



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Diseño de un sistema de arrastre para retiro de
ceniza en el hogar del caldero de una
destiladora – Chiclayo”**

Presentado Por:

Bach. Pérez Alarcón, William Miguel

Asesor:

Dr. Ing. Fredy Dávila Hurtado

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Diseño de un sistema de arrastre para retiro de
ceniza en el hogar del caldero de una
destiladora – Chiclayo”**

Presentado Por:

Bach. Pérez Alarcón, William Miguel

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE:	Dr. Ing. Amado Aguinaga Paz
SECRETARIO:	Dr. Ing. Daniel Carranza Montenegro
VOCAL:	M. Sc. Ing. Robinson Tapia Asenjo
ASESOR:	Dr. Ing. Fredy Dávila Hurtado

LAMBAYEQUE – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA



TESIS

TÍTULO

"Diseño de un sistema de arrastre para retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora – Chiclayo"

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

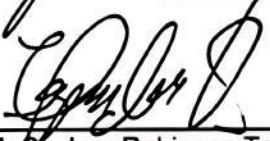
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

AUTOR: Bach. Pérez Alarcón, William Miguel


Dr. Ing. Amado Aguinaga Paz
Presidente


M. Sc. Ing. Robinson Tapia Asenjo
Vocal


Dr. Ing. Daniel Carranza Montenegro
Secretario


Dr. Ing. Fredy Dávila Hurtado
Asesor

Lambayeque – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0180-2026-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:00 a.m. del día viernes 14 de agosto 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°146-2025-D-FIME-UNPRG, de fecha 11 de agosto 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
- Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
- M.Sc. Ing. ROBINSON TAPIA ASENJO
- Dr. Ing. FREDY DAVILA HURTADO

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO
ASESOR

Se recibió la Tesis titulada:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE ARRASTRE PARA RETIRO DE CENIZA EN EL HOGAR DEL CALDERO DE UNA DESTILADORA - CHICLAYO"

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **PEREZ ALARCON WILLIAM MIGUEL**. Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (19) en la escala vigesimal, mención *Muy Bueno*. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las *11.45 am* del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
PRESIDENTE


M.Sc. Ing. ROBINSON TAPIA ASENJO
MIEMBRO


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
SECRETARIO


Dr. Ing. FREDY DAVILA HURTADO
ASESOR


UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
Decano

ANEXO 1

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

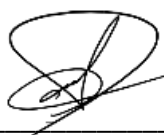
Yo, **Dr. Ing. Fredy Dávila Hurtado**, usuario revisor del documento titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ARRASTRE PARA RETIRO DE CENIZA EN EL HOGAR DEL CALDERO DE UNA DESTILADORA - CHICLAYO”**.

Cuyo autor es, **William Miguel Pérez Alarcón**, identificado con documento de identidad N° **72366832** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **19%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 21 de agosto del 2026



Dr. Ing. FREDY DÁVILA HURTADO

DNI: 16670066

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo

Diseño de un sistema de arrastre para retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora – Chiclayo

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net	Fuente de Internet	2%
3	urural.edu.gt	Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	Trabajo del estudiante	1%
5	www.se.com	Fuente de Internet	1%
6	cipsamex.mercadoshops.com.mx	Fuente de Internet	1%
7	www.coursehero.com	Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	Trabajo del estudiante	1%
9	repositorio.uns.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.unjbg.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
11	www.enfu.cl	Fuente de Internet	<1%
12	mtlab.pe	Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Consorcio CIXUG	Trabajo del estudiante	<1%
14	Submitted to uncedu	Trabajo del estudiante	<1%



Dr. Fredy Davila Hurtado

16670066

Asesor

15	Fuente de Internet		<1 %
16	www.scribd.com Fuente de Internet		<1 %
17	www.slideshare.net Fuente de Internet		<1 %
18	documenta.ciemat.es Fuente de Internet	 Dr. Fredy Davila Hurtado 16670066 Asesor	<1 %
19	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet		<1 %
20	virtual.cuautitlan.unam.mx Fuente de Internet		<1 %
21	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet		<1 %
22	www.coelpuebla.com.mx Fuente de Internet		<1 %
23	www.oliodiolivadoc.it Fuente de Internet		<1 %
24	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante		<1 %
25	Submitted to Universidad del Norte, Colombia Trabajo del estudiante		<1 %
26	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet		<1 %
27	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante		<1 %
28	repositorio.uide.edu.ec Fuente de Internet		<1 %
29	revistas.udes.edu.co Fuente de Internet		<1 %
30	Submitted to Escuela de Posgrado Newman Trabajo del estudiante		<1 %
31	Submitted to Uniminuto Virtual Trabajo del estudiante		<1 %
32	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet		

		<1 %
33	matematicassuboficiales.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	repository.uaeh.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
43	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
44	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
45	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
46	repositorioinstitucional.uabc.mx Fuente de Internet	<1 %
47	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
49	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	



Dr. Fredy Davila Hurtado
16670066
Asesor

		<1 %
50	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	<1 %
51	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025 Trabajo del estudiante	<1 %
52	Marta Lema Cachinell, Pavel Omar Defranc Balanzategui, Allison Alejandra Mora Medina. "Campaña de conciencia ambiental: "Sé parte de la solución, no parte de la contaminación"", Prohominum, 2023 Publicación	<1 %
53	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
54	repositorio.sanfranciscochinha.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	Submitted to Integración Blackboard Trabajo del estudiante	<1 %
56	Submitted to University of Johannesburg Trabajo del estudiante	<1 %
57	apirepositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
58	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
59	revistas.uclave.org Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to Universidad San Marcos Trabajo del estudiante	<1 %
61	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
62	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
63	putlockersbf.web.app Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %



Dr. Fredy Davila Hurtado

16670066

Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: William Miguel Perez Alarcon
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Diseño de un sistema de arrastre para retiro de ceniza en el h...
Nombre del archivo: Tesis_de_un_dise_o_de_arrastre-2026.pdf
Tamaño del archivo: 4.1M
Total páginas: 107
Total de palabras: 16,573
Total de caracteres: 91,751
Fecha de entrega: 07-ago-2026 04:58p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3009498923



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS
Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

"Diseño de un sistema de arrastre para retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora – Chiclayo"

Presentado Por:
Bach. Pérez Alarcón, William Miguel

Asesor:
Dr. Ing. Fredy Dávila Hurtado

LAMBAYEQUE – PERÚ
2026



Dr. Fredy Dávila Hurtado
16670066
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por su dirección y vigor en cada etapa de mi vida, permitiéndome culminar satisfactoriamente este importante logro académico.

A mis estimados padres, por su amor incondicional, esfuerzo, sacrificio y apoyo continuo. Gracias por inculcarme valores, motivarme a seguir adelante y confiar siempre en mis capacidades.

A mi hermano y a mi hermana, por acompañarme en este camino con su cariño, comprensión y palabras de aliento, siendo un motivo permanente para esforzarme y alcanzar mis metas.

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a mi familia, quienes han constituido el soporte esencial de mi desarrollo personal y laboral.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios y a mi alma mater, la Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, por brindarme una sólida formación académica y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

A mi asesor de tesis, por su dirección, tolerancia y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de la presente investigación, las cuales fueron fundamentales para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a la empresa donde se desarrolló la investigación, por facilitar el acceso a la información y brindar las condiciones necesarias para la ejecución de este trabajo.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito diseñar un sistema de arrastre para el retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora ubicada en la provincia de Chiclayo, con el fin de optimizar el proceso de limpieza y mejorar las condiciones de operación del sistema de combustión. La investigación fue de tipo aplicada, con diseño no experimental, empleando la observación directa y el análisis de información técnica como base para el desarrollo de la propuesta.

Se analizó la data histórica de producción de ceniza correspondiente a un periodo de doce meses, lo que permitió determinar el flujo másico máximo generado y establecer las condiciones de diseño del sistema. A partir de las dimensiones del hogar del caldero, la producción de ceniza y las condiciones de operación, se efectuaron los cálculos de potencia, torque y velocidad de trabajo, complementados con el análisis cinemático de un mecanismo de retorno rápido mediante modelos matemáticos de posición, velocidad y aceleración, verificando la factibilidad del movimiento requerido para el arrastre del material. Con los parámetros obtenidos el sistema fue modelado y ensamblado virtualmente mediante herramientas de diseño asistido por computadora, validando la integración de sus componentes y la funcionalidad de la propuesta.

Finalmente, se evaluó la viabilidad económica mediante los indicadores Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), considerando la inversión requerida y los beneficios asociados a la disminución de tiempos de limpieza y mantenimiento. Los resultados obtenidos demostraron que el diseño propuesto constituye una alternativa técnicamente factible y económicamente viable para optimizar el retiro de ceniza, mejorar la continuidad operativa del caldero y reducir la intervención manual en el proceso.

Palabras clave: Sistema de arrastre, Ceniza, Caldero, Mecanismo de retomo rápido, Diseño mecánico, Evaluación económica.

ABSTRACT

The purpose of this research was to design a drag system for ash removal from the furnace of a boiler at a distillery located in the province of Chiclayo, with the aim of optimizing the cleaning process and improving the operating conditions of the combustion system. The research was applied in nature and followed a non-experimental design, using direct observation and the analysis of technical information as the basis for developing the proposed solution.

Historical ash production data collected over a twelve-month period were analyzed to determine the maximum mass flow rate and establish the design conditions for the system. Based on the dimensions of the boiler furnace, ash production, and operating conditions, calculations of power, torque, and operating speed were performed. These calculations were complemented by the kinematic analysis of a quick-return mechanism using mathematical models of position, velocity, and acceleration, verifying the feasibility of the motion required for material transport. Using the obtained parameters, the system was modeled and virtually assembled through computer-aided design (CAD) tools, validating the integration of its components and the functionality of the proposed design.

Finally, the economic feasibility of the proposal was evaluated using the Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) indicators, considering the required investment and the benefits associated with reducing cleaning and maintenance times. The results demonstrated that the proposed design is a technically feasible and economically viable alternative for optimizing ash removal, improving boiler operational continuity, and reducing manual intervention during the process.

Keywords: Drag system, Ash, Boiler, Quick-return mechanism, Mechanical design, Economic evaluation.

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
INTRODUCCIÓN	13
Capítulo I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Justificación	15
1.3.1. Justificación tecnológica	15
1.3.2. Justificación económica	15
1.3.3. Justificación socioambiental	15
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivos Específicos	16
Capítulo II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de estudio	17
2.2. Base teórica	18
Capítulo III: MARCO METODOLÓGICO	28
3.1. Tipo y diseño de investigación	28
3.1.1. Tipo de la investigación	28
3.1.2. Diseño de la investigación	28
3.2. Población y muestra	28
3.4.1. Variable independiente	28
3.4.2. Variable dependiente	28
3.4.3. Operacionalización de variables	29
3.5. Métodos y técnicas de investigación	30
3.5.1. Métodos de investigación	30
3.5.2. Técnicas de investigación	30
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	30

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	30
Capítulo IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	31
4.1. Descripción del sistema propuesto	31
Capítulo V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	32
5.1. Resultados.....	32
5.1.1. Determinación de la cantidad de ceniza producida en el hogar del caldero de la destiladora	32
5.1.2. Parámetros de diseño del sistema de retiro, considerando la producción actual y normas vigentes.....	32
5.1.3. Selección del equipamiento electromecánico y de control del sistema de retiro de ceniza, tomando en cuenta los parámetros de diseño	62
5.1.4. Evaluación económica empleando los indicadores VAN y TIR	83
5.2. Discusión de resultados	87
Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
6.1. Conclusiones.....	89
6.2. Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	29
Tabla 2 Acumulación de ceniza según data histórica	32
Tabla 3 Características de motor seleccionado	35
Tabla 4 Medidas y nomenclaturas	38
Tabla 5 Componentes mecánicos utilizados para el diseño del sistema de arrastre	64
Tabla 6 Propiedades físicas del material seleccionado	66
Tabla 7 Características técnicas del contactor	69
Tabla 8 Características técnicas del contactor	70
Tabla 9 Características eléctricas y dimensiones correspondientes	70
Tabla 10 Características y descripción del ITM	72
Tabla 11 Dimensión y capacidad del ITM	73
Tabla 12 Características y descripción del ID	74
Tabla 13 Características eléctricas y capacidad del ID	75
Tabla 14 Características de tablero seleccionado	76
Tabla 15 Especificaciones técnicas del temporizador seleccionado	77
Tabla 16 Características de selector	79
Tabla 17 Beneficios de la propuesta planteada	84
Tabla 18 Flujo de caja proyectado e indicadores de rentabilidad económica	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Calderas existentes	18
Figura 2 Ceniza como residuo	19
Figura 3 Clasificación o tipos de ceniza	20
Figura 4 Diagrama representativo de extracción de ceniza	21
Figura 5 Ceniza volante	23
Figura 6 Transportador de cadena para cenizas de caldera	24
Figura 7 Entorno tomado para el diseño del mecanismo	31
Figura 8 Hogar del caldero y cotas	34
Figura 9 Motorreductor elegido	36
Figura 10 Posición inicial de los eslabones	38
Figura 11 Trazos y ángulos del sistema	39
Figura 12 Representación gráfica con valores obtenidos	41
Figura 13 Trazos y componentes del sistema	41
Figura 14 Triángulo y componentes del sistema	42
Figura 15 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	47
Figura 16 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	50
Figura 17 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	51
Figura 18 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	52
Figura 19 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	54
Figura 20 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	57
Figura 21 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	59
Figura 22 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente	61
Figura 23 Motorreductor seleccionado	62
Figura 24 Dimensiones de motorreductor	63

Figura 25 Características y grado de protección de motorreductor	63
Figura 26 Diseño del sistema de arrastre en la posición inicial.....	67
Figura 27 Ensamble final del sistema de arrastre	68
Figura 28 Contactor seleccionado	69
Figura 29 Interruptor termomagnético seleccionado	71
Figura 30 Interruptor diferencial seleccionado.....	74
Figura 31 Tablero de metal seleccionado	76
Figura 32 Temporizador digital seleccionado	77
Figura 33 Selector EP-16A-M	78
Figura 34 Diagrama unifilar de control	80
Figura 35 Funcionamiento del sistema de arrastre para el retiro de cenizas	81

INTRODUCCIÓN

La generación de cenizas es una problemática común en diversas industrias que emplean procesos de combustión para la producción de energía o incluso para la realización de diversos procesos. En Estados Unidos cada año se producen aproximadamente más de 100 millones de toneladas de cenizas; la mayoría provenientes de la combustión de carbón en las centrales de generación. Debido a las características físicas de este material, como su naturaleza friccional y el tamaño fino de sus partículas, su transporte y disposición representan importantes desafíos operativos, por lo que requieren sistemas de manejo adecuadamente diseñados para garantizar un flujo confiable y seguro (Khambekar y Barnum, 2012).

Asimismo, la acumulación y deposición de cenizas en equipos industriales pueden generar problemas de corrosión, reducción de la transferencia de calor y paradas no programadas de los procesos productivos, afectando la eficiencia de las instalaciones. Por ello, diversas investigaciones han desarrollado tecnologías orientadas a optimizar los sistemas de transporte y retiro de cenizas, incorporando materiales resistentes al desgaste, sistemas automatizados y métodos de arrastre más eficientes.

En este escenario, el presente trabajo formula el diseño de un sistema de arrastre para el retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora ubicada en la provincia de Chiclayo. La propuesta busca establecer una solución tecnológica que contribuya a optimizar las operaciones asociadas al manejo de cenizas, mejorar las condiciones de funcionamiento del sistema de combustión y fortalecer la eficiencia operativa de la empresa.

Capítulo I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel industrial, la gestión de cenizas representa un desafío operativo debido a las características físicas de este material, tales como su abrasividad, granulometría variable y tendencia a acumularse en las zonas de combustión. Cuando las cenizas no son retiradas oportunamente, pueden provocar obstrucciones, reducción de la eficiencia térmica, incremento de las labores de mantenimiento y mayores tiempos de inactividad de los equipos. Por ello, diversas empresas industriales han incorporado mecanismos que permiten realizar la extracción de estos residuos de manera continua y segura.

En la empresa Transportes y Servicios ERSÁ E.R.L dedicada la destilería de alcohol propílico en la provincia de Chiclayo, cuenta con una caldera de biomasa, el cual emplea como combustible pajilla de arroz, el tipo de circulación del agua es acuotubular y la forma de combustión es en parrilla fija inclinada. La ceniza producto de la combustión, se acumula sobre la parrilla, y es retirada hacia el exterior por un operario de forma manual lo cual limita la rapidez con la que pueden retirarse las cenizas acumuladas, generando interrupciones durante la operación del sistema y aumentando los tiempos destinados a labores de limpieza y mantenimiento además de aumentar los riesgos de salud y seguridad en el personal encargado ocasionado pérdidas económicas para la empresa y niveles de contaminación más altos.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo mejorar el retiro de la ceniza acumulado sobre la parrilla de combustión, mediante un sistema de arrastre en el hogar del caldero de una destiladora en la Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación tecnológica

La implementación de este sistema de arrastre para el retiro de ceniza permitirá realizar la extracción de cenizas de manera continua y controlada, optimizando el funcionamiento del caldero y mejorando la eficiencia del proceso de combustión. Asimismo, contribuirá a reducir las interrupciones prolongadas de operación y fortalecer la confiabilidad del sistema, favoreciendo la continuidad de las operaciones.

1.3.2. Justificación económica

El diseño de un sistema de arrastre para el retiro de cenizas contribuirá a reducir los costos asociados a las labores de limpieza y mantenimiento del caldero. La implementación de este sistema permitirá disminuir la necesidad de mano de obra, optimizar el uso de equipos y materiales empleados en la extracción de cenizas y reducir los tiempos de inactividad del proceso productivo. Asimismo, al garantizar una remoción continua y eficiente de los residuos de combustión, se favorecerá el incremento de la productividad y la eficiencia operativa de la destilería, generando beneficios económicos y una mayor rentabilidad en el largo plazo.

1.3.3. Justificación socioambiental

El diseño de un sistema de arrastre para el retiro de cenizas contribuirá a reducir la exposición del personal a partículas y residuos generados durante las labores de limpieza del caldero, disminuyendo los riesgos para la salud y mejorando las condiciones de trabajo. Asimismo, permitirá una gestión más eficiente de las cenizas, reduciendo su dispersión en el ambiente y minimizando los impactos asociados a la contaminación del aire y del entorno. De esta manera, se promueve un ambiente laboral más seguro, se fortalece el compromiso de la empresa con la protección ambiental y se favorece una relación responsable con la comunidad y el ecosistema de su área de influencia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de arrastre para el retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora en la empresa Transportes y Servicios ERSÁ E.I.R.L, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de ceniza producida en el hogar del caldero de la destiladora.
- Determinar los parámetros de diseño del sistema de retiro, considerando la producción de ceniza y normas vigentes.
- Seleccionar el equipamiento electromecánico y de control del sistema de retiro de ceniza, tomando en cuenta los parámetros de diseño.
- Realizar una evaluación económica empleando los indicadores VAN y TIR.

Capítulo II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Internacionales:

El primer antecedente es una investigación realizada por Tum Ramos (2022); quien tubo como objetivo reducir las lesiones físicas que afectan a los operadores de la empresa Compañía Eléctrica La Libertad, S.A. Para ello, empleó una metodología de tipo explicativa, orientada a describir, analizar y evaluar los problemas generados por la ausencia de un sistema adecuado para el retiro de cenizas. La población estuvo conformada por 16 operadores y la técnica utilizada para la recolección de información fue la entrevista. Los resultados evidenciaron la presencia de lesiones físicas y problemas de salud en los trabajadores debido a las condiciones del proceso. Como conclusión, el autor determinó que era factible implementar un cambio en la logística del transporte interno de cenizas de caldera, considerando que la propuesta representaba una alternativa viable para optimizar dicho proceso y mejorar las condiciones de trabajo.

Ríos Martínez (2011) investigó en Guatemala con el propósito de diseñar e implementar un sistema de recolección en seco para el manejo de cenizas generadas en las calderas de bagazo del Ingenio La Unión. Como resultado del estudio, se diseñó un sistema basado en un transportador helicoidal horizontal instalado en los ceniceros frontal y posterior de las calderas, protegido por una artesa y accionado mediante un motorreductor, cadenas y sprockets que trasmiten la potencia necesaria para generar el movimiento helicoidal encargado de evacuar las cenizas. La implementación de este sistema permitió mejorar el desempeño del proceso de clarificación y disminuir las emisiones contaminantes, contribuyendo a una operación más eficiente y con menor impacto ambiental.

Nacionales:

Polo Urquiza (2017); realizó una investigación en Trujillo con el objetivo de diseñar un sistema de transportadores helicoidales capaz de evacuar 1.8 t/h de ceniza proveniente de una caldera. La investigación se desarrolló bajo un enfoque de diseño aplicado y análisis descriptivo, considerando como población los transportadores helicoidales destinados al manejo de cenizas de bagazo. Como resultado, se determinó que la descarga de cenizas debía efectuarse mediante tres líneas de evacuación conectadas al precipitador electrostático, las cuales conducen el material a lo largo de una distancia de 13202 m hasta el transportador principal. Asimismo, se concluyó que la empresa Agrolmos S.A. debía realizar una inversión de s/. 79913.10 para la fabricación e instalación de los tres transportadores helicoidales, estimándose un período de recobro de la inversión de aproximadamente dos meses.

2.2. Base teórica

Calderas

Son equipos ampliamente utilizados en el sector industrial para la transferencia de calor y la generación de vapor. Su funcionamiento consiste en emplear distintos tipos de combustibles o sistemas de combustión para suministrar energía térmica necesaria hasta alcanzar el punto de ebullición del fluido de trabajo, que generalmente es agua (Esquerra, 2024).

Figura 1 *Calderas existentes*



Nota. La figura muestra calderas realizadas industrialmente, así como artesanalmente.

Tomado de <https://www.google.com/>

Origen de la ceniza

La procedencia de la ceniza en la caldera se debe a los materiales quemados en el interior de la misma; una vez que han cumplido con su propósito, son eliminados a través de la parrilla móvil donde se acumulan los restos más grandes, mientras que el carbón fino es extraído con un ventilador denominado Inducido. Este ventilador tiene como función principal sacar los gases del interior de la caldera y también llevar el carbón fino de vuelta al área de combustión. Al concluir este proceso, las cenizas que permanecen en la parrilla son eliminadas hacia la parte baja de la caldera, la cual se encuentra sumergida en agua para prevenir posibles incendios en el exterior de la planta. (Ignacio, 2007).

