloportador [23], del mismo modo se produce radiación desde la llama a las paredes del hogar donde tiene lugar la combustión y también se origina convección, ya que, hay intercambio de energía térmica desde los humos calientes producidos por la ignición de la mezcla comburente a las partes metálicas de la caldera [22].

1.1.2 Partes de una caldera

Las partes principales que compone una caldera se las puede observar en la Figura 2 y se encuentran a continuación:

- a. **Quemador:** Es una de las áreas imprescindibles de la caldera puesto que aquí es donde sucede la combinación entre el aire y la fuente de combustible, produciendo así ignición de la mezcla [25].
- b. **Hogar o cámara de combustión:** Taplin [25] indica que, esta zona es donde se aprovecha la combustión del quemador para transmitir la energía calorífica necesaria al intercambiador de calor del sistema, usualmente es de hierro fundido [26].
- c. **Circuito de humos:** Aprovecha el calor de los gases de combustión para precalentar el fluido frío y a la vez está encargado de expulsarlos hacia la caja de humos [27].

- d. **Caja de humos:** Dispositivo en donde se almacenan todos los gases de escape que en consecuencia son enviados hacia la chimenea y a la atmósfera respectivamente [25].
- e. **Retorno de agua:** Ducto por el cual el fluido caloportador regresa al intercambiador calorífico de la caldera para ser implementado nuevamente en el sistema [27].
- f. **Salida de agua:** Vía por la cual se expulsa el fluido que almacena la energía térmica para ser utilizado en el proceso requerido [25].
- g. **Circuito de agua:** Son las cañerías que se utiliza para circular el flujo frio en el interior de la caldera [26].

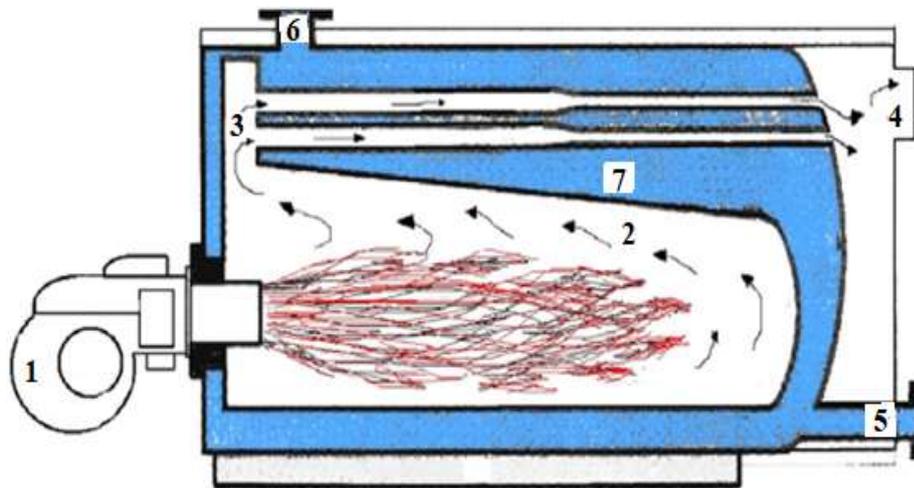


Figura 2. Esquema general de una caldera [25].

Se debe tener en cuenta que, para el funcionamiento constante y eficiente de estos equipos, el suministro de combustible debe ser el adecuado, es por ello que, estos generadores de vapor deben implementar un sistema de alimentación de combustible óptimo para abastecer esta demanda [27].

1.1.3 Tipos de calderas

En el mercado actual, los criterios para clasificar las calderas son variados, sin embargo, la evolución de estos dispositivos, originados en gran parte por el apogeo del aprovechamiento de la biomasa [13], se las puede clasificar en función del diseño y operación [28]. En la Figura 3 se exponen estos criterios:

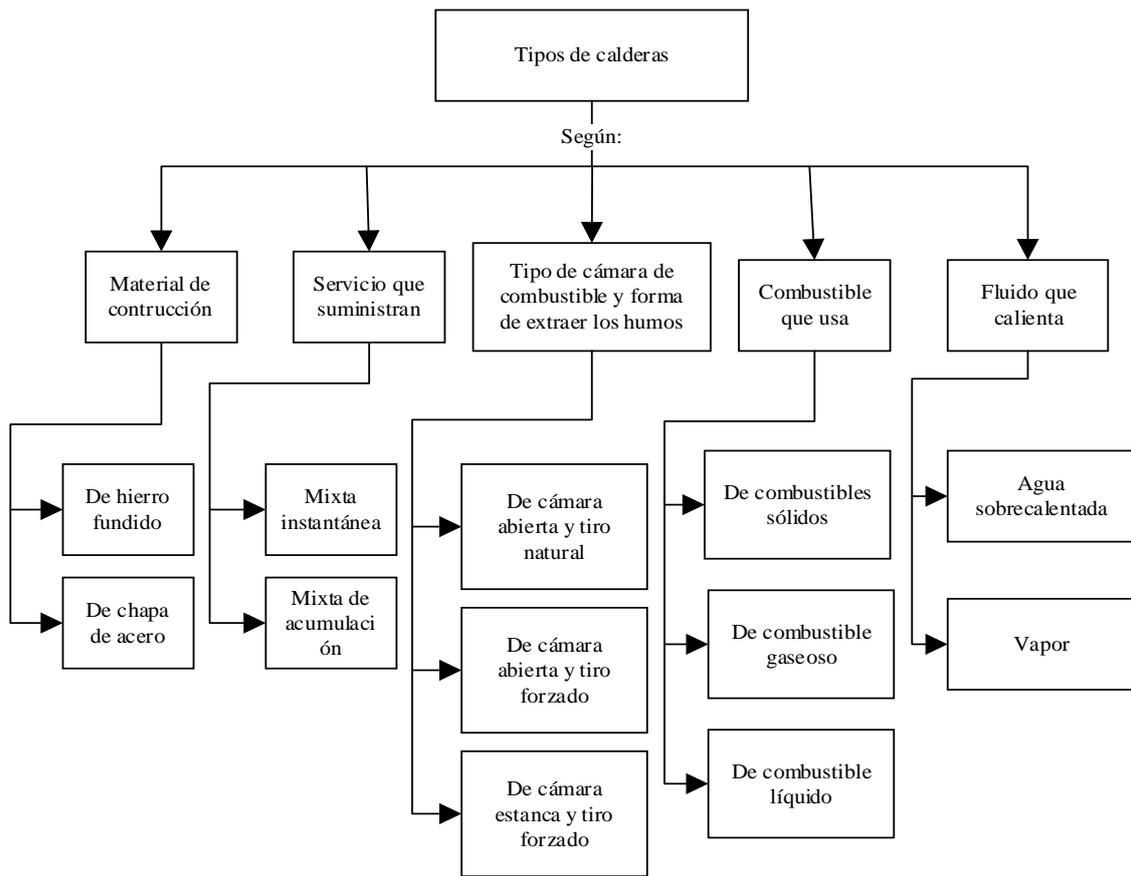


Figura 3. Tipos de calderas [28][29].

Para el presente proyecto técnico se tratan las calderas de acuerdo al combustible empleado en su funcionamiento, específicamente los de combustible sólidos [28].

1.2 Calderas de biomasa

Sorrentino et al. [13] mencionan que, estos equipos utilizan materia orgánica natural para satisfacer la demanda de calor, es decir, son sistemas de generación de energía renovable. Sin embargo, el poder calorífico de estos dispositivos es un poco reducido por ende para satisfacer la demanda de vapor, se necesita mayor cantidad de combustible biomásico [30]. Comúnmente estas calderas se diferencian de las de combustible fósil en los siguientes aspectos:

- Físicamente más grandes [13][31].
- Responden lentamente a los cambios en la demanda de calor [30][31].
- Necesita espacio para el almacenamiento del combustible [13] [31].
- Sus emisiones son más difíciles de controlar [30][31].

1.3 Sistema de alimentación de calderas

La alimentación de calderas debe adecuarse al tipo de combustible que se utiliza para su trabajo. Según Rackl et al. [32] en el caso de las calderas de astilla, este proceso se efectúa mediante un colector, que por lo general es un tornillo sin fin. En la Figura 4 se puede mostrar un sistema de alimentación para calderas de astilla, como se puede visualizar existen dos tornillos sin fin, uno que recoge la materia orgánica desde un depósito, el cual puede ser un silo de acopio y otro lo transporta hacia el hogar de la caldera para el proceso de combustión [33].

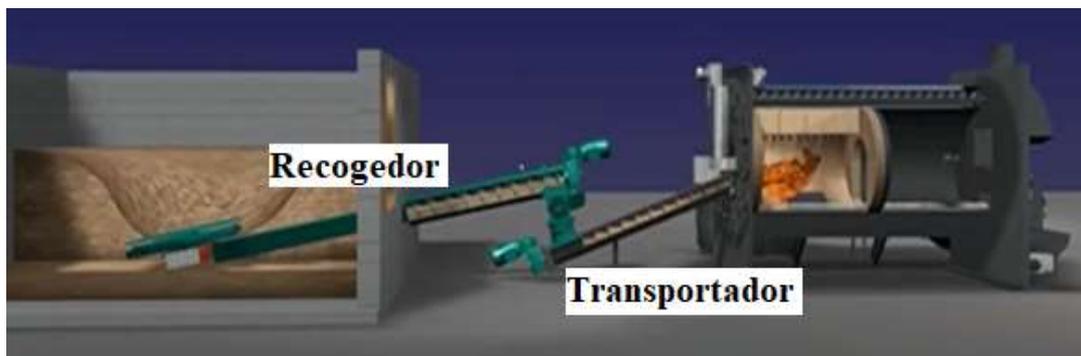


Figura 4. Sistema de alimentación de calderas de biomasa [33].

Kong et al. [34] mencionan que, los quemadores de biomasa han sido reconocidos como un recurso energético ecológico debido a las ventajas económicas y ambientales de la materia orgánica frente los combustibles tradicionales, por tal razón es indispensable fomentar el uso de estos dispositivos, implementando sistemas eficientes para el suministro del material comburente [21].

1.4 Biomasa

Cheng [35] afirma que, al hablar de biomasa se está haciendo referencia a toda la materia orgánica, ya sea esta de origen vegetal, animal, e incluso de residuos industriales, que se puede convertir en energía [36]. Mencionado proceso se lo puede ejecutar a través de la aplicación de tecnología, obteniendo como resultado combustibles líquidos, sólidos o gaseosos [28].

Sánchez et al. [37] mencionan que, un ejemplo claro de la formación de energía en la materia orgánica, son las especies vegetales, que absorben la energía solar a través de fotosíntesis y se almacena mediante la transformación del dióxido de carbono (CO_2) del

ambiente, el agua y diversos minerales [35]. Al realizarse combustión directa de esta biomasa vegetal, se produce oxidación total en contacto con el oxígeno (O₂) del aire, liberando energía térmica, agua, CO₂ y cenizas [38].

1.4.1 Tipos de biomasa

Según el estudio de Bar-On et al. [39] la distribución global de la biomasa terrestre comprende aproximadamente 550 gigatoneladas de carbón (Gt C) que se dividen en 3 grupos generales, los cuales se enlistan a continuación:

- a. **Plantas:** comprenden un estimado del 80 % con 450 Gt C [39][40].
- b. **Bacterias:** es aproximadamente 15 % con 70 Gt C [39] [41].
- c. **Otros grupos:** en orden descendentes comprende a los hongos, arqueas, protistas, animales y virus, que en conjunto representan el 5% restante [39] [42].

1.5 Combustibles para las calderas de biomasa

Existe un sin número de biomasa que se puede utilizar como fuente de combustible para calderas, sin embargo, muchas de éstas no son aptas en este proceso de generación de energía [43]. De manera general Arachchige [44] tabula algunos cultivos de biomasa con su respectiva información científica, en la Tabla 1 se muestra tal información.

Tabla 1. Biomosas más comunes para calderas [40].

Cultivo	Humedad relativa [%]	Poder calorífico [MJ/kg]
Madera de caucho	5	18
Palma de aceite	20	18,84
Cáscara de arroz	13	14,93
Cáscara de coco	11,5	19,6
Aserrín de madera	12	18,41
Astillas de madera	12	18,41

Para el trabajo en curso, se dispone de materia orgánica de origen vegetal como fuente de energía para la caldera de biomasa [35], la materia en mención proviene de las astillas de balsa y cascarilla de palma de aceite o palma africana [45], a continuación se detalla específicamente estos combustibles.

1.6 Balsa

La balsa tiene el nombre científico ‘ochromalagopus’ [46] es un árbol maderable originario de América. Se encuentra en zonas tropicales y de temperatura cálida-húmeda y es una especie de crecimiento rápido [47].

Vásquez y Rosales [48] afirman que, este material es un recurso renovable que está adquiriendo cada vez mayor importancia en un gran número de sectores como el maderero, industria aeronáutica, entre otras [46]. Es extremadamente liviana, sin embargo tiene una relación resistencia-peso muy alta, además posee la cualidad de ser altamente inflamable con un poder calorífico de 164 kcal/kg y humedad relativa de 10 %, por tanto, es ideal como combustible sólido para la generación de energía térmica para calderas [49].

1.7 Cascarilla de palma africana

Según Albis et al. [45] la cascarilla de palma africana es un desecho de biomasa lignocelulósica, que al ser transformada podrían resultar bioproductos útiles como, biocombustibles, biogás, biofertilizantes, biocompuestos y briquetas [50]. En general su presentación es granular, porque es obtenido a través del rompimiento físico de la nuez de palma y su ventaja principal según el estudio de Loh [51] es que tiene un poder calorífico de $18,89 \text{ MJ/kg} \pm 0,01$, el cual le permite liberar una gran cantidad de energía térmica [36].

Por otra parte, Adam et al. [52] manifiestan que, las características de dureza, resistencia y bajo peso de este material lo hacen idóneo para ser utilizado en la generación de energía eléctrica y vapor, logrando sustituir el carbón como material de combustión, por ser más económico y rendidor [51].