El flujo másico de cenizas se refiere a la cantidad de material particulado que se transporta en un sistema de manejo de cenizas durante un periodo de tiempo determinado. Este parámetro es esencial para dimensionar correctamente los equipos, como transportadores y bombas, y garantizar que el sistema pueda manejar el volumen generado durante el proceso de combustión. Asimismo, es el cálculo que depende de factores como la tasa de generación de cenizas en la fuente, la densidad del material y las condiciones operativas del sistema, siendo un elemento clave para la eficiencia y seguridad del transporte (Pérez y Gutiérrez, 2021).

Figura 2 *Ceniza como residuo*

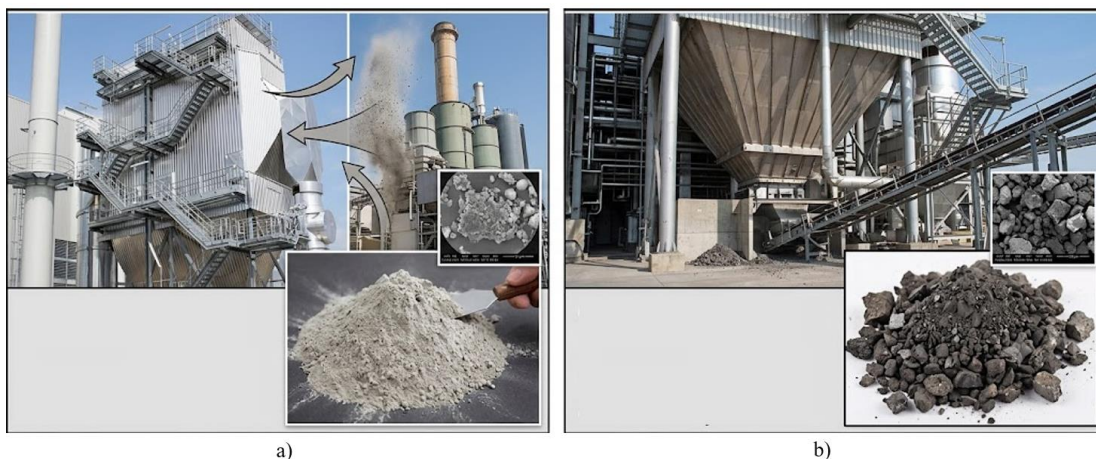


Nota. Se evidencia la ceniza como residuo de la combustión en calderos. Tomado de <https://www.google.com/>

Tipos de ceniza

Los tipos de ceniza generados en procesos de combustión, como en plantas termoeléctricas, se clasifican principalmente en ceniza voladora y ceniza de fondo. La ceniza voladora es el material particulado fino que es arrastrado por los gases de combustión y se recolecta mediante filtros o precipitadores electrostáticos. Por otro lado, la ceniza de fondo es más densa y gruesa, acumulándose en la parte inferior del sistema de combustión. Según Rodríguez y Martínez (2021), la composición y características físicas y químicas de estos tipos de ceniza varían en función del tipo de combustible utilizado, influyendo en su manejo, disposición o posible reutilización en aplicaciones industriales.

Figura 3 *Clasificación o tipos de ceniza*



Nota. Se muestra a) ceniza voladora y b) ceniza de fondo. Tomado de <https://www.google.com/>

Retiro de ceniza

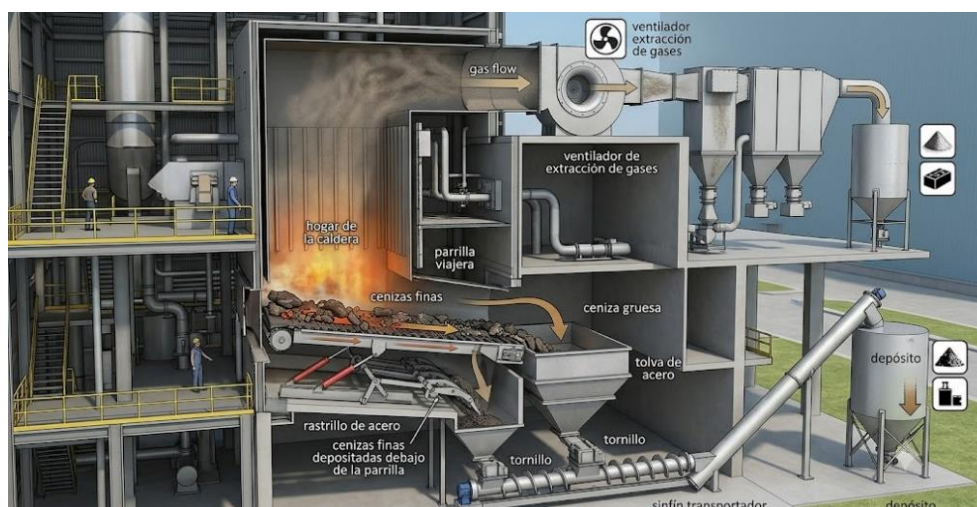
La ceniza fina es un subproducto generado durante la combustión de carbón pulverizado, principalmente en centrales de generación de energía eléctrica. Se caracteriza por ser un material de granulometría muy fina, compuesto principalmente por sílice, alúmina, óxidos y compuestos alcalinos. Debido a sus propiedades puzolánicas, puede

reaccionar con la cal hidratada para formar compuestos cementantes, lo que permite su aprovechamiento en diversas aplicaciones industriales (Braja, 2012).

Las cenizas producidas en una caldera corresponden al residuo sólido que permanece después del proceso de combustión del carbón. Estas pueden clasificarse en ceniza volante y ceniza gruesa. La ceniza volante es arrastrada por los gases de combustión y extraída mediante el ventilador de la caldera, mientras que la ceniza gruesa cae al fondo del hogar y es evacuada a través de la parrilla viajera. (ISSN, 2012).

El sistema de retiro de cenizas comprende un conjunto de equipos diseñados para extraer y transportar automáticamente las cenizas hasta un depósito de almacenamiento. En las calderas con parrilla, las cenizas acumuladas debajo de esta son desplazadas mediante un rastrillo de acero accionado hidráulicamente hacia una tolva de recolección, sincronizando su movimiento con el de la parrilla. Por su parte, las cenizas depositadas sobre la parrilla son conducidas por la propia parrilla móvil hasta una tolva de descarga. Finalmente, un tornillo sinfín transporta el material recolectado hacia el área de almacenamiento, permitiendo una evacuación continua y eficiente de las cenizas generadas durante la combustión (ABKessel, 2024).

Figura 4 Diagrama representativo de extracción de ceniza



Nota. Tomado de <https://www.google.com/>

Propiedades de la ceniza volante

Las principales propiedades de la ceniza se describen en las siguientes líneas:

Propiedad puzolánica: Esta propiedad se relaciona con la capacidad de la sílice presente en la ceniza volante para reaccionar con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento Portland, formando compuestos con características cementantes. Sin embargo, la velocidad de esta reacción suele ser menor en comparación con la de otras puzolanas de origen natural (Morales, 2015).

Pérdida por ignición: Este parámetro está asociado con la cantidad de carbón no quemado presente en la ceniza. Un valor elevado de pérdida por ignición puede provocar cambios en la apariencia superficial de los elementos elaborados con este material, debido a la presencia de partículas de carbón. Asimismo, una mayor proporción de carbón residual disminuye el contenido de óxidos como sílice, alúmina y óxido de hierro, reduciendo la actividad puzolánica y ocasionando un proceso de fraguado más lento (Morales, 2015).

Granulometría: La distribución del tamaño de las partículas constituye una de las características más relevantes de la ceniza volante. Aunque este parámetro permanece relativamente uniforme mientras la ceniza se encuentra suspendida en los gases de combustión, puede verse influenciado por factores como la eficiencia de los molinos de carbón, el tipo de combustible utilizado y las condiciones de operación del horno. Además, las diferencias en los sistemas de captación y precipitación ocasionan variaciones importantes en la granulometría entre distintas fuentes de ceniza (Morales, 2015).

Fineza: La fineza se evalúa mediante el porcentaje de material que atraviesa una malla de determinada abertura. Una mayor proporción de partículas finas favorece el desarrollo de la resistencia mecánica, debido a que incrementa la superficie disponible para las reacciones puzolánicas (Morales, 2015).

Forma de la partícula: La ceniza volante está constituida principalmente por partículas de forma esférica, característica que facilita su manejo y mejora su comportamiento en mezclas cementicias. Las partículas de mayor tamaño, comprendidas aproximadamente entre 45 y 300 μm , suelen presentar una estructura porosa y un color oscuro, asociado a una mayor presencia de carbón parcialmente quemado, lo que incrementa la pérdida por ignición en comparación con las partículas más finas (Morales, 2015).

Densidad: La densidad de la ceniza volante puede variar considerablemente en función del tamaño de sus partículas y del contenido de carbón no quemado. Por ello, esta propiedad depende directamente de la granulometría y de la pérdida por ignición del material (Morales, 2015).

Figura 5 *Ceniza volante*



Nota. Figura representativa de ceniza volante. Tomado de <https://www.google.com/>

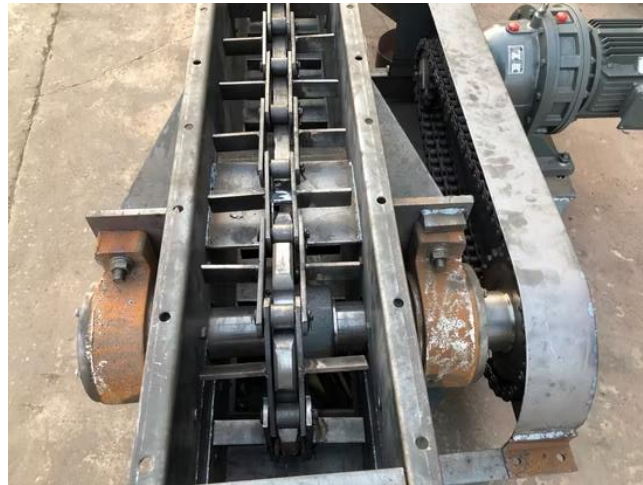
Sistema de arrastre

El sistema de arrastre de ceniza es un conjunto de equipos y procesos que está diseñados con la finalidad de recoger, enfriar, transportar y disponer eficientemente las cenizas generadas durante la combustión tanto en plantas termoeléctricas o como procesos industriales similares. Dicho sistema puede emplearse en medios húmedos, secos o mixtos, dependiendo de las características de los materiales y requisitos en los procesos. Según Hernández y López (2020) argumenta que el diseño de un sistema de arrastre de ceniza debe garantizar un manejo seguro y ambientalmente responsable del

material, donde se minimice los riesgos operativos y cumpliendo con las normativas aplicables, reduciendo los costos y optimizando los procesos.

El arrastre es un proceso esencial en la industria, ya que permite el traslado eficiente de materias primas o residuos de un punto a otro, optimizando el uso del tiempo y recursos operativos. Su función principal es facilitar el movimiento de materiales bajo condiciones y normas establecidas, siendo un elemento clave para los procesos de distribución y producción industrial (Moral, 2014).

Figura 6 *Transportador de cadena para cenizas de caldera*



Nota. Tomado de <https://www.google.com/>

Mejora del sistema de transporte

El transporte de materiales está condicionado por factores como la distancia de recorrido, la ubicación del proveedor, el peso y el volumen de carga. Por ello, es importante seleccionar una ubicación y un sistema adecuado que permita desarrollar las operaciones de manera eficiente (Miranda, 2005).

Mejora continua

La mejora continua comprende estrategias orientadas a optimizar procesos, incrementar la eficiencia y reducir costos mediante la implementación de acciones que generen mejores resultados para la empresa y sus colaboradores (Bonilla et al., 2010).

Tipos de sistemas

Existen diversos sistemas de transporte neumático utilizados para movilizar materiales secos a granel. Estos pueden clasificarse según sus características de operación, como sistemas abiertos o cerrados, de presión positiva o negativa, fijos o móviles, de alta o baja presión, convencionales o innovadores, y de funcionamiento continuo o por lotes. La selección del sistema depende de las propiedades del material y de las condiciones requeridas para su traslado (Arapa, 2023).

Asimismo, los sistemas neumáticos pueden clasificarse en transporte mediante tuberías o canales. Los primeros son los más empleados debido a su versatilidad, mientras que los sistemas por canales utilizan superficies porosas para introducir aire y facilitar el desplazamiento del material (Arapa, 2023).

En las centrales termoeléctricas existen diferentes métodos para la extracción de cenizas, siendo uno de los más utilizados el empleo de precipitadores electrostáticos o separadores ciclónicos. Generalmente, las cenizas recolectadas son transportadas junto con agua para reducir la dispersión de partículas hacia el ambiente (Nemerow, 1988).

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño para un sistema de arrastre de ceniza consisten en las características técnicas y operativas que deben considerarse para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del sistema. Estos incluyen aspectos como la cantidad y tipo de ceniza a transportar, las condiciones de operación, la capacidad de manejo, las propiedades físicas y químicas del material, los requisitos de enfriamiento, la selección de materiales resistentes a la abrasión y la corrosión, y las normativas de seguridad y medioambientales aplicables. Además, es fundamental considerar factores como la durabilidad de los materiales, la facilidad de mantenimiento y la compatibilidad con los equipos existentes en la planta. Un diseño adecuado debe asegurar la eficiencia

operativa, minimizar los costos de mantenimiento y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes (Vélez, 2020).

Parámetros de funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento para un sistema de arrastre de ceniza incluyen las condiciones operativas necesarias para garantizar su rendimiento óptimo y su vida útil prolongada. Estos parámetros abarcan la capacidad de transporte, la velocidad de arrastre, el consumo energético, la temperatura de operación, el flujo de agua o aire (según el sistema utilizado), y los intervalos de mantenimiento. Además, es crucial considerar la calidad del material transportado, las condiciones ambientales y las restricciones normativas para asegurar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema. Asimismo, el monitoreo debe ser constante y la correcta calibración de estos parámetros son esenciales para prevenir fallas, minimizar costos operativos y reducir el impacto ambiental (López y Martínez, 2021).

Costos de inversión

Los costos de inversión para un sistema de arrastre de ceniza corresponden al monto total requerido para la adquisición, instalación y puesta en marcha del sistema. Estos costos incluyen la compra de equipos principales, como transportadores, bombas y sistemas de enfriamiento, así como los gastos asociados a la infraestructura, mano de obra, ingeniería, y cumplimiento de normativas ambientales. Además, se consideran los costos indirectos relacionados con estudios de factibilidad, permisos y pruebas de funcionamiento. Según Gómez y Ramírez (2022), una planificación adecuada de estos costos es fundamental para garantizar la viabilidad económica del proyecto, optimizando los recursos y evitando sobrecostos durante la implementación.

Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento para un sistema de arrastre de ceniza representan los gastos recurrentes necesarios para garantizar el funcionamiento continuo y eficiente del sistema, así como para preservar su vida útil. Estos costos incluyen el consumo energético, los insumos requeridos (como agua o lubricantes), los salarios del personal operativo, y las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. Asimismo, abarcan la reposición de piezas desgastadas y los gastos asociados al cumplimiento de normativas ambientales. Según Torres y Díaz (2022), la gestión eficiente de estos costos es esencial para minimizar interrupciones, prolongar la vida útil de los equipos y garantizar la sostenibilidad económica y ambiental del sistema.

Capítulo III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de la investigación

La investigación se clasificó como aplicada debido a que proporcionó una respuesta a un desafío general en el área de la Ingeniería Mecánica. Se enfocó en el uso práctico del saber científica para abordar situaciones específicas o para optimizar condiciones existentes. También se fundamentó en el conocimiento obtenido a través de la investigación básica y tuvo como objetivo aplicarlo de forma concreta. (González, 2021).

3.1.2. Diseño de la investigación

Se consideró no experimental porque en este enfoque o se incluyen estímulos ni condiciones experimentales que afecten a las variables estudiadas. Los participantes fueron analizados en su entorno habitual sin modificar ninguna situación; además, las variables de estudio no fueron sujetas a manipulación. (Arias y Covinos, 2021).

3.2. Población y muestra

El presente estudio tiene como población y muestra la producción de ceniza de una destiladora de alcohol de la empresa Transportes y Servicios ERSÁ E.I.R.L.

3.3. Hipótesis

El diseño del sistema de arrastre para retiro de ceniza en el hogar del caldero de una destiladora mejorará el retiro de ceniza acumulada en la parrilla y así como las condiciones del trabajo.

3.4. Variables – Operacionalización

3.4.1. Variable independiente

Diseño de sistema de arrastre

3.4.2. Variable dependiente

Retiro de ceniza

3.4.3. Operacionalización de variables

Tabla 1 Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Diseño de sistema de arrastre	Sistema que combinan componentes eléctricos y mecánicos para conformar un mecanismo. También implica la creación y optimización de mecanismos destinados a transportar elementos mediante en arrastre controlado (Palacios et al., 2024).	Se dimensionará según los requerimientos de los calderos de la destiladora, flujos de masas de ceniza, espacios, y otros parámetros.	Parámetros de diseño Costos de inversión	Velocidad Aceleración Torque Nivel de tensión Potencia mecánica Eléctrica Equipo y materiales Mano de obra	De razón
Dependiente: Retiro de Ceniza	Residuos después de una combustión completa, y está formada, generalmente, por sales alcalinas y terreas, sílice y óxidos metálicos. La cantidad influye en los costos de transporte, manipulación y procesos (Portero, 2018).	Se evaluará de acuerdo a la capacidad de trabajo de cada caldero en la destiladora.	Flujo másico de cenizas	Masa Tiempo	De razón

Nota. Elaboración propia.

3.5. Métodos y técnicas de investigación

3.5.1. Métodos de investigación

Se utilizó un enfoque analítico-sintético que consistió en examinar los eventos, descomponiendo el objeto de estudio en sus componentes individuales para analizarlos por separado (análisis), y luego se combinaron esos elementos para evaluarlos de forma completa y holística (síntesis) (Bernal, 2010).

3.5.2. Técnicas de investigación

La metodología utilizada en esta investigación fue la observación directa ya que el investigador obtuvo la información directamente de la población o sujeto investigados (Arias y Covinos, 2021).

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

El instrumento que se empleó en el estudio fue la ficha de observación que son instrumentos que se utilizaron para recopilar datos de manera sistemática y estructurada durante las observaciones en un ambiente determinado. Este tipo de instrumento permiten al investigador registrar los datos relevantes sobre características, comportamientos o patrones que se observaron de forma directa Vizcaíno et al. (2023). Dicha herramienta sirvió para anotar información de las dimensiones en donde se va a desarrollar el sistema de transporte. Nos brindó información de mucha relevancia al momento de la elección de materiales como fichas técnicas, archivos o propiedades de algunos elementos.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos

Los datos recogidos fueron procesados empleando un proceso de cálculo, donde se determinaron los parámetros de diseño, como los indicadores del VAN y TIR. También se empleó según su diseño.

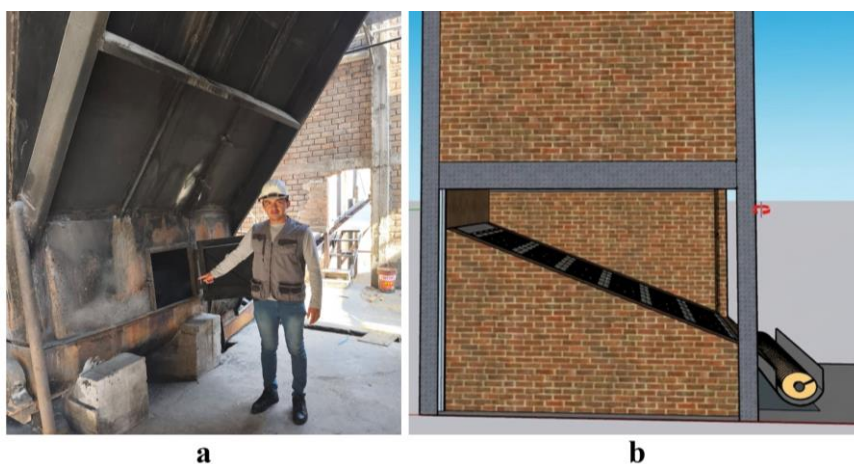
Capítulo IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

La propuesta consistió en el diseño de un sistema de arrastre mediante una cuchilla accionada por un mecanismo de retorno rápido. Este concepto permitió establecer una carrera de trabajo destinada al desplazamiento de las cenizas a lo largo de la rampa y una carrera de retorno ejecutado en menor tiempo.

El diseño del sistema se desarrolló considerando criterios de ingeniería mecánica orientados a garantizar su funcionalidad y adaptación a las condiciones del área de instalación. Para ello, se tuvieron en cuenta las características geométricas de la rampa inclinada, el espacio disponible y el recorrido requerido para el arrastre de las cenizas, a partir de los cuales se dimensionaron los componentes mecánicos del sistema. Asimismo, se realizaron los cálculos necesarios para determinar los parámetros de operación y verificar el comportamiento del mecanismo. Finalmente, se efectuó el modelado y ensamblaje virtual del conjunto, integrando el mecanismo de retorno rápido, la cuchilla de arrastre y los demás componentes mecánicos seleccionados de acuerdo con alternativas disponibles en el mercado, con el propósito de garantizar la viabilidad técnica del diseño propuesto.

Figura 7 Entorno tomado para el diseño del mecanismo



Nota. a) Hogar del caldero y b) representación del caldero en 3D. Elaboración propia.

Capítulo V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Resultados

5.1.1. Determinación de la cantidad de ceniza producida en el hogar del caldero de la destiladora

Se presenta la acumulación de ceniza desde el mes de agosto del 2024 hasta el mes de Julio del 2025. Proveniente de data histórica recolectada en la entidad.

Tabla 2 *Acumulación de ceniza según data histórica*

PICO MÁXIMO DE ACUMULACIÓN DE CENIZA (AGOSTO 2024 - JULIO 2025)					
Meses	Horas trabajadas por día (h)	Horario por día (h)	Mantenimientos, limpieza, por día (N° h)	Acumulación total de ceniza (kg)	Acumulación por hora de ceniza (kg)
Agosto	21	24	3	4360.12	
Setiembre	21	24	3	4348.81	
Octubre	21	24	3	4355.12	
Noviembre	21	24	3	4362.78	
Diciembre	21	24	3	4359.45	
Enero	21	24	3	4362.41	
Febrero	21	24	3	4362.35	
Marzo	21	24	3	4374.93	
Abril	21	24	3	4363.42	
Mayo	21	24	3	4364.45	
Junio	21	24	3	4362.48	
Julio	21	24	3	4360.84	
PICO MÁXIMO				4374.93	208.33

Nota. Elaboración propia.

5.1.2. Parámetros de diseño del sistema de retiro, considerando la producción actual y normas vigentes

5.1.2.1. Selección del motor

Para la presente investigación, la selección preliminar se realizó tomando como referencia motores utilizados en aplicaciones mecánicas similares de transporte y arrastre de materiales, cuyos criterios de diseño se sustentan en cálculos de potencia y condiciones de

carga. A partir de esta referencia, se efectuaron los cálculos correspondientes para verificar la compatibilidad del accionamiento con los requerimientos del sistema propuesto, permitiendo establecer los parámetros necesarios para el diseño del mecanismo de retorno rápido, la transmisión de potencia y los demás componentes mecánicos que integran la propuesta. Asimismo, se consideró que en aplicaciones destinadas al manejo de materiales abrasivos las velocidades de operación suelen mantenerse en valores reducidos para minimizar el desgaste de los componentes y garantizar un funcionamiento adecuado del sistema, empleándose comúnmente velocidades máximas cercanas a 14 RPM.

a) Potencia requerida total:

Se determina mediante la energía requerida; considerando la sumatoria de potencias:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2$$

Donde:

- P_1 = Potencia para mover material:

$$P_1 = \frac{Q \cdot L \cdot \mu}{367}$$

- P_2 = Potencia para vencer la fricción:

$$P_2 = \frac{Q \cdot H}{367}$$

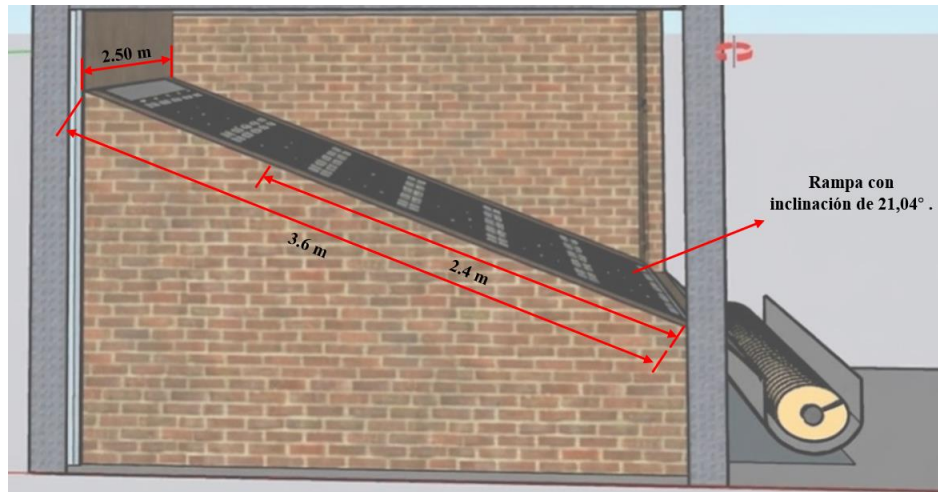
Donde:

- Q = Flujo masico (kg/h)
- L = Longitud a transportar (m)
- μ = Fricción según las normas de ASTM G115-10 nos dice que es de 0.5 mide los sólidos granulares vs metales
- H = Altura de elevación (m). se calculó mediante la ecuación:

$$H = L \cdot \sin \theta$$

Para realizar los cálculos, y de acuerdo con la data histórica, se dimensionó para la cantidad de ceniza de pajilla de arroz por hora de $208,33 \text{ kg/hora}$; considerando la longitud a transportar de la rampa inclinada de $2,4 \text{ m}$ y la inclinación de $21,04^\circ$ con el cual fue fabricado la rampa.

Figura 8 Hogar del caldero y cotas



Nota. Elaboración propia.

Potencia para mover material:

$$P_1 = \frac{\left(208,33 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}\right) \cdot (2,4 \text{ m}) \cdot (0,5)}{367} = 0,68 \text{ kW}$$

Potencia para vencer la fricción:

$$P_2 = \frac{\left(208,33 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}\right) \cdot (2,4 \cdot \sin(21,04^\circ))}{367} = 0,49 \text{ kW}$$

Potencia total requerida:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2$$

$$P_{\text{total}} = 0,68 \text{ kW} + 0,49 \text{ kW} = 1,17 \text{ kW}$$

b) Potencia del motor:

Para poder cubrir pérdidas de eficiencia, las condiciones adversas y se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_{\text{motor}} = P_{\text{total}} \cdot \eta$$

Donde:

- η = factor de seguridad de 1 hasta 1,5.

$$P_{\text{motor}} = 1,17 \text{ kw} \cdot (1,25)$$

$$P_{\text{motor}} = 1,46 \text{ kW} \approx 1,96 \text{ HP}$$

c) Torque:

Es la fuerza que se aplica en un objeto para hacerlo girar alrededor de un eje aplicado un elemento mecánico que cumple los requisitos de diseño y evitando las fallas de sobrecarga; se determinó utilizando la siguiente expresión.

$$T = \frac{P_{\text{motor}} \cdot 9550}{\eta}$$

Donde:

- P_{motor} = Potencia (kW)
- η = Velocidad en RPM

$$T = \frac{1,96 \text{ kw} \cdot (9550)}{40 \text{ RPM}} = 467,95 \text{ N.m}$$

De acuerdo con la potencia de motor calculada, se recomienda utilizar, por catálogo, el inmediato superior al resultado, es decir de 2 HP además que debe cumplir con el torque calculado mayor a 467,95 N. m. El motor elegido es de 2 HP de la marca “MAISSA”, que de acuerdo a las especificaciones técnicas se obtuvo:

Tabla 3 Características de motor seleccionado

Propiedad	Valor
Potencia	2 HP
Polos	4
Frecuencia	60 Hz
Tensión nominal	230/460 V
Corriente nominal	2,72/5,44 A
Velocidad nominal	700 RPM
Desplazamiento	3,06%

Factor de servicio	1,15
Momento de inercia	0.1296 lb.pie ²
Altura máxima	1000 m.s.n.m
Grado de protección	IP55
Rotación	Bidireccional
Nivel de ruido	52dB(A)
Peso	19,4 kg

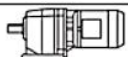
Nota. Elaboración propia

Considerando que las aplicaciones destinadas al manejo y arrastre de materiales abrasivos suelen operar a velocidades reducidas para disminuir el desgaste de los componentes mecánicos y favorecer un funcionamiento estable del sistema, se estableció una velocidad de trabajo cercana a 14 rpm. Debido a que el motor seleccionado posee una velocidad nominal de 700 rpm, fue necesario incorporar un motorreductor que permitiera adecuar la velocidad de salida a los requerimientos de operación del mecanismo, incrementando simultáneamente el torque disponible para realizar el arrastre de las cenizas de manera eficiente.

5.1.2.2. Selección del motorreductor

Para la selección del motorreductor se eligió la marca Bonfiglioli forever forward teniendo una serie C de forma coaxial y teniendo las siguientes propiedades:

Figura 9 Motorreductor elegido

n_2 min ⁻¹	M_2 Nm	S	i	R_{n2} N	
13.4	486	1.2	51.5	7000	C413_51.5 S3 M3SA4
13.4	496	1.4	51.4	10000	C512_51.4 S3 M3SA4
13.6	483	2.1	51.2	10000	C513_51.2 S3 M3SA4
19.3	457	1.0	48.2	6290	C363_48.2 S3 M3SA4
19.5	462	1.7	47.8	10000	C512_47.8 S3 M3SA4
30	444	1.4	47.0	7000	C413_47.0 S3 M3SA4
30	441	2.3	46.7	10000	C513_46.7 S3 M3SA4
32	432	1.2	44.8	7000	C412_44.8 S3 M3SA4

Nota. En la figura anterior se eligió el modelo de C513_51.2 S3 M3SA4.

Se observa que el motorreductor tiene una relación de transmisión de 51.2 que dividido con las 700 RPM de la velocidad nominal del motor seleccionado da como resultado 13.67 RPM, lo más cercano a 14 RPM que es con la que las máquinas trabajan con sólidos abrasivos.

5.1.2.3. Cálculo cinemático del mecanismo de retorno rápido

Para poder realizar el diseño del sistema se debe tener en cuenta las dimensiones del caldero descritas en la figura 8 y teniendo en cuenta que solo se utilizará 2.4 metros del largo total del caldero y según Solano Sanchez (2021); la temperatura ideal a la que trabaja un quemador de arroz es de $550 - 490^{\circ}$; se tiene en cuenta las medidas de los eslabones de acuerdo a criterio en conjunto con las dimensiones del caldero y también su nomenclaturas de puntos a analizar, ángulos y eslabones con sus respectivos valores.

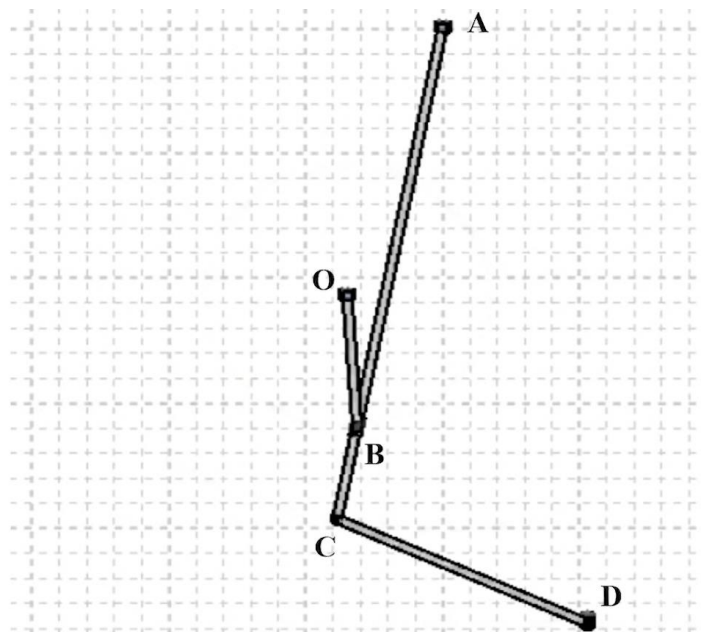
Cabe precisar que el análisis cinemático se desarrolló a partir de una posición inicial definida del mecanismo. Esta configuración permitió representar las condiciones geométricas de partida del sistema y sirvió como referencia para determinar las velocidades y aceleraciones instantáneas de los eslabones. Debido a que dichas magnitudes dependen de la posición relativa de cada elemento dentro del mecanismo, fue necesario fijar una configuración específica para efectuar el análisis. Asimismo, esta posición correspondió a una condición representativa de operación, permitiendo verificar la factibilidad cinemática del mecanismo de retorno rápido y obtener parámetros de referencia para el dimensionamiento de los componentes mecánicos que posteriormente se realizó utilizando un software de modelado CAD. Considerando que el alcance de la investigación estuvo orientado al diseño del sistema y no al estudio dinámico completo de todo el ciclo de movimiento, el análisis se realizó para una posición determinada previamente definida para modelo tridimensional.

Tabla 4 Medidas y nomenclaturas

DATOS	MEDIDAS
AC	2 m
CD	1 m
OA	1,127 m
OB	0,52 m
OD_Y	1,304 m
θ°	99°
ω_2	13,67 RPM = 1,42 rad/s
α_2	0 rad/s ²
δ°	72°

Nota. Elaboración propia.

Figura 10 Posición inicial de los eslabones



Nota. Elaboración propia

En los puntos A, O, B:

- **Formula de los Ángulos llano:**

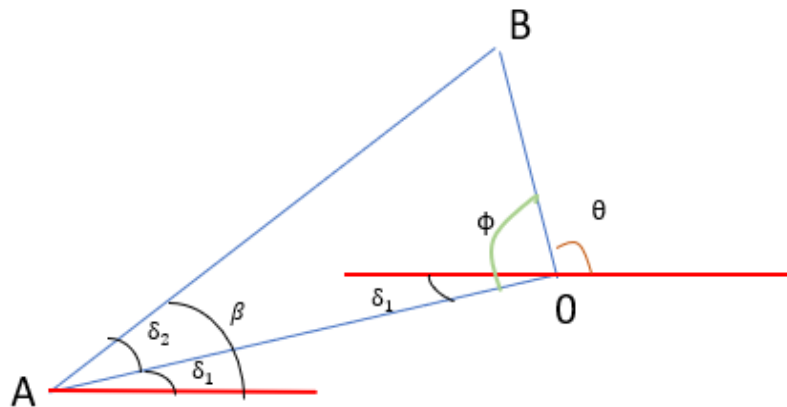
Es un ángulo cuya medida es exactamente 180 grados, no presenta abertura sino sus lados son colineales, a diferencias de otros ángulos llamados rectos u obtusos que son menores a 180 grados y su fórmula es:

$$180^\circ = \phi + \delta_1 + \theta$$

Donde:

- $\text{Ángulos} = \phi, \delta_1, \theta$; de ello se calcula el ángulo ϕ° :

Figura 11 Trazos y ángulos del sistema



Nota. Elaboración propia

$$180^\circ = \phi - \delta_1 + \theta$$

$$180^\circ = \phi - 72^\circ + 99^\circ$$

$$153^\circ = \phi^\circ$$

- **Ley de cosenos:**

Es una ecuación que conecta los lados y ángulos de un triángulo que no forma un ángulo recto, es la suma de los lados menos el doble del producto de los lados por el coseno del ángulo y expresión es:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 a. b. \cos \vartheta$$

Donde:

- $a, b \text{ y } c = \text{Lados}$
- $\vartheta = \text{ángulo}$
- **Funciones trigonométricas inversas:**

Son las funciones arco es decir revierten el efecto de las funciones trigonométricas estándar, se tuvo en cuenta:

$$\begin{array}{ll} \sin^{-1}(n) & \cot^{-1}(n) \\ \cos^{-1}(n) & \sec^{-1}(n) \\ \tan^{-1}(n) & \csc^{-1}(n) \end{array}$$

Donde:

- $n = \text{número}$

Cálculo de AB para la posición inicial dada en la figura 11:

$$\begin{aligned} AB^2 &= (OB)^2 + (OA)^2 - 2 (OB). (OA). \cos \phi^\circ \\ AB^2 &= (0.52)^2 + (1,127)^2 - 2 (0,52). (1,127). \cos 153^\circ \\ AB &= 1,608 \text{ m} \end{aligned}$$

Sabiendo que: $AC=2\text{m}$, por lo tanto:

$$BC = (2 - 1,608)\text{m} = 0,392 \text{ m}$$

Luego δ_1 :

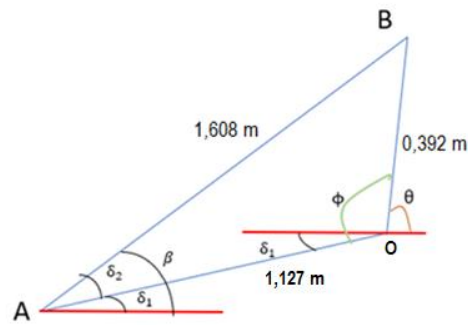
$$OB^2 = (AB)^2 + (OA)^2 - 2 (AB). (OA). \cos \delta_2^\circ$$

$$\cos \delta_2^\circ = \frac{(AB)^2 + (OA)^2 - OB^2}{2 (AB). (OA)}$$

$$\cos \delta_2^\circ = \frac{(1,608)^2 + (1,127)^2 - (0,52)^2}{2 (1,607). (1,127)}$$

$$\delta_2 = 8.44^\circ$$

Figura 12 Representación gráfica con valores obtenidos



Nota. Elaboración propia

Por último, β :

$$\beta^\circ = \delta_1 + \delta_2$$

$$\beta^\circ = 72^\circ + 8,44^\circ$$

$$\beta^\circ = 80,44^\circ$$

En los puntos A, B, C, D:

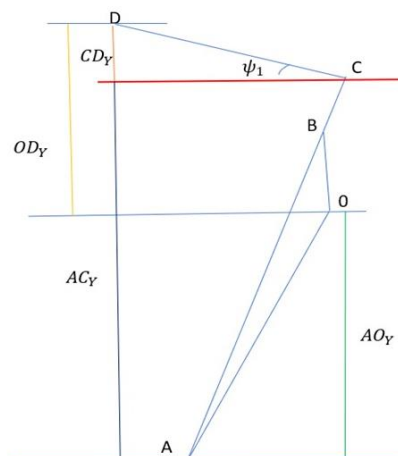
- **Cálculo de la componente vertical:**

Es la proyección del vector sobre el eje vertical o también llamado “eje y” en un sistema de coordenadas, apunta el vector hacia arriba y abajo, su fórmula es:

$$V_y = v \cdot (\sin \theta)$$

En nuestro proyecto hallamos DC_y :

Figura 13 Trazos y componentes del sistema



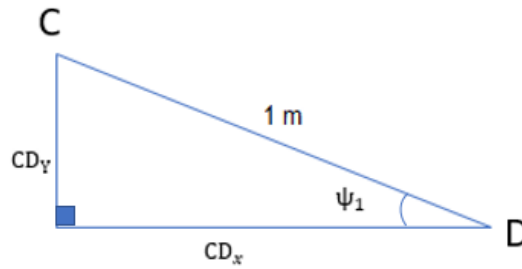
Nota. Elaboración propia

$$DC_y = -AC \sin \beta + 1,304 + OA \sin \delta_1$$

$$DC_y = (-2) \sin 80,44^\circ + 1,304 + (1,127) \sin 72^\circ$$

$$DC_y = 0,4036 \text{ m}$$

Figura 14 Triángulo y componentes del sistema



Nota. Elaboración propia

Luego se calcula ψ_1 :

$$\sin \psi_1 = \frac{DC_y}{DC}$$

$$\sin \psi_1 = \frac{0,4036 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$\psi_1 = 23,80^\circ$$

Para el desarrollo se necesitará el suplemento del ángulo ψ_1 :

$$\text{Suplemento} = 180 - \psi_1 = 156,20^\circ$$

Vector posición

Se define como la ubicación de un punto respecto de un origen ya sea en 2D o en 3D, es decir, indica la ubicación de un punto con respecto a un origen de referencia y su fórmula es:

$$\vec{r} = xi + yj$$

Donde:

- x = Eje horizontal
- j = Eje vertical
- i = Dirección del eje x
- k = Dirección del eje y

Cálculo de los eslabones sus posiciones de BO, BA, CA y DC:

$$R_{BO} = (OB \cos \theta^\circ i + OB \sin \theta^\circ j) m$$

$$R_{BO} = (0,52 \cos 99^\circ i + 0,52 \sin 99^\circ j) m$$

$$R_{BO} = (-0,081 i + 0,514 j) m$$

$$R_{BA} = (BA \cos \beta^\circ + BA \sin \beta^\circ)$$

$$R_{BA} = (1,608 \cos 80,44^\circ i + 1,608 \sin 80,44^\circ j)$$

$$R_{BA} = (0,267 i + 1,585 j) m$$

$$R_{CA} = (CA \cos \beta^\circ + CA \sin \beta^\circ)$$

$$R_{CA} = (2 \cos 80,44^\circ i + 2 \sin 80,44^\circ j)$$

$$R_{CA} = (0,332 i + 1,972 j) m$$

$$R_{DC} = (DC \cos 0,97^\circ + DC \sin 0,97^\circ)$$

$$R_{DC} = (1. \cos 156,20^\circ + 1. \sin 156,20^\circ)$$

$$R_{DC} = (-0,915 i + 0,404 j) m$$

Vector velocidad

Describe la rapidez y la dirección del movimiento de un cuerpo u objeto, de la velocidad de un punto sumando y una multiplicación en cruz de velocidad angular y vector de posición y su fórmula es:

$$v = v_o + \omega \times R$$

Donde:

- v_o = Velocidad del punto de referencia.
- ω = Velocidad angular de un cuerpo.
- R = Vector de posición.

Producto cruz

$$A \times B = \begin{bmatrix} i & j & k \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{bmatrix}$$

Donde:

- A_x = Eje de las abscisas.
- B_x = Eje de las ordenadas.
- $A \times B = (A_y B_z - A_z B_y)i - (A_x B_z - A_z B_x)j + (A_x B_y - A_y B_x)k$

Módulo vector

Es la cantidad escalar representa una longitud de un vector en el espacio, siendo siempre positivo y se calculó mediante la raíz cuadrada de los ejes sumando cada uno de ellos y su fórmula es:

$$v = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

Donde:

- A_x = Competente del eje “x”
- A_y = Competente del eje “y”
- A_z = Competente del eje “z”

Dirección del vector

Medida de la inclinación de un vector respecto de un sistema de referencia, buscando la orientación de una magnitud vectorial y su fórmula es:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x}$$

Donde:

- A_y = Competente del eje “y”
- A_x = Competente del eje “x”

Estática

Es la rama de la mecánica que estudia un sistema equilibrio, donde las sumas de fuerza y momento es cero, buscando la estructuras en reposo y su fórmula es:

$$\sum F_x + \sum F_y + \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x + \sum M_y + \sum M_z = 0$$

Para la fuerza total generada por la carga distribuida. Se Aplica la siguiente formula:

$$W_1 = w (x_f - x_1)$$

Donde:

- w = carga uniforme.
- x_f = Limite final.
- x_1 = Limite inicial.

Donde el centroide de la Carga:

$$x_0 = \frac{x_1 + x_f}{2}$$

Donde:

- x_f = Limite final.
- x_1 = Limite inicial.

También, tenemos una fuerza cortante que es una fuerza interna a la superficie de un material que causa que se deforme y su fórmula es:

$$V(x) = q \cdot x + V_o$$

Donde:

- q = Carga lineal.
- x = Posición a lo largo de la viga.
- V_o = Fuerza cortante en el extremo.

Por último, tenemos momento flector o también llamado momento de flexión

busca igual que la fuerza cortante y su fórmula es:

$$M(x) = \frac{q \cdot L^2}{2} + V_o \cdot x + M_o$$

Donde:

- q = Carga lineal.
- x = Posición a lo largo de la viga.
- V_o = Fuerza cortante en el extremo.
- M_o = Momento cortante en el extremo.

Cuadrante correcto

Es un vector que forma el eje “x” positivo y negativo, también, el eje “y” positivo o negativo y su fórmula es:

Cuadrante I: $\phi = r$

Cuadrante III: $\phi = 180^\circ + r$

Cuadrante II: $\phi = 180^\circ - r$

Cuadrante IV: $\phi = 360^\circ - r$

Para la posición inicial y para el presente proyecto se calcula las velocidades en los distintos puntos.