1.8 Riesgos laborales en el entorno y la salud

Se toma en cuenta que, una eficacia en la seguridad y salud en el trabajo es fundamental para la gestión de un negocio exitoso [53]. El avance social y tecnológico a través del tiempo brinda una mejora en la calidad de vida y en las condiciones de trabajo de las personas. Con los años se han eliminado o reducido los problemas existentes en las diferentes áreas de trabajo; sin embargo, persisten muchos de estos problemas, otros se

han agravado y han surgido nuevos que están relacionados de manera especial y directa con la salud de los trabajadores [54].

1.8.1 Definición de riesgo laboral

Son los peligros existentes en un lugar de trabajo en donde se puede presentar un accidente que provoque heridas, traumatismos, daños psicológicos, calambres, entre otros. Éstos son negativos para la salud y de esta manera repercuten sobre la tarea o trabajo que se realiza [54][16].

1.8.2 Tipos de riesgos laborales

- a. Biológico.** - Dentro de los peligros biológicos se encuentra; virus, bacterias, insectos, animales, que pueden causar impactos adversos en la salud. Por ejemplo, moho, sangre y otros fluidos corporales, plantas dañinas, aguas residuales, polvo y alimañas [15] [55].
- b. Químico.** - Se presenta con aquellas sustancias y líquidos peligrosas que pueden causar daño. Estos peligros pueden resultar en impactos físicos y para la salud, como irritación de la piel, irritación del sistema respiratorio, ceguera, corrosión y explosiones [15] [55].
- c. Físico.** - Los peligros físicos son factores ambientales que pueden dañar a un empleado sin necesidad de tocarlo, incluidas las alturas, el ruido, la radiación y la presión [15] [55].
- d. La seguridad.** - Estos son peligros que crean condiciones de trabajo inseguras. Por ejemplo, los cables expuestos. A veces se incluyen en la categoría de peligros físicos [15] [55].
- e. Ergonómico.** - Los peligros ergonómicos son el resultado de factores físicos que pueden provocar lesiones musculoesqueléticas. Por ejemplo, una mala configuración de la estación de trabajo en una oficina, mala postura y manipulación manual [15] [55].
- f. Psicosocial.** - Son aquellos que pueden tener un efecto adverso en la salud mental o el bienestar de un empleado. Por ejemplo, acoso sexual, victimización, estrés y violencia laboral [15] [55].

1.8.3 Riesgos laborales en el uso de calderas

Actualmente en la industria ecuatoriana se utiliza vapor proveniente de calderas para diferentes procesos como el secado, desinfección y esterilización [28]. Por tanto, se debe tener en cuenta los riesgos que pueden generar estos dispositivos, ya sea por la transferencia de calor o por la presión generada, ya que, puede resultar peligroso en los procesos, el personal involucrado y el medio ambiente [30]. Por ello, se debe establecer sistemas de control y de seguridad para salvaguardar la integridad del personal de operación [17].

Las consecuencias se ven reflejadas en el medio ambiente, la seguridad y salud en el trabajo, la producción y la operación. Siendo la transferencia de calor y la presión uno de los riesgos principales de estos dispositivos, resultando un peligro inminente para el personal involucrado [56].

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

Dentro de este segundo capítulo se abordará la metodología necesaria para llevar a cabo el análisis de los riesgos laborales presentes en la estación de trabajo en calderas de Terratécnica S.A [12], de la misma manera, se puntualizará las diferentes ecuaciones para el diseño del sistema de alimentación, en las que se encuentran los métodos de cálculo requeridos para el tornillo sinfín, estructura de apoyo, soldadura y relación de transmisión [57].

2.1 Matriz de riesgo laboral

De acuerdo con las condiciones del lugar de trabajo, se debe tomar acciones para resguardar la seguridad y salud de los operarios [54], no solo con el fin de evitar un riesgo laboral, sino también con el hecho de crear hábitos apropiados de operación, buscando principalmente preservar y mantener el bienestar de todos en la empresa [14].

Para la determinación de los riesgos laborales presentes en la empresa Terratécnica S.A se emplea la técnica de lista de chequeo, hoja de verificación o mejor conocida en el inglés como ‘check-list’ [58]. Con esta verificación se puede diferenciar e identificar los riesgos en los que el trabajador de la mencionada empresa se encuentra al momento de ejercer su función principal, la cual es alimentar el hogar de la caldera manteniendo un contacto directo con ésta [59][60].

2.1.1 Caracterización de riesgos laborales

Los riesgos y peligros laborales se agrupan y categorizan de acuerdo a su tipo o manera en la que afecta a los trabajadores; siendo éstos: físicos, químicos, mecánicos, ergonómicos, biológicos y psicosociales [58][60].

Partiendo de la categorización de los tipos de riesgos y su respectiva descripción [58], se lleva a cabo la matriz de riesgos laborales presentes en la empresa Terratécnica S.A. mismos que serán desarrollados en la matriz cualitativa [61] como muestra la Figura 5.

		IDENTIFICACIÓN GENERAL DE RIESGOS LABORALES POR CARGO														CODIGO:													
																FECHA:													
																REVISIÓN:													
EMPRESA:				ELABORADO POR:												TIPO DE EVALUACIÓN													
FECHA:	DÍA	MES	AÑO	FIRMA:												INICIAL													
																REVISIÓN PERIÓDICA				ACCIDENTE DE TRABAJO									
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES				FACTORES DE RIESGO PRESENTES EN EL ENTORNO LABORAL																									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1																													
2																													
3																													
4																													
5																													
6																													
				FACTORES DE RIESGO																									
1				6						11								16									21		
2				7						12								17										22	
3				8						13								18										23	
4				9						14								19										24	
5				10						15								20										25	

Figura 5. Matriz cualitativa de riesgos laborales [58].

Así mismo, la Figura 6 muestra los factores de evaluación, es decir, su categorización de los riesgos.

MATRIZ DE RIESGO				
FACTORES O TIPOS DE RIESGO	PROBABILIDAD (OCURRENCIA)	GRAVEDAD (IMPACTO)	VALOR DE RIESGO	NIVEL DE RIESGO
FÍSICOS				
1			0	Marginal
2			0	Marginal
3			0	Marginal
MECÁNICOS				
4			0	Marginal
5			0	Marginal
6			0	Marginal
QUÍMICOS				
7			0	Marginal
8			0	Marginal
9			0	Marginal
BIOLÓGICOS				
10			0	Marginal
11			0	Marginal
12				
ERGONÓMICOS				
13			0	Marginal
14			0	Marginal
15			0	Marginal
PSICOSOCIALES				
16			0	Marginal
17			0	Marginal
18			0	Marginal

Figura 6. Matriz cuantitativa de riesgos laborales [61][62][63].

Mientras que, la Figura 7 refleja los parámetros de calificación necesarios para llenar la matriz.

LEYENDA							
			GRAVEDAD (IMPACTO)				
			MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
			1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
	ALTA	4	4	8	12	16	20
	MEDIA	3	3	6	9	12	15
	BAJA	2	2	4	6	8	12
	MUY BAJA	1	1	2	3	4	5
	Riesgo muy grave. Requiere medidas preventivas urgentes. No se debe iniciar el proyecto sin la aplicación de medidas preventivas urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo.						
	Riesgo importante. Medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente las variables de riesgo durante el proyecto.						
	Riesgo apreciable. Estudiar económicamente si es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible, mantener las variables controladas.						
	Riesgo marginal. Se vigilará aunque no requiere medidas preventivas de partida.						

Figura 7. Parámetros de calificación [61][62][63].

2.2 Metodología para la selección del sistema de alimentación

Para la selección del sistema de alimentación se toman en cuenta varias técnicas de transporte dentro del sector industrial [32] como son las bandas o cintas transportadoras, cadenas con canchales y tornillos sinfín, con los cuales se puede realizar el transporte de materiales a granel [64].

Con el fin de escoger el sistema más conveniente entre los presentados en el párrafo anterior, se establece las características, propiedades y particularidades con las que cuentan cada uno de ellos [32], es decir, sus ventajas y desventajas frente al tema planteado, por lo que, la metodología se torna en una selección cualitativa [65].

2.3 Metodología para el cálculo del tornillo

En este apartado se encuentra las propiedades de la biomasa con la que se alimenta la caldera [40]. Al mismo tiempo, se detallan las ecuaciones para el cálculo, capacidad y velocidad del tornillo sinfín [57].

2.3.1 Caracterización del material a transportar

Importantes fabricantes de transportadores de tornillo sinfín como COMES y DISMET (España) [66], BEGA HELICOIDALES (México y Estados Unidos), PROMETALL (Ecuador) y la Asociación de Fabricantes de Equipos Transportadores (CEMA, por sus siglas en inglés) [67] han estudiado una extensa variedad de materiales con el fin de determinar sus principales características. De acuerdo con la norma CEMA [67] y Cifuentes [57], las particularidades a considerar en los materiales sólidos a granel son:

- Tamaño de partícula
- Fluidez
- Densidad
- Abrasividad
- Otras características (corrosivo, inflamable, pegajoso) [67][57].

Tabla 2. Propiedades de los combustibles sólidos [68][69][70][71].

Propiedades	Astillas de madera (balsa)	Cascarilla de palma
Densidad	100-150 kg/m ³	700-750 kg/m ³
Tamaño de partícula	-	-
Abrasividad	Media	Alta
Capacidad calorífica	146 kcal/kg	4500 kcal/kg
Humedad relativa	10 %	20 %
Dureza	0,3	8,2
Inflamable	Sí	Sí
Pegajoso	No	No

2.3.2 Determinación del tornillo sinfín

Para el análisis de los parámetros requeridos en el cálculo del tornillo sinfín, se tiene que obtener el diámetro del mismo para ello se usa la Ecuación 1 [72][73].

$$De = G \cdot T \quad (1)$$

Con la Ecuación 2 se calcula el paso respectivo de los alabes [72][74].

$$p = 0.5 \cdot De \quad (2)$$

La cantidad de hélices está dada por la Ecuación 3 [72][74].

$$\#P = \frac{L}{p} \quad (3)$$

Para definir el área de llenado del material a transportar se utiliza la Ecuación 4. El factor ψ es el coeficiente de llenado del canal del tornillo sinfín [72][73].

$$S = \psi \frac{\pi \cdot De^2}{4} \quad (4)$$

La velocidad de desplazamiento del material en la dirección longitudinal del eje del tornillo, el cual depende del paso y de la velocidad de giro del tornillo, está dada por la siguiente expresión [75]:

$$v = \frac{p \cdot \omega}{60} \quad (5)$$

Donde p corresponde al paso del tornillo en metros y n la velocidad de giro de eje del tornillo en revoluciones por minuto [75].

El flujo de material transportado se calcula con la siguiente Ecuación:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot i \quad (6)$$

De la Ecuación (6), Q es el flujo de material transportado, ton/h , S es el área de relleno del transportador, m^2 , v corresponde a la velocidad de desplazamiento del transportador, en m/s [72], ρ es la densidad del material transportado, en ton/m^3 , i es el coeficiente

de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador, en este caso $i = 0.7$ [75].

En consecuencia, la rapidez angular del tornillo se determina mediante la Ecuación 7 [72]. El factor k mencionado es 1 por el ángulo de inclinación del transportador [72] [76].

$$w = \frac{4 \cdot 60 \cdot \dot{m}}{3600 \cdot \lambda \cdot \pi \cdot D e^2 p \cdot t \cdot k}; \left[\frac{rad}{min} \right] \quad (7)$$

La definición de la velocidad lineal del transportador está dada por la Ecuación 8 [72][76].

$$v = w \cdot t \quad (8)$$

La ecuación 9 establece el diámetro interno del sinfín [72][73].

$$Di = \sqrt{D e^2 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{m}}{p \cdot v}} \quad (9)$$

2.4 Metodología para el cálculo de la estructura

Para el cálculo de la estructura es necesario obtener datos preliminares plasmados en la Tabla 3, acerca de cargas vivas e inertes [77], como por ejemplo el peso del tornillo sinfín y su respectiva tolva, motorreductor y accesorios de operación, además del peso propio del material a transportar [78].

Tabla 3. Datos de cargas.

Elemento	Peso [kg]
Tornillo sinfín	670
Tolva	356
Motorreductor	230
Material transportado (al 100 %)	375

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Con los datos descritos en el párrafo anterior y la Tabla 3, en conjunto con las ecuaciones 10, 11, 12, 13 establecidas en el manual de la AISC [78], se obtendrá el análisis estructural

el cual involucra el tipo de material, la cantidad de este y su resistencia para la posterior construcción del soporte tipo mesa, el cual llevará consigo los elementos definidos previamente [77].

$$P = Q \cdot A \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{K \cdot l}{r} \quad (11)$$

Donde λ es la esbeltez de las patas del soporte, K es el factor de tipo de apoyo y r el radio mínimo de giro, estos tres elementos son proporcionados por el manual de la AISC [78], l es la longitud de las denominadas columnas en el soporte tipo mesa.

Para los diferentes cálculos se toma en cuenta los parámetros tanto de flexión [79] como de deflexión [80] dados en las Ecuaciones 12 y 13, respectivamente.

$$M = \frac{W \cdot l^2}{8} \quad (12)$$

Donde M y W son el momento y la carga, respectivamente; mientras que L sigue siendo la longitud [81].

$$\Delta = \frac{5W \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (13)$$

Donde Δ la deflexión, es decir, el desplazamiento, E es el módulo de elasticidad del acero e I corresponde a la inercia [80].

2.5 Metodología para el cálculo de la soldadura

La unión de las distintas partes y elementos que conforman el soporte donde irá el tornillo sinfín formando todo el sistema de alimentación, se lo llevará a cabo mediante soldadura por arco eléctrico [82] ; este proceso se lo empleará bajo las disposiciones proporcionadas por parte de las autoridades de la empresa.

Para el proyecto en curso la soldadura se basará en el cumplimiento de la normativa establecida por el manual de la AISC [78], el cual detalla a través de la Tabla 4 en la sección de conexiones como se puede observar en el Anexo 1; dicha tabla está sustentada en el cálculo de la resistencia nominal del metal base descrita con la Ecuación 14, y también con la Ecuación 15 la cual describe la resistencia nominal del metal de la soldadura [82].

$$R_n = F_{nBM}A_{BM} \quad (14)$$

$$R_n = F_{nw}A_{we} \quad (15)$$

Donde F_{nBM} es el esfuerzo nominal del metal base dado en klb/plg^2 [82] mientras que, el esfuerzo nominal de la soldadura se representa como F_{nw} [83], en las mismas unidades, las áreas tanto del metal base como de la soldadura viene dadas en plg^2 y se las denomina como A_{BM} y A_{we} , en ese orden [82][83].

2.6 Metodología para calcular la relación de trasmisión del movimiento

La transmisión de potencia se establece mediante correas y poleas [66] como sugerencia y recomendación por parte de la gerencia de la empresa debido a que este método es eficaz y económico, por lo que resulta más accesible para Terratécnica S.A [12].

Para el cálculo de la relación de transmisión se utiliza la Ecuación 16. Sin embargo, con anterioridad se deben establecer los datos ya sean de revoluciones de operación o diámetros de las poleas con la Ecuación 17 [84].

$$Re = \frac{D}{d} \quad (16)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{n}{N} \quad (17)$$

Donde los parámetros requeridos mencionados en el párrafo anterior serán N = número de rpm de la polea mayor, n = número de rpm de la polea menor, D y d corresponden a los diámetros de las poleas mayor y menor, respectivamente y Re relación de transmisión [84].

Por otro lado, para establecer la longitud de las correas se utilizan la ecuación 18 de donde se tiene que R y r son los radios de las poleas tanto mayor como menor, c es la distancia entre los ejes y L la longitud de las correas [66].

$$L = \pi \cdot (R + r) + 2 \cdot c + \frac{(R-r)^2}{c} \quad (18)$$

CAPÍTULO III

CÁLCULOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TRANSPORTADOR Y ESTRUCTURA

Este capítulo muestra la caracterización de los riesgos laborales presentes en el sitio de trabajo encargado de la alimentación del hogar de la caldera [56]. Además, se realizará los diferentes cálculos requeridos para el diseño de la máquina. Los resultados de dichos cálculos serán a partir de las fórmulas presentadas en el capítulo anterior referente a la metodología [85]; así también, se presentará las respectivas dimensiones de las partes necesarias para la construcción del dispositivo electromecánico [57].

3.1 Caracterización de los riesgos laborales

Se presenta a continuación un recuento de los peligros a los que están expuestos los operarios en su trabajo [59] como se ha mencionado a lo largo del presente documento. En la Tabla 4 se detallan los principales riesgos presentados en cada categoría.

Tabla 4. Determinación y caracterización de riesgos laborales [58][59][60][86].

Factores o tipos de riesgo	Descripción
Físicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deficiente iluminación 2. Exposición a diferentes temperaturas (bajas o altas). 3. Exposición a ruidos elevados.
Mecánicos	<ol style="list-style-type: none"> 4. Caídas al mismo nivel debido a pisos mal contruidos. 5. Atropello de vehículos. 6. Caídas a distintos niveles (superior o inferior a 1.8 m). 7. Contacto con superficies con una alta temperatura. 8. Manipulación de herramientas con filos. 9. Caída de material u objetos. 10. Contacto eléctrico.

	11. Peligro delictivo.
Químicos	12. Exposición a dióxido de carbono (CO).
	13. Exposición a la combustión de GLP.
	14. Exposición a refrigerantes o aerosoles.
Biológicos	15. Peligro de contraer enfermedades por virus y bacterias.
	16. Encuentro con animales como roedores o insectos.
Ergonómicos	17. Trabajo manual con pesos mayores a 23kg.
	18. Trabajo repetitivo de los brazos en periodos de más de 2 horas.
	19. Sedentarismo.
	20. Requerimiento a posiciones forzadas y prolongadas de pie.
Psicosociales	21. Alta presión y atención a trabajos designados.
	22. Monotonía en las funciones.
	23. Trabajo alargado a fines de semana y feriados.
	24. Conflictos con personal de la empresa.
	25. Conflictos con personal externo de la empresa.

A partir de la clasificación y descripción de riesgos laborales [59] (Tabla 4), se elaboró una matriz de identificación general de riesgos laborales [58] (ver Anexo 2) en la que se puede identificar los peligros a los que se encuentran los trabajadores al momento de ejecutar el abastecimiento de la caldera [56].

Se puede observar que, el mayor riesgo se da al momento de colocar el material comburente en el hogar [58], esto debido a la exposición de los operarios a altas temperaturas tanto con el ambiente como con las superficies de la caldera. Además, se presenta una alta salida de CO₂ como resultado de la combustión que es necesaria para la generación de energía [60].

Un factor que influye notablemente en este proceso es la falta de iluminación [30], ya que afecta a la visibilidad por lo que, no se puede ejecutar las acciones de la mejor manera. Si bien es cierto, la matriz refleja que el trabajo prologando a fines de semana y feriados puede generar conflictos psicosociales, no es un tema considerable, porque la empresa se maneja bajo turnos de trabajo en donde ningún empleado se vería perjudicado por este punto [12].

En concordancia con el Anexo 2, el Anexo 3 evidencia que, el factor más grave es la elevada temperatura y exposición al CO₂ que existe hacia los operarios al momento de mantener contacto con la caldera [60]. Con el fin de mitigar ese peligro inminente es que se procede con el diseño para la construcción del sistema de alimentación que ayudará a contrarrestar dicho peligro como se muestra en la Figura 8.

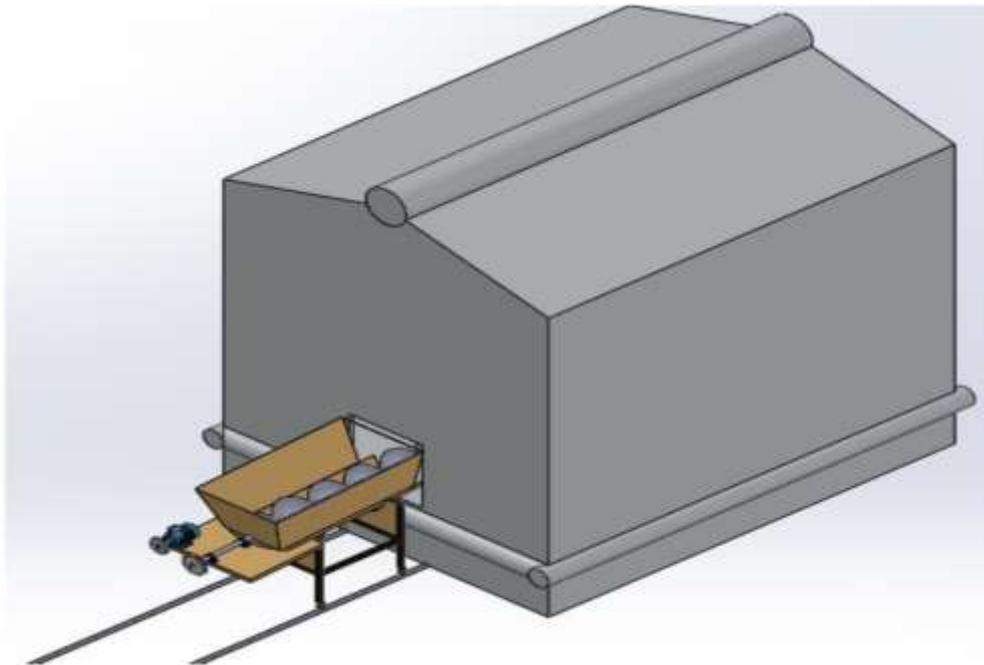


Figura 8. Esquema general del sistema.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

3.2 Sistema de alimentación

Se evalúa en la Tabla 5 cada sistema de alimentación con el fin de verificar el que se adapte de mejor manera para el presente proyecto, basándose en las características tabuladas de cada uno de ellos expuestas a continuación [87].

Tabla 5. Tipos de sistemas de alimentación (ventajas y desventajas) [65][87].

TIPO DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bandas o cintas transportadoras	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de material sólido a granel. • Alta velocidad. • Cubrimiento de largas distancias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil desgaste ante material abrasivo. • Recomendado en la industria alimenticia.
Tornillo sinfín	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de material sólido a granel. • Fácil fabricación, montaje e instalación. • Compacto. • Bajo ruido. • Mantenimiento económico. • Movimiento lineal preciso y puntual. • Formado por pocos elementos y piezas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud máxima recomendada de 50 m. • Requiere alta potencia. • Fácil desgaste sobre las superficies sometidas a fricción.
Cadena con canjilones	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de material sólido a granel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensible frente a sobrecargas.

- Buena longitud de transporte.
- Estructura de bajo peso.
- No consume gran cantidad de energía.
- Bajo ruido.
- Movimiento horizontal y vertical en su mayoría.

En la Tabla 6 se presentan los parámetros necesarios para determinar la mejor opción de un transportador.

Tabla 6. Aspectos para la selección del sistema de transporte.

Tipo de transportador	Capacidad de alimentación	Costo de fabricación	Costo de mantenimiento	Soporte de temperaturas
Banda transportadora	2	2	1	4
Tornillo sinfín	1	2	3	1
Cadena con canjilones	2	2	3	2

Los valores de ponderación se encuentran dados en la Tabla 7 para un estudio en conjunto con la Tabla 6.

Tabla 7. Criterios de calificación.

Calificación	Criterio
5	muy alta
4	alta
3	medio
2	bajo
1	muy bajo

A partir del análisis previo expuesto en la Tabla 5, con las ventajas y desventajas que presenta cada sistema [87] y demás criterios expuestos en las Tablas 6 y 7 se ha

seleccionado el tornillo sinfín como medio de transporte, debido a que la relación entre sus cualidades positivas y negativas se adaptan de mejor manera a la idea planteada en el presente proyecto de investigación y haber alcanzado una mayor puntuación total, como es una longitud requerida de 2.5 m, transporte de astillas y pellets de madera balsa [46], sin provocar ruido y al tratarse de un proyecto de titulación de grado, un bajo costo de fabricación y mantenimiento por el hecho de que no cuenta con un gran número de elementos [65].

3.3 Cálculo del tornillo sin fin

Para dictaminar las medidas necesarias se parte con el dimensionamiento del material a transportar [67] y el diámetro que el sinfín requerirá para dicho trabajo.

3.3.1 Diámetro del tornillo sinfín y dimensionamiento de la partícula

Tanto en la Figura 9 como en la Figura 10 se presentan unas piezas residuales de balsa conocidas como chirlatas y su almacenamiento [48], siendo éste el material empleado como combustible sólido en las calderas.



Figura 9. Acumulación del combustible sólido.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Como se logra identificar en las Figuras 9 y 10, los residuos de este material no es uniforme, y debido a ello se establece el diámetro del sinfín tomando factores dimensionales de las características físicas del material [67].



Figura 10. Chirlatas.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Entonces para obtener el diámetro requerido, se tiene:

Datos:

$G = 12$ (número de veces mayor al tamaño de la partícula)

$T = 36.5 \text{ mm}$ (tamaño de la partícula)

$De =$ diámetro del tornillo sin fin

$$De = G \cdot T$$

$$De = 12 \cdot 36.55 \text{ mm}$$

$$De = 438 \text{ mm} \approx 440 \text{ mm}$$

3.3.2 Paso del tornillo sin fin

A continuación, se detalla el cálculo del paso del tornillo sin fin basándose en el diámetro exterior calculado con anterioridad [72].

Datos:

$De = 440 \text{ mm}$ (diámetro del tornillo sin fin)

$$p = 0.5 \cdot De$$

$$p = 0.5 \cdot 440 \text{ mm}$$

$$p = 220 \text{ mm}$$

Procurando trabajar con números enteros regidos bajo norma [67], se redondea el paso (p) a 250 mm (Ver anexo 4).

3.3.3 Número de hélices

Conociendo el paso del tornillo sinfín se realiza el cálculo del número de hélices necesarias sobre el eje [74].

Datos:

$L = 2300$ mm (longitud del tornillo sin fin)

$p = 250$ mm (paso del tornillo sin fin)

#P = Número de hélices

$$\begin{aligned}\#P &= \frac{L}{p} \\ \#P &= \frac{2300 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} \\ \#P &= 9.2 \\ \#P &\approx 9\end{aligned}$$

3.3.4 Área de llenado

A partir del valor calculado De se obtiene el área de llenado del transportador con la Ecuación 4 [73]. .

Datos:

$De = 440$ mm

ψ = Es el coeficiente de llenado del tornillo sinfín

S = Área de llenado

$$\begin{aligned}S &= \psi \frac{\pi \cdot De^2}{4} \\ S &= 0.125 \frac{\pi \cdot 440^2}{4} \text{ mm}^2 \\ S &= 19006.6 \text{ mm}^2 = 0.019 \text{ m}^2\end{aligned}$$

3.3.5 Velocidad angular del tornillo sinfín

La velocidad angular está dada por el material a transportar y el diámetro del eje, con unas partículas de pequeño tamaño, no pulverizado, estableciendo una velocidad máxima de 90 rev/min y procurando no trabajar en puntos críticos, se proponen 60 rev/min partiendo de la norma CEMA [67], que sugiere una velocidad angular no mayor a 60 rpm

para el transporte de material a granel y abrasivo [75], además de la acotación por parte del departamento de mantenimiento y mejoras de Terratécnica S.A .

3.3.6 Velocidad lineal

Teniendo en cuenta los valores expuestos en el punto 3.3.5 y con la ecuación 5, se obtiene la velocidad con la que el material entrará al hogar de la caldera [67].

Datos:

$$\omega = 60 \text{ rev/min}$$

$$p = 250 \text{ mm} = 0.25 \text{ m}$$

v = velocidad lineal del tornillo

$$v = \frac{p \cdot \omega}{60}$$
$$v = \frac{0.25 \text{ m} \cdot 60 \text{ rev}}{60 \text{ s}}$$
$$v = 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.3.6.1 Capacidad del tornillo sinfín

Tomando en cuenta el área de llenado, la velocidad y la densidad del material se procede con la obtención de la capacidad de transporte [73]:

Datos:

Q = Flujo de material transportado

S = área de relleno

v = velocidad de desplazamiento del transportador

ρ = densidad

i = coeficiente de disminución de flujo de material

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot i$$
$$Q = 3600 \cdot 0.019006 \text{ m}^2 \cdot 0.25 \text{ m/s} \cdot 0.165347 \text{ ton/m}^3 \cdot 0.7$$
$$Q = 1.9798 \text{ ton/h}$$

3.3.7 Diámetro interno del tornillo sinfín

Para el diámetro interior se utilizará un tubo de acero estructural ASTM A53 de 2'' cédula 40 [88] y será movido por un motor de 3.73 KW (5 HP), basándose en el sistema de

transporte para otra caldera existente y en el stock de la empresa, tanto para motor, como para el tubo que funciona de eje [12]; por esto, el cálculo está dirigido a la resistencia del eje y el factor de seguridad obtenido por el método de energía de distorsión y tensión de von Mises [89].