Cálculo de la velocidad en el punto B en referencia con el punto O:

$$v_B = v_o + \omega_B \times R_{BO}$$

$$v_B = \omega_B \times R_{BO}$$

$$v_B = (1,42 \text{ k}) \times (-0,081 \text{ i} + 0,5136 \text{ j} + 0\text{k})$$

Calculando el producto cruz:

$$\omega_B \times R_{BO} = \begin{bmatrix} \text{i} & \text{j} & \text{k} \\ 0 & 0 & 1,42 \\ -0,081 & 0,5136 & 0 \end{bmatrix}$$

$$v_B = \omega_B \times R_{BO} = (0(0) - 1,42 \cdot (0,5136))\text{i} - (0(0) - 1,42 \cdot (-0,081))\text{j} + (0(0,5136) - 0(-0,081))\text{k}$$

$$v_B = (-0,729 \text{ i} - 0,116 \text{ j} + 0\text{k}) \text{ m/s}$$

Luego, el módulo del vector:

$$v = \sqrt{(-0,729)^2 + (-0,116)^2}$$

$$v = 0,74 \text{ m/s}$$

Además, dirección del vector:

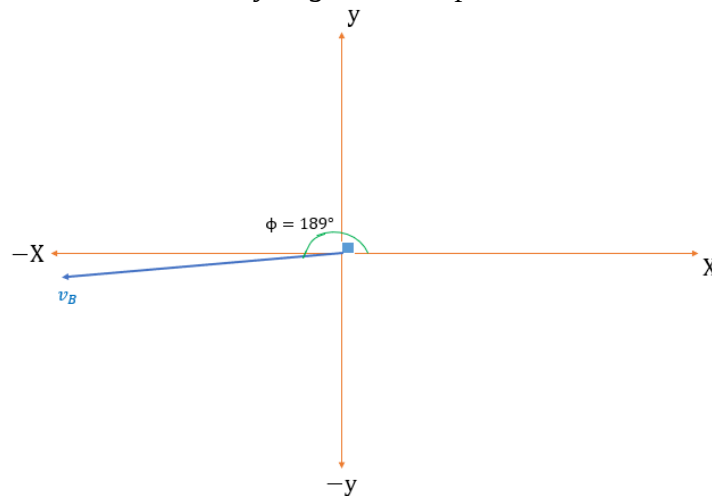
$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,116}{0,729} = 9^\circ$$

Por último, Cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante III: } \phi = 180^\circ + 9^\circ$$

$$\phi = 189^\circ$$

Figura 15 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia

Cálculo de la velocidad en el punto B en relación del punto A y O:

$$v_B = v_A + \omega_3 \times R_{BA} + v_{BA}$$

Teniendo que:

$$\omega_3 \times R_{BA} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,267 & 1,585 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\omega_3 \times R_{BA} = (0(0) - 1.(1,585))i - (0(0) - 1.(0,267))j + (0(1,585) - 0(0,267))k$$

$$\omega_3 \times R_{BA} = (-1,585 i + 0,267 j + 0k). \omega_3$$

Reemplazamos los valores en los siguientes términos:

$$v_B = v_A + \omega_3 \times R_{BA} + v_{BA}$$

En el eje X, se calcula ω_3 :

Teniendo el modelo matemático de tres ecuaciones:

$$a_n X + b_n Y + c_n Z = d_n$$

Se tienen tres ecuaciones en términos de ω_3 , V_{BAx} , V_{BAy} y N:

Ecuación (1):

$$-1,585 \omega_3 + 1. V_{BAx} + 0 V_{BAy} = -0,729$$

Ecuación (2):

$$0. \omega_3 + 5,94. V_{BAx} - 1. V_{BAy} = 0$$

Ecuación (3):

$$0,267. \omega_3 + 0. V_{BAx} + 1. V_{BAy} = -0,116$$

Expresando las tres ecuaciones en términos de matriz se tiene:

$$\begin{bmatrix} \omega_3 & V_{BAx} & V_{BAy} & R \\ -1.585 & 1 & 0 & -0.729 \\ 0 & 5.94 & -1 & 0 \\ 0.267 & 0 & 1 & -0.116 \end{bmatrix}$$

Extrayendo la matriz R y A, donde:

$$R = \begin{bmatrix} -0,729 \\ 0 \\ -0,116 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -1,585 & 1 & 0 \\ 0 & 5,94 & -1 \\ 0,267 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cuya inversa es:

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} -0,613 & 0,103 & 0,103 \\ 0,027 & 0,164 & 0,164 \\ 0,164 & -0,027 & 0,972 \end{bmatrix}$$

Para calcular el valor de las incógnitas, se multiplica $A^{-1} \times R$ obteniendo como resultado:

$$A^{-1} \times R = \begin{bmatrix} 0,886 \\ -0,079 \\ -0,472 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto; el valor de las tres ecuaciones será:

$$\omega_3 = 0,435$$

$$V_{BAx} = -0,039$$

$$V_{BAy} = -0,232$$

Donde:

$$V_{BA} = V_{BAx} + V_{BAy}$$

$$V_{BA} = (-0,039 \, i - 0,232 \, j) \, m/s$$

El módulo del vector:

$$v = \sqrt{(-0,039)^2 + (-0,232)^2} = 0,235 \, m/s$$

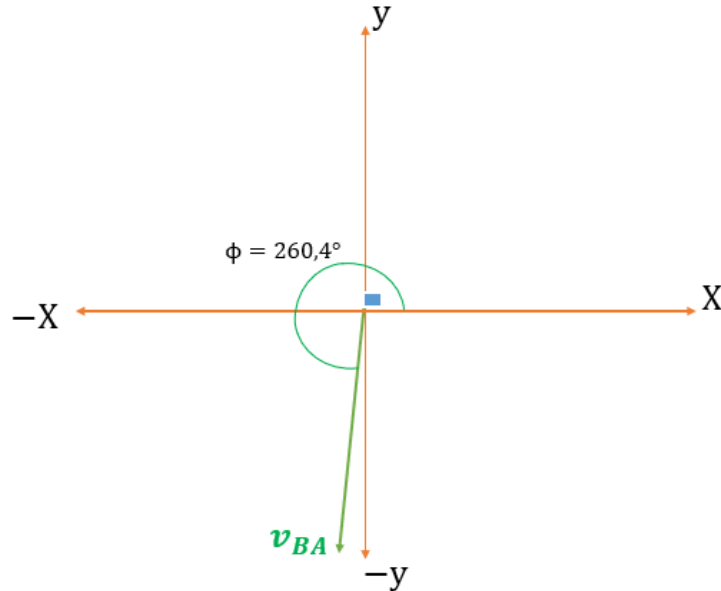
Además, dirección del vector:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,232}{0,039} = 80,4^\circ$$

Por último, Cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante III: } \phi = 180 + 80,4^\circ = 260,4^\circ$$

Figura 16 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Cálculo de la velocidad en el punto C:

$$v_C = v_A + \omega_3 \times R_{CA}$$

Sabiendo que:

$$\omega_3 = 0,435 \text{ rad/s}$$

$$v_C = 0,435 \text{ k} \times (0,332 \text{ i} + 1,972 \text{ j})$$

Cálculo de la multiplicación en cruz:

$$\omega_3 \times R_{CA} = \begin{bmatrix} \text{i} & \text{j} & \text{k} \\ 0 & 0 & 0,435 \\ 0,332 & 1,972 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\omega_3 \times R_{CA} = [0(0) - 0,435 \cdot (1,972)]\text{i} - [0(0) - 0,435 \cdot (0,332)]\text{j} + [0(1,972) - 0(0,332)]\text{k}$$

$$v_C = (-0,859 \text{ i} + 0,145 \text{ j}) \text{ m/s}$$

Luego, el módulo del vector:

$$v_C = \sqrt{(-0,859)^2 + (0,145)^2}$$

$$v_C = 0,871 \text{ m/s}$$

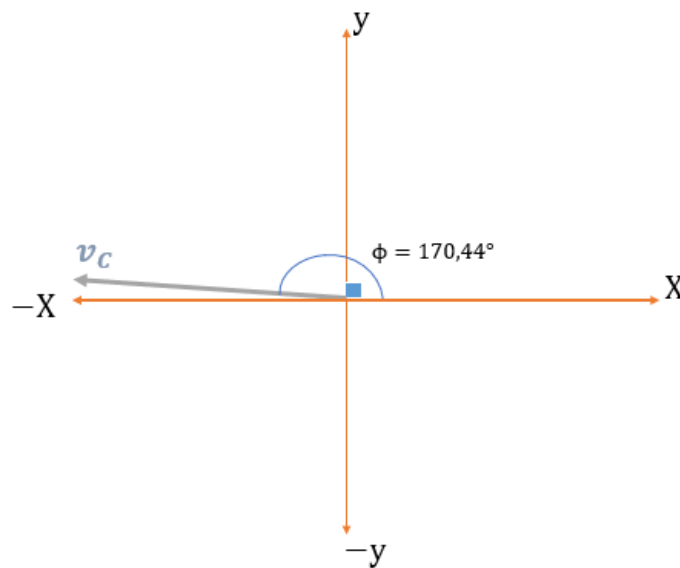
Además, dirección del vector:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,145}{0,859} = 9,56^\circ$$

Por último, cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante II: } \phi = 180^\circ - 9,56^\circ = 170,44^\circ$$

Figura 17 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Cálculo de la velocidad en el punto D:

$$v_D = v_C + \omega_4 \times R_{DC}$$

$$v_D = (-0,859 i + 0,145 j) + \omega_4 \times R_{DC}$$

Cálculo del segundo término:

$$\omega_4 \times R_{DC} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & \omega_4 \\ -0,915 & 0,404 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\omega_4 \times R_{DC} = [0(0) - \omega_4(0,404)]i - [0(0) - \omega_4(-0,915)]j + [0(0,404) - 0(-0,915)]k$$

$$\omega_4 \times R_{DC} = (-0,404 i - 0,915 j + 0k)\omega_4 \text{ m/s}$$

Por lo tanto: si se reemplaza en la ecuación:

$$v_D = v_C + \omega_4 \times R_{DC}$$

$$v_D = (-0,859 i + 0,145 j) + (-0,404 i - 0,915 j + 0k)\omega_4$$

Reemplazamos los valores en la siguiente ecuación en términos de los ejes x, y, z:

En y: y=0

Considerando que no hay movimiento en el eje y, se tiene:

$$0 = 0,145 - 0,915 \cdot \omega_4$$

$$\omega_4 = \frac{0,145}{0,915} = 0,158 \text{ rad/s}$$

Por lo tanto, se reemplaza los valores en V_D :

$$v_D = (-0,859 i + 0,145 j) + (-0,404 i - 0,915 j + 0k)\omega_4$$

$$v_D = (-0,859 i) + (-0,404 i) \cdot 0,158$$

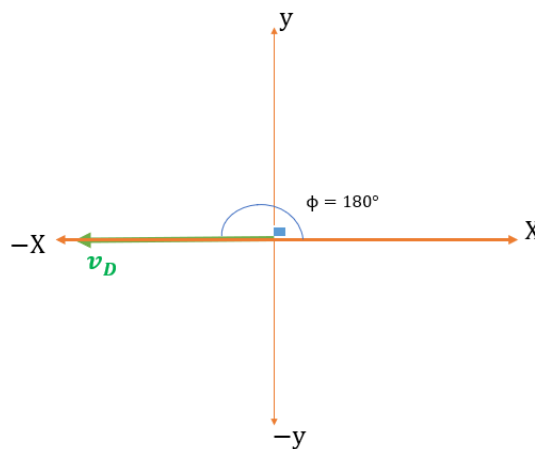
$$v_D = -0,922 i \text{ m/s}$$

Módulo de la velocidad será:

$$v_D = 0,922 \text{ m/s}$$

Por último, Cuadrante correcto: Cuadrante II: $\phi = 180^\circ$

Figura 18 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Vector aceleración:

Describe como lo varia la velocidad en un punto en un sistema mecánico, considerando los movimientos relativos, rotacionales y su fórmula es:

$$a = a_o + \alpha_2 \times R_o - (\omega_2)^2 \times R_o$$

Donde:

- a_o = Aceleración en el punto de referencia.
- α_2 = Aceleración tangencial.
- R_o = Vector de posición.
- ω_2 = Velocidad angular.

También, hay efecto Coriolis que es la desviación aparente en la trayectoria de un cuerpo sobre otro cuerpo que está en rotación y su fórmula es:

$$a = a_o + \alpha_2 \times R_o - (\omega_2)^2 \times R_o + 2 (\omega_2) \times v_o + a_o$$

Donde:

- ω_3 = Aceleración de Coriolis.
- v_o = Velocidad de un objeto si se mueve.
- a_o = Aceleración en el punto de referencia.

En mi proyecto hallaremos los eslabones sus aceleraciones:

Hallamos en el punto B en referencia con el punto O que es fijo:

$$a_B = a_o + \alpha_2 \times R_o - (\omega_2)^2 \cdot R_{BO}$$

$$a_B = - (1,42)^2 \cdot (-0,081 i + 0,5136 j)$$

$$a_B = (0,164 i - 1,04 j) \text{ m/s}^2$$

Luego, el módulo del vector:

$$a_B = \sqrt{(0,164)^2 + (-1,04)^2} = 1,049 \text{ m/s}^2$$

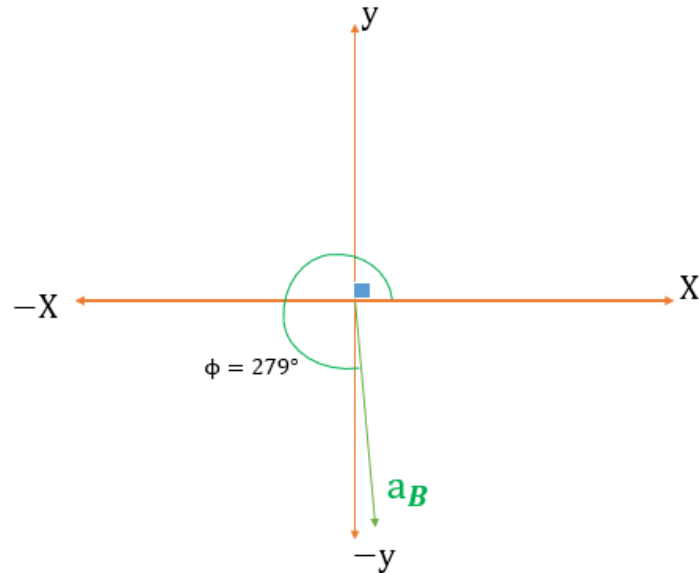
Además, dirección del vector:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1,04}{0,164} = 81^\circ$$

Por último, Cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante IV: } \phi = 360^\circ - 81^\circ = 279^\circ$$

Figura 19 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Hallamos la aceleración en el punto B en relación del punto A y O:

$$a_B = a_o + \alpha_3 \times R_{BA} - (\omega_3)^2 \times R_{BA} + 2 (\omega_3) \times v_{BA} + a_{BA}$$

$$a_B = \alpha_3 \times R_{BA} - (\omega_3)^2 \times R_{BA} + 2 (\omega_3) \times v_{BA} + a_{BA}$$

Analizando el primer factor de la ecuación se tiene que:

$$\alpha_3 \times R_{BA}$$

$$\alpha_3 \times R_{BA} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & \alpha_3 \\ 0,267 & 1,585 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha_3 \times R_{BA} = [0(0) - \alpha_3 (1,585)]i - [0(0) - \alpha_3 (0,267)]j + [0(1,585) - 0(0,267)]k$$

$$\alpha_3 \times R_{BA} = (-1,585 i + 0,267 j + 0k). \alpha_3 \quad m/s^2$$

Analizando el segundo factor de la ecuación se tiene que:

$$2 (\omega_3) \times v_{BA} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & 2.(0,435) \\ -0,039 & -0,232 & 0 \end{bmatrix}$$

$$2 (\omega_3) \times v_{BA} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & 0,870 \\ -0,039 & -0,232 & 0 \end{bmatrix}$$

$$2 (\omega_3) \times v_{BA} = [0(0) - 0,870 (-0,232)]i - [0(0) - 0,870. (-0,039)]j \\ + [0(-0,232) - 0(-0,039)]k$$

$$2 (\omega_3) \times v_{BA} = 0,20 i - 0,03 j + 0 k$$

Analizando el tercer factor de la ecuación se tiene que:

Sabiendo que:

$$(\omega_3)^2 = (0,435 \text{ rad/s})^2$$

$$(\omega_3)^2 = 0,190$$

Por lo tanto:

$$(\omega_3)^2. R_{BA} = 0,190. (0,267i + 1,585j + 0k)$$

$$(\omega_3)^2. R_{BA} = (0,0506 i + 0,301 j + 0k)$$

Reemplazamos los valores en los siguientes términos en el eje x,y y z (i,j,k)

tomando como modelo matemático el principio:

$$anX + bnY + cnZ = dn$$

Para el cálculo de tres variables: α_3 , a_{BAx} , a_{BAy} (R: variable entera):

Ecuación (1):

$$0,267 \alpha_3 + 0. a_{BAx} + 1. a_{BAy} = -1,04 + 0,301 - (-0,03)$$

$$0,267 \alpha_3 + 0. a_{BAx} + 1. a_{BAy} = -0,701$$

Ecuación (2):

$$0. \alpha_3 + -5,94. a_{BAx} + 1. a_{BAy} = 0$$

Ecuación (3):

$$-1,585 \cdot \alpha_3 + 1 \cdot a_{BAx} + 0 \cdot a_{BAy} = 0,013$$

Expresando las tres ecuaciones en términos de matriz se tiene:

$$\begin{bmatrix} a_3 & a_{BAx} & a_{BAy} & R \\ 0,267 & 0 & 1 & -0,701 \\ 0 & -5,94 & 1 & 0 \\ -1,585 & 1 & 0 & 0,013 \end{bmatrix}$$

Extrayendo la matriz R y A, donde:

$$R = \begin{bmatrix} -0,701 \\ 0 \\ 0,013 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0,267 & 0 & 1 \\ 0 & -5,94 & 1 \\ -1,585 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Cuya inversa es:

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 0,103 & 0,103 & -0,613 \\ 0,164 & -0,164 & 0,028 \\ 0,972 & 0,0276 & 0,164 \end{bmatrix}$$

Para calcular el valor de las incógnitas, se multiplica:

$$A^{-1} \cdot R = \begin{bmatrix} 0,103 & 0,103 & -0,613 \\ 0,164 & -0,164 & 0,028 \\ 0,972 & 0,0276 & 0,164 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -0,701 \\ 0 \\ 0,013 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,080 \\ -0,114 \\ -0,680 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto; el valor de las tres ecuaciones será:

$$\alpha_3 = -0,080$$

$$a_{BAx} = -0,114$$

$$a_{BAy} = -0,680$$

Donde:

$$a_{BA} = a_{BAx} + a_{BAy} = (-0,114 i - 0,680 j) m/s^2$$

El módulo del vector:

$$a_{BA} = \sqrt{(-0,114)^2 + (-0,680)^2}$$

$$a_{BA} = 0,689 \text{ m/s}^2$$

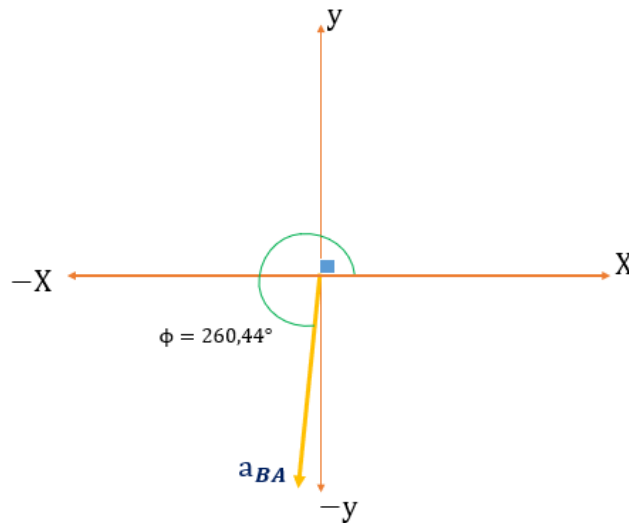
Además, dirección del vector:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,680}{0,114} = 80,44^\circ$$

Por último, Cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante III: } \phi = 180 + 80,44^\circ = 260,44^\circ$$

Figura 20 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Hallamos la aceleración en el punto C:

$$a_C = a_A + \alpha_3 \times R_{CA} - (\omega_3)^2 \cdot R_{CA}$$

Analizando el primer factor de la ecuación se tiene que:

$$\alpha_3 \times R_{CA}$$

$$\alpha_3 \times R_{CA} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & -0,080 \\ 0,332 & 1,972 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \alpha_3 \times R_{CA} = & [0(0) - 1,972 \cdot (-0,080)]i - [0(0) - 0,332 \cdot (-0,080)]j + \\ & [0(1,972) - 0(0,332)]k \end{aligned}$$

$$\alpha_3 \times R_{CA} = (0,158 i - 0,027 j + 0k) \text{ m/s}^2$$

Sabiendo que:

$$(\omega_3)^2 = (0,435)^2$$

$$(\omega_3)^2 = 0,190$$

Analizando el segundo factor de la ecuación se tiene que:

$$(\omega_3)^2 \cdot R_{CA} = 0,190 \cdot (0,332 i + 1,972 j + 0k)$$

$$(\omega_3)^2 \cdot R_{CA} = (0,06 i + 0,374 j + 0k) \text{ m/s}^2$$

Reemplazando los términos encontrados en la ecuación inicial se tiene que:

$$a_C = \alpha_3 \times R_{CA} - (\omega_3)^2 \cdot R_{CA}$$

$$a_C = (0,158 i - 0,027 j + 0k) \frac{m}{s^2} - (0,06 i + 0,374 j + 0k) \text{ m/s}^2$$

$$a_C = (0,095 i - 0,401 j + 0k) \text{ m/s}^2$$

El módulo del vector:

$$a_C = \sqrt{(0,095)^2 + (-0,401)^2}$$

$$a_C = 0,412 \text{ m/s}^2$$

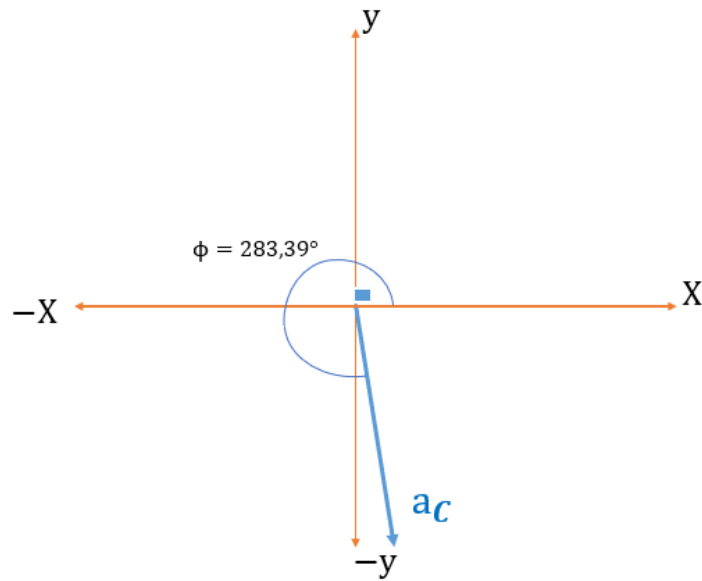
Además, dirección del vector:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,401}{0,095} = 76,61^\circ$$

Por último, cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante IV: } \phi = 360 - 76,61^\circ = 283,39^\circ$$

Figura 21 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Hallamos la aceleración en el punto D:

$$a_D = a_C + \alpha_4 \times R_{DC} - (\omega_4)^2 \cdot R_{DC}$$

Analizando el primer factor de la ecuación se tiene que:

$$\alpha_4 \times R_{DC}$$

$$\alpha_4 \times R_{DC} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & \alpha_4 \\ -0,915 & 0,404 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha_4 \times R_{DC} = [0(0) - \alpha_4 (0,404)]i - [0(0) - \alpha_4 (-0,915)]j + [0(0,404) - 0(-0,915)]k$$

$$\alpha_4 \times R_{DC} = (-0,404 i - 0,915 j + 0k) \cdot \alpha_4 \quad m/s^2$$

Teniendo que:

$$(\omega_4)^2 = (0,158)^2$$

$$(\omega_4)^2 = 0,025$$

Entonces se reemplaza en el segundo factor de la ecuación:

$$-(\omega_4)^2 \cdot R_{DC} = -0,025 \cdot (-0,915 i + 0,404 j + 0k)$$

$$-(\omega_4)^2 \cdot R_{DC} = (0,023 \text{ i} - 0,010 \text{ j} + 0\text{k}) \frac{m}{s^2}$$

Además, sabiendo que:

$$a_C = (0,095 \text{ i} - 0,401 \text{ j} + 0\text{k}) \text{ m/s}^2$$

Por lo tanto, reemplazando el primer y segundo factor de la ecuación se tiene que:

$$a_D = a_C + \alpha_4 \times R_{DC} - (\omega_4)^2 \cdot R_{DC}$$

$$a_D = (0,095 \text{ i} - 0,401 \text{ j} + 0\text{k}) \frac{m}{s^2} + (-0,404 \text{ i} - 0,915 \text{ j} + 0\text{k}) \cdot \alpha_4 \frac{m}{s^2} + (0,023 \text{ i} - 0,010 \text{ j} + 0\text{k}) \frac{m}{s^2}$$

$$a_D = (0,118 - 0,404 \alpha_4) \text{ i} + (-0,411 - 0,915 \alpha_4) \text{ j} + 0\text{k} \frac{m}{s^2}$$

Como no hay movimiento en el eje y, se tiene que y=0, se tiene:

$$-0,411 - 0,915 \alpha_4 = 0$$

$$\alpha_4 = -\frac{0,411}{0,915}$$

$$\alpha_4 = -0,449 \text{ rad/s}^2$$

Reemplazando el valor en el eje x: a_{Dx}

$$a_{Dx} = 0,118 - 0,404 \alpha_4$$

$$a_{Dx} = 0,118 - 0,404 \cdot (-0,449)$$

$$a_{Dx} = (0,299) \text{ i m/s}^2$$

Por lo tanto:

$$a_D = a_{Dx} + a_{Dy}$$

$$a_D = (0,299) \text{ i} \frac{m}{s^2} + 0\text{j}$$

$$a_D = (0,299 \text{ i} + 0\text{j}) \text{ m/s}^2$$

El módulo del vector:

$$a_D = \sqrt{(0,299)^2 + (0)^2}$$

$$a_D = 0,299 \text{ m/s}^2$$

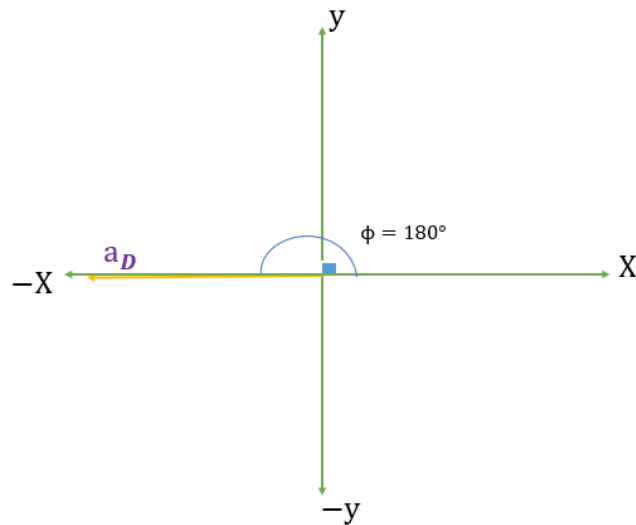
Además, dirección del vector:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0}{0,299} = 0^\circ$$

Por último, Cuadrante correcto:

$$\text{Cuadrante II: } \phi = 180^\circ - \theta = 180^\circ$$

Figura 22 Cuadrante, vector y ángulo correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del análisis cinemático permitieron verificar el comportamiento del mecanismo de retorno rápido en la posición de estudio, determinando las velocidades y aceleraciones instantáneas de los eslabones que intervienen en el movimiento. Estos parámetros constituyeron una base técnica para la validación de la geometría propuesta y sirvieron como referencia para el diseño y modelado de los componentes mecánicos del sistema. A partir de esta información, se procedió al desarrollo del diseño tridimensional y ensamblaje virtual del mecanismo de arrastre, considerando las condiciones de operación y las restricciones geométricas del área de instalación.

5.1.3. Selección del equipamiento electromecánico y de control del sistema de retiro de ceniza, tomando en cuenta los parámetros de diseño

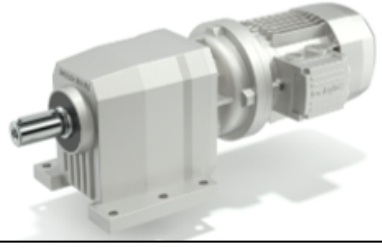
5.1.3.1. Selección del motor y motorreductor

La selección del motor y motorreductor se menciona en el inciso 5.1.2.1 y 5.1.2.2 de acuerdo con las consideraciones establecidas.

Figura 23 Motorreductor seleccionado

Potencia térmica de motorreductor					
(A 1)					
	P _t [kW] 20 °C				
	n ₁ = 1400 min ⁻¹		n ₁ = 2800 min ⁻¹		
C 05 2	—	—	—	—	—
C 12 2	—	—	—	—	—
C 22 2	—	—	—	—	—
C 32 2	—	—	4.5	—	—
C 36 2	6.5	—	5.0	—	—
C 41 2	8.0	—	6.0	—	—
C 51 2	11.0	—	7.8	—	—
C 61 2	14.0	—	10.0	—	—
C 70 2	21	—	16.0	—	—
C 80 2	32	—	24	—	—
C 90 2	43	—	32	—	—
C 100 2	59	—	42	—	—

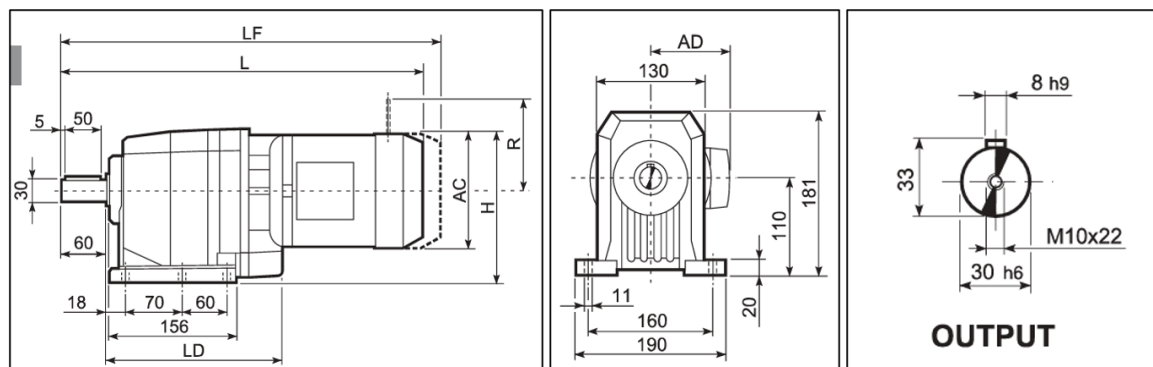
Factores de corrección térmica					
(A 2)					
t _i					
t _a [°C]	Servicio continuo	Servicio intermitente			
		Grado de intermitencia [1]			
		80%	60%	40%	20%
40	0.80	1.1	1.3	1.5	1.6
30	0.85	1.3	1.5	1.6	1.8
20	1.0	1.5	1.6	1.8	2.0
10	1.15	1.6	1.8	2.0	2.3



Nota. Tomado de <https://lauciricatransmisiones.es/producto/coaxial-tipo-c/>

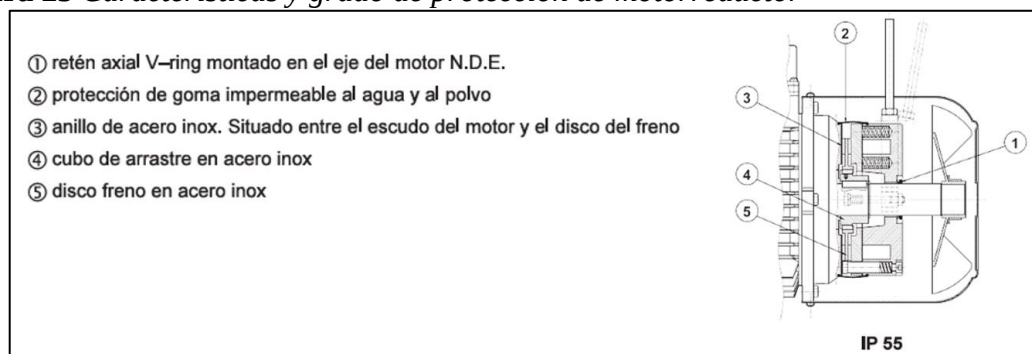
En la figura 23 se presenta la potencia térmica P_t (kW), la cual representa la capacidad máxima de transferencia térmica del reductor y corresponde a la potencia que puede transmitir durante un funcionamiento continuo a una temperatura ambiente de 20 °C, sin generar daños en sus componentes ni afectar las propiedades del lubricante. Para condiciones de operación intermitente o cuando la temperatura ambiente sea menor a 20 °C, este valor debe ajustarse mediante el factor de corrección f_t , definido en la tabla A2, aplicando la expresión: $P_t' = P_t \times f_t$.

Figura 24 Dimensiones de motorreductor



Nota. Tomado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lauciricatransmisiones.es/wp-content/uploads/Catalogo-serie-C.pdf

Figura 25 Características y grado de protección de motorreductor



Nota. Tomado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lauciricatransmisiones.es/wp-content/uploads/Catalogo-serie-C.pdf

5.1.3.2. Selección de componentes mecánicos

La selección de componentes mecánicos correspondió al proceso de identificación y elección de los elementos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento, ensamblaje y transmisión de movimiento dentro del sistema de arrastre propuesto. Para ello, se consideraron componentes comerciales disponibles en el mercado, tales como pernos, tuercas, arandelas, bujes, ejes, chumaceras y demás elementos de unión y soport seleccionados de acuerdo con las condiciones de operación, requerimientos de carga, facilidad de mantenimiento y compatibilidad con el diseño desarrollado. La utilización de componentes normalizados permitió asegurar la viabilidad técnica de la propuesta, facilitar futuros procesos de fabricación y montaje, así como optimizar los costos asociados a una posible implementación del sistema.

Tabla 5 Componentes mecánicos utilizados para el diseño del sistema de arrastre

ÍTEM	CANT	DESCRIPCIÓN
1	1	ESLABÓN MANIVELA
2	1	BLOQUE DESLIZANTE
3	1	ESLABÓN BALANCÍN RANURADO
4	1	ESLABÓN BASTIDOR
5	1	ESLABÓN BIELA
6	1	HOJA VERTEDERA
7	1	CUCHILLA REMOVEDORA
8	1	EJE BALANCÍN - BASTIDOR
9	1	EJE MANIVELA - DESLIZANTE
10	1	EJE BIELA - MANIVELA

11	1	EJE VERTEDERA
12	2	SOPORTE GUIA SK30
13	2	RODAMIENTO LINEAL SC30U
14	4	JUEGO DE PERNO HEXAGONAL ABRIDADO PESADO CON TUERCA Y ARANDELA M10
15	8	ARANDELA PLANA 40 MM
16	6	BUJE CILÍNDRICO 40X44X30MM
17	4	ANILLO SEEGER 40 MM
18	1	ANILLO SEEGER 30 MM
19	2	CUÑA
20	2	BUJE CILÍNDRICO 30X34X25MM
21	4	ARANDELA PLANA 30 MM
22	1	BUJE CILÍNDRICO 30X34X15MM
23	6	TORNILLO HEXAGONAL M6
24	9	TORNILLO HEXAGONAL Y TUERCA M5

Nota. Cada componente se muestra en la *vista explosionada presentada en anexos.*

Elaboración propia.

5.1.3.3. Diseño del sistema de arrastre

Una vez verificada la factibilidad cinemática del mecanismo de retorno rápido y seleccionados los componentes mecánicos requeridos, se procedió al diseño integral del sistema de arrastre mediante herramientas de modelado CAD. El diseño contempló la integración del mecanismo de retorno rápido con la cuchilla de arrastre, el sistema de accionamiento conformado por el motor y motorreductor seleccionados, los elementos de transmisión de movimiento y la estructura de soporte necesaria para garantizar la estabilidad del conjunto.

Asimismo, el diseño se desarrolló considerando las condiciones geométricas del área de instalación, el recorrido requerido para la extracción de las cenizas y el espacio disponible en el hogar del caldero. El ensamblaje virtual permitió verificar la compatibilidad entre los componentes, validar la disposición de los elementos mecánicos y asegurar la correcta interacción entre las partes que conforman el sistema. De esta manera, se obtuvo una propuesta técnicamente viable para el retiro de cenizas mediante una cuchilla accionada por un mecanismo de retorno rápido.

5.1.3.4. Material de sistema de arrastre

De acuerdo con las consideraciones de diseño, se eligió el material AISI 310 el cual soporta temperaturas altas y de oxidación, ideal para hornos por su alto contenido de cromo y níquel soportando temperaturas hasta 1150 °C; teniendo como propiedades físicas:

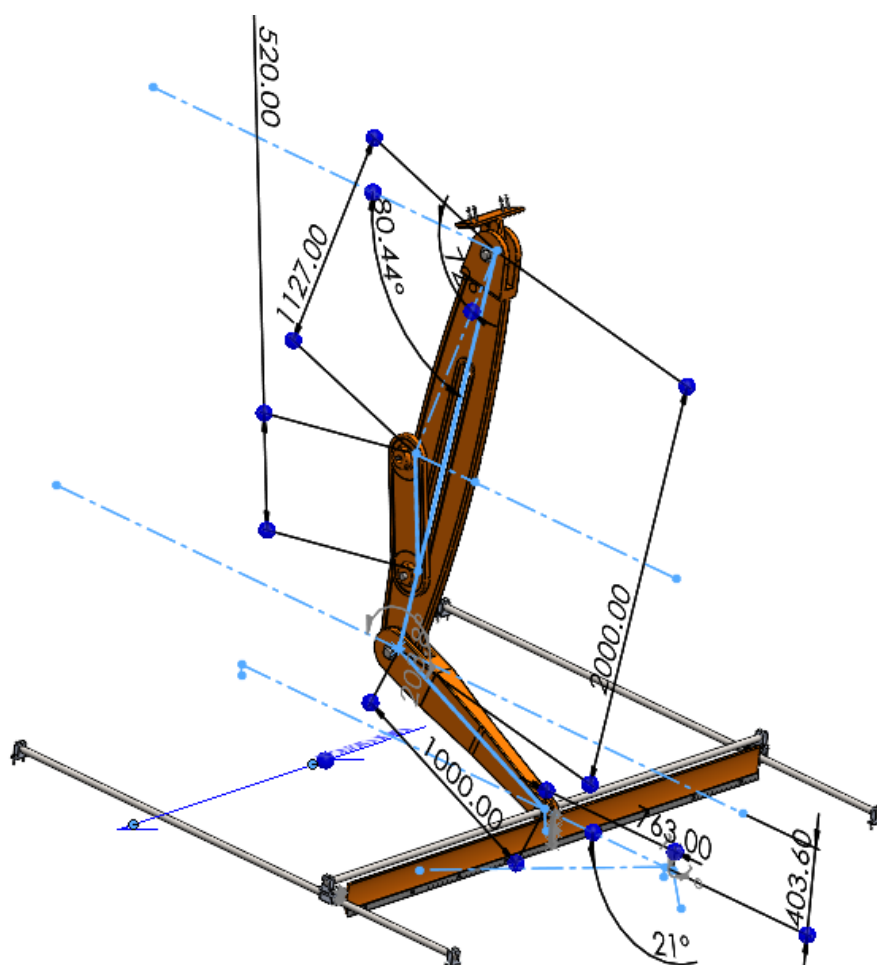
Tabla 6 *Propiedades físicas del material seleccionado*

Propiedad	Valor
Densidad	7 900 kg/m ³
Limite elástico	205-275 MPa
Esfuerzo ultimo a la tracción	515-760 MPa
Módulo de elasticidad	193GPa
Coefficiente de Poisson	0.3
Dureza	160-217 HB
Conductividad térmica	14.2 W/m. °K
Expansión térmica	15.9 x 10 ⁻⁶ °C

Punto de fusión	1 400-1 500 °C
Alargamiento a la rotura	40%
Resistencia eléctrica	0.78 $\mu\Omega$. m

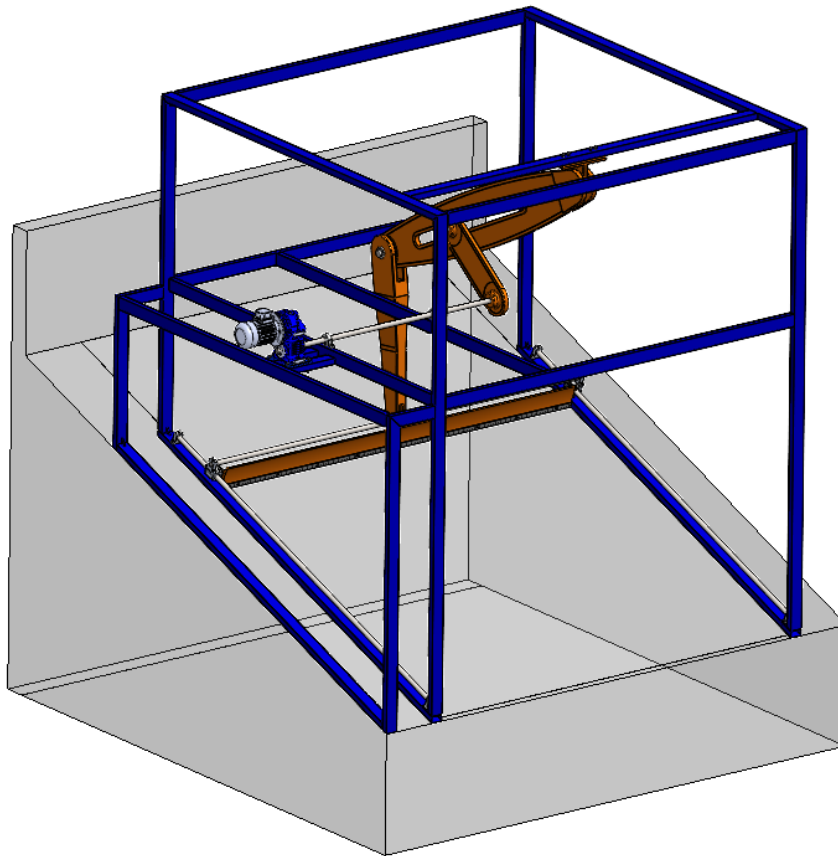
Nota: Elaboración propia.

Figura 26 Diseño del sistema de arrastre en la posición inicial



Nota. Elaboración propia.

Figura 27 *Ensamble final del sistema de arrastre*



Nota. Elaboración propia.

5.1.3.5. Selección de componentes eléctricos

La selección de componentes eléctricos consistió en la elección de los elementos necesarios para la alimentación y protección del motor del sistema de arrastre. Para ello, se consideraron componentes comerciales disponibles en el mercado, seleccionados de acuerdo con las características eléctricas del motor, las condiciones de operación y los requerimientos de seguridad. Esta selección permitió garantizar el correcto funcionamiento del sistema y la compatibilidad entre los distintos elementos que conforman la propuesta de diseño.