Datos:

$$w_1 = 1715 \text{ RPM}$$

$$w_2 = 60 \text{ RPM}$$

$$P = 5 \text{ hp} = 3.73 \text{ kW}$$

$$T_1 = 20.35 \text{ N.m.}$$

Cálculo transmisión

d = diámetro

w = velocidad angular

T₂ = torque nominal

$$d_1 w_1 = d_2 w_2$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1715 \text{ RPM}}{60 \text{ RPM}}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = 28.58 = \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_2 = 28.58 \cdot 20.35 \text{ Nm}$$

$$T_2 = 581.67 \text{ Nm}$$

Para la comprobación de los elementos a disposición se tiene un esfuerzo de 241 MPa proporcionado por el catálogo de DIPAC S.A [88].

Datos:

Tubo de 2'' cédula 40

$$R_t = 30.15 \text{ mm}$$

$$J = 5.53 \text{ E5 mm}^4 \text{ (momento polar de inercia)}$$

Material = ASTM A53 GrB

$$S_y = 241 \text{ MPa (esfuerzo permisible a la fluencia)}$$

τ = Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{T R_t}{J}$$

$$\tau = \frac{581.67Nm (30.15E - 3)m \times 1000^2}{5.53 E5 mm^4 \cdot m^2}$$

$$\tau = 31.71 MPa$$

Tensión de Von Mises

σ = Esfuerzo equivalente

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma = \sqrt{3(31.71 MPa)^2}$$

$$\sigma = 54.92 MPa$$

$$241 MPa > 54.92 MPa \rightarrow \text{Cumple}$$

Entonces,

$$D_i = 60.30 \text{ mm}$$

3.3.8 Cálculo dimensiones de hélices del tornillo

Los tornillos sinfín transportadores se fabrican con su eje y hélices por separado [67], una vez que se definió el diámetro del eje, se calcula la geometría de las hélices, a partir de su diámetro exterior y su paso como sugiere el Prontuario de Máquinas [90] (Ver anexo 4).

Datos:

$$D_e = 440 \text{ mm}$$

$$D_i = 60.3 \text{ mm}$$

$$p = 250 \text{ mm}$$

$$A = \frac{D_e - D_i}{2}$$

$$A = \frac{440 - 60.3}{2}$$

$$A = 189.85 \text{ mm}$$

$$LE = \sqrt{D_e^2 \pi^2 + p^2}$$

$$LE = \sqrt{440^2 \pi^2 + 250^2}$$

$$LE = 1.4 \text{ m}$$

$$LI = \sqrt{Di^2 \pi^2 + p^2}$$

$$LI = \sqrt{60.3^2 \pi^2 + 250^2}$$

$$LI = 0.31 \text{ m}$$

$$r = \frac{A \cdot LI}{LE - LI}$$

$$r = \frac{189.85 \text{ mm} \cdot 313.67 \text{ mm}}{1404.7 \text{ mm} - 313.67 \text{ mm}}$$

$$r = 0.0541 \text{ m}$$

$$R = r + A$$

$$R = 54.09 \text{ mm} + 189.85 \text{ mm}$$

$$R = 0.244 \text{ m}$$

$$\Delta = 2 \cdot R \cdot \pi$$

$$\Delta = 2 \cdot 243.94 \text{ mm} \cdot \pi$$

$$\Delta = 1532.72 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{LE \cdot 360^\circ}{\Delta}$$

$$\beta = \frac{1404.73 \text{ mm} \cdot 360^\circ}{1532.72 \text{ mm}}$$

$$\beta = 329.94^\circ$$

$$X = 360^\circ - \beta$$

$$X = 360^\circ - 329.94^\circ$$

$$X = 30.06^\circ$$

De acuerdo con los cálculos pertinentes, cada hélice que se muestre en la Figura 11 deberá tener la siguiente geometría para el corte y será ubicada a lo largo de los 200 mm de cada paso.

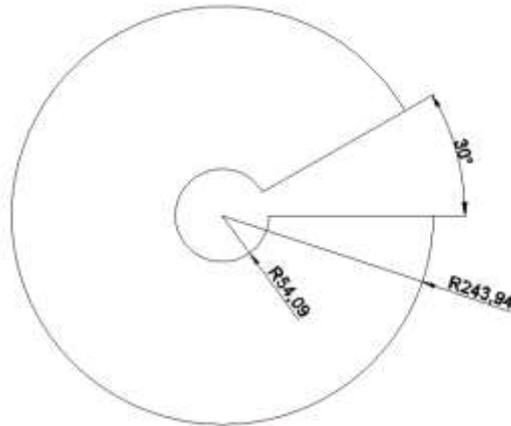


Figura 11. Corte de las hélices.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Las dimensiones especificadas en la figura anterior corresponden a la geometría de las hélices por separado [74] y es importante esclarecer que, estos valores son diferentes a los del diámetro exterior e interior del tornillo sinfín, de 376.2 y 60.3 milímetros, respectivamente.

3.4 Cálculo de la estructura

Para la selección de elementos de la estructura se procedió a establecer las fuerzas internas que actúan sobre el sistema [78], obteniendo los resultados de la Figura 12. Las condiciones iniciales de carga provienen de las cargas del peso de los siguientes elementos: tornillo, tolva, material y la carga viva de la NEC [91].

Peso tornillo= 670 kg

Peso tolva y accesorios= 356 kg

Peso conjunto motorreductor= 230 kg

NEC= 142.76 kg

Combustible= 375 kg

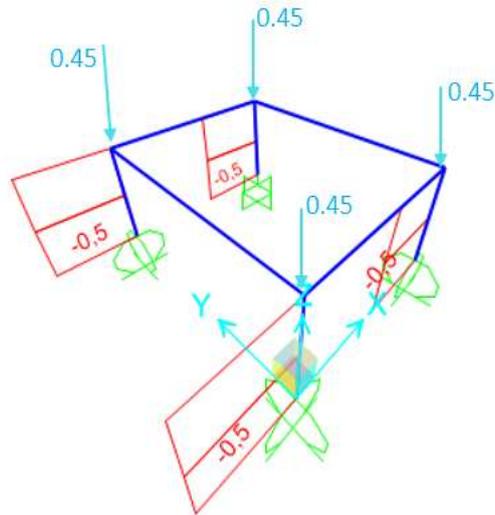


Figura 12. Fuerzas presentes en el sistema [tonf].
Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

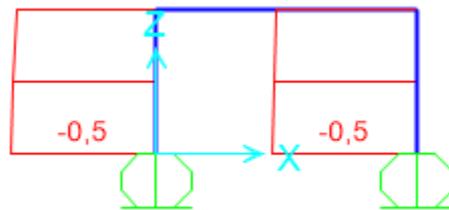


Figura 13. Fuerzas internas [tonf].
Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

A partir de las fuerzas internas obtenidas, se utiliza el método de la esbeltez [78] para obtener las columnas y el método de flexión, deflexión y cortante para las vigas [85]. Además, se precisa comprobar los materiales que se encuentran disponibles en la empresa y, por lo tanto, se pueden reciclar y aprovecharlos.

3.4.1 Cálculo columna

La mesa soporte es el elemento que resiste todas las fuerzas estáticas de la estructura, por tanto, las columnas se calculan en base a todas las carga vivas y muertas presentes en el sistema [85]:

Carga máx = 0.5 Tonf

Tubo cuadrado 75x75x2

$A = 5.74 \text{ cm}^2$

$$I = 50.47 \text{ cm}^4$$

$$r = 2.95 \text{ cm}$$

$$L = 50 \text{ cm}$$

$k = 1$ (condición de unión fija y articulación)

$\lambda = \text{esbeltez}$

$$\lambda = \frac{k L}{r}$$

$$\lambda = \frac{1 \cdot 50 \text{ cm}}{2.95 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 16.95 \approx 17$$

A partir del manual de la AISC [78] se tiene:

$F_a = 20.78 \text{ ksi} = 1460.98 \text{ kg/cm}^2$ (esfuerzo admisible a compresión)

$$f_a = \frac{P}{A}$$

$$f_a = \frac{500 \text{ kg}}{5.74 \text{ cm}^2}$$

$$f_a = 87.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$F_a > f_a$, cumple

3.4.2 Vigas

La comprobación de vigas se realiza con el mismo perfil seleccionado para las columnas y con la distribución de carga [78] de la Figura 14. la longitud l equivale a 115 cm.

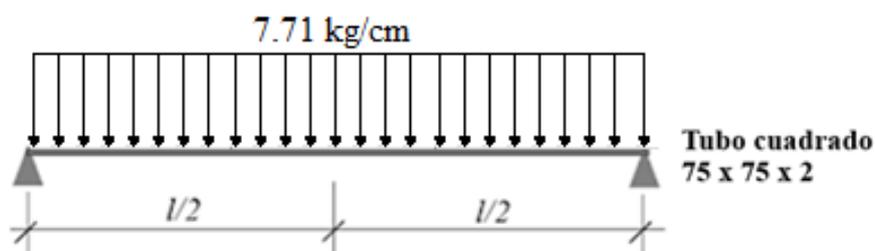


Figura 14. Distribución de la carga.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

3.4.2.1 Flexión

Para efectos de análisis, se determina el esfuerzo a flexión [78] al que se someten las vigas presentes en la estructura:

Datos:

$$M_{\text{máx}} = 12745.6 \text{ kg}\cdot\text{cm} \text{ (caso 1) [78]}$$

$$I = 50.47 \text{ cm}^4$$

$$C = 2.5 \text{ cm}$$

$$Fb = 0.6 \cdot Sy$$

$$Fb = 0.6 \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Fb = 1518.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$fb = \frac{M \cdot C}{I}$$

$$fb = \frac{12745.6 \text{ kg cm} \cdot 3.75 \text{ cm}}{50.47 \text{ cm}^4}$$

$$fb = 947.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$Fb > fb$, cumple.

3.4.2.2 Cortante

El esfuerzo cortante se calcula en base a la resistencia admisible del material, tomando en cuenta aquellas fuerzas que provocarían roturas en los elementos estructurales [85]:

Datos:

$$V = 443 \text{ kg}$$

$$d = 7.5 \text{ cm} \text{ (altura del perfil)}$$

$$t_w = 2 \text{ mm} \text{ (espesor del alma)}$$

$$Sy = 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (resistencia a la fluencia) [78]}$$

$$Fv = 0.4 \cdot Sy$$

$$Fv = 0.4 \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Fv = 1012.4 \frac{kg}{cm^2}$$

$$fv = \frac{V}{d \cdot t_w}$$

$$fv = \frac{443 kg}{7.5cm \cdot 0.2 cm}$$

$$fv = 295.33 \frac{kg}{cm^2}$$

$Fv > fv$, cumple

3.4.2.3 Deflexión

Es importante comprobar lo compacto que llegarían a ser las vigas, para ello se toma en cuenta principalmente la fuerza cortante (V) y la resistencia última a la rotura (E) del acero estructural A36 [88] y se tiene:

Datos:

$$V = 443 \text{ kg}$$

$$E = 200 \text{ GPa} = 2.039 \text{ E6 kg/cm}^2$$

$$I = 50.47 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_d = \frac{P l^3}{48 EI}$$

$$\Delta_d = \frac{443 \text{ kg } 115^3 \text{ cm}^3}{48 \cdot 2.039 \text{ E6 kg/cm}^2 \cdot 50.47 \text{ cm}^4}$$

$$\Delta_d = 0.136 \text{ cm}$$

$$\Delta_p = \frac{l}{300}$$

$$\Delta_p = \frac{65 \text{ cm}}{300}$$

$$\Delta_p = 0.22 \text{ cm}$$

$\Delta_p > \Delta_d \rightarrow \text{Cumple}$

3.5 Soldadura

La soldadura se realizará por el proceso SMAW con electrodo E 6013, con filete de 45° y un espesor de garganta de 3/16 de pulgada [85]; lo cual corresponde al método de suelda más común para tubos estructurales no galvanizados, y, sobre todo, considerando que la empresa beneficiada cuenta con el equipo y material pertinente [12].

Espesor garganta = 3/16 pulg

Ángulo de filete = 45°

Ss = factor de seguridad de soldadura = 0.3 [78][82].

Resistencia electrodo = 60 KSI

Longitud de soldadura = 15 cm = 5.9 pulg

$$\text{Espesor efectivo} = \frac{3}{16} \text{ pulg} \cdot \text{sen } 45^\circ$$

$$\text{Espesor efectivo} = 0.1325 \text{ pulg}$$

$$\text{Resistencia x pulg} = Ss \cdot \text{Espesor efec} \cdot \text{Resistencia electrodo}$$

$$\text{Resistencia x pulg} = 0.3 \cdot 0.1325 \text{ pulg} \cdot 60 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}}$$

$$\text{Resistencia x pulg} = 2.38 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}}$$

$$\text{Resistencia carga} = \text{Resistencia x pulg} \cdot \text{longitud de sold.}$$

$$\text{Resistencia carga} = 2.38 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}} \cdot 5.9 \text{ pulg}$$

$$\text{Resistencia carga} = 14.05 \text{ klb}$$

Carga actuante = 0.5 Ton = 1.1 klb

Resistencia de carga > Carga actuante.

14.05 klb > 1.1 klb

3.6 Relación de transmisión de movimiento

Para la transmisión de movimiento brindada por el reductor (60 rpm) hacia el eje del tornillo sinfín, se emplea una pareja de piñones o llamadas también catalinas [92], las cuales cuentan con el mismo número de dientes que es 22 con paso 40, con el fin de

trasladar el movimiento, mas no, aumentarlo o reducirlo, además de obtener una mejor estética y maniobrabilidad por parte del operario.

Debido a que los piñones son los mismos, su relación de transmisión estaría dada por,

$$w1 = 60 \text{ RPM}$$

$$w2 = ? \text{ RPM}$$

$$z1 = 22 \text{ dientes}$$

$$z2 = 22 \text{ dientes}$$

$$\frac{w1}{w2} = \frac{z2}{z1}$$
$$\frac{60 \text{ rpm}}{w2} = \frac{22 \text{ dientes}}{22 \text{ dientes}}$$
$$w2 = 60 \text{ rpm}$$

Entonces, se demuestra que, la relación de transmisión del movimiento es de 1 a 1 por la condición de igualdad de los piñones [93].

$$\text{Longitud de cadena} = ((2 (C) \times 0.39) + (D/4 + T/4 + 1)) \times 2.54$$

$$C = 28 \text{ cm (longitud entre centros)}$$

$$D = 22 \text{ (número de dientes de la catalina conductora)}$$

$$T = 22 \text{ (número de dientes de la catalina conducida)}$$

$$L = ((2 (28) \times 0.39) + (22/4 + 22/4 + 1)) \times 2.54$$

$$L = 85.954 \text{ cm}$$

Para la conexión directa de la cadena se debe cortar una longitud de 85.984cm, sin embargo, por facilidad de montaje se adicionó una catalina de ajuste para regular la tensión del elemento, lo que implicó aumentar un eslabón más de lo requerido en el cálculo [93].

3.7. Control eléctrico

Se presenta el control del motor que, como indica la Figura 16, cuenta con inversión de giro [94], es decir, al accionar el pulsador S2 el giro se dará hacia la derecha, mientras que, al pulsar S3 el giro será hacia la izquierda. Adicional, las restricciones requeridas se encuentran establecidas como el impedimento de accionar el giro contrario sin apagar

primero el circuito; esto con el fin de evitar cualquier tipo de confusión y posterior mala ejecución del dispositivo [94].

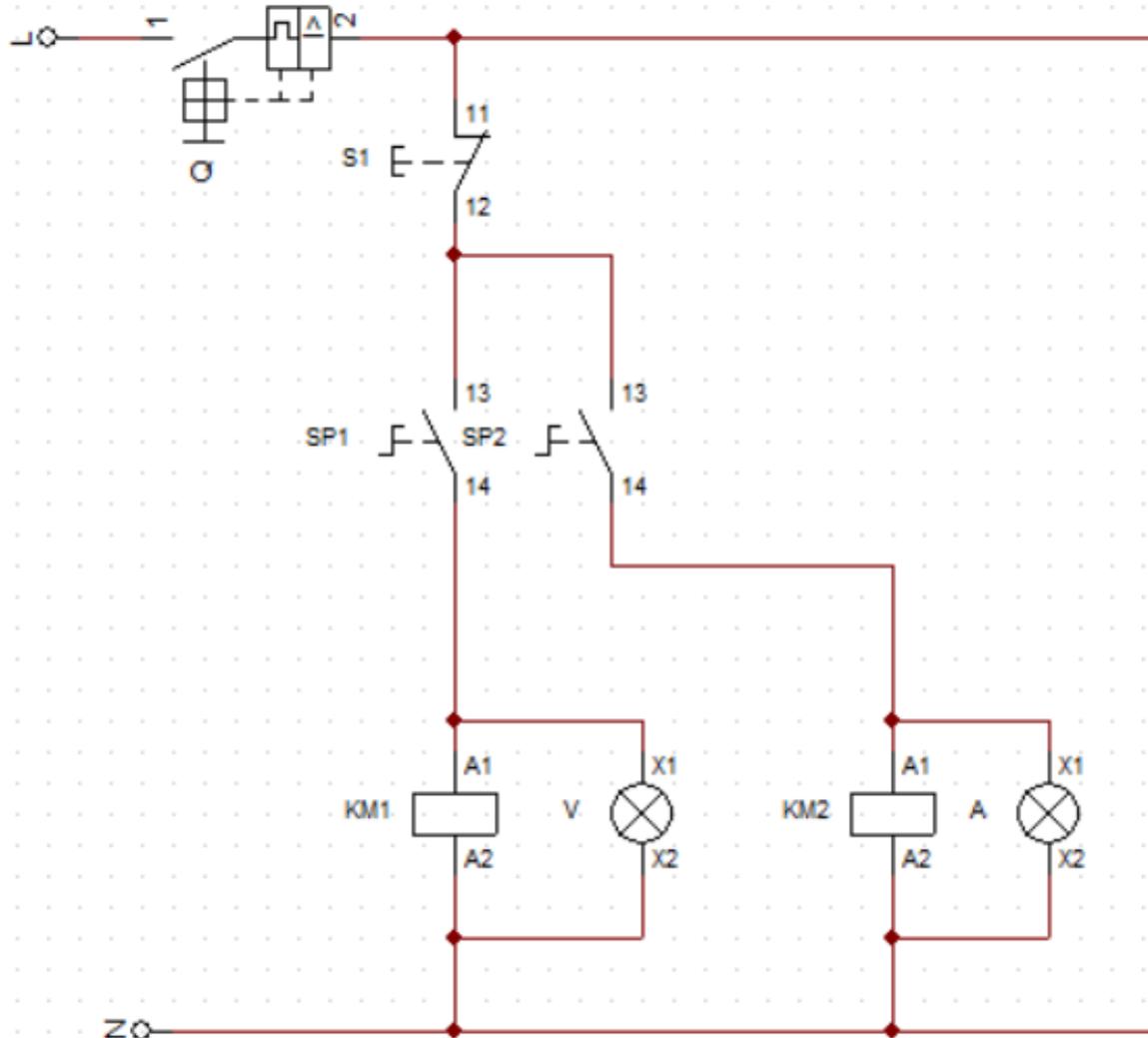


Figura 15. Circuito de control.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Cabe aclarar que, SP1 y SP2 de la Figura 15 representan los contactos abiertos del selector utilizado en el sistema de control.

Así también, se presenta el circuito de mando en la Figura 16, tomando a F1 como un elemento de protección (guardamotor), siendo este el encargado de desactivar el motor en caso de sobrecargas en el sistema [94].

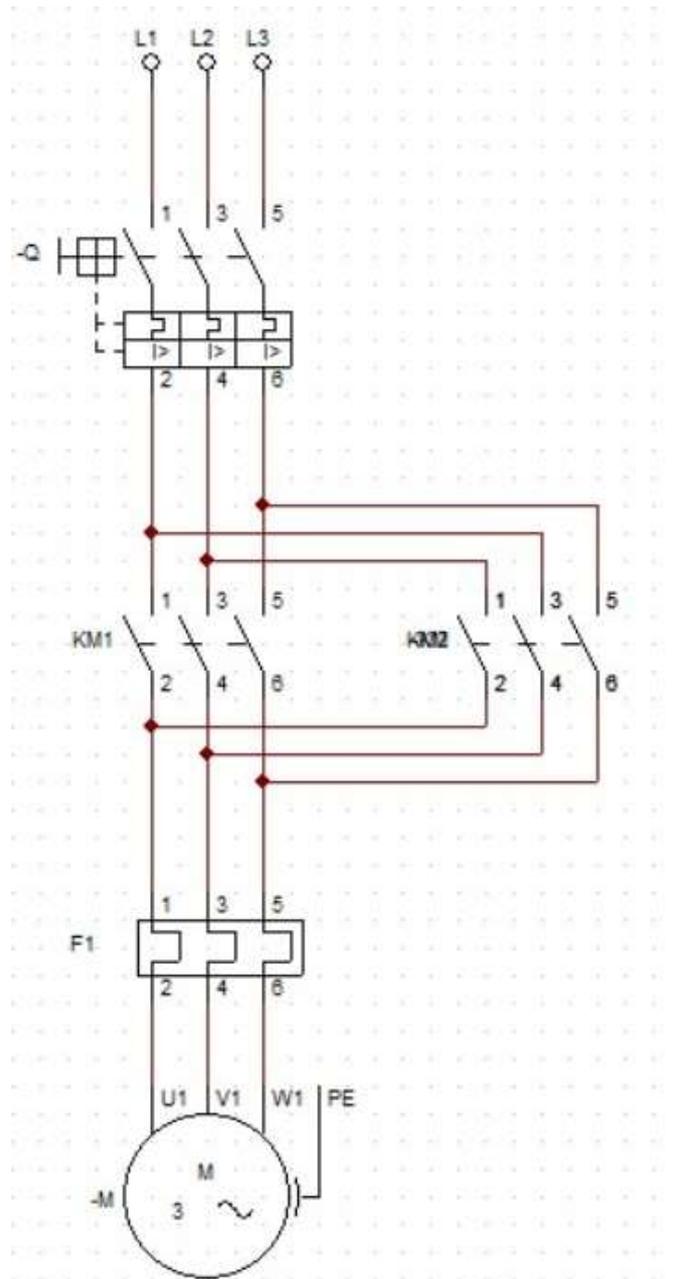


Figura 16. Circuito de mando.

Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

3.8. Presupuesto y cotización

El presupuesto estará dado por los elementos necesarios para cumplir con el proyecto y la mano de obra competente, a partir de esto se detalla la Tabla 8, con los datos pertinentes.

Tabla 8. Presupuesto estructura [95].

Elemento	Descripción	Cant	Valor unitario (\$)	Precio total (\$)	Detalle
Tubo cuadrado	metros	8	67,00	134,00	Tubos de 6m
Plancha 4mm	1220x2440 mm	1	96,00	96,00	1 plancha de 1220x2440 mm
Plancha 4 mm	1500x6000 mm	1	96,00	288,00	3 planchas de 1220x2440 mm
Electrodos E6013	kg	5	3,00	15,00	-
Tubo 3'' Ced 40	eje	1	70,00	70,00	Tubo de 6m
Catalinas	Transm. De movimiento	2	15,00	30,00	Par de catalinas con z1=z2 (22 dientes)
Cadena	Transm. De movimiento	1	46,00	46,00	Cadena de 3m, paso 40
Mano de obra	-	3	50,00	1500,00	3 operarios por 2 semanas (\$50 diarios/persona)
Diseño	Horas diseñador	50	5,00	250,00	
Recursos varios	Luz, agua	-	50,00	50,00	
Total				\$2479,00	

En la Tabla 9 se indica la cotización de los materiales de la parte eléctrica.

Tabla 9. Presupuesto control eléctrico [96].

Elemento	Valor unitario	Cantidad	Precio Total (\$)
Contactores	90,00	1	90,00
Pulsadores	10,00	6	60,00
Relé térmico	55,00	1	55,00
Cables	8,00	6	48,00
Breaker monofásico	12,00	1	12,00
Breaker trifásico	60,00	1	60,00
Motor trifásico	600,00	1	600,00
Reductor	900,00	1	550,00
Total	-	-	\$ 1825,00

El presupuesto estimado total para la realización del presente proyecto es de \$4.304; sin embargo, existen elementos como la mano de obra de los autores y el material en stock de la empresa [12] que no incurriría en gastos por lo que reduciría el coste expuesto anteriormente.

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo un análisis riguroso de los riesgos principales que acarrea la alimentación de biomasa hacia las calderas de forma directa, obteniendo como problemas principales los riesgos físicos y ergonómicos que significa trabajar a altas temperaturas generado por la combustión de estos sistemas (rango de temperatura óptima de trabajo fluctuante entre 600 y 900 °C [21]), y movimientos repetitivos al cargar el material, respectivamente, en donde se redujo un 55 % la temperatura de exposición (80 a 36 °C), evitando así enfermedades tales como, deshidratación, lesiones musculares, inflamaciones e infecciones a las vías urinarias, calambres y en algunos casos arritmia [56].

Se implementó un sistema de alimentación con el transporte mediante tornillo sinfín confiable y seguro para los operadores, con una capacidad de 1.97 Ton/h, así también disminuyendo los gastos de operación al 50 %, es decir, necesitando solamente una persona que opere la máquina, además de la reducción de tiempo de ejecución de la tarea en un 65 % de 10 min en el proceso anterior a 4 min con 25 s con un aporte de 145 kg en dado tiempo con la implementación de la máquina.

Se desarrolló un tablero de control que cuenta con una sencilla ejecución y manipulación por parte de los operadores, contando con los elementos y movimientos requeridos como son el selector para el giro tanto horario como antihorario y con sus respectivas señalizaciones mediante luces piloto y leyendas, además de un paro o botón de emergencia como elemento de protección en caso de presentarse algún percance o emergencia.

Fue corroborada la certeza de los datos de diseño y cálculos, tanto de la estructura como tolva y sinfín, con la puesta en marcha del dispositivo electro-mecánico obteniendo pruebas satisfactorias en la alimentación de biomasa (chirlatas) hacia el hogar de la caldera, brindando de esta manera una optimización de tiempo y recursos en el proceso, así también, confiabilidad en base a los factores de seguridad obtenidos, siendo en el caso de la deflexión el más crítico en donde, el esfuerzo admisible es de 1518.6 kg/cm² y el esfuerzo obtenido de 947.02 kg/cm², dando así un factor de seguridad de 1.6 que cumple con plenitud.

RECOMENDACIONES

Evaluar y adaptar un método de regulación de altura de las patas del soporte para ajustar el dispositivo a la segunda caldera de 100 BHP existente en la empresa.

Analizar la transferencia de calor existente desde la caldera hacia el operador durante el tiempo de abastecimiento con el fin de determinar el equipo de protección personal necesario para el contacto con altas temperaturas.