Selección del Contactor:

De acuerdo con las normas internacionales IEC 60947 y UL 508. Se seleccionó el contactor:

CWB9-11-30D23 9A 220V 50/60Hz

Figura 28 Contactor seleccionado



Nota. Tomado de <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Arranque-y-Protecci%C3%B3n-de-Motores/Contactores/Potencia/Contactores>

Tabla 7 Características técnicas del contactor

Contactor	Característica / Capacidad
Corriente nominal	9 A
Referencia	CWB
Contacto principal	3 NA
Tensión de control	220 V 50/60 Hz
Tipo de terminal	Tornillo

Nota. Tomado de <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Arranque-y-Protecci%C3%B3n-de-Motores/Contactores/Potencia/Contactores-CWB/CONTACTOR-CWB9-11-30D23-9A-220V-50-60Hz/p/12220434>

Tabla 8 Características técnicas del contactor

Contactor	Característica / Capacidad
Tensión Nominal de aislamiento UI (Grado de polución 3)- IEC 60974-4-1	690 V
Tensión Nominal de aislamiento UI (Grado de polución 3)-UL, CSA	600 V
Límite mínimo de frecuencia	25 Hz
Límite máximo de frecuencia	400 HZ
Vida mecánica (CA)	10 millones
Vida mecánica (CC)	10 millones
VIDA ELECTRICA AC3	2 millones
GRADO PROTECCIÓN TERM PRINC	IP 10
Grado de protección (IEC 605229)-Bobina y contactos auxiliares	IP 20

Nota. Tomado de <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Arranque-y-Protecci%C3%B3n-de-Motores/Contactores/Potencia/Contactores>

Tabla 9 Características eléctricas y dimensiones correspondientes

Contactor	Dimensión
CORRIENTE NOMINAL	9 A
CORRIENTE NOMINAL AC4	4,4 A
CORRIENTE NOMINAL AC1	25 A
Tensión nominal de empleo Ue-IEC 60947-4-1	690 V

Tensión nominal de empleo Ue-UL,CSA	600 V
ALTURA	78,4 mm
ANCHO	45 mm
PROFUNDIDAD	86,9 mm
PESO	372 g

Nota. Tomado de <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Arranque-y-Protecci%C3%B3n-de-Motores/Contactores/Potencia/Contactores>

Selección de Interruptor termomagnético

Se seleccionó el interruptor termomagnético IC60N (2X25A) CURVA C:

Figura 29 Interruptor termomagnético seleccionado



Nota. Tomado de <https://www.se.com/mx/es/product/A9F74225/acti9-interruptor-termomagnetico-ic60n-2x25a-curva-c/>

Tabla 10 *Características y descripción del ITM*

Característica	Descripción
Aplicación del dispositivo	Distribución
Gama	Acti 9
Nombre del producto	Acti9 iC60
Tipo de producto o componente	Interrupor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	iC60N
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal (In)	25 A
Tipo de red	DC / CA
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Poder de corte	36 kA Icu a 12–133 V CA 50/60 Hz 20 kA Icu a 220–240 V CA 50/60 Hz 10 kA Icu a 380–415 V CA 50/60 Hz 6 kA Icu a 440 V CA 50/60 Hz 10 kA Icu ≤ 125 V DC
Categoría de utilización	Categoría A
Apto para seccionamiento	Sí (EN/IEC 60898-1)
Normas	EN/IEC 60898-1

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11 *Dimensión y capacidad del ITM*

Dimensión	Capacidad
Frecuencia de red	50/60 Hz
Límite de enlace magnético	8 x In +/- 20%
	27 kA 75 % Icu 12. 133 V CA 50/60 Hz
	15 kA 75 % Icu 220. 240 V CA 50/60 Hz
[Ics] poder de corte en servicio	7.5 kA 75 % Icu 380. 415 V CA 50/60 Hz
	4.5 kA 75 % Icu 440 V CA 50/60 Hz
	10 kA 100 % Icu <= 125 V DC
Clase de limitación	3 EN/IEC 60898-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	CA 50/60 Hz Icu
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV I _{CU}
indicador de posición del contacto	Si
Tipo de control	Maneta

Nota. Tomado de https://www.se.com/mx/es/product/download-pdf/A9F74225?filename=Schneider+Electric_Acti-9-iC60_A9F74225.pdf

Selección de Interruptor Diferencial

Se seleccionó el interruptor diferencial Acti9 Tipo A 2P 25A.

Figura 30 Interruptor diferencial seleccionado



Nota. Tomado de <https://www.se.com/pe/es/product/A9R61225/interruptor-diferencial-acti9-tipo-a-2p-25-a-30ma/>

Tabla 12 Características y descripción del ID

Característica	Descripción
Gama	Acti 9
Nombre del producto	Acti9 iID
Tipo de producto o componente	Disyuntor de corriente residual
Nombre corto del dispositivo	iID
Número de polos	2P
Posición de neutro	Izquierda
Corriente nominal (In)	25 A
Tipo de red	CA
Sensibilidad ante fugas a tierra	30 mA
Retardo de la protección contra fugas a tierra	Instantáneo
Clase de protección contra fugas a tierra	Tipo A-Si

Nota. Tomado de https://www.se.com/pe/es/product/download-pdf/A9R61225?filename=Schneider+Electric_Interruptor-diferencial

Tabla 13 Características eléctricas y capacidad del ID

Dimensión/Característica	Capacidad
Ubicación del dispositivo en el Sistema	Salida
Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] tensión asignada de empleo	CA 50/60 Hz Icu
Límite de enlace magnético	220...240 VCA 50/60 Hz
Tecnología de disparo corriente residual	Independiente de la tensión
	Idm 1500 A
Poder de corte y de cierre nominal	Im 1500 A
Intensidad de cortocircuito condicional	10 kA
[Ui] tensión asignada de aislamiento	500 VCA 50/60 Hz
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV
Corriente de sobretensión	3000 A
indicador de posición del contacto	Si
Tipo de control	Maneta
Tipo de montaje	Ajustable en clip
Tipo de montaje	Carril DIN

Nota. Tomado de https://www.se.com/pe/es/product/download-pdf/A9R61225?filename=Schneider+Electric_Interruptor-diferencial

Tablero de Control

Se seleccionó el TABLERO DE METAL ADOSABLE 700x500x200mm HERMETICO con grado de protección IP65.

Figura 31 *Tablero de metal seleccionado*



Nota. Tomado de <https://automaq.pe/producto/5315/tablero-de-metal-adosable-700x500x200mm-hermetico-ip65>

Tabla 14 *Características de tablero seleccionado*

Características	
Dimensiones	700 x 500 x 200 mm
Tipo de Montaje	Adosable
Fondo	200 mm
Alto	700 mm
Ancho	500 mm
Material	Metal
Tipo de producto	Caja metálica

Nota. Tomado de <https://automaq.pe/producto/5315/tablero-de-metal-adosable-700x500x200mm-hermetico-ip65>

Control del Sistema

Selección de temporizador digital o t mer:

Se seleccionó el temporizador digital 220 V activa durante periodo (relé 16 A).

Figura 32 *Temporizador digital seleccionado*



Nota. Tomado <https://mtlab.pe/producto/temporizador-digital-220v-activa-durante-un-periodo-rele-de-16a>

Tabla 15 *Especificaciones técnicas del temporizador seleccionado*

Parámetro	Valor
Tensión de funcionamiento	220 VCA +- 10%
Capacidad del relé	16 A/250 VCA (máx.)
Número de programas	16 programaciones independientes
Periodo mínimo	1 min
Tipo de montaje	Riel DIN para tablero eléctrico
Modos de funcionamiento	Diario, inter diario, fines de semana
Rango de temperatura	-10 �C a 50 �C
Consumo interno	$\leq 2W$

Nota. Tomado de <https://mtlab.pe/producto/temporizador-digital-220v-activa>

Selección de selector

Se seleccionó el selector EP-16A-M Selector Man-0-Aut, 1 Polo, 16A

Figura 33 Selector EP-16A-M



Nota. Tomado de <https://grupocoinp.com/shop/product/ep-16a-m-selector-man-0-aut-1-polo-16a-3454?page=8#attr=>

Características de funcionamiento

- **Función:** Permite al usuario elegir el modo de operación de un dispositivo o sistema, como una bomba de agua u otro equipo de distribución.
- **M (Manual):** El circuito se controla manualmente, usualmente mediante un operador humano.
- **(Off / Apagado):** Interrumpe completamente el flujo de energía al circuito.
- **A (Automático):** El circuito queda bajo el control de un sistema externo, como un temporizador, sensor, o relé.
- **Polos:** Es de 1 polo, lo que significa que controla una sola línea activa o fase del sistema eléctrico.
- **Corriente Nominal:** Está clasificado para manejar una corriente máxima continua de 16 amperios (A).
- **Tensión de Aislamiento:** Generalmente soporta una tensión de aislamiento de hasta 600V o 690V, dependiendo del fabricante.
- **Tipo de Montaje:** Comúnmente se monta en un panel (instalación empotrada).

Tabla 16 *Características de selector*

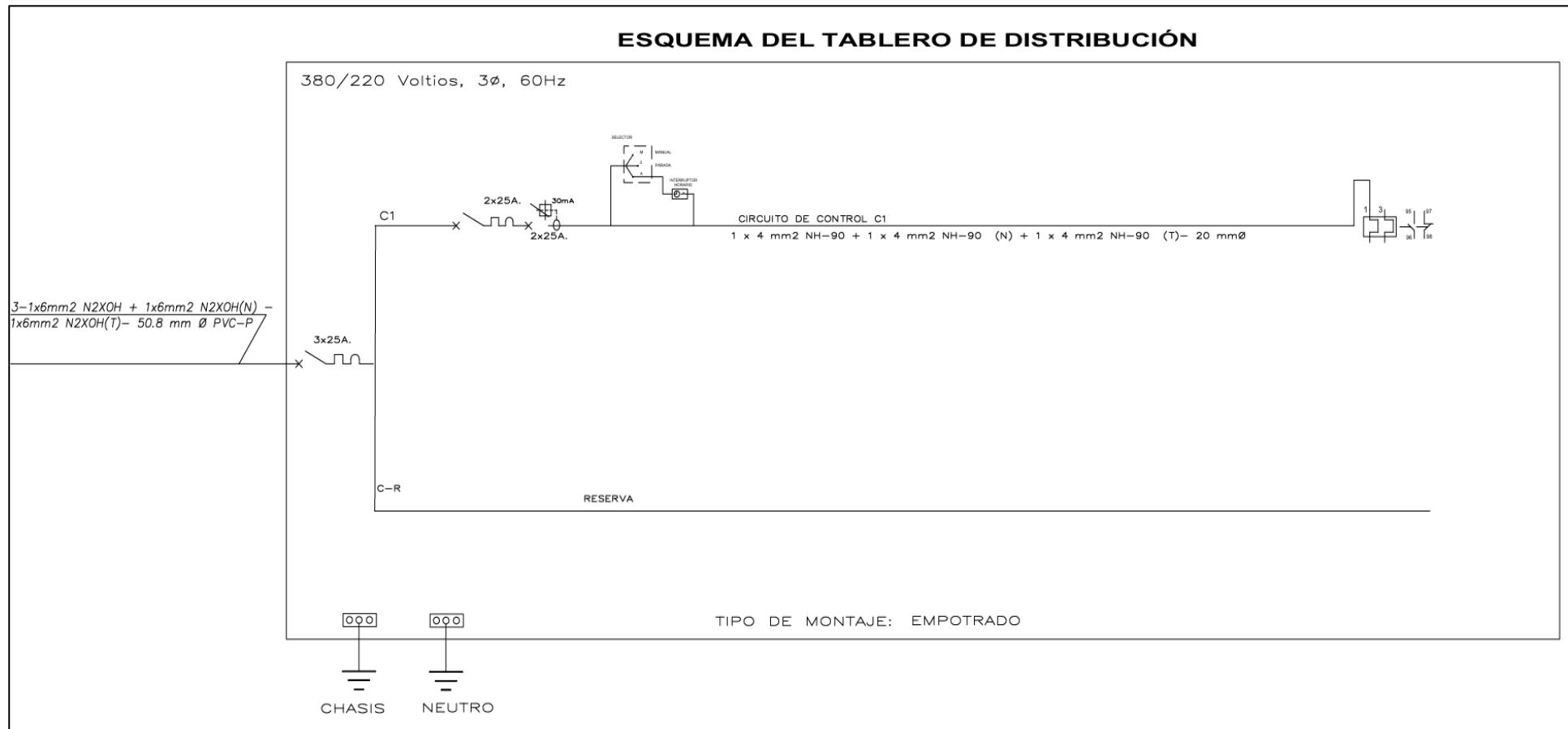
Parámetros	Características
Producto	Selector M-O-A
Marca	CNC
Modelo	EP-16A-M
Corriente nominal	16 A
Polos	1
Certificación	   

Nota. Tomado de <https://grupocoinp.com/shop/product/ep-16a-m-selector-man-0-aut-1-polo-16a-3454?page=8#attr=>

5.1.3.5. Diagrama unifilar

El diagrama unifilar fue elaborado con la finalidad de representar de manera simplificada la distribución y conexión de los componentes eléctricos que conforman el sistema de accionamiento propuesto.

Figura 34 *Diagrama unifilar de control*

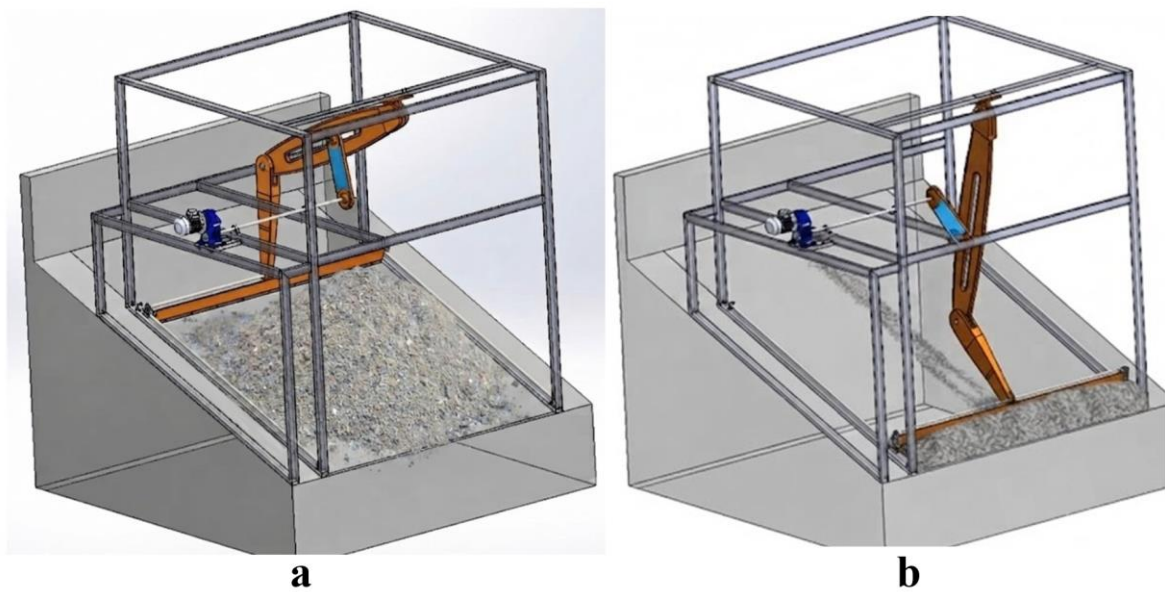


Nota. Elaboración propia.

5.1.3.6. Funcionamiento del sistema de arrastre

El sistema de arrastre, durante la carrera de trabajo, la cuchilla se desplaza desde la parte posterior hacia la parte frontal de la rampa, empujando las cenizas acumuladas hacia la zona de descarga. Una vez completado el recorrido de arrastre, el mecanismo ejecuta la carrera de retorno, desplazando la cuchilla nuevamente hacia su posición inicial en un menor tiempo, característica propia del mecanismo de retorno rápido.

Figura 35 *Funcionamiento del sistema de arrastre para el retiro de cenizas*



Nota. La figura muestra a) cuchilla en la parte posterior del hogar del caldero listo para desplazarse hacia la b) posición final. El recorrido de la carrera total hasta volver a la posición inicial es de 4.39 segundos. Elaboración propia.

5.1.3.7. Capacidad de remoción de ceniza

El diseño de la cuchilla se estableció con una altura de 0.20 m, considerando el comportamiento de acumulación de la ceniza en el hogar del caldero. Debido a que la ceniza no se deposita de manera uniforme sobre la superficie inclinada, sino que tiende a concentrarse y formar una cuña delante de la cuchilla durante su desplazamiento, se adoptó

una altura que permitiera contener el volumen de material acumulado sin ocasionar pérdidas laterales ni sobrecargar el sistema de arrastre.

Asimismo, se tomaron en consideración las dimensiones internas del hogar del caldero, con un ancho efectivo de 2.50 m y una longitud de recorrido de 2.40 m, las cuales determinan el área de trabajo de la cuchilla. Bajo estas condiciones, y considerando una densidad aparente de la ceniza de 650 kg/m^3 , la geometría de la cuchilla permite remover aproximadamente 52 kg de ceniza por cada pasada, equivalentes a un volumen cercano a 0.08 m^3 .

De acuerdo con la información histórica de operación de la destiladora, la generación de ceniza alcanza aproximadamente 208 kg/h. En consecuencia, se estableció un ciclo de limpieza de 15 minutos, equivalente a cuatro pasadas por hora, de modo que en cada ciclo se retire la cantidad de ceniza generada durante dicho intervalo (52 kg). Este criterio evita acumulaciones excesivas dentro del hogar del caldero, reduce el esfuerzo requerido por el sistema de arrastre y mantiene condiciones adecuadas para el proceso de combustión, garantizando una operación continua y eficiente.

5.1.4. Evaluación económica empleando los indicadores VAN y TIR

Método del Valor Actual Neto (VAN)

Pacheco (2020); el VAN ayuda a saber si un proyecto es viable o no; está determinada por la siguiente fórmula:

$$VAN = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- C_0 : Inversión inicial que se realiza (general)
- C_t : Flujos de caja a partir del año 1 hasta el año T
- r : Tasa de descuento
- t : Número de periodos

Interpretación:

- $VAN > 0$; el proyecto puede ser aceptado.
- $VAN < 0$; el proyecto puede ser rechazado ya que la empresa pierde dinero.
- $VAN = 0$; solo recupera inversión, la decisión de invertir debería basarse en otros criterios.

Método de Taza Interna de Retorno

El TIR ayuda en la toma de decisión si la rentabilidad de un proyecto en manera de porcentaje; está determinada por la siguiente expresión Pacheco (2020):

$$VAN = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+TIR)^t}$$

Donde:

- C_0 : Inversión inicial que se realiza (general)
- C_t : Flujos de caja a partir del año 1 hasta el año T

- *TIR*: Tasa interna de retorno.
- *t*: Número de periodos

Interpretación:

Teniendo en cuenta el Costo de Oportunidad de Capital (COK) “K”, entonces sí:

- $TIR > k$; se acepta el proyecto, proyecto rentable.
- $TIR > k$; se acepta el proyecto, proyecto rentable.

Con la finalidad de determinar la viabilidad económica del sistema de arrastre propuesto, se elaboró el flujo de caja proyectado considerando un horizonte de evaluación de cinco años, período establecido en función de la vida útil esperada de los componentes mecánicos del sistema, así como del tiempo suficiente para reflejar los beneficios económicos derivados de su implementación. En el análisis se incluyeron la inversión inicial, los beneficios anuales obtenidos por la reducción de costos operativos, los egresos por operación y mantenimiento, la depreciación de los activos y el impuesto a la renta, permitiendo calcular los principales indicadores financieros: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio/Costo (B/C) y Período de Recuperación (P.R.).

Tabla 17 *Beneficios de la propuesta planteada*

Resumen de Beneficios de las propuestas	Beneficio Anual
PROPUESTA	S/44,400.00
TOTAL	S/44,400.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18 *Flujo de caja proyectado e indicadores de rentabilidad económica*

AÑO	0	1	2	3	4	5
Inversión						
Intangible	S/5,860.00					
Tangible	S/17,962.50					
Total, INVERSIÓN	S/23,822.50					
Beneficios						
		S/44,400.00	S/44,400.00	S/44,400.00	S/44,400.00	S/44,400.00
Total, BENEFICIOS	S/ -	S/44,400.00	S/44,400.00	S/44,400.00	S/44,400.00	S/44,400.00
Egresos						
Gastos anuales		S/24,161.00	S/24,161.00	S/24,161.00	S/24,161.00	S/24,161.00
Depreciación		S/3,646.50	S/3,646.50	S/3,646.50	S/3,646.50	S/3,646.50
Total, EGRESOS	S/23,822.50	S/27,807.50	S/27,807.50	S/27,807.50	S/27,807.50	S/27,807.50
Utilidad antes de impuestos		S/16,592.50	S/16,592.50	S/16,592.50	S/16,592.50	S/16,592.50
Impuestos (29.5%)		S/4,894.79	S/4,894.79	S/4,894.79	S/4,894.79	S/4,894.79
Flujo de caja	-S/23,822.50	S/11,697.71	S/11,697.71	S/11,697.71	S/11,697.71	S/11,697.71
Utilidad acumulada	-S/23,822.50	-S/12,124.79	-S/427.07	S/11,270.64	S/22,968.35	S/34,666.06
Valor actual neto (VAN)	S/18,345.14					
TIR	39.96%					
COK	12.00%					
B/C	1.60					
P.R	24 meses y 13 días					

Nota. Elaboración propia.

5.1.4.1. Interpretación del análisis económico

Los resultados del análisis financiero demuestran que el proyecto es económicamente viable. El Valor Actual Neto (VAN) obtenido fue de S/. 18,345.14; lo que indica que, al descontar los flujos futuros con un Costo de Oportunidad del Capital (COK) del 12%, el proyecto genera un beneficio económico neto positivo. Asimismo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó el 39.96 %, superando ampliamente el COK, lo que confirma la conveniencia de realizar la inversión.

De igual manera, la Relación Beneficio/Costo (B/C) fue de 1.60, indicando que por cada sol invertido se obtiene un retorno de S/. 1.60, generándose un beneficio adicional de S/. 0.60. Finalmente, el Período de Recuperación (P.R.) fue de 24 meses y 15 días, lo que evidencia que la inversión inicial se recupera en menos de un año de operación. En conjunto, estos indicadores financieros confirman que la implementación del sistema de arrastre propuesto resulta rentable y económicamente factible durante el horizonte de evaluación considerado.

5.2. Discusión de resultados

La presente investigación tuvo como propósito diseñar un sistema de arrastre para el retiro de ceniza acumulada en el hogar del caldero de una destiladora, obteniéndose resultados que permitieron cumplir con los objetivos planteados y demostrar la viabilidad técnica de la propuesta. En primer lugar, se determinó la cantidad de ceniza generada a partir del análisis de la información histórica correspondiente al periodo agosto de 2024 a julio de 2025, identificándose un pico máximo de acumulación de 4374,93 kg y una tasa de producción aproximada de 208,33 kg/h, información que constituyó la base para el dimensionamiento del sistema. Este resultado coincide con lo señalado por Ríos Martínez (2011), quien indicó que el conocimiento del flujo de ceniza constituye el parámetro principal para el diseño de sistemas de transporte, ya que permite seleccionar adecuadamente la capacidad de los equipos y garantizar un funcionamiento continuo.

Además; se determinaron los parámetros de diseño considerando la producción de ceniza y las condiciones geométricas del hogar del caldero, estableciéndose la potencia requerida, el torque, la velocidad de operación y las dimensiones del mecanismo de retorno rápido. Asimismo, se desarrolló el análisis cinemático del mecanismo, obteniéndose las velocidades y aceleraciones instantáneas de los eslabones, lo cual permitió validar el comportamiento del sistema antes de su modelado tridimensional. Estos resultados guardan concordancia con lo expuesto por Polo Urquiza (2017), quien señaló que el diseño de sistemas para evacuación de cenizas debe fundamentarse en parámetros mecánicos previamente calculados para asegurar un transporte eficiente y confiable del material.

También, se seleccionó el equipamiento electromecánico y de control empleando componentes comerciales disponibles en el mercado, tales como el motor eléctrico de 2 HP, el motorreductor con relación de transmisión 51,2:1, contactores, interruptores de protección, tablero eléctrico y temporizador digital. Del mismo modo, se definieron los

componentes mecánicos requeridos para el mecanismo de retorno rápido y se desarrolló el ensamblaje virtual mediante software CAD, verificando la compatibilidad y funcionalidad del sistema. Estos resultados presentan similitud con la investigación desarrollada por Ríos Martínez (2011), quien también implementó un sistema de transporte de cenizas basado en un motorreductor y elementos mecánicos comerciales, concluyendo que la adecuada selección de componentes incrementa la confiabilidad operativa del sistema.

Finalmente, la evaluación económica permitió determinar la viabilidad financiera del proyecto mediante los indicadores VAN y TIR, obteniéndose un Valor Actual Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento, evidenciando que la implementación del sistema propuesto resulta económicamente rentable para la empresa. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Polo Urquiza (2017), quien demostró que la inversión en sistemas mecanizados para el manejo de cenizas genera beneficios económicos al reducir los tiempos de limpieza, disminuir los costos operativos y optimizar la continuidad del proceso productivo. En consecuencia, los resultados obtenidos respaldaron la factibilidad técnica y económica del diseño desarrollado, permitiendo concluir que el sistema propuesto constituye una alternativa viable para mejorar el retiro de cenizas en el hogar del caldero de la destiladora.

Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se determinó que la producción máxima de ceniza en el hogar del caldero alcanzó 4374,93 kg, equivalente a una tasa aproximada de 208,33 kg/h, información que permitió establecer las condiciones de diseño del sistema de arrastre y dimensionar adecuadamente los componentes mecánicos del mecanismo.
- Se determinaron los parámetros de diseño del sistema de retiro de ceniza considerando la producción generada, las dimensiones del hogar del caldero y las condiciones de operación, obteniéndose la potencia requerida, el torque, la velocidad de trabajo y el análisis cinemático del mecanismo de retorno rápido, verificándose la factibilidad técnica del diseño propuesto.
- Se seleccionó el equipamiento electromecánico y de control conformado por un motor eléctrico de 2 HP, un motorreductor con relación de transmisión 51,2:1, componentes mecánicos normalizados, dispositivos de protección eléctrica y elementos de control, logrando desarrollar un diseño tridimensional funcional y compatible con las condiciones de instalación del caldero.
- Se evaluó económicamente la propuesta mediante los indicadores VAN y TIR, obteniéndose un Valor Actual Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento, concluyéndose que la implementación del sistema de arrastre resultó técnica y económicamente viable para mejorar el retiro de cenizas en la destiladora.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de arrastre, contemplando inspecciones periódicas de los componentes mecánicos, lubricación de los elementos móviles y verificación del estado del motor, motorreductor y sistemas de protección eléctrica, con el propósito de garantizar la continuidad operativa y prolongar la vida útil del equipo.
- Se recomienda realizar un análisis estructural mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) sobre los componentes críticos del mecanismo, especialmente la cuchilla, la biela, el balancín y los ejes, con el fin de evaluar los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad antes de una futura fabricación.
- Se recomienda complementar el diseño con un análisis dinámico y de vibraciones del mecanismo de retorno rápido durante todo su ciclo de operación, permitiendo optimizar el movimiento, reducir impactos mecánicos y mejorar la confiabilidad del sistema en condiciones reales de trabajo.
- Se recomienda que, en una etapa posterior, el sistema incorpore instrumentación y automatización, mediante sensores de posición, finales de carrera o un controlador lógico programable (PLC), con la finalidad de supervisar el funcionamiento del mecanismo, optimizar la frecuencia de limpieza y aumentar la seguridad durante la operación del caldero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABKessel. (2024). *Sistema de Extracción de cenizas*.
<https://www.abkessel.com/componentes/sistemas-de-extraccion-cenizas>
- Arapa, J. R. (2023). *Desarrollo de un sistema de transporte neumático de arroz con cáscara optimizado para la alimentación de una máquina piladora*.
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4264>
- Arias, J., y Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera).
- Bonilla, E., Bertha, D., Kleeberg, F., y Noriega, M. (2010). *Mejora continua de los procesos*.
- Braja, D. (2012). *Estabilización con ceniza muy fina. Fundamentos de ingeneiría de cimentaciones*. http://opac.unellez.edu.ve/doc_num.php?explnum_id=1264
- Esquerri, P. (2024). *Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía*.
- Gómez, L., y Ramírez, R. (2022). *Evaluación económica y diseño de sistemas industriales* (Editorial Ingeniería Financiera (ed.)).
- González, J. (2021). *Técnicas de investigación cualitativa en los ámbitos sanitario y sociosanitario*.
- Hernández, R., y López, M. (2020). *Tecnologías para el manejo de cenizas en la industria energética*. Editorial Innovación Técnica.
- Ignacio, B. (2007). *Gestion de Cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones juvenes*. Lugo. <https://www.yumpu.com/es/document/view/14235689/gestion-de-cenizas-como-fertilizante-y-enmendante->
- ISSN. (2012). *Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustion de biomasa*.

- http://www.um.edu.uy/docs/6_comportamiento_de_cenizas_y_suimpacto_en_sistemas_de_combustion_de_biomasa.pdf
- Khambekar, J., y Barnum, R. (2012). *Manejo de cenizas volantes: desafíos y soluciones*.
<https://www.power-eng.com/om/fly-ash-handling-challenges-and-solutions/>
- López, R., y Martínez, P. (2021). *Sistemas de manejo de cenizas: Parámetros operativos y consideraciones ambientales* (Editorial Tecnologías Industriales (ed.)).
- Miranda, J. (2005). *Gestión de proyectos* (MM Editores (ed.)).
- Moral, L. (2014). *Logística del transporte y distribución de carga* (Ecoe Ediciones (ed.)).
- Morales, D. (2015). *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*.
<https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236>
- Nayvar, M. L. (2000). *Piping handbook*. McGraw-Hill.
- Nemerow, N. (1988). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos* (Ediciones).
- Pacheco, F. F. (2020). *Conceptos de TIR y VAN*.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/19158/PACHEC>
- Palacios, A., Gómez, R., y Torres, L. (2024). *Diseño y optimización de sistemas electromecánicos para mecanismos de arrastre y transporte de materiales*.
- Pérez, J., y Gutiérrez, L. (2021). *Fundamentos de diseño en sistemas de transporte de sólidos*. https://static.smc.eu/binaries/content/assets/smc_es/soluciones/transporte-de-solidos/smc_transporte-de-solidos
- Polo Urquiza, R. (2017). *DISEÑO DEL CONJUNTO DE TRANSPORTADORES HELICOIDALES PARA EVACUAR 1.8 t/h DE CENIZA DE LA CALDERA DE LA EMPRESA AGROLMOS S.A.C.*
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23060>
- Portero, H. M. (2018). *Estudio experimental de peletizado en planta piloto y de combustión*

- en caldera de biomasa a baja potencia*. <https://ruidera.uclm.es/items/45db4938-0153-41b3-a9be-fd7135ca654a>
- Ríos Martínez, D. M. (2011). *Diseño y montaje para la implementación del sistema de recolección en seco y manejo de ceniza en el hogar de las delderas de bagazo, del Ingenio La Unión, S.A.* http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0586_MI.pdf
- Rodríguez, C., y Martínez, P. (2021). *Manejo y características de residuos sólidos en la industria energética*. <https://ieu.unal.edu.co/wp-content/uploads/2024/09/dgu-28-gestion-residuos-alta-070422.pdf>
- Solano Sanchez, J. E. (2021). *Implementación de un horno quemador con sistema de automatización y control incorporado para las agroindustrias arroceras de la ciudad de Barranquilla utilizando como combustible cascarilla de arroz*. <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstreams/06065546-47a7-4feb-bd61-a02d4025f826/download>
- Torres, M., y Díaz, A. (2022). *Gestión operativa y mantenimiento en sistemas industriales* (Editorial Tecnología Sostenible (ed.)).
- Tum Ramos, R. A. (2022). *Mejora al sistema de logística para el transporte interno de cenizas de caldera, mediante implementación de transportador helicoidal en empresa Compañía Eléctrica La Libertad, S.A. Villa Nueva, Guatemala*. <https://urural.edu.gt/wp-content/uploads/2024/08/0228-2021.pdf>
- Vélez, J. (2020). *Diseño de sistemas de manejo de cenizas en plantas termoeléctrica* (Editorial Ingeniería Térmica (ed.)).
- Vizcaíno, P., Cedeño, R., y Maldonado, I. A. (2023). *Metodología de la investigación científica: guía práctica*. *Ciencia Latina Revista Científica*. https://doi.org/doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

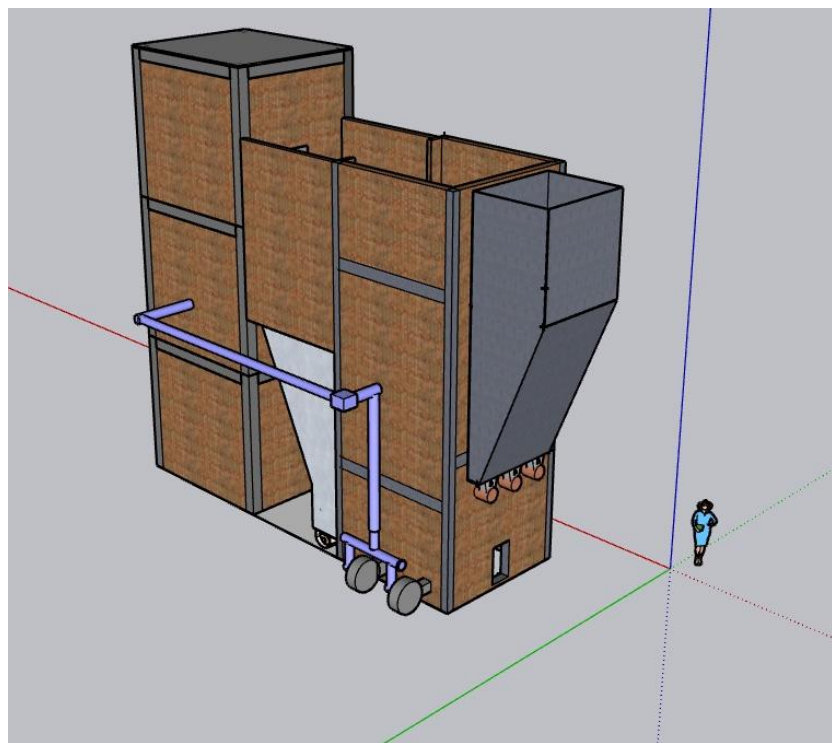
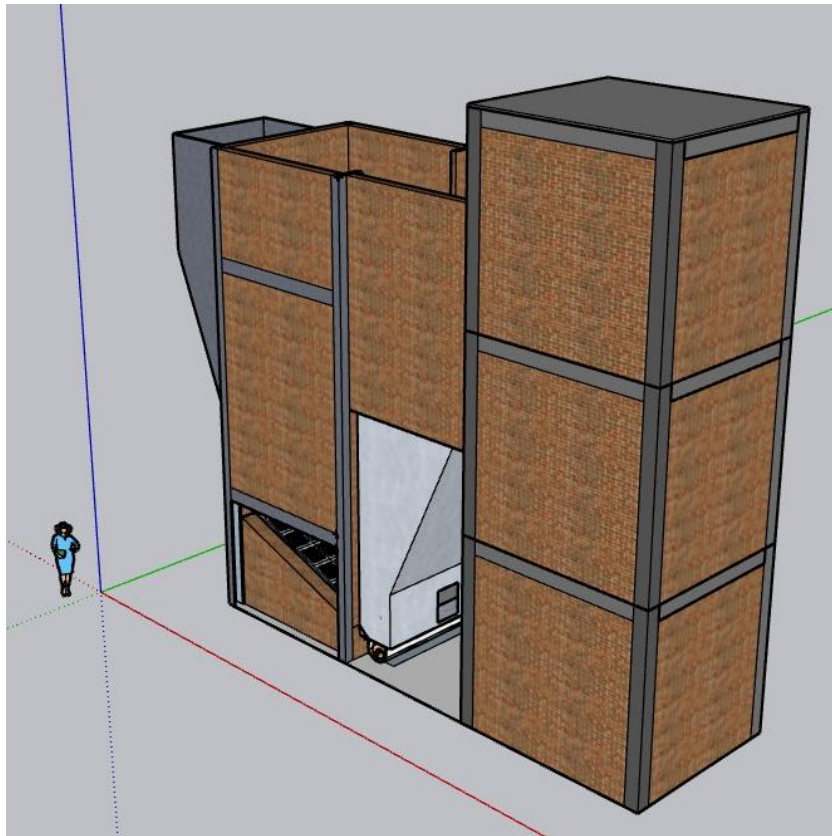
ANEXOS

Anexo 1. Campaña de reconocimiento para el proyecto de tesis





Anexo 2. Modelamiento del caldero en software de uso libre



Anexo 3. Consideraciones para el análisis económico

Ítem	Cantidad (und)	Precio	Total
Carpintero metálico (servicio)	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
Ayudante metálico	1	S/ 1,200.00	S/ 1,200.00
Técnico Electricista (servicio)	1	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
Capacitación en las tareas de mantenimiento	1	S/120.00	S/ 120.00
Capacitación en manipulación y funcionalidad del sistema de arrastre	2	S/120.00	S/ 240.00
Capacitación basada en la metodología AMEF	2	S/150.00	S/ 300.00
TOTAL	8		S/5,860.00

Inversión tangible

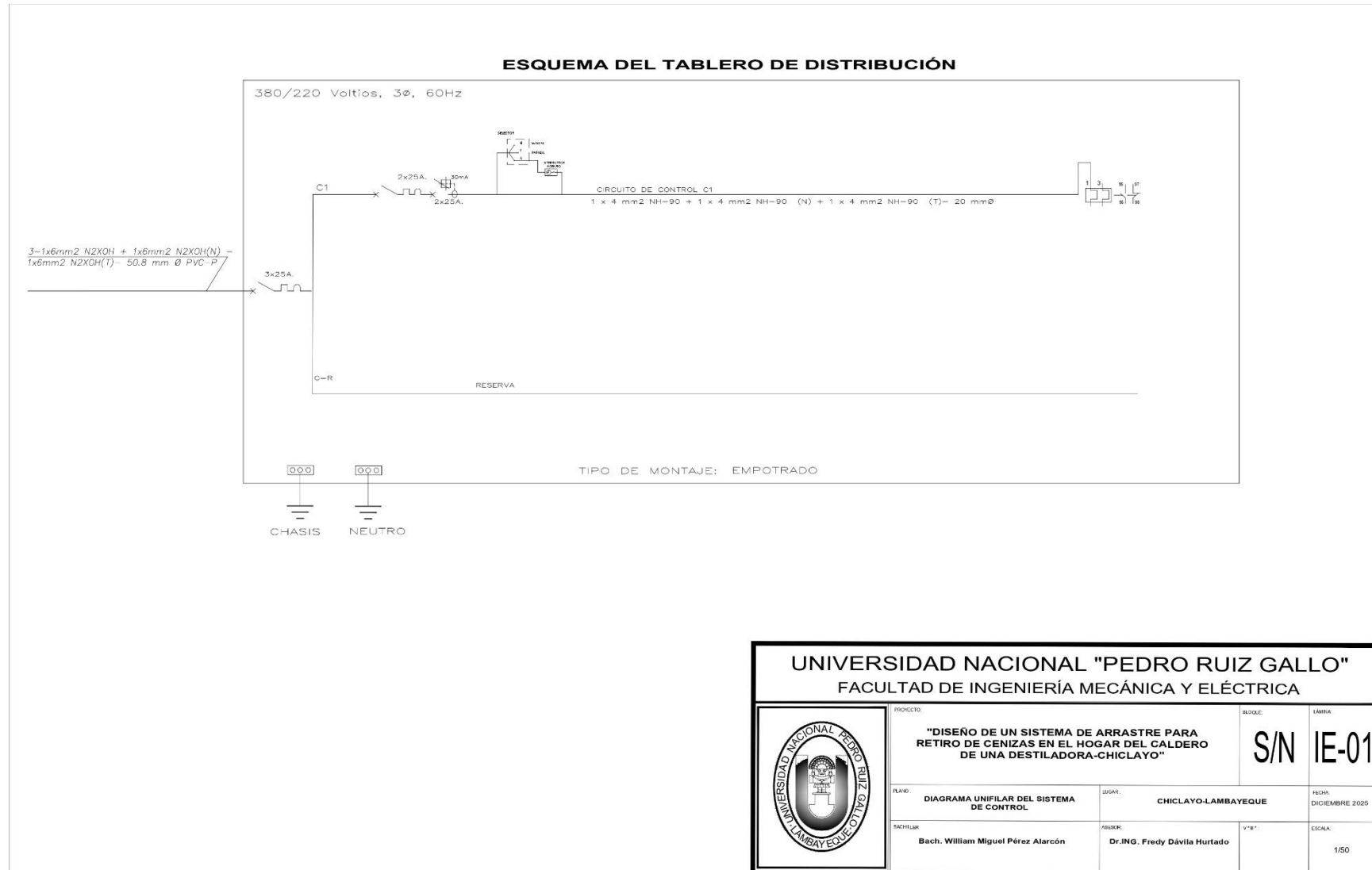
Ítem	Cantidad (und)	Precio unitario	Total
Motor de 2 HP	1	S/1,200.00	S/1,200.00
Motoreductor Serie C	1	S/3,500.00	S/3,500.00
Contactador 9A 220V 50/60Hz	3	S/45.00	S/135.00
Interruptor termomagnético IC60N (2X25A)	2	S/120.00	S/240.00
Interruptor diferencial Acti9 Tipo A 2P 25A.	2	S/150.00	S/300.00
Tablero de metal adosable 700x500x200mm IP65	1	S/350.00	S/350.00
Temporizador digital 220 V (Relé 16 A)	2	S/55.00	S/110.00
Selector EP-16A-M Selector Man-0-Aut, 1 Polo, 16A	2	S/30.00	S/60.00
Cable NH-90, 4 mm ² color negro (rollo)	0.5	S/295.00	S/147.50
Cable NH-90, 4 mm ² color blanco (rollo)	0.5	S/295.00	S/147.50
Cable NH-90, 4 mm ² color verde (rollo)	0.5	S/295.00	S/147.50
Lubricante multipropósito (litro)	5	S/25.00	S/125.00
Aceite lubricante sintético de motor (galón)	10	S/30.00	S/300.00
Instalación de sistema de puesta a tierra	1	S/1,200.00	S/1,200.00
Fabricación de estructura metálica (perfil estructural, soldadura y pintura)	1	S/900.00	S/900.00
Manufactura de eslabón manivela	1	S/720.00	S/720.00

Manufatura de bloque deslizante	1	S/480.00	S/480.00
Manufatura de eslabón balancín ranurado	1	S/840.00	S/840.00
Manufatura de eslabón bastidor	1	S/820.00	S/820.00
Manufatura de eslabón biela	1	S/720.00	S/720.00
Manufatura de hoja vertedera	1	S/1,500.00	S/1,500.00
Manufatura de cuchilla removedora (acero antidesgaste)	1	S/1,600.00	S/1,600.00
Eje balancín–bastidor (torneado)	1	S/180.00	S/180.00
Eje manivela–deslizante (torneado)	1	S/170.00	S/170.00
Eje biela–manivela (torneado)	1	S/170.00	S/170.00
Eje vertedera (torneado)	1	S/274.80	S/274.80
Soporte guía SK30	2	S/180.00	S/360.00
Rodamiento lineal SC30UU	2	S/95.00	S/190.00
Juego de perno hexagonal M10 con tuerca y arandela	4	S/12.00	S/48.00
Arandela plana 40 mm	8	S/11.00	S/88.00
Buje cilíndrico 40×44×30 mm (bronce SAE 660)	6	S/55.00	S/330.00
Anillo Seeger 40 mm	4	S/19.00	S/76.00
Anillo Seeger 30 mm	1	S/12.00	S/12.00
Cuña mecanizada	2	S/25.00	S/50.00
Buje cilíndrico 30×34×25 mm	2	S/45.00	S/90.00
Arandela plana 30 mm	4	S/10.30	S/41.20
Buje cilíndrico 30×34×15 mm	1	S/40.00	S/40.00
Tornillo hexagonal M6	6	S/32.00	S/192.00
Tornillo hexagonal M5 con tuerca	9	S/12.00	S/108.00
TOTAL			S/17,962.50

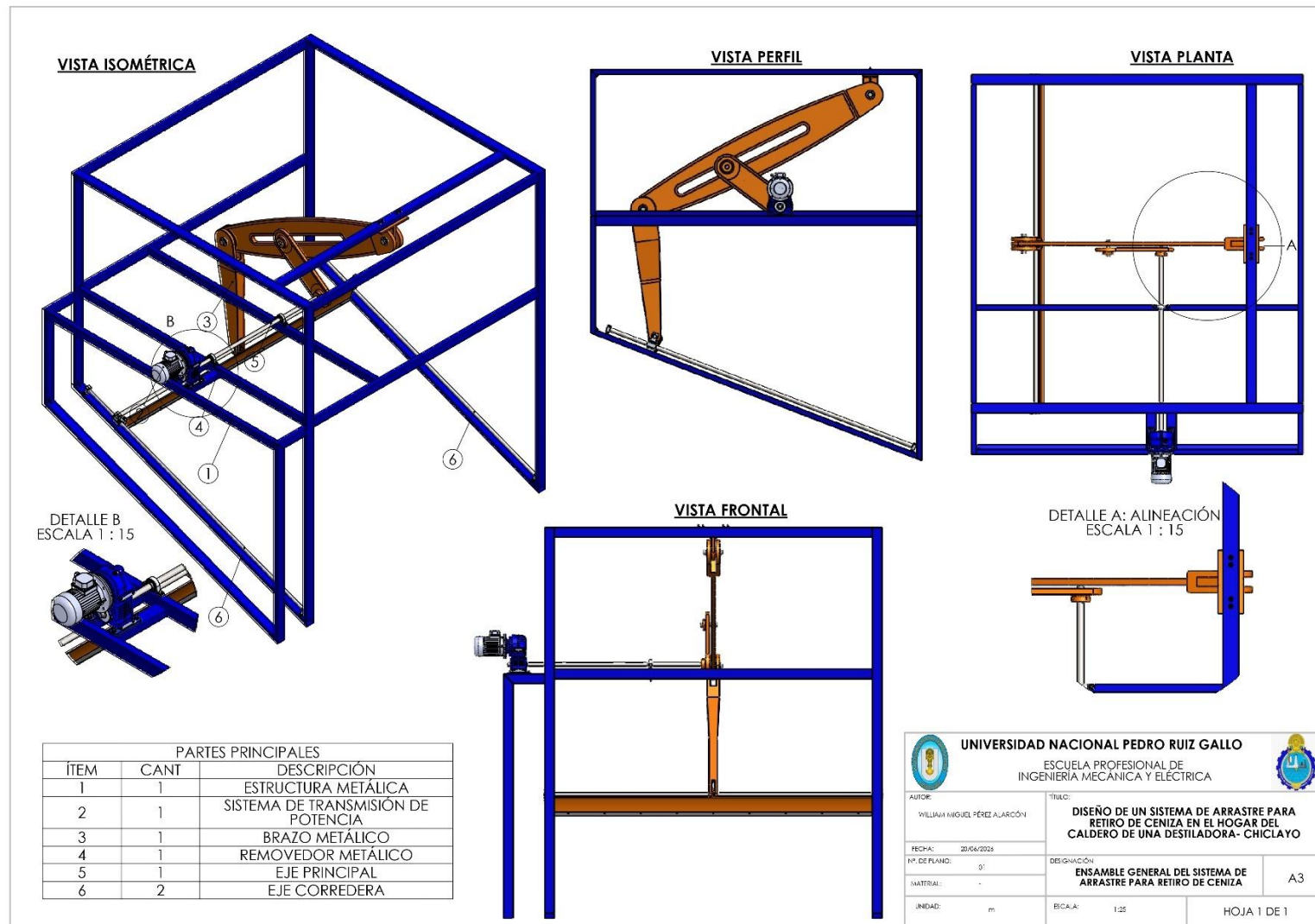
Gastos anuales de la implementación					
Etapa	Ítem	Cantidad (und)	Precio	Sub total	Total
	Bolígrafos	4	S/1.00	S/4.00	S/466.50
	Útiles de oficina	Paquete de Hojas Bond	1	S/15.00	
		Archivadores	5	S/1.50	
		Tinta de impresora	4	S/110.00	
	Mano de obra	Operario electromecánico (permanente anual)	1	S/21,600.00	S/21,600.00
Gastos anuales	Mantenimiento Preventivo de Motores y Reductores	1	S/442.50	S/442.50	S/2,094.50
	Gasto de energía	1	S/232.00	S/232.00	
	Servicios	Mantenimiento e Inspección del Sistema de Puesta a Tierra	1	S/610.00	
		Línea de Contingencia para Componente eléctricos	3	S/120.00	
		Mantenimiento General Estructural y Elementos de Arrastre	3	S/150.00	
Total					S/24,161.00