REFERENCIAS

- [1] S. Chapela, N. Cid, J. Porteiro, and J. L. Míguez, “Numerical transient modelling of the fouling phenomena and its influence on thermal performance in a low-scale biomass shell boiler,” *Renew. Energy*, vol. 161, pp. 309–318, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.07.068.
- [2] W. Arroyo, Juan y Reina, “Aprovechamiento Del Recurso Biomasa a Partir De Los Desechos,” 2016.
- [3] V. Dhinakaran, B. Gokhulabalan, A. Rahul Kumar, and M. Ravichandran, “Advancement in materials for industrial safety helmets,” *Mater. Today Proc.*, vol. 27, pp. 777–782, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.197.
- [4] A. Shafei, J. Hodges, and S. Mayer, “Ensuring workplace safety in goal-based industrial manufacturing systems,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 137, pp. 90–101, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.09.009.
- [5] S. Nenonen, S. Anttila, T. Hyytinen, and J. Kivistö-Rahnasto, “Considerations of safety in the development of industrial services: Matter of course or matter of chance?,” *Saf. Sci.*, vol. 129, no. May, p. 104766, 2020, doi: 10.1016/j.ssci.2020.104766.
- [6] M. S. Ali and H. Habibullah, “A review on the current status of boiler inspection and safety issues in Bangladesh,” *Energy Procedia*, vol. 160, no. 2018, pp. 614–620, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.02.213.
- [7] J. Mullen, E. K. Kelloway, and M. Teed, “Employer safety obligations, transformational leadership and their interactive effects on employee safety performance,” *Saf. Sci.*, vol. 91, pp. 405–412, 2017, doi: 10.1016/j.ssci.2016.09.007.
- [8] J. Coringa, M. Colaço, A. J. K. Leiroz, and E. Oliveira, “Numerical investigation for steam tubes temperature reduction in a four fuels tangentially fired boiler,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 179, no. December 2019, p. 115656, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115656.
- [9] F.- Almaraz, M. Ángel, and M. Ángel, “Revista de Aplicaciones de la Ingeniería Rediseño de un transportador industrial IQF de tornillo sinfín para atún Revista de Aplicaciones de la Ingeniería,” *Univ. Tecnológica del Suroeste Guanajuato*, vol. 3, no. 7, pp. 55–60, 2016.
- [10] Moran, “Conveyors 33.1,” pp. 471–481, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-803355-5.00033-0.

- [11] D. Minglani, A. Sharma, H. Pandey, R. Dayal, J. B. Joshi, and S. Subramaniam, “A review of granular flow in screw feeders and conveyors,” *Powder Technol.*, vol. 366, pp. 369–381, 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.02.066.
- [12] TERRATÉCNICA S.A., “No Title,” 2017. <http://www.terratecnica.com/> (accessed Nov. 11, 2020).
- [13] A. Sorrentino, A. M. Pantaleo, C. N. Markides, G. Braccio, E. Fanelli, and S. M. Camporeale, “Energy performance and profitability of biomass boilers in commercial sector: The case study of Sainsbury’s stores in the UK,” *Energy Procedia*, vol. 148, no. Ati, pp. 639–646, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.08.152.
- [14] X. Li, Y. Fei, T. E. Rizzuto, and F. Yang, “What are the occupational hazards of construction project managers: A data mining analysis in China,” *Saf. Sci.*, vol. 134, no. January 2020, p. 105088, 2021, doi: 10.1016/j.ssci.2020.105088.
- [15] K. Martinelli, “A Guide to the Most Common Workplace Hazards,” *High Speed Training*, 2019. <https://www.highspeedtraining.co.uk/hub/hazards-in-the-workplace/> (accessed Jan. 13, 2021).
- [16] B. K. Choi, “Developing a Job Exposure Matrix of Work Organization Hazards in the United States: A Review on Methodological Issues and Research Protocol,” *Saf. Health Work*, vol. 11, no. 4, pp. 397–404, 2020, doi: 10.1016/j.shaw.2020.05.007.
- [17] D. A. Toro Cataño, J. Ramírez García, and D. L. Sepúlveda Mejía, “Riesgos ambientales y de seguridad en calderas a carbón de las pequeñas y medianas empresas «PYME», ubicadas en el municipio de Itagüí, Antioquia,” *Rev. Salud Pública*, vol. 19, no. 4, pp. 437–445, 2017, doi: 10.15446/rsap.v19n4.59008.
- [18] M. Sanz del Amo and M. R. Patiño Molina, *Manual Práctico del Operador de Calderas Industriales*, 2nd ed. Paraninfo, 2018.
- [19] C. N. Huamancayo Inga and R. J. Mayco Chávez, “ANÁLISIS DE UN CALDERO PIROTUBULAR DE 300 BHP, USANDO COMBUSTIBLES DIESEL Y GLP, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA, EN LA EMPRESA AGROMANTARO S.A.C.,” UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2017.
- [20] S. Ahmed and X. Gu, “Accident-based FMECA study of Marine boiler for risk prioritization using fuzzy expert system,” *Results Eng.*, vol. 6, no. April, 2020, doi: 10.1016/j.rineng.2020.100123.

- [21] A. O. Zaporozhets, *Control of Fuel Combustion in Boilers*, 287th ed., vol. 287. Poland: Springer, 2020.
- [22] M. Parvez, “Steam Boiler,” *Sci. Am.*, vol. 51, no. 12, pp. 179–179, 2017, doi: 10.1038/scientificamerican09201884-179b.
- [23] NAPTA, “Process Technology Equipment,” *Pearson*, vol. 100, no. July, pp. 1–35, 2019.
- [24] D. Lindsley, J. Grist, and D. Parker, *Thermal Power Plant Control and Instrumentation: The control of boilers and HRSGs*. 2018.
- [25] H. Taplin, *BOILER PLANT AND Distribution SYSTEM Optimization MANUAL*, 3rd ed. River Publishers, 2020.
- [26] R. A. Tapia Villamar, J. H. Luna Cabrera, and A. F. López Vargas, “Design of a steam distribution system for a bakery industry in Guayaquil,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2019.
- [27] J. M. Llapido Rodríguez, D. A. Vidal Moya, and J. A. Madrigal Monzón, *Funcionamiento Y Pérdidas En Calderas Pirotubulares*. 2015.
- [28] C. O. Alderetes, *Calderas a Bagazo*. 2016.
- [29] A. Çelik *et al.*, *PROCESS STEAM SYSTEMS*, 1st ed., vol. 1, no. 1. New Jersey: CAREY MERRITT, 2016.
- [30] V. Máša and M. Vondra, “Operational problems: Biomass boilers with oversized output,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 45, pp. 331–336, 2015, doi: 10.3303/CET1545056.
- [31] Sustainable Energy Authority of Ireland, “Biomass Boilers - Technology Guide,” 2019.
- [32] M. Rackl, F. Top, C. P. Molhoek, and D. L. Schott, “Feeding system for wood chips: A DEM study to improve equipment performance,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 98, pp. 43–52, 2017, doi: 10.1016/j.biombioe.2017.01.003.
- [33] Heizomat, *Ablaufanimation einer Heizomat Biomasseheizung*. Alemania, 2015.
- [34] X. Kong *et al.*, “Molecular characterization and optical properties of primary emissions from a residential wood burning boiler,” *Sci. Total Environ.*, vol. 754, p. 142143, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142143.
- [35] J. J. Cheng, *Anaerobic digestion for biogas production*. 2017.
- [36] G. M. Joselin Herbert and A. Unni Krishnan, “Quantifying environmental performance of biomass energy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 292–308, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.254.

- [37] J. Sánchez, M. Dolores Curt, N. Robert, and J. Fernández, “Chapter Two - Biomass Resources,” *Role Bioenergy Bioeconomy*, pp. 25–111, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00002-9>.
- [38] H. Burbano Orjuela, “El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático,” *Rev. Ciencias Agrícolas*, vol. 35, no. 1, p. 82, 2018, doi: [10.22267/rcia.183501.85](https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85).
- [39] Y. M. Bar-On, R. Phillips, and R. Milo, “The biomass distribution on Earth,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 115, no. 25, pp. 6506–6511, 2018, doi: [10.1073/pnas.1711842115](https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115).
- [40] S. Ferreira, E. Monteiro, P. Brito, and C. Vilarinho, “Biomass resources in Portugal: Current status and prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, no. August 2016, pp. 1221–1235, 2017, doi: [10.1016/j.rser.2017.03.140](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.140).
- [41] C. Terrer *et al.*, “Nitrogen and phosphorus constrain the CO₂ fertilization of global plant biomass,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 9, no. 9, pp. 684–689, 2019, doi: [10.1038/s41558-019-0545-2](https://doi.org/10.1038/s41558-019-0545-2).
- [42] C. A. Hallmann, A. Ssymank, M. Sorg, H. de Kroon, and E. Jongejans, “Insect biomass decline scaled to species diversity: General patterns derived from a hoverfly community,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 118, no. 2, pp. 1–8, 2021, doi: [10.1073/pnas.2002554117](https://doi.org/10.1073/pnas.2002554117).
- [43] E. K. VAKKILAINEN, *STEAM GENERATION FROM BIOMASS*, 1st ed. Finland: Joe Hayton, 2017.
- [44] U. Arachchige, “Alternative fuel for biomass boilers in Sri Lanka Alternative fuel for biomass boilers in Sri Lanka,” no. May, 2019.
- [45] A. Albis, E. Ortiz, I. Piñeres, A. Suárez, and M. Vanegas, “Devolatilization of African palm (*Elaeis guineensis*) husk studied by TG-MS,” *Ing. e Investig.*, vol. 38, no. 2, pp. 9–17, 2018, doi: [10.15446/ing.investig.v38n2.67743](https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67743).
- [46] W. Bustamante Alarcon and F. Canchignia Martinez, “ANÁLISIS DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS EN PLANTACIONES DE *Ochroma lagopus* (BALSA) EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS. AUTOR,” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2017.
- [47] C. A. Carlozama Larrea, P. R. Salas Leiva, and M. F. Cerna Cevallos, “ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MADERA DE ‘BALSA’ *Ochroma pyramidale* URB. MALVACEAE Y DETERMINACIÓN DE SUS POSIBLES USOS COMO SUSTRATO PARA EL CULTIVO IN VITRO Y EXTERNO DE

- ORQUÍDEAS.,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2017.
- [48] V. F. Vásquez and T. E. Rosales, “Anatomía vascular de la madera de *Ochroma lagopus* Sw. ‘palo de balsa’ utilizada por los pescadores Chimú de la costa norte del Perú,” *ARCHAEOBIOS*, vol. 1, pp. 98–101, 2018.
- [49] E. Jiménez *et al.*, “Germination and growth of *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. in Ecuador,” *Sci. Agropecu.*, vol. 8, no. 3, pp. 243–250, 2017, doi: 10.17268/sci.agropecu.2017.03.07.
- [50] E. Onoja, S. Chandren, F. I. Abdul Razak, N. A. Mahat, and R. A. Wahab, “Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Biomass in Malaysia: The Present and Future Prospects,” *Waste and Biomass Valorization*, vol. 10, no. 8, pp. 2099–2117, 2019, doi: 10.1007/s12649-018-0258-1.
- [51] S. K. Loh, “The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 141, pp. 285–298, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.08.081.
- [52] A. B. A. Adam, A. H. Basta, and H. El-Saied, “Evaluation of palm fiber components an alternative biomass wastes for medium density fiberboard manufacturing,” *Maderas Cienc. y Tecnol.*, vol. 20, no. 4, pp. 579–594, 2018, doi: 10.4067/S0718-221X2018005004601.
- [53] C. Rivera Domínguez, J. I. Pozos Mares, and R. G. Zambrano Hernández, “Hazard identification and analysis in work areas within the Manufacturing Sector through the HAZID methodology,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 145, pp. 23–38, 2021, doi: 10.1016/j.psep.2020.07.049.
- [54] B. Gómez, *Manual de prevención de riesgos laborales*. Barcelona, 2017.
- [55] S. R. Bello, *Workplace Hazards Risks & Control Page | i*, no. January 2012. 2015.
- [56] O. L. Cepeda and X. L. Pedraza, “RIESGOS OCULTOS EN EL USO DE CALDERAS A CARBÓN EN EMPRESAS EN COLOMBIA EN EL SIGLO XXI,” *Univ. Mil. Nueva Granada*, pp. 1–37, 2019.
- [57] D. A. Cifuentes and L. G. Arturo, “DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y TRANSPORTE DE MATERIAL SÓLIDO PARA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE LA PLANTA PILOTO TECSOL,” UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, 2016.
- [58] S. P. Martinez and M. A. Niveló, “Identificación y evaluación de riesgos

- mecánicos y ergonómicos en el personal de la empresa distribuidora Víctor Moscoso e hijos de la ciudad de Cuenca,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [59] L. A. Toapanta, D. A. Romero, and E. P. Salazar, “EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES EN LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS Y PESADOS DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI 2015. PROPUESTA PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO SEGURO,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI UNIDAD, 2016.
- [60] F. Torres and M. Russo, “IDENTIFICACIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS MECÁNICOS EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ DE MECÁNICA EXPRESS S.A.,” Universidad Internacional SEK, 2015.
- [61] C. A. Luna, “MANUAL DE SEGURIDAD EN LA EJECUCION DE MUROS ANCLADOS EN EXCAVACIONES PROFUNDAS DE EDIFICACIONES DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,” Pontificia Universidad Catolica Del Ecuador, 2018.
- [62] J. D. Guayasamín and P. E. Ron, “ANÁLISIS DE LA GESTIÓN TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS BÁSICOS Y SU INCIDENCIA EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES EN LA EMPRESA EBINDUSTRY CÍA. LTDA,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA, 2017.
- [63] M. E. Coronel and J. Vera, “Identificación de las principales causas de riesgo en la gestión de proyectos de construcción en Ecuador,” UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, 2020.
- [64] T. O. Olanrewaju, I. M. Jeremiah, and P. E. Onyeonula, “Design and fabrication of a screw conveyor,” *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, vol. 19, no. 3, pp. 156–162, 2017.
- [65] H. Gilvari, C. H. H. van Battum, S. A. van Dijk, W. de Jong, and D. L. Schott, “Large-scale transportation and storage of wood pellets: Investigation of the change in physical properties,” *Particuology*, vol. 57, pp. 146–156, 2021, doi: 10.1016/j.partic.2020.12.006.
- [66] J. Á. Arroyo, “DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR DE BANDA DE 90 METROS DE LONGITUD Y 1500 m³ /h DE CAPACIDAD DE

- TRANSPORTE DE PIEDRA CALIZA,” UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2021.
- [67] Conveyor Equipment Manufacturer Association (CEMA), *Screw Conveyors for Bulk Materials*, Fifth., no. 350. Florida: Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2019.
- [68] Maderame, “Madera de Balsa: Características y Usos,” *Maderame*, 2018. <https://maderame.com/enciclopedia-madera/balsa/>.
- [69] G. Moncayo, C. Narváez, N. Villacís, and J. G. Melo, “Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma Pyramidale*) Ecuatoriana,” *Congr. Cienc. y Tecnol. ESPE*, vol. 13, no. 1, pp. 61–64, 2018, doi: 10.24133/cctespe.v13i1.788.
- [70] P. Parra, “La balsa, la apuesta del sector maderero,” *Rev. Gestión Digit.*, p. 3, 2016, [Online]. Available: <http://www.revistagestion.ec/wp-content/uploads/2016/03/261-Empresarial-La-balsa.pdf>.
- [71] P. Monzón and D. Mejicanos, “Comparación De Las Características Físicas Y Propiedades Mecánicas En Morteros Reforzados, Con Fibra Natural Extraída Del Tronco De La Palma De Coco Y Fibra De Polipropileno,” Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
- [72] J. F. Flórez-ruiz, J. G. Díaz-rodríguez, A. Ramírez-Dueñes, and F. A. Pérez-Rondón, “Diseño, simulación y construcción de un modelo de laboratorio de transporte de pellets,” *ITECKNE*, vol. 16, pp. 93–103, 2019, doi: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v16i2.2352>.
- [73] C. Moya and D. Ortiz, “DISEÑO DE UN DOSIFICADOR SEMIAUTOMÁTICO POR TORNILLO SIN FIN PARA UCHU JACU EN LA ORGANIZACIÓN UNOPAC DE LA PARROQUIA AYORA DEL CANTÓN CAYAMBE,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2016.
- [74] A. Morales, M. Morales, and B. Martinez, “Diseño de tornillo sinfin-corona del sistema de transmisión para máquina de ensayo de impacto por caída libre en materiales pé- treos,” *Ingeniantes*, vol. 1, no. 2, pp. 47–54, 2019.
- [75] Ingemecánica, “Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin,” *Tutoriales*, 2011. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>.
- [76] W. Castillo and J. Illacutipa, “Diseño De Un Tornillo Sin Fin Para Evacuar Aguas De Relaves Mineros Para La Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.,” UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 2017.

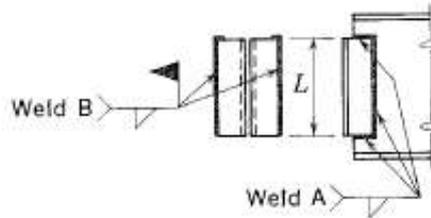
- [77] M. Carrascal, G. Cifuentes, and F. Núñez, “Estudio de los niveles de esfuerzos, desplazamientos y efectos de esbeltez, con y sin arriostramientos de la estructura de la Torre de la Escollera en la Ciudad de Cartagena, Colombia.,” Pontificia Universidad Javeriana, 2016.
- [78] American Institute of Steel Construction, *Steel Construction Manual 13th Edition*, Thirteenth. Chicago: AISC manual, 2005.
- [79] C. Sotolongo and J. Hernández, “Ayudas de cálculo para columnas de hormigón armado bajo Flexión Compuesta Biaxial.,” Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2016.
- [80] G. P. Ichau, G. A. Portilla, and L. W. Morales, “Influencia de la ductilidad de vigas simplemente apoyadas en el cálculo de las deflexiones, ante la acción de cargas puntuales en el centro y a los 2/3 medios de la luz,” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2020.
- [81] J. D. Orihuela, R. F. Dávila, and J. Moreno, “Cálculo y diseño estructural de una nave industrial aplicando AISC en Juliaca, provincia de San Román,” UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, 2016.
- [82] J. C. McCormac and S. F. Csernak, *Diseño de Estructuras de Acero-Quinta Edición*, 5th ed., vol. 5. México: Pearson Education, 2013.
- [83] J. Muquinche and W. H. Vaca, “ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN LA FABRICACIÓN DE COLUMNAS ARMADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA EMPRESA ‘METAL MECÁNICA ANTONIO TIRADO’ Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS,” Universidad técnica de ambato, 2015.
- [84] T. Barros, M. Casanova, J. Cevallos, F. Vásquez, and R. Salazar, “CONSTRUCCIÓN DE UNA CAJA DE CAMBIOS MEDIANTE TRANSMISIÓN DE POLEAS,” *FIMAQ Investig. y Docencia*, vol. 1, no. 2, pp. 1–14, 2018.
- [85] J. C. McCormac and S. F. Csernak, “Diseño de estructuras de acero,” *J. Chem. Inf. Model.*, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [86] A. F. Montoya and A. S. Agudelo, “Gestión de seguridad y salud en el trabajo para empleados de servicios generales,” *Rev. Espac.*, vol. 39, no. 48, pp. 1–11, 2018.
- [87] F. Hakami, A. Pramanik, N. Ridgway, and A. K. Basak, “Developments of rubber material wear in conveyer belt system,” *Tribol. Int.*, vol. 111, no. March,

- pp. 148–158, 2017, doi: 10.1016/j.triboint.2017.03.010.
- [88] DIPAC, “Tubería sin costura,” 2021. <https://www.dipacmanta.com/tuberia-sin-costura/tubo-cedula-40> (accessed Jun. 24, 2021).
- [89] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica*, 9th ed., vol. 9. México DF: Mc Graw Hill, 2012.
- [90] N. Larburu, *Prontuario Maquinas _Larburu_Paraninfo.pdf*, 3rd ed. España: PARANINFO, S.A. EDICIONES, 2001.
- [91] MIDUVI and CAMICON, *Estructuras de acero (CÓDIGO-NEC-SE-AC)*. 2015.
- [92] C. R. Poveda and A. Castillo, “ESTUDIO PARA LA FABRICACIÓN DE CATALINAS PARA MOTOCICLETAS DE ENSAMBLAJE NACIONAL,” Universidad Internacional del Ecuador, 2017.
- [93] H. D. Patiño Duque, L. M. Lopez Posada, and E. S. Mosquera Angulo, “Metodología del diseño y modelado de un accionamiento mecánico,” *Sci. Tech.*, vol. 22, no. 1, p. 24, 2017, doi: 10.22517/23447214.12801.
- [94] D. J. Ordoñez and V. R. Lara, *Control eléctrico industrial*. España: Editorial Académica Española, 2020.
- [95] AceroCenter, “Soluciones para construir,” 2021. <http://acero-center.com.ec/>.
- [96] PRODEMELSA, “Ingeniería eléctrica aplicada,” *Materiales eléctricos*, 2017. <http://www.prodemelsa.com/disen-y-construccion-tableros-electricos-ecuador/material-electrico-quito/>.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla conexiones soldadas manual AISC [78].

FRAMED BEAM CONNECTIONS
Welded—E70XX electrodes
Table IV



Weld A		Weld B		Angle Length L In.	Angle Size ($F_y = 36$ ksi)	^a Minimum Web Thickness for Weld A	
Capacity Kips	^b Size In.	^c Capacity Kips	^b Size In.			$F_y = 36$ ksi $F_v = 14.5$ ksi	$F_y = 50$ ksi $F_v = 20$ ksi
277	5/16	326	3/8	32	4 x 3 x 1/2	.64	46
221	1/4	271	5/16	32	4 x 3 x 3/8	.51	37
166	3/16	217	1/4	32	4 x 3 x 5/16	.38	28
262	5/16	302	3/8	30	4 x 3 x 1/2	.64	46
210	1/4	251	5/16	30	4 x 3 x 3/8	.51	37
157	3/16	201	1/4	30	4 x 3 x 5/16	.38	28
248	5/16	278	3/8	28	4 x 3 x 1/2	.64	46
198	1/4	231	5/16	28	4 x 3 x 3/8	.51	37
149	3/16	185	1/4	28	4 x 3 x 5/16	.38	28
234	5/16	254	3/8	26	4 x 3 x 1/2	.64	46
187	1/4	211	5/16	26	4 x 3 x 3/8	.51	37
140	3/16	169	1/4	26	4 x 3 x 5/16	.38	28
218	5/16	230	3/8	24	4 x 3 x 1/2	.64	46
174	1/4	191	5/16	24	4 x 3 x 3/8	.51	37
131	3/16	153	1/4	24	4 x 3 x 5/16	.38	28
204	5/16	206	3/8	22	4 x 3 x 1/2	.64	46
163	1/4	171	5/16	22	4 x 3 x 3/8	.51	37
122	3/16	137	1/4	22	4 x 3 x 5/16	.38	28
188	5/16	181	3/8	20	4 x 3 x 1/2	.64	46
151	1/4	152	5/16	20	4 x 3 x 3/8	.51	37
113	3/16	121	1/4	20	4 x 3 x 5/16	.38	28
172	5/16	157	3/8	18	4 x 3 x 1/2	.64	46
138	1/4	131	5/16	18	4 x 3 x 3/8	.51	37
103	3/16	105	1/4	18	4 x 3 x 5/16	.38	28
156	5/16	148	3/8	16	3 x 3 x 1/2	.64	46
125	1/4	123	5/16	16	3 x 3 x 3/8	.51	37
94.0	3/16	98.8	1/4	16	3 x 3 x 5/16	.38	28
139	5/16	124	3/8	14	3 x 3 x 1/2	.64	46
112	1/4	103	5/16	14	3 x 3 x 3/8	.51	37
83.7	3/16	82.5	1/4	14	3 x 3 x 5/16	.38	28
122	5/16	99.6	3/8	12	3 x 3 x 1/2	.64	46
97.2	1/4	83.1	5/16	12	3 x 3 x 3/8	.51	37
72.9	3/16	66.5	1/4	12	3 x 3 x 5/16	.38	28

For footnotes, see next page.

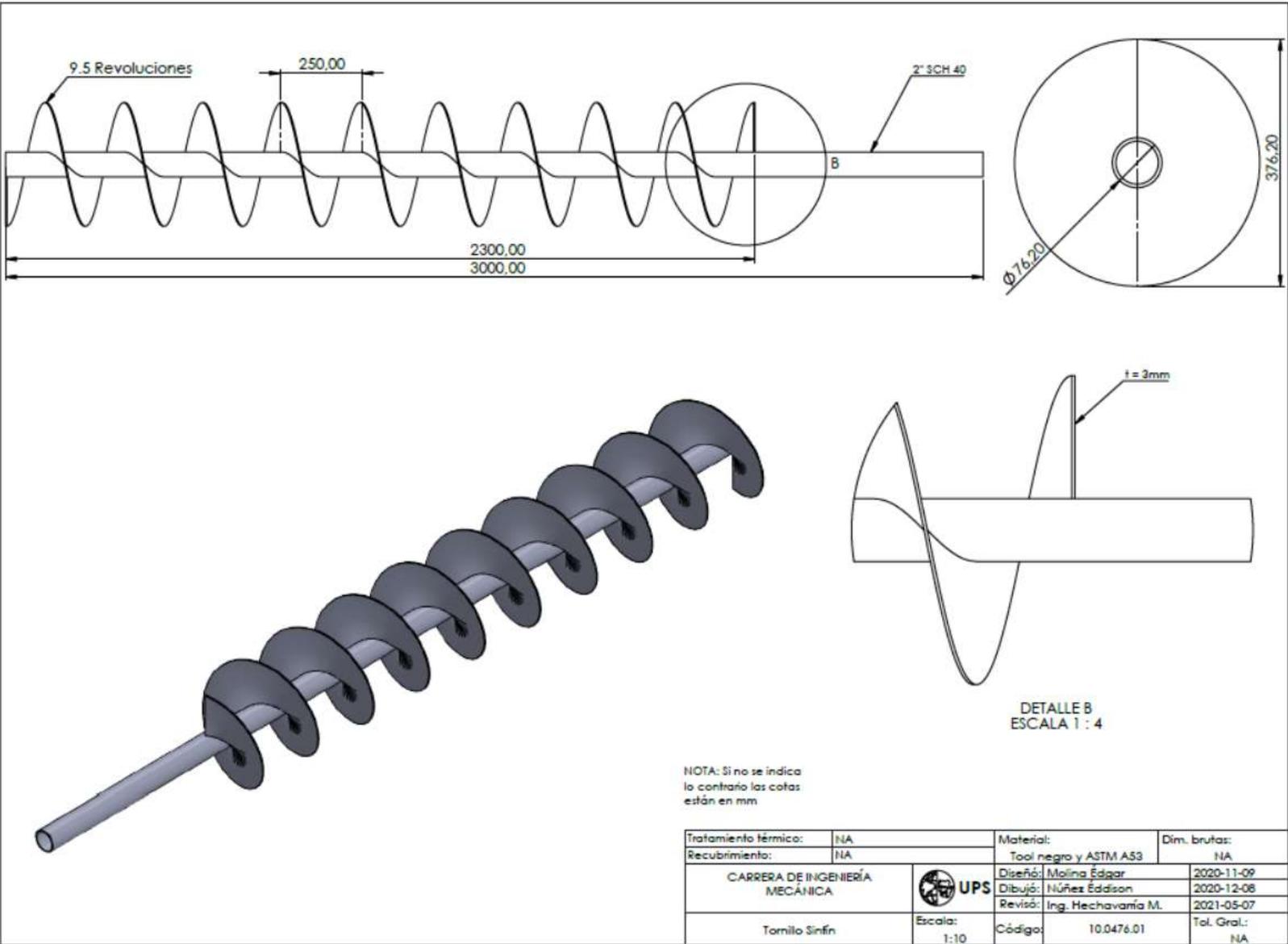
Anexo 2. Identificación general de riesgos laborales [58].