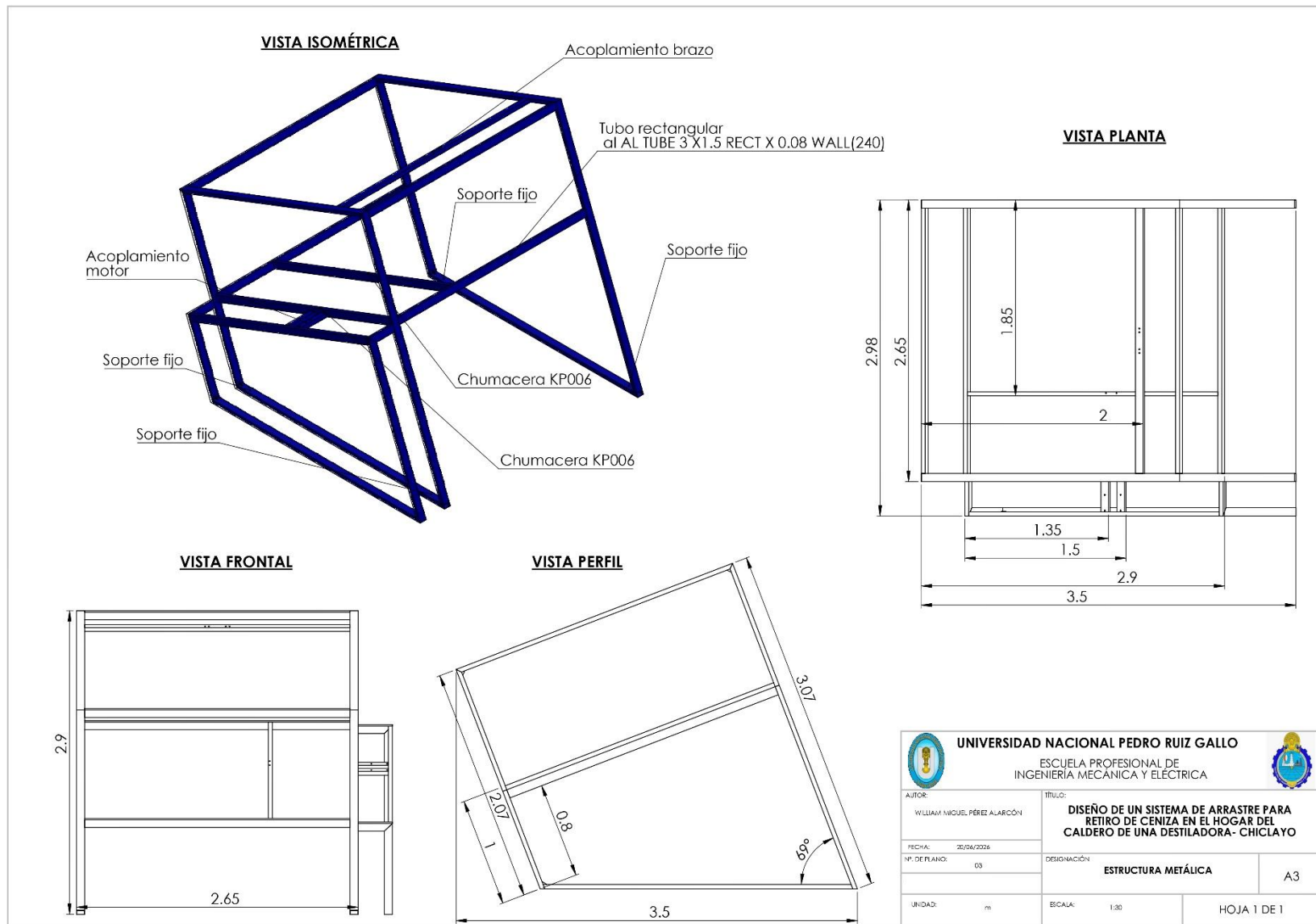
Depreciación de la implementación					
Descripción	Activos Uni	Unidades	Valor Por Depreciar	Años Por Depreciar	Depreciación anual
Motor de 2 HP	S/1,200.00	1	S/1,200.00	5	S/240.00
Motoreductor Serie C	S/3,500.00	1	S/3,500.00	5	S/700.00
Contacto 9A 220V 50/60Hz	S/45.00	3	S/135.00	5	S/27.00
Interruptor termomagnético IC60N (2X25A)	S/120.00	3	S/360.00	5	S/72.00
Interruptor diferencial Acti9 Tipo A 2P 25A.	S/150.00	3	S/450.00	5	S/90.00
Tablero de metal adosable 700x500x200mm IP65	S/350.00	1	S/350.00	5	S/70.00
Temporizador digital 220 V (Relé 16 A)	S/55.00	2	S/110.00	5	S/22.00
Selector EP-16A-M Selector Man-0-Aut, 1 Polo, 16A	S/30.00	2	S/60.00	5	S/12.00
Cable NH-90, 4 mm2 color negro (rollo)	S/295.00	0.5	S/147.50	5	S/29.50
Cable NH-90, 4 mm2 color blanco (rollo)	S/295.00	0.5	S/147.50	5	S/29.50
Cable NH-90, 4 mm2 color verde (rollo)	S/295.00	0.5	S/147.50	5	S/29.50
Lubricante multipropósito (litro)	S/25.00	5	S/125.00	5	S/25.00
Aceite lubricante sintético de motor (galón)	S/30.00	10	S/300.00	5	S/60.00
Instalación de sistema de puesta a tierra	S/1,200.00	1	S/1,200.00	5	S/240.00
Fabricación de estructura metálica (perfil estructural, soldadura y pintura)	S/900.00	1	S/900.00	5	S/180.00
Manufactura de eslabón manivela	S/720.00	1	S/720.00	5	S/144.00
Manufactura de bloque deslizante	S/480.00	1	S/480.00	5	S/96.00
Manufactura de eslabón balancín ranurado	S/840.00	1	S/840.00	5	S/168.00
Manufactura de eslabón bastidor	S/820.00	1	S/820.00	5	S/164.00
Manufactura de eslabón biela	S/720.00	1	S/720.00	5	S/144.00
Manufactura de hoja vertedera	S/1,500.00	1	S/1,500.00	5	S/300.00
Manufactura de cuchilla removedora (acero antidesgaste)	S/1,600.00	1	S/1,600.00	5	S/320.00
Eje balancín-bastidor (torneado)	S/180.00	1	S/180.00	5	S/36.00
Eje manivela-deslizante (torneado)	S/170.00	1	S/170.00	5	S/34.00
Eje biela-manivela (torneado)	S/170.00	1	S/170.00	5	S/34.00
Eje vertedera (torneado)	S/274.80	1	S/274.80	5	S/54.96
Soporte guía SK30	S/180.00	2	S/360.00	5	S/72.00
Rodamiento lineal SC30UU	S/95.00	2	S/190.00	5	S/38.00
Juego de perno hexagonal M10 con tuerca y arandela	S/12.00	4	S/48.00	5	S/9.60
Arandela plana 40 mm	S/11.00	8	S/88.00	5	S/17.60
Buje cilíndrico 40x44x30 mm (bronce SAE 660)	S/55.00	6	S/330.00	5	S/66.00
Anillo Seeger 40 mm	S/19.00	4	S/76.00	5	S/15.20
Anillo Seeger 30 mm	S/12.00	1	S/12.00	5	S/2.40
Cuña mecanizada	S/25.00	2	S/50.00	5	S/10.00
Buje cilíndrico 30x34x25 mm	S/45.00	2	S/90.00	5	S/18.00
Arandela plana 30 mm	S/10.30	4	S/41.20	5	S/8.24
Buje cilíndrico 30x34x15 mm	S/40.00	1	S/40.00	5	S/8.00
Tornillo hexagonal M6	S/32.00	6	S/192.00	5	S/38.40
Tornillo hexagonal M5 con tuerca	S/12.00	9	S/108.00	5	S/21.60
Total					S/3,646.50

Anexo 4. Diagrama unifilar del sistema eléctrico

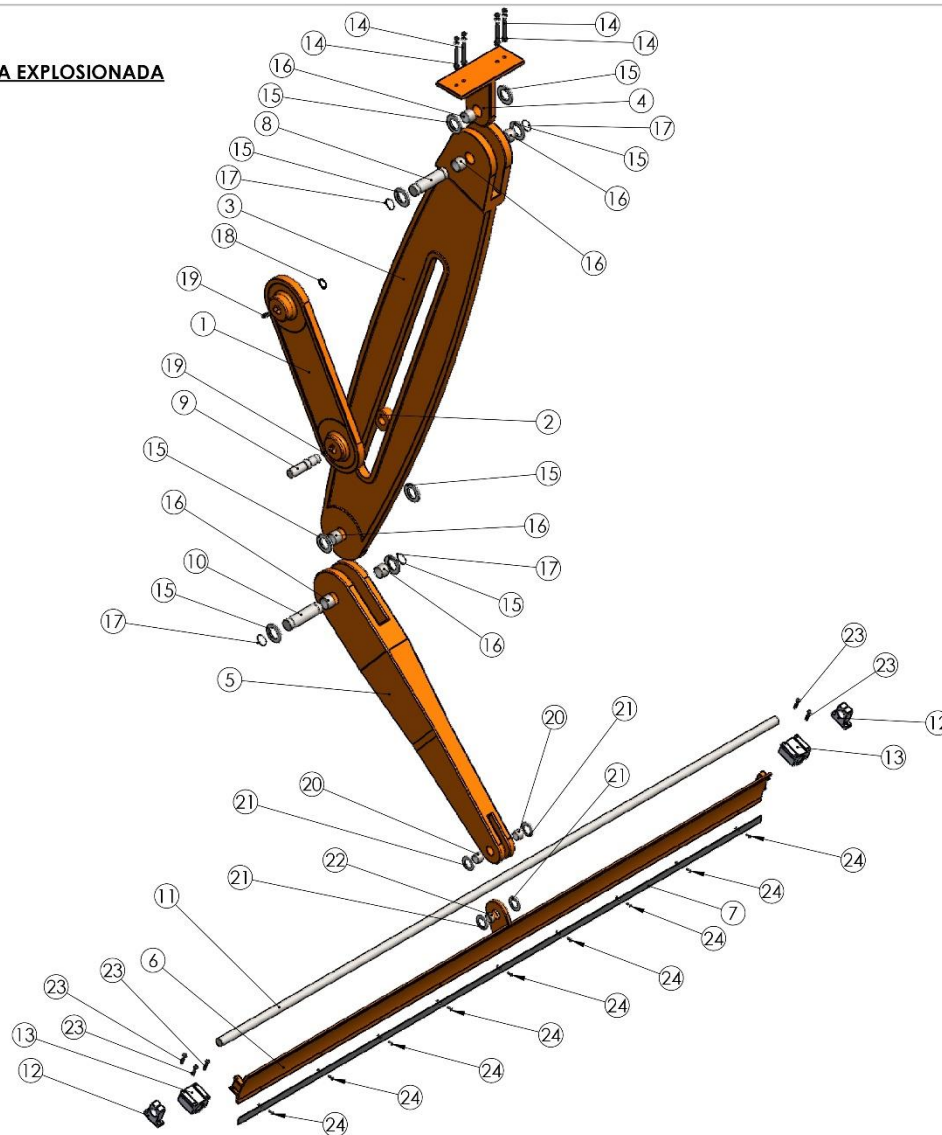


Anexo 4. Planos y láminas de detalle



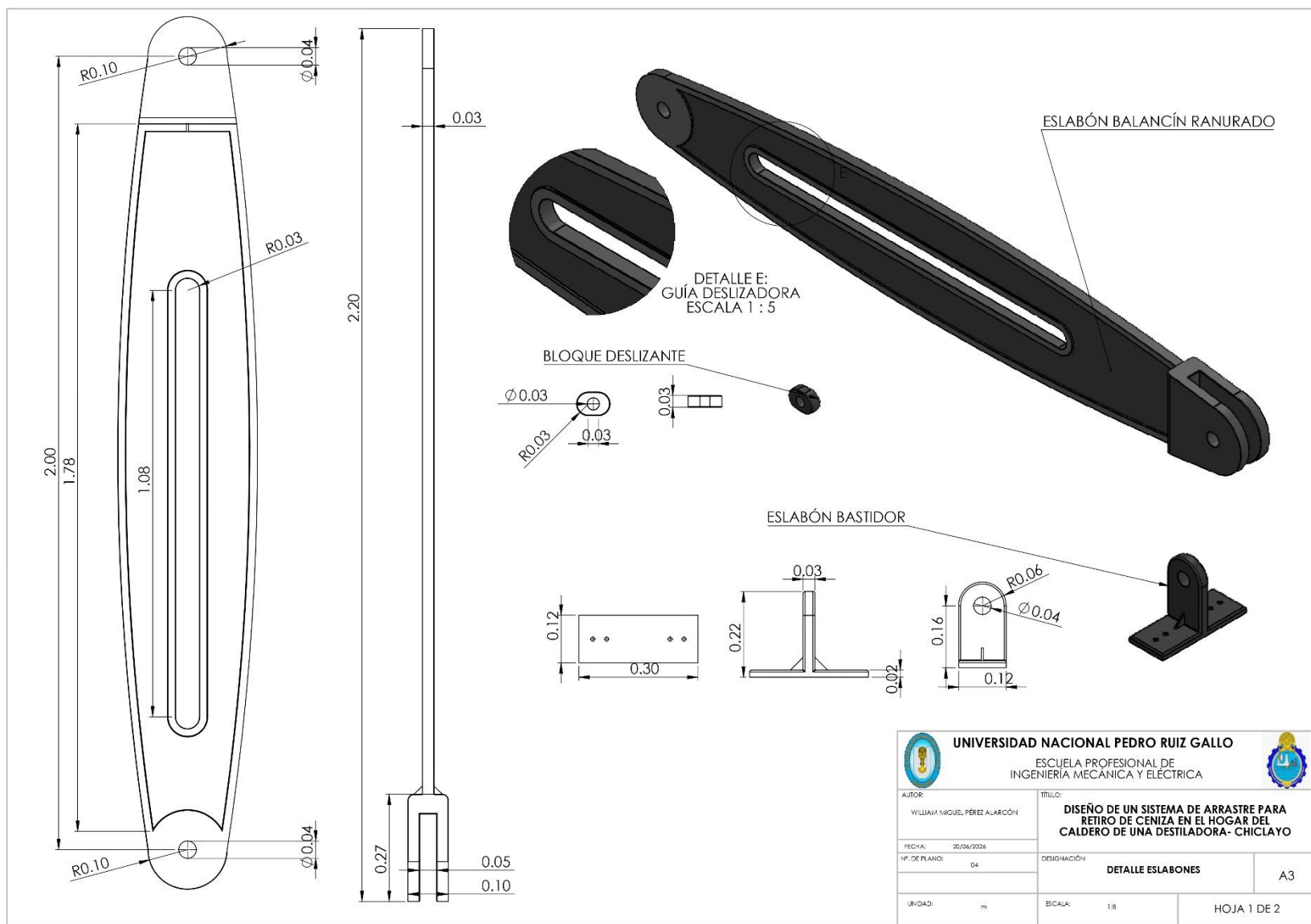


VISTA EXPLOSIONADA

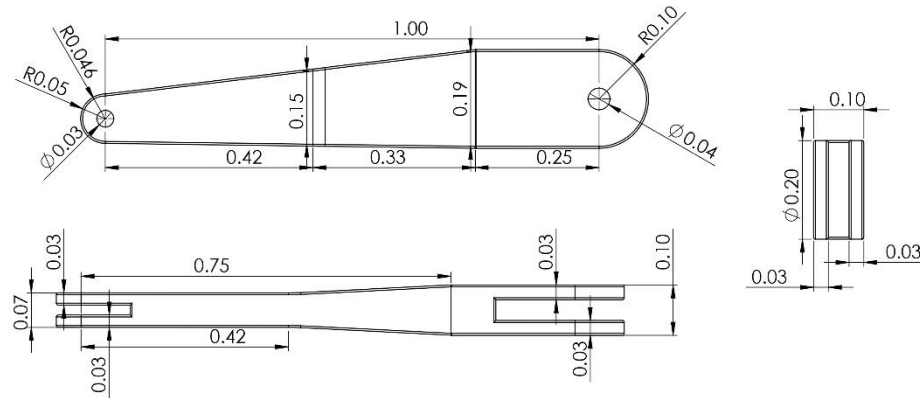
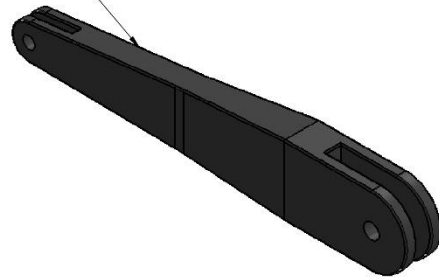


PARTES BRAZO METÁLICO		
ÍTEM	CANT	DESCRIPCIÓN
1	1	ESLABÓN MANIVELA
2	1	BLOQUE DESLIZANTE
3	1	ESLABÓN BALANCÍN RANURADO
4	1	ESLABÓN BASTIDOR
5	1	ESLABÓN BIELA
6	1	HOJA VERTEDERA
7	1	CUCHILLA REMOVEDORA
8	1	EJE BALANCÍN- BASTIDOR
9	1	EJE MANIVELA- DESLIZANTE
10	1	EJE BIELA- MANIVELA
11	1	EJE VERTEDERA
12	2	SOPORTE GUÍA SK30
13	2	RODAMIENTO LINEAL SC30U
14	4	JUEGO DE PERNO HEXAGONAL ABRIDADO PESADO CON TUERCA Y ARANDELA M10
15	8	ARANDELA PLANA 40 MM
16	6	BUJE CILINDRICO 40X44X30MM
17	4	ANILLO SEEGER 40 MM
18	1	ANILLO SEEGER 30 MM
19	2	CUÑA
20	2	BUJE CILINDRICO 30X34X25MM
21	4	ARANDELA PLANA 30 MM
22	1	BUJE CILINDRICO 30X34X15MM
23	6	TORNILLO HEXAGONAL M6
24	9	TORNILLO HEXAGONAL Y TUERCA M5

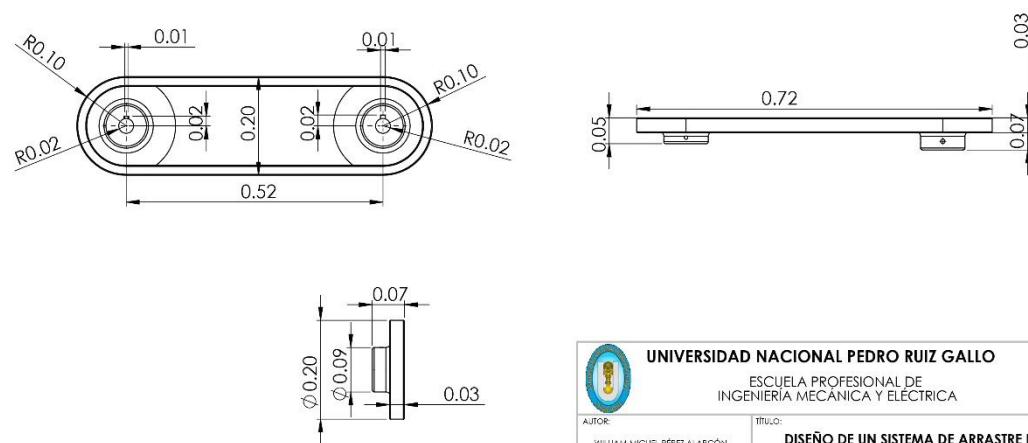
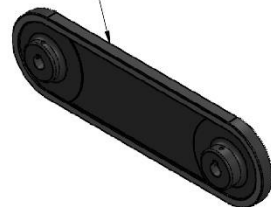
 UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA		
AUTOR: WILLIAM MIGUEL PÉREZ ALARCÓN		TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ARRASTRE PARA RETIRO DE CENIZA EN EL HOGAR DEL CALDERO DE UNA DESTILADORA- CHICLAYO
FECHA: 30/04/2026 N°. DE PLANO: 02		DESIGNACIÓN: PARTES BRAZO METÁLICO
UNIDAD: m		ESCALA: 1:13 HOJA 1 DE 1



ESLABÓN BIELA



ESLABÓN MANIVELA



 UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA		
AUTOR: WILLIAM MIGUEL PÉREZ ALARCÓN		TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ARRASTRE PARA RETIRO DE CENIZA EN EL HOGAR DEL CALDERO DE UNA DESTILADORA- CHICLAYO
FECHA: 26/04/2026 N° DE PLANO: 05		DESIGNACIÓN: ESLABONES
UNIDAD: m		BICALA: 1:8 A3 HOJA 2 DE 2