				IDENTIFICACIÓN GENERAL DE RIESGOS LABORALES POR CARGO																CODIGO:									
																				FECHA:		22-04-2021							
																				REVISIÓN:									
EMPRESA:				TERRATÉCNICA S.A.																									
FECHA	12	05	2021	ELABORADO POR: Srs. Molina Édgar y Núñez Éddison																TIPO DE EVALUACIÓN									
	DÍA	MES	AÑO																										
CARGO	Jefe de mantenimiento			Ing. Martínez Julio												FIRMA:				INICIAL									
																				REVISIÓN PERIÓDICA									
				ACCIDENTE DE TRABAJO																									
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES				FACTORES DE RIESGO PRESENTES EN EL ENTORNO LABORAL																									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Transporte del combustible sólido desde el almacenamiento			X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	
2	Clasificación de los materiales			X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	
3	Alimentación del hogar			X	X	-	-	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-		
4	Supervisión del correcto funcionamiento de la caldera			X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	
5	Retorno a la estación de almacenamiento			X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	
				FACTORES DE RIESGO																									
1	Deficiente iluminación			6	Caídas a distintos niveles (superior o inferior a 1.8m)							11	Peligro delictivo					16	Encuentro con animales (roedores o insectos)					21	Alta presión y atención a trabajos designados				
2	Exposición a diferentes temperaturas (bajas o altas)			7	Contacto con superficies con una alta temperatura.							12	Exposición a dióxido de carbono (CO)					17	Trabajo manual con peso mayor a 23 KG.					22	Monotonía en las funciones				
3	Exposición a ruidos elevados			8	Manipulación de herramientas con filos							13	Exposición a la combustión de GLP					18	Trabajo repetitivo de brazos por más de 2 h.					23	Trabajo alargado a fines de semana y feriados				
4	Caídas al mismo nivel debido a pisos mal contruidos			9	Caída de material u objetos							14	Exposición a refrigerantes o aerosoles					19	Sedentarismo					24	Conflictos con personal de la empresa				
5	Atropello de vehículos			10	Contacto eléctrico							15	Peligro de contraer enfermedades por virus o bacterias					20	Requerimiento de posiciones forzadas y prolongadas de pie					25	Conflictos con personal externo de la empresa				

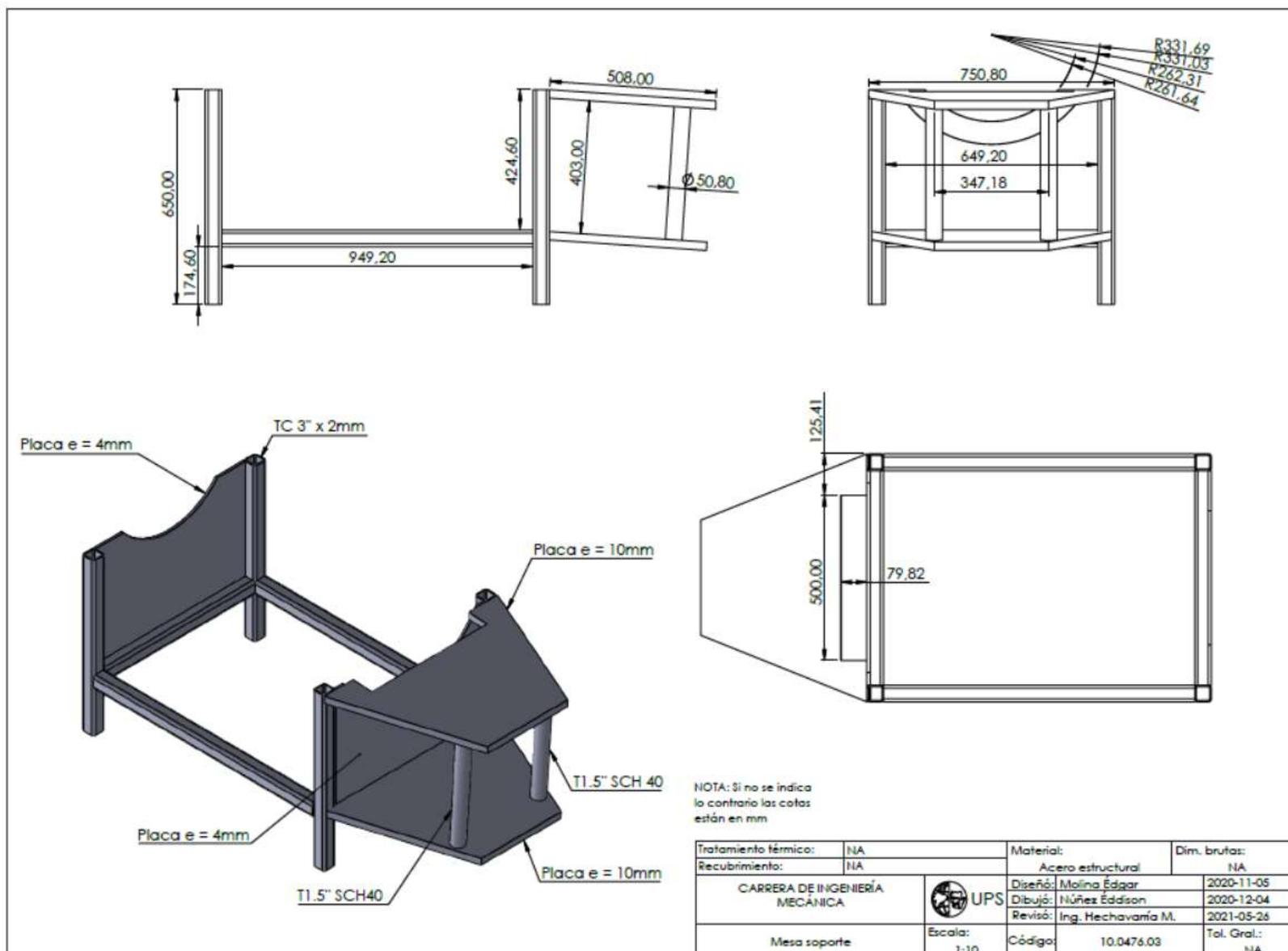
Anexo 3. Matriz de Riesgo [61][62][63].

MATRIZ DE RIESGO					
FACTORES O TIPOS DE RIESGO		PROBABILIDAD (OCURRENCIA)	GRAVEDAD (IMPACTO)	VALOR DE RIESGO	NIVEL DE RIESGO
FÍSICOS					
1	Deficiente iluminación	2	3	6	Apreciable
2	Exposición a diferentes temperaturas (bajas o altas).	5	5	25	Muy Grave
3	Exposición a ruidos elevados.	1	2	2	Marginal
MECÁNICOS					
4	Caídas al mismo nivel debido a pisos mal contruidos	1	1	1	Marginal
5	Atropello de vehículos	2	4	8	Apreciable
6	Caídas a distintos niveles (superior o inferior a 1.8 m)	1	1	1	Marginal
7	Contacto con superficies con una alta temperatura	5	5	25	Muy Grave
8	Manipulación de herramientas con filos	3	4	12	Importante
9	Caída de material u objetos	3	4	12	Importante
10	Contacto eléctrico	1	1	1	Marginal
11	Peligro delictivo	1	1	1	Marginal
QUÍMICOS					
12	Exposición a dióxido de carbono (CO)	4	4	16	Muy Grave
13	Exposición a la combustión de GLP	2	1	2	Marginal
14	Exposición a refrigerantes o aerosoles.	1	1	1	Marginal
BIOLÓGICOS					
15	Peligro de contraer enfermedades por virus y bacterias	1	1	1	Marginal
16	Encuentro con animales como roedores o insectos	1	1	1	Marginal
ERGONÓMICOS					
17	Trabajo manual con pesos mayores a 23kg	4	4	16	Muy Grave
18	Trabajo repetitivo de los brazos en periodos de más de 2 h	2	2	4	Apreciable
19	Sedentarismo	1	1	1	Marginal
20	Requerimiento a posiciones forzadas y prolongadas de pie	3	2	6	Apreciable
PSICOSOCIALES					
21	Alta presión y atención a trabajos designados	1	1	1	Marginal
22	Monotonía en las funciones	3	2	6	Apreciable
23	Trabajo alargado a fines de semana y feriados	3	2	6	Apreciable
24	Conflictos con personal de la empresa	1	1	1	Marginal
25	Conflictos con personal externo de la empresa	1	1	1	Marginal

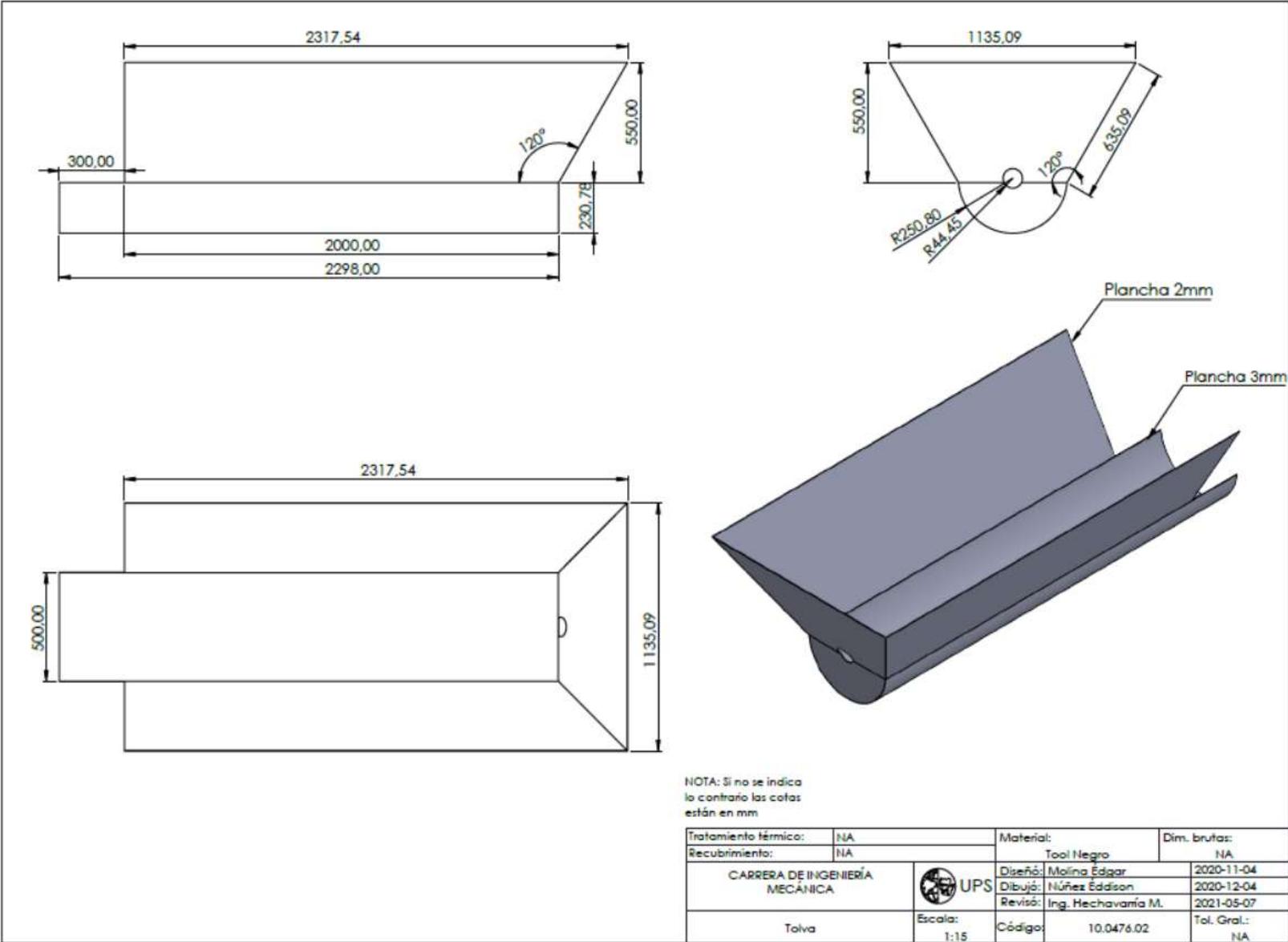
Anexo 4. Plano del tornillo sin fin.



Anexo 5. Estructura



Anexo 6. Tolva



Anexo 7. Ficha de lubricación del equipo



Ficha de lubricación del equipo

Encargado del mes:

Fecha de realización de la lubricación:

Pieza/parte	Tipo de lubricante	Marca	Proveedor	Frecuencia	Tareas
Chumaceras	Grasa	SKF	Tyhdelpac / Mundo del Rulimán - Santo Domingo	Mensual	Colocar el lubricante en los graseros respectivos
Llantas					Suministrar la grasa en la superficie de la cadena
Cadena					
Reductor	Aceite	Meropa	Conauto - Santo Domingo	Bimestral (200h de trabajo)	Cambiar de aceite a través del tapón del reductor

Nota: los elementos requeridos para el proceso se encuentran en la bodega de mantenimiento.

Observaciones:

.....
.....
.....
.....

Recibido por:

.....

Ing. Julio Martínez
Jefe de Mantenimiento

Anexo 8. Check List diario



Check List de revisión diaria

Fecha:

Encargados:

Turno matutino (6h - 14h):

Turno vespertino (14h - 22h):

Turno nocturno (22h - 6h):

Entrega del equipo

Aspectos a revisar	Turno		
	Matutino	Vespertino	Nocturno
Encendido y apagado correcto			
Leds			
Estado de las ruedas			
Estado de las conexiones			
Limpieza de la tolva			
Limpieza con aire			

Recepción del equipo

Aspectos a revisar	Turno		
	Matutino	Vespertino	Nocturno
Encendido y apagado correcto			
Leds			
Estado de las ruedas			
Estado de las conexiones			
Limpieza de la tolva			
Limpieza con aire			

Recibido por:

.....

Ing. Julio Martínez
Jefe de Mantenimiento

Anexo 9. Guía de operación



Guía para la operación del sistema electro-mecánico de abastecimiento de la caldera pirotubular horizontal de 300 BHP.



Tras la ubicación de la máquina en el sitio de trabajo necesario, su orden de operación es el siguiente:

1. Enchufar la máquina.
2. Seleccionar el sentido de giro del tornillo sinfín, es decir, avance o retroceso, que, para efectos de alimentación de la caldera es avance.
3. Suministrar la biomasa (chirlatas) hacia la tolva.
4. Apagar el equipo, dirigiendo el selector a su posición de inicio.
5. Desenchufar la máquina.
6. Retirar el equipo del área de trabajo
7. Esperar el tiempo en que se enfríe la parte delantera de la máquina (30 minutos).
8. Retirar los restos de chirlatas remanentes de ser el caso y limpiar

Elaborado por: Molina Edgar y Núñez Eddison

Revisado por: Ing. Martínez Julio

Anexo 10. Corte de las piezas requeridas para la construcción



Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Anexo 11. Montaje de la estructura y tolva



Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Anexo 12. Construcción del tornillo sinfín.



Anexo 13. Implementación de la estructura, tolva y sinfín.



Anexo 14. Montaje del conjunto motorreductor.



Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Anexo 15. Sistema de transmisión de movimiento.



Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina

Anexo 16. Pruebas de funcionamiento del equipo.



Elaborado por: Eddison Nuñez y Edgar Molina